



Analysis of the impact of land use change on the intensification of urban heat islands in Guilan Province

Seyyed Mahmoud Hashemi^{1✉} | Seyyedeh Masoumeh Taherzadeh Kouzani²

1. Corresponding Author, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme Sara, Guilan, Iran. E-mail: hashemism@guilan.ac.ir

2. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme Sara, Guilan, Iran. E-mail: taherzadeh@msc.guilan.ac.ir

Article Info	ABSTRACT	
Article type: Research Article	Urban development driven by population growth has led to significant structural and functional changes in land use, influencing solar radiation absorption, reflection, evapotranspiration, and heat transfer. This study aims to assess the impact of land use on land surface temperature (LST) in the years 1989 and 2023. Landsat 5 and 8 satellite images were processed, and LST maps were derived using spectral radiance, brightness temperature, vegetation indices, and the single thermal band algorithm. Land use maps were generated through supervised classification using the maximum likelihood algorithm, with overall accuracy confirmed by Kappa coefficients of 0.86 (1989) and 0.84 (2023). Results revealed an increase of 4.66°C in average LST over the study period. Urban and open space areas expanded, while water bodies and vegetative cover decreased. The observed land use transitions correspond with a rise in high-temperature areas, specifically urban and open spaces, and a reduction in cooler zones such as water bodies and vegetation. These findings underscore the significant influence of land use dynamics on surface temperature and local climate conditions. The outcomes may serve as a basis for sustainable environmental planning and urban management strategies.	
Article history: Received 21 May 2025 Received in revised form 02 July 2025 Accepted 23 August 2025 Published online 20 June 2025		
Keywords: <i>Land surface temperature,</i> <i>Remote sensing,</i> <i>Land use,</i> <i>Climate change,</i> <i>Urban central cores of Guilan.</i>		
Cite this article: Hashemi, S.M., & Taherzadeh Kouzani, S.M. (2025). Analysis of the impact of land use change on the intensification of urban heat islands in Guilan Province. <i>Journal of Natural Environment</i> , 78 (1), 109-123.. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2025.393408.2796		
 © The Author(s). Publisher: University of Tehran Press. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2025.393408.2796		

تحلیل تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تشدید جزایر گرمایی شهری در استان گیلان

سید محمود هاشمی^۱ | سیده معصومه طاهرزاده کوزانی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران. رایانامه: hashemism@guilan.ac.ir

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران. رایانامه: taherzadeh@msc.guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	رشد جمعیت و توسعه شهری منجر به تغییرات ساختاری و کارکردی چشم گیری در کاربری اراضی شده است که این تغییرات بر جذب تابش خورشیدی، بازتابش، تعرق-تبخیر و انتقال حرارت تأثیر گذارند. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر کاربری اراضی بر دمای سطح زمین (LST) در سال های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ است. برای این منظور، تصاویر ماهواره ای لندست ۵ و ۸ پردازش شده و نقشه های دمای سطح زمین با استفاده از رادیانس طیفی، دمای درخشندگی، شاخص های پوشش گیاهی و الگوریتم باند منفرد استخراج گردید. نقشه های کاربری اراضی نیز با روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال تهیه شد و دقت آنها با ضریب کاپا به ترتیب برای سال های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ برابر با ۰/۸۶ و ۰/۸۴ تأیید گردید. نتایج نشان داد میانگین دمای سطح زمین در مناطق مرکزی گیلان طی این دوره ۴/۶۶ درجه سلسیوس افزایش یافته است. همچنین، اراضی شهری و فضاهای باز گسترش یافته اند، در حالی که پوشش گیاهی و پهنه های آبی کاهش یافته اند. تغییرات کاربری اراضی در ارتباط با دما نشان می دهد که کاربری هایی با دمای بیشتر (مانند اراضی شهری و فضاهای باز) افزایش و کاربری هایی با دمای کمتر (مانند پوشش گیاهی و پهنه های آبی) کاهش یافته اند. یافته های این پژوهش تأثیر چشم گیر تغییرات کاربری اراضی بر دمای سطح و اقلیم محلی را نشان می دهد و می تواند به عنوان مبنایی برای برنامه ریزی محیط زیستی و مدیریت پایدار شهری مورد استفاده قرار گیرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰	
کلیدواژه ها:	
دمای سطح زمین،	
سنجش از دور،	
کاربری اراضی،	
تغییرات اقلیمی،	
مراکز شهری گیلان.	

استناد: هاشمی، سید محمود؛ و طاهرزاده کوزانی، سیده معصومه (۱۴۰۴). تحلیل تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تشدید جزایر گرمایی شهری در استان گیلان.

محیط زیست طبیعی، ۷۸ (۱)، ۱۲۳-۱۰۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.393408.2796>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

شهرنشینی به عنوان یکی از مهم ترین و سریع ترین روندهای تحول اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی در جهان معاصر شناخته می شود که تأثیرات عمیقی بر ساختار زمین، الگوهای استفاده از منابع و اقلیم های محلی و منطقه ای دارد (Seto et al., 2012; Wu, 2010). رشد سریع و توسعه مناطق شهری، با تأثیر بر کاربری و پوشش زمین، پیامدهای منفی برای محیط زیست به دنبال داشته و باعث تغییر در پوشش گیاهی و چشم اندازهای طبیعی شده است که بر عوامل محیطی مانند جذب تابش خورشیدی، آلوده، تبخیر و انتقال حرارت به خاک اثر می گذارد و در نتیجه، رژیم دمایی سرزمین را تغییر می دهد (Pal and Ziaul, 2017). جایگزینی پوشش های طبیعی با سطوح نفوذناپذیری نظیر آسفالت و بتن که ظرفیت گرمایی بالایی دارند، از عوامل افزایش دمای سطح زمین است (Keshtkar and Voigt, 2016). دمای سطح زمین از انرژی خالص موجود در سطح زمین تأثیر می گیرد و به عواملی مانند انرژی ورودی، گسیل مندی سطح، رطوبت و جریان هوا وابسته است (Firozjaei et al., 2020). این پارامتر یکی از متغیرهای کلیدی در تحلیل های اقلیمی و محیط زیستی محسوب می شود و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی روی سطح زمین را کنترل می کند (Guha and Govil, 2021). این روند، به ویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، با سرعت زیادی در حال پیشرفت است و موجب تغییرات چشمگیر در کاربری اراضی و پوشش طبیعی آن می شود که پیامدهای محیط زیستی متعددی از جمله افزایش شدت پدیده جزیره گرمایی شهری دارد (Zargari et al., 2024).

پدیده جزیره گرمایی شهری به افزایش دما در مناطق شهری نسبت به مناطق پیرامونی روستایی اطلاق می شود که ناشی از تغییرات فیزیکی سطح زمین و فعالیت های انسانی است (Peng et al., 2022). تغییر کاربری اراضی از پوشش های طبیعی مانند جنگل ها و مراتع به سطوح نفوذناپذیر شامل آسفالت، بتن و ساختمان ها، باعث جذب بیشتر تابش خورشیدی، کاهش تبخیر و تعرق، و افزایش ذخیره حرارت در سطح زمین می شود (Weng et al., 2021). این عوامل موجب افزایش دمای سطح زمین و هوای اطراف می شوند که به نوبه خود اثرات منفی بر کیفیت زندگی، مصرف انرژی و سلامت عمومی دارد (Santamouris, 2020). جزایر حرارتی شهری به دلیل آثار مخرب آن، از مهم ترین معضلات محیط زیستی محسوب می شود (Halder et al., 2021). ارزیابی دمای سطح زمین و مطالعه جزایر حرارتی شهری از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا اطلاعات مهمی درباره فرآیندهای تبادل انرژی تحت تأثیر کاربری و پوشش زمین ارائه می دهد (Magli et al., 2015).

تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر تشدید جزایر گرمایی شهری موضوعی است که در دهه های اخیر توجه محققان محیط زیست، برنامه ریزان شهری و سنجش از دور را به خود جلب کرده است. همچنان که مطالعات پیشین نشان داده اند که جایگزینی پوشش های طبیعی با سطوح نفوذناپذیر شهری، بازتابش نور خورشیدی را کاهش داده و ذخیره سازی گرما را افزایش می دهد (Divsalar et al., 2022). پژوهش های مختلفی نشان داده اند که تبدیل زمین های کشاورزی به مناطق مسکونی، دمای سطح زمین را افزایش می دهد (Pal and Ziaul, 2017)، از جمله تحقیقات اخیر در ایران نشان داده اند که کاهش پوشش گیاهی و گسترش فضاهای شهری، نقش کلیدی در تشدید جزایر حرارتی دارند (Javan and Mehran, 2024) و مناطق صنعتی دارای دمای بالاتری هستند (Asghari and Emami, 2019). پژوهش ها در شهرهای هند مانند ایمفال^۱ نشان داده اند که تبدیل زمین های کشاورزی به مناطق مسکونی، دمای سطح زمین را تا ۲/۵ درجه سلسیوس افزایش داده است (Pandey et al., 2024). در ایران که دارای اقلیم های متنوع از خشک و نیمه خشک تا مدیترانه ای است، توسعه سریع شهرنشینی و گسترش نواحی شهری، به ویژه در کلانشهرهایی مانند تهران، مشهد، اصفهان و شیراز، منجر به تغییرات گسترده در کاربری اراضی و افزایش شدت جزیره گرمایی شده است (Hashemi et al., 2013). به طور مثال، مطالعه ای که توسط Ahmadi و همکاران (۲۰۲۲) انجام شده نشان می دهد که افزایش سطح مناطق ساخته شده در تهران طی دو دهه گذشته بیش از ۳۰ درصد بوده که این امر موجب افزایش میانگین دمای سطح زمین تا حدود ۳ درجه سانتی گراد شده است. همچنین، پژوهش هایی نظیر مطالعه Doostaki و همکاران (۲۰۲۲) در شهرستان جیرفت نشان داده اند که گسترش اراضی ساخته شده به ویژه در مناطق شهری گرمسیری، منجر به افزایش

^۱ Imphal

محسوس دمای سطح زمین شده است. این تحقیق نیز همراستا با یافته‌های فعلی، رابطه مستقیم بین تغییرات کاربری و گرمایش سطحی را تأیید می‌کند.

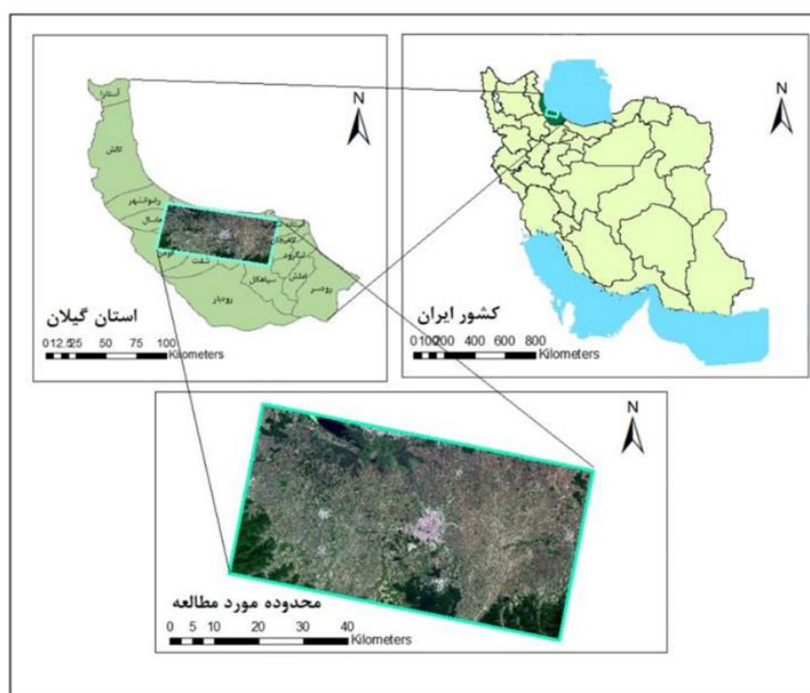
ترکیب مدل‌سازی مکانی با داده‌های سنجش از دور به درک تعاملات پیچیده بین شکل شهری، الگوهای کاربری اراضی و محیط‌های حرارتی کمک می‌کند (Norton et al., 2015). سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های آماری فضایی به‌طور گسترده‌ای برای کمی‌سازی ارتباط بین انواع پوشش زمین و دمای سطح، شناسایی عوامل مؤثر بر شدت UHI و شبیه‌سازی سناریوهای آینده رشد شهری و تغییر اقلیم به کار می‌روند (Zhao et al., 2014; Li et al., 2019). در شهرهای ایران، این مدل‌ها اطلاعات مهمی برای برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران فراهم می‌کنند تا توسعه پایدار را در جهت کاهش تنش‌های حرارتی شهری هدایت کنند (Rafieian et al., 2023).

اهمیت و ضرورت بررسی رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و جزایر حرارتی شهری در چند محور قابل تبیین است: (الف) برنامه‌ریزی شهری: مطالعات متعدد تأکید دارند که تغییرات فضایی در پوشش زمین، به‌ویژه گسترش مناطق ساخته‌شده، تأثیر مستقیمی بر شدت جزایر گرمایی شهری دارد. به‌عنوان نمونه، Tabassum و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی خود بر شهر داکا نشان دادند که افزایش مناطق مسکونی و کاهش پوشش گیاهی طی دو دهه گذشته منجر به افزایش میانگین دمای سطح زمین به میزان ۲/۱ درجه سانتی‌گراد شده است. این یافته‌ها در طراحی شهرهای مقاوم در برابر گرمایش، افزایش سرانه فضای سبز و توزیع کاربری‌های سردساز اهمیت دارند. (ب) مدیریت محیط زیست: Wang و Murayama (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای بر شهر توکیو، با استفاده از تحلیل سری زمانی داده‌های لندست، دریافتند که تغییرات در الگوی کاربری اراضی، بیش از ۶۰٪ از تغییرات دمای سطح زمین را توضیح می‌دهد. آنها تأکید کردند که مناطق کشاورزی و فضای سبز دارای نقش بازدارنده در برابر افزایش گرما هستند و توصیه کردند سیاست‌های کاربری زمین به‌گونه‌ای بازنگری شود که سازگاری اقلیمی بهبود یابد. (ج) سلامت عمومی: تشدید UHI به‌طور مستقیم با سلامت شهروندان در ارتباط است. Chakraborty و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای میان‌قاره‌ای دریافتند که محله‌های کم‌درآمد در شهرهای ساحلی بیشتر در معرض گرمایش شهری قرار دارند و احتمال ابتلا به بیماری‌های ناشی از گرما در این مناطق تا ۳ برابر بالاتر است. این موضوع اهمیت اجتماعی مقابله با جزایر گرمایی را برجسته می‌سازد.

اگرچه مطالعاتی (Zhou et al., 2017; Zhang et al., 2020) به تحلیل پدیده جزایر گرمایی در شهرهای بزرگ پرداخته‌اند، اما سه شکاف اساسی در پژوهش‌های پیشین قابل شناسایی است: (۱) تمرکز مکانی محدود: اکثر پژوهش‌ها بر کلانشهرها تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که شهرهای متوسط و کوچک (مانند رشت) که در معرض گسترش سریع شهری هستند، کمتر بررسی شده‌اند. (۲) عدم تلفیق همزمان متغیرهای اقلیمی و کاربری اراضی: مطالعاتی مانند Zhou و همکاران (۲۰۱۹) اغلب تنها بر تأثیر متغیرهای اقلیمی تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که نقش حیاتی تغییرات کاربری اراضی در تغییر دمای سطح نادیده گرفته شده است. (۳) فقدان داده‌های بلندمدت: نبود تحلیل‌های دوره‌ای با استفاده از داده‌های چند دهه‌ای مانع از شناخت روندهای پایدار و قابل اتکا شده است. این موضوع به‌ویژه در مناطق معتدل و مرطوب خیزی مانند گیلان، اهمیت بیشتری دارد. بر همین اساس، مسئله اصلی این پژوهش بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر شدت و گسترش جزایر حرارتی شهری در استان گیلان در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳ است. سؤال کلیدی نیز آن است که تغییرات در نوع و گسترش کاربری اراضی در دهه‌های اخیر، چگونه الگو و شدت دمای سطح زمین و جزایر حرارتی را تحت تأثیر قرار داده‌اند؟

در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی دقیق و جامع تأثیر تغییرات کاربری و پوشش زمین بر دمای سطح زمین و شدت پدیده جزیره حرارتی شهری در شهرهای مرکزی استان گیلان (کلانشهر رشت و شهرهای اقماری پیرامون آن) انجام می‌شود. اهداف اصلی این تحقیق شامل: (۱) نقشه‌برداری و تحلیل تغییرات کاربری و پوشش زمین در بازه زمانی سه دهه اخیر و (۲) ارزیابی تأثیرات فضایی و زمانی این تغییرات بر دمای سطح زمین است. انتظار می‌رود نتایج این مطالعه بتواند چارچوبی علمی و عملی برای برنامه‌ریزی‌های شهری پایدار و مقاوم در برابر گرما در ایران فراهم آورد و به بهبود کیفیت زندگی ساکنان کلانشهرها کمک نماید. همچنین، این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک مدل برای دیگر شهرهای ایران و کشورهای در حال توسعه استفاده شود و به سیاست‌گذاران کمک کند تا تصمیمات بهتری در زمینه مدیریت منابع طبیعی و شهری اتخاذ کنند.

محدوده مورد مطالعه: استان گیلان با مساحت تقریبی ۱۴۵۰ کیلومتر مربع و جمعیتی بیش از ۲/۵ میلیون نفر دارای تراکم جمعیتی بالغ بر ۶۵۰ نفر در کیلومتر مربع و نرخ رشد جمعیت سالانه ۲/۱٪ است (Statistical Center of Iran, 2016) و تفاوت‌های جغرافیای زیستی چشمگیری با سایر شهرهای حوزه فلات داخلی ایران دارد و به لحاظ جغرافیایی در منطقه اروپا-سیبری واقع شده است (Zohary, 1981) و مابین دامنه‌های شمالی کوهستان البرز و سواحل جنوبی دریای خزر قرار گرفته است و اقلیم مرطوب آن تأثیرات قابل توجهی بر ویژگی‌های جوی و حرارتی این منطقه دارد (Asgarian and Yavari, 2018). شهر رشت به عنوان مرکز استان گیلان مرکز اصلی فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی استان محسوب می‌شود و به عنوان یکی از شهرهای با رشد سریع شهری در ایران شناخته می‌شود (Gilan Planning and Budget Organization, 2022) که با مشکلاتی از جمله تغییرات کاربری اراضی و افزایش جزایر حرارتی مواجه است (Gholizadeh and Ahmadzadeh, 2021).



شکل ۱- موقعیت استان گیلان و منطقه مورد مطالعه

محدوده اصلی این پژوهش ناحیه مرکزی استان گیلان شامل بخش‌هایی از شهرستان‌های رشت، بندر انزلی، صومعه‌سرا، فومن، شفت، سیاهکل، لاهیجان، و آستانه اشرفیه است که بین $37^{\circ}37'$ تا $39^{\circ}50'$ طول شرقی و $37^{\circ}15'$ تا $37^{\circ}30'$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

جمع‌آوری داده‌ها: در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (TM) مربوط به سال ۱۹۸۹ و لندست ۸ (OLI/TIRS) مربوط به سال ۲۰۲۳ استفاده شده است (از سایت USGS_a). تصاویر هر دو سال متعلق به فصل بهار، یعنی ماه مه (May) در تقویم میلادی و برابر با بازه اواسط اردیبهشت تا اوایل خرداد در تقویم شمسی هستند. انتخاب این بازه زمانی به منظور وضوح بالای پوشش گیاهی و ثبات نسبی شرایط اقلیمی صورت گرفته است تا امکان شناسایی دقیق ویژگی‌های سطح زمین و مقایسه مؤثر میان دو سال فراهم شود. همچنین، به منظور کاهش اثرات تغییرات فصلی، اختلاف زمانی بین تصاویر دو سال، حداکثر یک ماه در نظر گرفته شده است. جهت ارتقاء کیفیت پردازش و کاهش خطای احتمالی، تنها تصاویری انتخاب شدند که میزان پوشش ابری آنها کمتر از ۱۰ درصد است. این معیار، دقت استخراج دمای سطح زمین و تحلیل تغییرات کاربری اراضی را به طور محسوسی افزایش داده است. فرآیندهای پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل اصلاحات رادیومتریک و هندسی، در محیط نرم افزار ENVI 5.6 انجام شده است. این مراحل شامل کالیبراسیون رادیومتریک برای تبدیل داده‌های رقومی (DN) به درخشندگی طیفی و دمای

روشنایی، و نیز اصلاحات هندسی به منظور افزایش همراستایی مکانی تصاویر با نقشه‌های پایه می‌باشد. جزئیات کامل مربوط به تاریخ، سنجنده، موقعیت و سیستم مختصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر و سنجنده

ماهواره	سنجنده	گذر/ردیف	تاریخ تصویر	سیستم مختصاتی
لندست ۵	TM	۱۶۶/۳۴	1368-02-14	WGS 1984/UTM Zone 39N
لندست ۸	TIRS/OLI	۱۶۶/۳۴	1402-02-15	WGS 1984/UTM Zone 39N

منبع: سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (<https://landsat.usgs.gov/>) (USGS Landsat data archive)

روش‌شناسی پژوهش

برآورد دمای سطح زمین

رادیانس طیفی: برای محاسبه دمای سطح زمین، ابتدا مقادیر رقومی هر پیکسل به رادیانس طیفی تبدیل شدند. این مقادیر با استفاده از ضریب کالیبراسیون تابش و اطلاعات موجود در فایل MTL هر تصویر محاسبه شدند. برای تصویر لندست ۵، از باند حرارتی ۶ و رابطه ۱ و برای تصویر لندست ۸، از باند حرارتی ۱۰ و رابطه ۲ استفاده شد (USGS Landsat Handbook, 2023).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) \times (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) + L_{\min} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، L_{λ} : رادیانس طیفی بر حسب $(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$ ، Q_{cal} : عدد رقومی هر پیکسل، $L_{\max}$: نمایانگر مقدار حداکثر رادیانس طیفی باند حرارتی سنجنده و معادل $15/30.3$ $(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$ و $L_{\min}$: نشان‌دهنده مقدار حداقل رادیانس باند حرارتی سنجنده و معادل $1/238$ $(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$ است. Q_{calmax} و Q_{calmin} نیز به ترتیب بزرگترین و کوچکترین عدد رقومی باند حرارتی هستند.

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{\text{cal}} + A_L \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲، L_{λ} : رادیانس طیفی بر حسب $(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$ ، M_L : ضریب کالیبراسیون تابش باند ۱۰، Q_{cal} : ارزش عددی هر باند و A_L : ضریب تجمعی هستند.

دمای درخشندگی: مرحله بعد شامل تبدیل رادیانس طیفی به دمای درخشندگی می‌باشد. دمای درخشندگی میزان گسیل انرژی از سطح زمین نسبت به یک جسم سیاه فرضی را نشان می‌دهد (Cristóbal, 2018). این فرآیند با فرض اینکه زمین جسم سیاه است و در نظر گرفتن تأثیرات جو و انرژی انعکاسی با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه فوق، T : میزان دمای درخشندگی ثبت شده در سطح سنجنده بر حسب کلون، K_1 و K_2 : ضریب کالیبراسیون ثابت اول و دوم بر حسب کلون و L_{λ} : رادیانس طیفی پیکسل مورد نظر می‌باشد. مقادیر ضریب کالیبراسیون باندهای حرارتی ۵ و ۸ از فایل متادیتای تصاویر لندست استخراج شدند (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر ضریب کالیبراسیون باندهای حرارتی

مقادیر	لندست ۵	لندست ۸
K_1	۶۰۷/۷۶	۷۷۴/۸۹
K_2	۱۲۶۰/۵۶	۱۳۲۱/۰۸

منبع: فایل MTL تصاویر لندست از (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) (USGS Earth Explorer)

شاخص پوشش گیاهی: در مرحله بعد برای محاسبه دمای سطح زمین، لازم است شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ محاسبه شود. این شاخص برای کاهش تأثیر عوامل ناخواسته مانند توپوگرافی و بازتاب سطوح سنگی و خاک‌های بدون پوشش استفاده می‌شود و از ترکیب دو باند طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آید (Lenney et al., 1996). NDVI

با استفاده از رابطه ۴ و میزان جذب انرژی در طیف قرمز و بازتاب انرژی در مادون قرمز محاسبه می‌شود. در لندست ۵، باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز به ترتیب باندهای ۴ و ۳، و در لندست ۸ باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز به ترتیب باندهای ۵ و ۴ می‌باشند.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{رابطه ۴}$$

تصحیح توان تشعشعی: توان تشعشعی بر دقت اندازه‌گیری دمای سطحی و کیفیت اطلاعات به‌دست‌آمده از داده‌های مادون قرمز حرارتی تأثیر می‌گذارد (Jimenez-Munoz et al., 2014). توان تشعشعی بستگی به ویژگی‌ها و خصوصیات سطح زمین دارد و دامنه آن بین ۰ تا ۱ است (Rafiqi et al., 2022). در مطالعه حاضر، از روش آستانه NDVI برای تصحیح توان تشعشعی استفاده شد. براساس این روش، توان تشعشعی به سه دسته تقسیم می‌شوند: مقادیر NDVI کمتر از ۰/۲ برای خاک لخت (ϵ_{soil}) (0.97)، مقادیر بیشتر از ۰/۵ برای پوشش گیاهی فراوان ($\epsilon_{vegetation} = 0.99$) و مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/۵ به‌عنوان ترکیبی (ϵ_{mix}) که از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود (Sobrino et al., 2004).

$$\epsilon_{mix} = \epsilon_{vegetation} \times P_v + \epsilon_{soil} \times (1 - P_v) \quad \text{رابطه ۵}$$

همچنین، نسبت شاخص پوشش گیاهی (P_v) با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Vanhellemont, 2020).

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad \text{رابطه ۶}$$

دمای سطح زمین: برای محاسبه دمای سطح زمین (LST) در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ از الگوریتم دو باندی و رابطه ۷ استفاده شد که در آن، (LST) دمای سطح زمین به کلوین، (T) دمای درخشندگی، (λ) طول موج رادیانس ساطع شده ($\mu m 11/435$) برای لندست ۵ و $\mu m 10/9$ برای باند ۱۰ از لندست ۸، (ρ) مقدار ثابت ($10^{-2} m K \times 1/438$) و (ϵ) توان تشعشعی است (Weng et al., 2014; USGS, 2023).

$$LST = \frac{T}{1 + \left(\lambda \times \frac{T}{\rho} \right) \ln \epsilon} \quad \text{رابطه ۷}$$

تهیه نقشه کاربری اراضی: برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، ابتدا باید تصاویر ماهواره‌ای بارزسازی شوند که این فرآیند به افزایش دقت و وضوح تصاویر کمک می‌کند (Khazaei, 2014). بارزسازی تصاویر شامل ترکیب باندهای مختلف طیفی به روش‌های مختلف مانند ترکیب رنگ واقعی و کاذب است. ترکیب رنگ کاذب برای شبیه‌سازی بهتر ویژگی‌های سطح زمین از جمله پوشش گیاهی و آب استفاده می‌شود (Alavipanah, 2006). سپس تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شدند تا اطلاعات مفیدی استخراج شود. این طبقه‌بندی می‌تواند به دو روش نظارت شده یا نظارت نشده انجام شود. روش نظارت شده شامل استفاده از اطلاعات اولیه و الگوریتم‌های خاص مانند الگوریتم حداکثر احتمال است که دقت بالایی دارد (Jensen, 2005). در این مقاله، برای تولید نقشه کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI 5.6 استفاده شده است (Eastman, 1999; Harris Geospatial Solutions, 2023). تصاویر سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ به چهار کلاس کاربری مختلف طبقه‌بندی شده و مساحت هر کدام محاسبه شده است. جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی، از روش ماتریس خطا استفاده شد. به این منظور، نمونه‌های تصادفی مستقل از کلاس‌های مختلف استخراج شد و با داده‌های مرجع (نقشه‌های پایه، تصاویر گوگل ارث، و برداشت‌های میدانی) مقایسه شدند. شاخص‌های استاندارد مانند دقت کلی، ضریب کاپا و دقت کاربر و تولیدکننده برای تحلیل صحت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. در هر دو سال، میزان دقت کلی بالاتر از ۸۵٪ و ضریب کاپا بالاتر از ۸۰٪ به‌دست آمد که نشان‌دهنده کیفیت مناسب طبقه‌بندی و قابلیت اعتماد نقشه‌های تولید شده است.

یافته‌های پژوهش

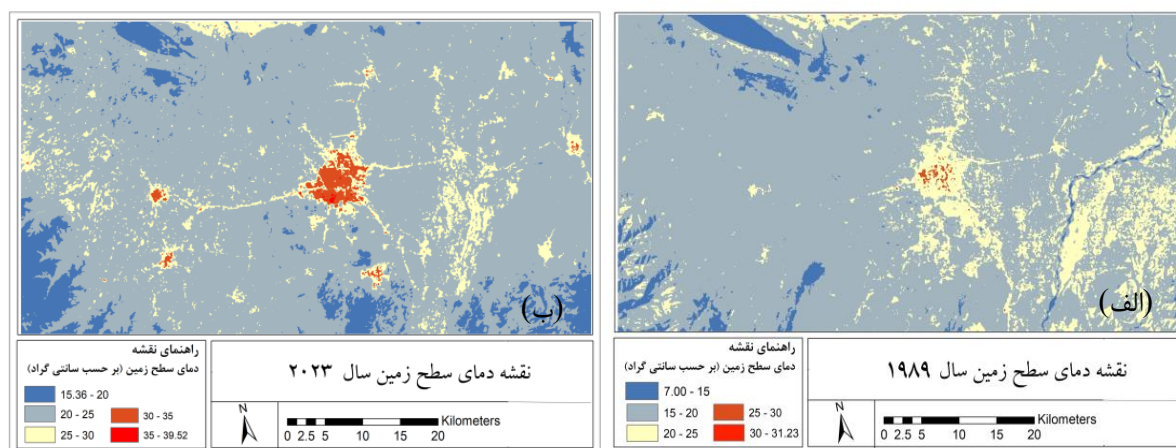
دمای سطح زمین

در نقشه‌های شکل ۲ و جدول ۳ دمای سطح زمین (LST) در سال‌های ۲۰۲۳ و ۱۹۸۹ ارائه شده است. میانگین دمای سطح زمین در سال ۱۹۸۹ در محدوده مطالعاتی ۱۸/۴۸ درجه سانتی‌گراد بوده است و در سال ۲۰۲۳ به میزان ۲۳/۱۳ درجه سانتی‌گراد است.

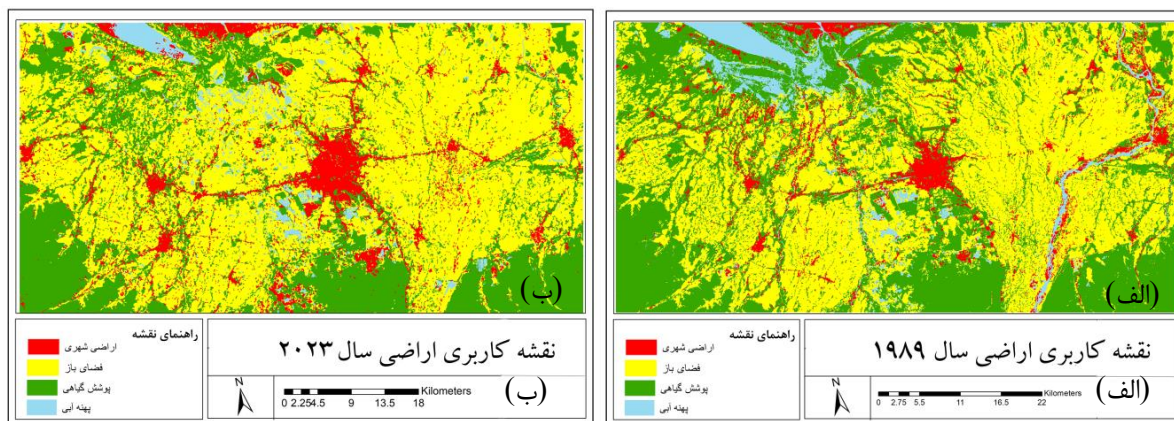
جدول ۳- مقادیر آمار توصیفی دمای سطح زمین در سال ۲۰۲۳ و سال ۱۹۸۹

سال	میانگین (°C)	حداکثر (°C)	حداقل (°C)	انحراف معیار (°C)
۱۹۸۹	۱۸/۴۸	۳۱/۲۴	۷/۰۰	۱/۷۰
۲۰۲۳	۲۳/۱۳	۳۹/۵۲	۱۵/۳۶	۲/۱۰

طبقه‌بندی کاربری اراضی: به منظور آموزش الگوریتم طبقه‌بندی و ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی، نمونه‌های زمینی با استفاده از ترکیبی از بازدید میدانی، تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های Google Earth، و منابع نقشه‌ای موجود استخراج شدند. برای سال ۲۰۲۳، عملیات نمونه‌برداری میدانی در ماه‌های همان سال انجام گرفت. برای سال ۱۹۸۹، با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های میدانی، از تفسیر دقیق تصاویر تاریخی و منابع مرجع موجود استفاده شد. در مجموع، برای هر سال تعداد ۲۵۰ نقطه نمونه استخراج گردید. به منظور آموزش الگوریتم و ارزیابی دقت طبقه‌بندی، نمونه‌های زمینی با ترکیبی از بازدید میدانی، تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های موجود تهیه گردید. در مجموع برای هر سال (۱۹۸۹ و ۲۰۲۳) تعداد ۲۵۰ نقطه نمونه استخراج شد، که به صورت تصادفی به دو گروه آموزش (۷۰٪ معادل ۱۷۵ نمونه) و ارزیابی (۳۰٪ معادل ۷۵ نمونه) تقسیم شدند. این نمونه‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده و با نسبت ۷۰ درصد برای آموزش (۱۷۵ نقطه) و ۳۰ درصد برای ارزیابی (۷۵ نقطه) بین دو گروه تقسیم شدند. انتخاب نقاط با رعایت پوشش مناسب از تمام کلاس‌های کاربری (شامل اراضی شهری، پوشش گیاهی، فضای باز، و پهنه‌های آبی) انجام شد تا دقت و تعمیم‌پذیری نتایج افزایش یابد. براساس نتایج ضریب کاپا در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳، به ترتیب، ۰/۸۶ و ۰/۸۴ و صحت کلی، به همان ترتیب، ۸۵/۶۰ درصد و ۸۷/۲۰ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالا و اعتبار مناسب طبقه‌بندی هستند. در نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۳ در محدوده مورد مطالعه، فضای باز با مساحتی برابر با ۱۶۵/۸۶ هکتار (۵۶/۱۱٪) بیشترین مساحت را داشت. پس از آن، پوشش گیاهی شامل جنگل‌ها، مراتع و زمین‌های کشاورزی با ۸۶/۴۷ هکتار (۲۵/۲۵٪) و اراضی شهری (ساخت و ساز) با مساحتی برابر با ۳۴/۳۴ هکتار (۱۱/۶۲٪) قرار دارند. پهنه‌های آبی نیز با مساحتی برابر با ۸/۹۱ هکتار (۳/۰۲٪) کمترین مساحت را شامل می‌شوند (جدول ۴). در سال ۱۹۸۹، فضای باز با مساحتی برابر با ۱۴۹/۳۲ هکتار (۵۰/۵۱٪) بیشترین مساحت را داشت، پس از آن پوشش گیاهی با ۱۱۱/۴۴ هکتار (۳۷/۷۰٪) و اراضی شهری با ۲۰/۰۲ هکتار (۶/۷۷٪) قرار داشتند. پهنه‌های آبی در این سال با مساحتی برابر با ۱۴/۸۲ هکتار (۵/۰۱٪) کمترین مساحت را داشتند (شکل ۳).



شکل ۲- (الف) نقشه دمای سطح زمین در سال ۲۰۲۳، (ب) نقشه دمای سطح زمین در سال ۱۹۸۹



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۳ (الف)، نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۹ (ب)

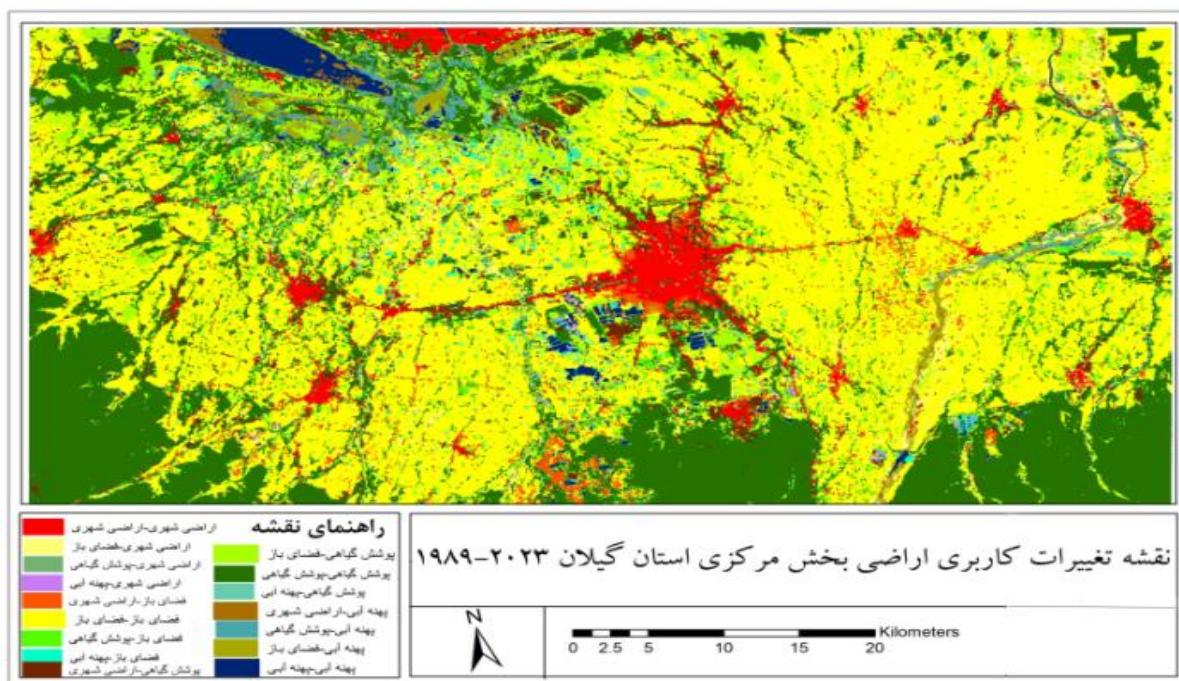
جدول ۴. تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳

کاربری اراضی	مساحت ۱۹۸۹ (هکتار)	مساحت ۱۹۸۹ (%)	مساحت ۲۰۲۳ (هکتار)	مساحت ۲۰۲۳ (%)	تغییرات (هکتار)	تغییرات نسبی (%)
اراضی شهری	۲۰/۰۲	۶/۷۷	۳۴/۳۴	۱۱/۶۲	+۱۴/۳۲	+۴/۸۵
پوشش گیاهی	۱۱۱/۴۴	۳۷/۷۰	۸۶/۴۷	۲۹/۲۵	-۲۴/۹۷	-۸/۴۵
فضای باز	۱۴۹/۳۲	۵۰/۵۱	۵۱۶/۸۶	۵۶/۱۱	+۱۶/۵۴	+۵/۶۰
پهنه آبی	۱۴/۸۲	۵/۰۱	۸/۹۱	۳/۰۲	-۵/۹۱	-۲/۰۰

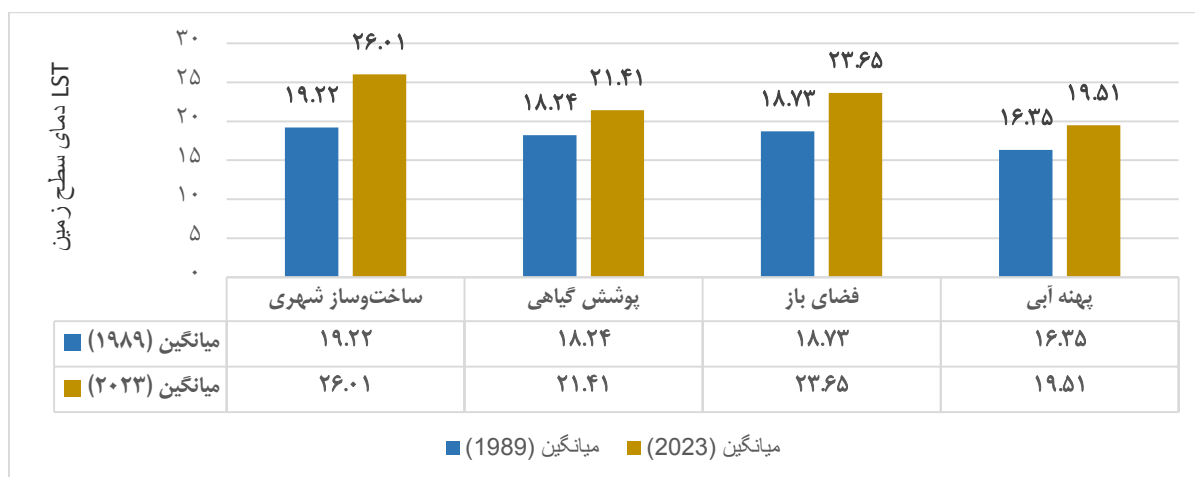
تحلیل تغییرات کاربری اراضی: در نقشه تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ هریک از سال‌ها شامل ۴ نوع کاربری (اراضی شهری، فضای باز، پوشش گیاهی، پهنه آبی) است که مقایسه تبدیل انواع مختلف آنها به ایجاد ۱۶ طبقه نهایی منجر می‌شود (شکل ۵). روند تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات مربوط به پوشش گیاهی است که بخش عمده‌ای از آن در سال ۱۹۸۹ به فضای باز در سال ۲۰۲۳ تبدیل شده است (شکل ۴). حدود ۳۱/۶۸ هکتار از پوشش گیاهی به فضای باز و ۱۱/۲۰ هکتار به اراضی شهری در سال ۲۰۲۳ تبدیل شده است. همچنین، ۶۷/۲۱ هکتار از پوشش گیاهی همچنان در همان کاربری باقیمانده است. فضای باز نیز بخش عمده‌ای از مساحت خود را حفظ کرده است، به طوری که ۱۲۵/۲۲ هکتار از آن تغییر نکرده است، در حالی که ۱۲/۰۷ هکتار به پوشش گیاهی و ۱۱/۱۹ هکتار به اراضی شهری تبدیل شده است. اراضی شهری از ۲۰/۰۲ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۳۴/۳۴ هکتار در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است که نشان‌دهنده گسترش شایان توجه ساخت‌وسازها و گسترش شهری است. همچنین، پوشش گیاهی از ۱۱۱/۴۴ هکتار به ۸۶/۴۷ هکتار کاهش یافته است. فضای باز از ۱۴۹/۳۲ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۵۱۶/۸۶ هکتار در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است و پهنه‌های آبی از ۱۴/۸۲ هکتار به ۸/۹۱ هکتار کاهش یافته است که نشان‌دهنده از دست رفتن تالاب‌ها و عرصه‌های آبی مانند رودخانه‌ها و آبگیرها است.

تحلیل ارتباط دمای سطح زمین و کاربری اراضی: در سال ۲۰۲۳، کاربری پوشش گیاهی با حداقل دما $15/36^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر دما $31/19^{\circ}\text{C}$ و میانگین دما $21/41^{\circ}\text{C}$ ، از کل مساحت کاربری‌ها را به خود اختصاص داده است (شکل ۶). کاربری پهنه آبی با دمای حداقل $17/41^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر $28/02^{\circ}\text{C}$ و میانگین $19/51^{\circ}\text{C}$ ، کمترین مساحت ($3/10\%$) را دارد. کاربری فضای باز با مساحت $56/11\%$ بیشترین سهم را دارد و دمای حداقل $17/6^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر $32/55^{\circ}\text{C}$ و میانگین $23/65^{\circ}\text{C}$ را نشان می‌دهد. کاربری اراضی شهری با دمای حداقل $18/50^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر $39/52^{\circ}\text{C}$ و میانگین $26/01^{\circ}\text{C}$ ، بیشترین مقادیر دمایی را دارد و $11/61\%$ از مساحت را شامل می‌شود. در سال ۱۹۸۹، کاربری پوشش گیاهی با دمای حداقل $7/00^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر $27/34^{\circ}\text{C}$ و میانگین $18/24^{\circ}\text{C}$ ، از کل مساحت را شامل می‌شد. کاربری پهنه آبی با دمای حداقل $9/44^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر $26/25^{\circ}\text{C}$ و میانگین $16/35^{\circ}\text{C}$ ، $5/01\%$ از مساحت را داشت. کاربری فضای باز با دمای حداقل $8/98^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر $27/97^{\circ}\text{C}$ و میانگین $18/73^{\circ}\text{C}$ ، $50/56\%$ از مساحت را پوشش می‌داد. همچنین، کاربری اراضی شهری با دمای حداقل $10/47^{\circ}\text{C}$ ، حداکثر $31/23^{\circ}\text{C}$ و میانگین $19/22^{\circ}\text{C}$ ، $6/77\%$ از مساحت را شامل می‌شود. در این سال، کاربری اراضی شهری و ساخت‌وساز بیشترین دما را داشت، اما مساحت آن کمتر از سال ۲۰۲۳ بود.

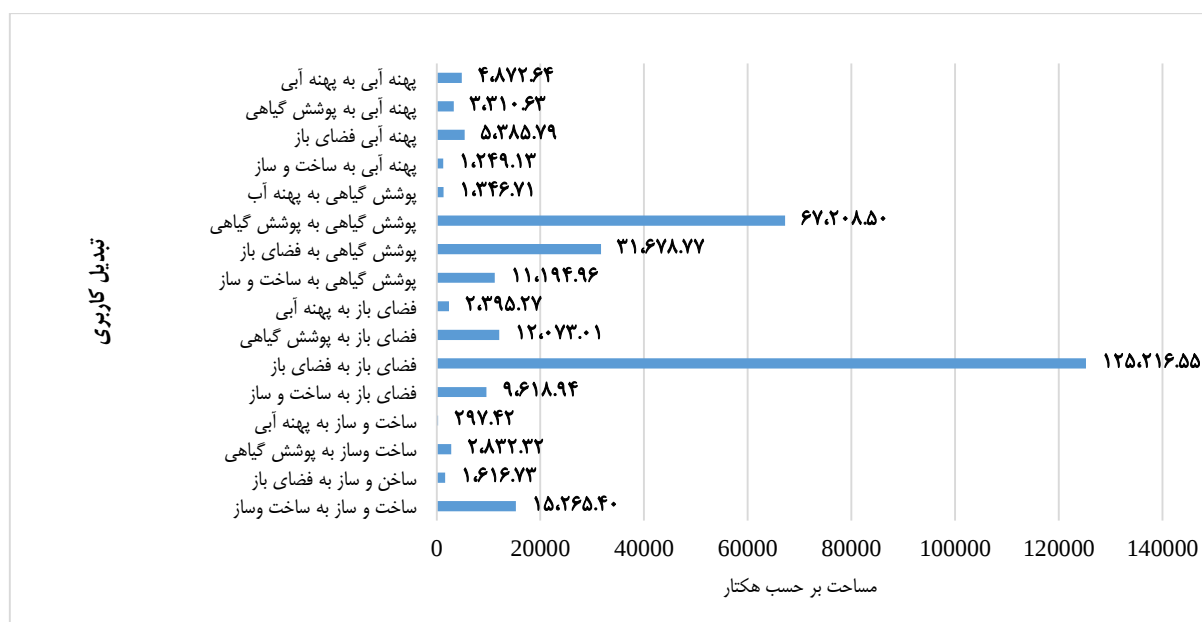
براساس یافته‌ها، میانگین دمای کاربری‌های مختلف بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ تغییرات شایان توجهی داشته است. در کاربری اراضی شهری و ساخت و ساز، میانگین دما از $19/22^{\circ}\text{C}$ در سال ۱۹۸۹ به $26/01^{\circ}\text{C}$ در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است که معادل $6/79^{\circ}\text{C}$ افزایش است. در کاربری پوشش گیاهی، میانگین دما از $18/24^{\circ}\text{C}$ به $21/41^{\circ}\text{C}$ تغییر کرده است که نشان‌دهنده افزایش $3/17^{\circ}\text{C}$ است. در فضای باز نیز میانگین دما از $18/73^{\circ}\text{C}$ به $23/65^{\circ}\text{C}$ رسیده است و افزایش $4/92^{\circ}\text{C}$ را نشان می‌دهد. همچنین، در پهنه آبی، میانگین دما از $16/35^{\circ}\text{C}$ به $19/51^{\circ}\text{C}$ تغییر یافته است و $3/16^{\circ}\text{C}$ افزایش داشته است.



شکل ۴- نقشه تغییرات کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳



شکل ۵- نمودار تغییرات میانگین دمای کاربری‌ها طی سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳



شکل ۶- نمودار روند تغییرات نوع کاربری ها طی سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ (هکتار)

بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی در مرکز استان گیلان طی بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳ تأثیر معنی‌داری بر دمای سطح زمین داشته است. میانگین کلی دمای سطح زمین در این بازه، از ۱۸/۴۷ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۸۹ به ۲۳/۱۳ درجه در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. این روند افزایشی دما در کلیه کلاس‌های کاربری مشهود است و بازتابی از تغییرات اکولوژیک-انسانی و بیانگر دگرگونی ساختار فضایی-محیط‌زیستی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

اراضی شهری بالاترین دمای سطح را در هر دو سال مورد مطالعه داشته‌اند به‌طوری‌که دمای آنها از ۲۲/۱۹ درجه در سال ۱۹۸۹ به ۲۶/۰۱ درجه در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. در مقابل، پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی همواره خنک‌ترین کاربری‌ها بوده‌اند. بیشینه اختلاف دما میان اراضی شهری و پوشش‌های طبیعی در سال ۲۰۲۳ به حدود ۶/۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است. این یافته‌ها با مطالعاتی مشابه قبلی (Nega and Balew, 2022; Weng et al., 2024) همراستا هستند که نقش توسعه شهرنشینی و گسترش سطوح نفوذناپذیر را در تشدید پدیده جزیره حرارتی شهری تأیید کرده‌اند. از مهم‌ترین دلایل این افزایش دما در مناطق شهری می‌توان به جایگزینی پوشش‌های سبز با سطوح غیرقابل نفوذ (مانند آسفالت و بتن)، کاهش تبخیر و تعرق و افزایش ظرفیت جذب تابش خورشیدی اشاره کرد. علاوه بر این، کاهش پوشش گیاهی از ۳۷/۷۰٪ به ۲۹/۲۵٪ همراه با افزایش دمای میانگین آن از ۱۸/۲۴ به ۲۱/۴۱ درجه، مؤید افت کارکردهای زیست‌اقلیمی گیاهان و مشابه نتایج مطالعه Effati و همکاران (۲۰۲۱) است که به نقش کلیدی پوشش گیاهی در تنظیم دمای سطح اشاره دارد.

افزایش فضای باز نیز از ۵۰/۵۱٪ به ۵۶/۱۱٪ عمدتاً ناشی از تخریب پوشش‌های جنگلی، چرای بی‌رویه دام و آماده‌سازی زمین برای ساخت‌وساز بوده است که به دلیل فقدان پوشش سایه‌انداز و تابش‌پذیری بیشتر، دمای بیشتری نیز ثبت شده است. کاهش تالاب‌ها و پهنه‌های آبی به دلیل برداشت بیش از حد منابع آب برای مصارف کشاورزی، شهری و صنایع موجب کاهش مناطق خنک‌کننده طبیعی شده که با پژوهش Kayseri و Ekmekcioglu (۲۰۲۴) همخوانی دارد. تحلیل واریانس دمای سطح زمین در دو مقطع زمانی (از سال ۱۹۸۹ نسبت به ۲۰۲۳) حاکی از افزایش حساسیت حرارتی در کاربری اراضی است. به بیان دیگر، مناطق شهری به‌طور فزاینده‌ای گرم‌پذیرتر شده‌اند و این امر در شرایط تغییر اقلیم جهانی، موجب تشدید ریسک‌های محیط‌زیستی و سلامت انسانی خواهد شد (Teimouri & Karbasi, 2024). این تغییرات نه تنها در جهت تخریب اکولوژیک، بلکه در راستای تشدید آسیب‌پذیری منطقه در برابر تغییرات اقلیمی ارزیابی می‌شود و منجر به تشدید گرمایش سطح زمین شده است. این امر در شرایط تشدید تغییر اقلیم، اهمیت برنامه‌ریزی محیطی، افزایش پوشش گیاهی، و مدیریت پایدار منابع طبیعی را دوچندان می‌سازد (Voogt and Oke, 2003).

جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی در پهنه‌های مرکزی استان گیلان تأثیر مستقیم و شایان توجهی بر دمای سطح زمین داشته است. افزایش اراضی شهری و فضای باز و کاهش پوشش گیاهی و پهنه آبی باعث افزایش دما شده‌اند. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعاتی مانند Li و همکاران (۲۰۲۰) و Estoque و همکاران (۲۰۱۷) همسو است که نشان می‌دهند تبدیل اراضی طبیعی به سطوح نفوذناپذیر انسان‌ساخته (مانند آسفالت و بتن) به دلیل ظرفیت گرمایی ویژه پایین و افزایش انتشار گرمای محسوس، دمای سطح زمین را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. همچنین، کاهش پوشش گیاهی با کاهش سایه‌اندازی و تبخیر-تعرق، مکانیسم اصلی در تشدید گرمایش است (Grimm et al., 2008). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های Sharma و همکاران (۲۰۱۶) نیز قابل مقایسه است که در مناطق کوهستانی هند نشان دادند تغییرات کاربری در کنار عوامل توپوگرافیک (مانند ارتفاع) می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر دمای سطح داشته باشد. این موضوع در استان گیلان با اقلیم مرطوب و ناهمواری‌های متعدد نیز اهمیت دوچندان می‌یابد.

این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی، به‌ویژه گسترش شهرنشینی و کاهش پوشش‌های طبیعی، به‌طور مستقیم بر افزایش دمای سطح زمین و اقلیم محلی تأثیرگذار است. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان چارچوبی عملی و کاربردی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در جهت مطالعات اقلیمی، سیاست‌های محیط‌زیستی و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی محلی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، توجه به آمایش سرزمین و سازماندهی کاربری‌ها ضرورتی انکارناپذیر برای پایداری محیط‌زیست است. براساس یافته‌های حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌شود که اقدامات زیر لحاظ شود:

- افزایش سرانه فضای سبز شهری به‌وسیله درختکاری و توسعه پارک‌ها به‌منظور کاهش دمای سطح زمین.
- حفظ اراضی سبز و باغات و پارک‌های جنگلی در اطراف شهر برای تعدیل دمای سطح زمین.
- جلوگیری از تغییر کاربری پوشش گیاهی اطراف شهرها و نظارت دقیق بر ساخت‌وساز در حاشیه‌ها.
- حفظ فضاهای آبی و تلفیق آنها با محیط مصنوعی شهری و احیای رودخانه‌های شهری برای تعادل حرارتی.
- استفاده از مواد و طراحی‌های نفوذپذیر برای سطوح شهری (بام سبز و پوشش ساختمانی روشن) به‌منظور کاهش جذب تابش خورشید و نماهای بازتاب‌دهنده نور.

با توجه به محدودیت داده‌ها در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از داده‌های سری زمانی گسترده‌تر و نمونه‌برداری میدانی استفاده شود تا امکان انجام آزمون‌های آماری و تحلیل‌های معنی‌داری ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین فراهم گردد.

باید ذکر گردد که در این تحقیق ملاحظات و محدودیت‌ها را نیز باید در نظر گرفت تا درک درست‌تری به‌لحاظ روش‌شناختی علمی و معرفت‌شناسی حاصل گردد. در زمینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره ای اگرچه مقدار ضریب کاپا ($\approx 0/85$) نشان‌دهنده دقت قابل قبول است، اما خطاهای طبقه‌بندی می‌توانند در برآورد مساحت کاربری‌ها تأثیرگذار باشند. تأثیر عوامل خارجی در تحقیق مانند تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و تأثیرات شهرک‌های صنعتی می‌توانند به‌عنوان متغیرهای مخدوش‌گر بر نتایج دما تأثیر بگذارند و در تحلیل‌های آینده نیاز به کنترل دقیق‌تری دارند.

سپاسگزاری

از توصیه‌های ارزشمند دکتر علوی‌پناه، دکتر یآوری و دکتر یگانه که نظرات و مشورت‌های کلیدی در این مطالعه ارائه کردند سپاسگزاری به‌عمل می‌آید. از مهندس زادنعمت و مهندس طالبی که در تهیه دستنویس اولیه این کار کمک کردند تشکر می‌شود.

References

- Ahmadi, H., Gharagozlou, A., Karimi, M., 2022. Assessing the impact of urban land use changes on land surface temperature in Tehran using Landsat imagery and GIS techniques. *Sustainable Cities and Society* 77, 103571.
- AlaviPanah, S.K., 2006. Thermal remote sensing and its applications in earth sciences. Tehran University Publications, First Edition. (In Persian)

- Asgarian, S., Yavari, A., 2018. Urbanization effects on climatic features of coastal areas in northern Iran: A case study of the city of Rasht. *Geographical Research* 70(4), 565-579. (In Persian)
- Asghari Saraskanroud, S., Emami, H., 2019. Monitoring land surface temperature and examining the relationship between land use and surface temperature using OLI and ETM+ imagery: Case study of Ardabil County. *Applied Research in Geographic Sciences (Geographic Sciences)* 19(53), 195-215. (In Persian)
- Chakraborty, T., Hsu, A., Manya, D., Sheriff, G., 2022. Disproportionately higher exposure to urban heat in lower-income neighborhoods: A multi-country perspective. *Nature Communications* 13, 2161.
- Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J. C., Prakash, A., Mattar, C., Skoković, D., Sobrino, J.A., 2018. An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the Landsat-8 thermal band. *Remote Sensing* 10(3), 431.
- Divsalar, N., Hashemi, S. M., Karbalay Saleh, S., 2022. Assessment of Land Surface Temperature Trend and Its Spatial Correlation with Landscape Structural Elements in Rasht Watershed, Guilan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 11(3), 47-59.
- Doostaki, M., Kamali, A., Baghri Badagh Abadi, M., Shirani, H., Shakiba, A., Shekofteh, H., 2022. Evaluating the spatial pattern of land surface temperature with emphasis on land use changes (Case study: Jiroft County). *Sustainable Geographical Development* 4(7), 86-99. (In Persian)
- Eastman, J.R. 1999. Idrisi, A guid to GIS and Image processing. Vol 1, Clark University.
- Effati, S., Malekian, A., Zare, M., 2021. Assessing the impact of land use changes on surface temperature using remote sensing in arid regions. *Environmental Monitoring and Assessment* 193(6), 371.
- Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F.-M., Trigo, I. F., 2020. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sensing* 12(9), 1471.
- Estoque, R.C., Murayama, Y., Myint, S.W., 2017. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of The Total Environment* 577, 349-359.
- Gholizadeh, M., & Ahmadzadeh, A., 2021. The impact of urbanization on the urban heat island effect: A study in the context of Gilan Province, Iran. *Sustainable Cities and Society* 64, 102567.
- Gilan Planning and Budget Organization, 2022. Socio-economic report of Gilan province. Retrieved from <https://gilan.ir>. (In Persian)
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., Briggs, J.M., 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319(5864), 756-760.
- Halder, S., Sannigrahi, S., Pilla, F., 2021. Urban heat island intensity mapping and its spatial correlation with land use/land cover changes in Kolkata. *Sustainable Cities and Society* 64, 102561.
- Harris Geospatial Solutions, 2023. ENVI Landsat LST Calibration Tools [Software]. Harris Geospatial Solutions. Retrieved from <https://www.l3harrisgeospatial.com>.
- Hashemi, S.M., AlaviPanah, S.K., Dinarvandi, M., 2013. Evaluating the spatial distribution of land surface temperature in urban environments using thermal remote sensing. *Environmental Studies* 39 (1), 81-92. (In Persian)
- Javan, K., Mehran, S., 2024. Monitoring land surface temperature using the disjoint window method in Tabriz County and its effect on land use changes. *Geography and Human Relations* 7(1), 186-204. (In Persian)
- Jensen, J.R., 2005. *Introductory Digital Image Processin: A Remote Sensing Perspective*. Pearson Prentice Hall.
- Jimenez-Munoz, J.C., Sobrino, J.A., Skoković, D., Mattar, C., Cristobal, J., 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters* 11(10), 1840-1843.
- Kayseri, Ö., Ekmekcioglu, Ö., 2024. Evaluation of land surface temperature changes caused by urban expansion using multi-temporal satellite imagery. *Urban Climate* 50, 101749.
- Khazaei, M., 2014. Investigating the effect of land use change due to urban expansion on air temperature using satellite images (Case study: Yazd city). Master's thesis, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University. (In Persian)

- Lenney, M.P., Woodcock, C.E., Collins, J.B., Hamdi, H., 1996. The status of agricultural lands in Egypt the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. *Remote Sensing of Environment*, 56(1), 8-20.
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Imhoff, M., Li, X., 2020. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment* 706, 135694.
- Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., Li, W., 2019. Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. *Energy* 174, 407-419.
- Magli, S., Lodi, C., Lombroso, L., Muscio, A., Teggi, S., 2015. Analysis of the urban heat island effects on building energy consumption. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 6, 91-99.
- Nega, M., Balew, S., 2022. Monitoring of urban heat island effect using remote sensing and GIS in Addis Ababa city, Ethiopia. *Environmental Challenges* 8, 100537.
- Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G., 2015. Planning for cooler cities: A framework to prioritize green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 134, 127-138.
- Pal, S., Ziaul, S., 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 20(1), 125-145.
- Pandey, A., Mondal, A., Guha, S., Upadhyay, P.K., Singh, D., 2024. Land use status and its impact on land surface temperature in Imphal city, India. *Geology, Ecology, and Landscapes* 8(3), 261-275.
- Peng, J., Liu, Y., Liu, Y., Wang, Y., Wang, J., 2022. Spatiotemporal pattern of urban heat island intensity and its driving factors in global megacities. *Remote Sensing of Environment* 269, 112793.
- Rafieian, M., Javanmardi, M., Ahmadi, H., 2023. Socio-economic disparities and heat vulnerability in Iranian urban areas: Integrating remote sensing and demographic data. *Urban Climate* 45, 101273.
- Rafiqi, M.R., Akbari, M., Fakharinia, M.H., Vahedinia, M.H., 2022. Comparative analysis of the impact of coniferous and broadleaf trees on land surface temperature changes (Case study: Shahid Chamran Park in Karaj and Chitgar Park in Tehran). *Geography and Planning* 26(82), 95-112. (In Persian)
- Santamouris, M., 2020. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings* 207, 109482.
- Seto, K.C., Güneralp, B., Hutyra, L.R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(40), 16083-16088.
- Sharma, R., Joshi, P.K., Kumar, M., 2016. Urban expansion and land surface temperature analysis using geospatial techniques: a case study of Delhi, India. *Environment Monitoring and Assessment* 188(8), 1-14.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote sensing of environment* 90(4), 434-440.
- Statistical Center of Iran, 2016. Statistical yearbook of Gilan province. Retrieved from <https://www.amar.org.ir>. (In Persian)
- Tabassum, A., Basak, R., Shao, W., Haque, M.M., Chowdhury, T.A., Dey, H., 2023. Exploring the relationship between land use land cover and land surface temperature: A case study in Bangladesh and the policy implications for the global South. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis* 7(2), 25.
- Teimouri, M., Karbasi, A., 2024. Urbanization effects on thermal environment in northern Iran: Insights from satellite-based monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 34, 101031.
- U.S. Geological Survey (USGS_b), 2023. Landsat 8-9 Data Users Handbook. Version 3.0. [Online Accessed: 19 May 2025]. Available: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-handbooks>.
- USGS_a (United States Geological Survey), 2023. Landsat Collection 2 Level-1 Data Products. U.S. Geological Survey. Retrieved from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-level-1-data-products>

- Vanhellemont, Q., 2020. Combined land surface emissivity and temperature estimation from Landsat 8 OLI and TIRS. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 166, 390-402.
- Voogt, J.A., Oke, T.R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86(3), 370-384.
- Wang, R., Murayama, Y., 2020. Geo-simulation of land use/cover scenarios and impacts on land surface temperature in Sapporo, Japan. *Sustainable Cities and Society* 63, 102432.
- Weng, Q., 2009. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64(4), 335-344.
- Weng, Q., Fu, P., Gao, F., 2014. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 145, 55-67.
- Weng, Q., Fu, P., Gao, F., 2021. Modeling and analyzing land surface temperature in 30 global megacities using nighttime light and vegetation index. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 172, 27-39.
- Weng, Q., Lu, D., Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment* 89(4), 467-483.
- Wu, J., 2010. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. *Landscape Ecology* 25, 1-4.
- Zargari, M., Mofidi, A., Entezari, A., Baaghideh, M., 2024. Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. *Scientific Reports* 14(1), 643.
- Zhang, Y., Wu, J., Liu, H., 2020. Machine learning for land surface temperature prediction: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 27(2), 1447-1460.
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R.B., Oleson, K., 2014. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature* 511(7508), 216-219.
- Zhou, D., Wang, Q., Cadenasso, M. L., 2017. Effects of changing land cover on urban heat islands: A review and future research directions. *Landscape and Urban Planning* 162, 27-38.
- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Sobrino, J.A., 2019. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing* 11(1), 48.
- Zohary, M., 1981. On the flora and vegetation of the Middle East: structure and evaluation. Published in "Phytogeography of Iran (a collection of papers on the application of phytogeography in the Conservation)", Compiled and translated in Farsi by H. Madjnoonian. 1999. Department of Environmental Conservation. Dayereye Sabz Press. Tehran, Iran. (In Persian)