



Analysis of the Impact of local Climate Zones on Environmental Thermal Loads of Tehran

Aliakbar Shamsipour¹ | Mahshid Keshavarz² | Roghayeh Ansari-Golenji³

1. Corresponding author, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: shamsipr@ut.ac.ir
2. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 04 Aug 2025
Received in revised form: 07 Oct 2025
Accepted: 10 Oct 2025
Available online: 21 Mar 2026

Keywords:

Local climate change,
Environmental thermal loads,
Air dynamic capacity,
Ecological corridors,
Iran.

Local Climate Zones (LCZs), shaped by the physical structure, spatial layout, and surface characteristics of cities, correspond to distinct thermal environments ranging from urban heat islands (UHIs) to localized cool pockets. In this study, four sets of Landsat 8 satellite images from 2022—representing all four seasons—were used to classify Tehran’s LCZs. A total of seventeen LCZ types were identified across Tehran and its surrounding suburbs. Among the urban LCZ classes, the open high-rise built-up zone (LCZ 10) occupied the largest proportion of the study area (10.88%). This was followed by compact mid-rise, sparsely built, open mid-rise, and industrial zones (LCZ 2, 7, 5, and 8). These classes were concentrated primarily in the central districts, where nighttime temperatures were highest, forming the core of Tehran’s UHI with temperatures ranging from 14 to 16°C. In contrast, natural LCZs located around the city exhibited significantly lower temperatures, forming cool pockets with averages between -1 and 3°C. Compact built-up zones—characterized by low sky view factor (SVF), high impervious surface ratios, limited natural ventilation, and strong solar radiation absorption—were identified as the main contributors to Tehran’s UHI. Conversely, water bodies, dense and scattered green spaces, and open areas with high air circulation functioned as effective cooling zones within the urban fabric. These findings provide valuable insights for urban climate researchers and planners, enhancing understanding of how urban form influences thermal patterns and offering guidance for strategies aimed at improving thermal comfort and mitigating UHI effects in rapidly growing cities.

Cite this article: Shamsipour, A. Keshavarz, M., & Ansari-Golenji, R. (2026). Analysis of the Impact of local Climate Zones on Environmental Thermal Loads of Tehran. *Geography and Environmental Sustainability*, 16(1), 95-117. <https://doi.org/10.22126/GES.2025.12557.2902>



© The Author (s).
DOI: <https://doi.org/10.22126/GES.2025.12557.2902>

Publisher: Razi University



تحلیل اثر زون‌های اقلیم محلی بر بار گرمای محیطی شهر تهران

علی‌اکبر شمسی‌پور^۱، مهشید کشاورز^۲، رقیه انصاری قولنجی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: shamsipr@ut.ac.ir

۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

زون‌های اقلیمی برآمده از مشخصات فیزیکی، چیدمان و پوشش سطحی شهرها با پهنه‌های دمایی مختلف از جزیره گرمای شهری تا چاله‌های سرمایی ارتباط دارند. در این مطالعه برای تعیین زون‌های اقلیم محلی تهران از تصاویر ماهواره لندست ۸ سال ۲۰۲۲ استفاده گردید. برای شهر و پیراشهر تهران، ۱۷ زون اقلیم محلی بدست آمد. در بین طبقات اقلیمی داخل شهر، زون ساختمانی باز و بلندمرتبه (LCZ10) با ۱۰/۸۸ درصد بیشترین گسترش را در کل محدوده داشت. بعد آن به ترتیب زون‌های مربوط به ساختمان‌های فشرده متوسط، حاشیه‌ای و ساختمان‌های باز متوسط و سیلوهای صنعتی (LCZ 2-7-5-8) بخصوص در مناطق مرکزی شهر غلبه دارند، جایی که با دمای شبانه بالا، محدوده جزیره گرمای شهری تهران (UHI) را با هسته دمایی ۱۶-۱۴ درجه سلسیوس مشخص می‌کند. هسته‌ها و لکه‌های خنک نیز در زون‌های اقلیمی پیرامون شهر با LCZهای طبیعی با دمای متوسط ۱ تا ۳ درجه سلسیوس به دست آمدند. زون‌های اقلیم محلی مربوط به ساختمان‌های فشرده به دلیل پایین بودن عامل دید آسمان (SVF) که تابش خورشیدی رسیده را حبس کرده، تهویه طبیعی بسیار ضعیفی دارند؛ همچنین با ضریب سطوح نفوذناپذیر و جذب انرژی خورشیدی بالا، مهمترین عامل شکل‌گیری جزیره گرمای شهری تهران هستند. در محدوده شهر سطوح آبی، فضاها سبز با درختان متراکم و پراکنده و فضاها باز که قابلیت جریان هوا بالاست، به عنوان زون‌های خنک شهری شناخته می‌شوند. این یافته‌ها به محققان و برنامه‌ریزان اقلیم شهری کمک می‌کند رابطه بین فرم شهری و UHI را بهتر درک کنند و این دانش را برای ایجاد آسایش حرارتی شهری به کار گیرند.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۸

دسترسی آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

تغییر اقلیم محلی،
بار گرمای محیطی،
قابلیت پویایی هوا،
گذرهای اکولوژیک،
ایران.

استناد: شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ کشاورز، مهشید؛ انصاری قولنجی، رقیه (۱۴۰۵). تحلیل اثر زون‌های اقلیم محلی بر بار گرمای محیطی شهر تهران.

جغرافیا و مباداری محیط، ۱۶(۱)، ۹۵-۱۱۷. <https://doi.org/10.22126/GES.2025.12557.2902>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

DOI: <https://doi.org/10.22126/GES.2025.12557.2902>



مقدمه

شهرنشینی در سال‌ها و دهه‌های گذشته منجر به تغییرات قابل توجهی در کاربری و پوشش زمین شده که بر اقلیم شهری، سلامت عمومی و همچنین مصرف انرژی تأثیر گذاشته است. ارتباط این تغییرات با تغییر اقلیم جهانی باعث ایجاد نگرانی‌هایی برای مسئولان شهری گردیده است؛ زیرا به‌مرور زمان این تغییرات بر موازنه انرژی سطحی، آلودگی هوا، شرایط متابولیسم شهری، مصرف انرژی ساختمان، سلامت عمومی و نرخ مرگ‌ومیر افراد (Lowe, 2016; Malys et al., 2012) تأثیر می‌گذارد. نخستین گام برای مطالعه اقلیم‌های محلی شهری و نشان دادن بهتر مفاهیم و عوامل تأثیرگذار، تعریف طبقات اقلیمی بر اساس تقسیم‌بندی اقلیم محلی شهر (Gousseff et al., 2023) مانند نقشه‌های اقلیم شهری (UCM) (کورکی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۲)، پاسخ‌های همگن اقلیمی (HCR) (کیا و همکاران، ۱۴۰۳) و زون‌های اقلیم محلی (LCZ) (Stewart & Oke, 2012؛ شمسی‌پور، ۱۴۰۳) هست.

استوارت و اوک (۲۰۱۲) طرح زون‌های اقلیم محلی (LCZ) را معرفی کردند (Stewart & Oke, 2012). این زون‌ها طبقات و زیر کلاس‌هایی را نشان می‌دهد که از نظر مقیاس، محلی و ماهیت اقلیمی با ویژگی منطقه‌ای هستند. چارچوب زون‌های اقلیم محلی به طور جامع تأثیر پارامترهای مورفولوژیکی و فعالیت‌های انسانی را بر محیط شهری و اکاوی می‌کند (Kotharkar et al., 2024). زون‌های اقلیم محلی به طور گسترده در تعیین اقلیم محلی، شناخت مشخصات پوشش زمین، برنامه‌ریزی شهری و بررسی آسایش حرارتی استفاده می‌شوند. زون اقلیم محلی یک مفهوم یکپارچه است که شامل ویژگی‌های جغرافیا، جامعه و اقتصاد است. در نتیجه، منطقی است که ویژگی‌های فعالیت‌های انسان و ارزش‌های عددی تصاویر را برای تفسیر دقیق آن‌ها در نظر بگیریم (Liang et al., 2023).

روش زون‌های اقلیم محلی دربردارنده نوع پوشش زمین است که ویژگی‌های فصلی سطوح را مشخص می‌کند؛ بنابراین، استفاده از مشاهدات فصلی ماهواره‌ای برای بهبود کامل برچسب‌گذاری آن‌ها مفید است. استفاده از مشاهدات فصلی ماهواره‌ای به طور گسترده در نقشه‌برداری پوشش زمین مورد بررسی قرار می‌گیرد (Li et al., 2018). ادبیات موجود نشان داده است که استفاده از ویژگی‌های فصلی متعدد می‌تواند به طور قابل توجهی دقت طبقه‌بندی را به‌ویژه برای گونه‌های درختی افزایش دهد. با این وجود تاکنون، تعداد کمی از مطالعات موجود از مشاهدات ماهواره‌ای فصلی برای نمونه‌برداری زون‌های اقلیم محلی استفاده کرده‌اند (Wang et al., 2023).

در چند دهه گذشته، شهر تهران، با رشد و توسعه شهری و شهرک‌های پیرامونی متعددی مواجه بوده که این مسئله، موجب تغییرات وسیعی در فرم و عملکرد شهری، شکل بافت شهری با بهره‌وری انرژی شهری تهران و نواحی پیرامون شده است. (المدرسی و همکاران، ۱۳۹۹). همین شرایط سبب می‌شود محققان و برنامه‌ریزان شهری برای شناخت دقیق‌تر وضعیت خرد اقلیم‌ها و محیط شهر از روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی مناسب فضاهای شهری بهره ببرند. در طبقه‌بندی‌های اقلیمی انجام شده برای شهرهای ایران و بخصوص تهران، کمتر به ساختار فیزیکی شهر و عوامل انسان‌ساخت مؤثر در شرایط محیطی و اقلیمی توجه شده است (سپاسی‌زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۲).

هدف از انجام این پژوهش، تعیین زون‌های اقلیم محلی تهران با تمرکز بر بار گرمای محیطی و جزیره گرمای شهری در رابطه با مشخصات فیزیکی و عملکرد شهری در مقیاس محلی است. با داشتن اطلاعات محیطی و اقلیمی از هر منطقه می‌توان نگرش و اطلاعات دقیق‌تری برای برنامه‌ریزی‌های شهری بیان نمود. اطلاعات مکانی به‌دست‌آمده از زون‌های اقلیم محلی می‌تواند پشتیبان تصمیمات سیاستی در مورد تاب‌آوری انرژی شهری و توسعه کم‌کربن برای شهرهای بزرگ و کوچک باشد (Meng et al., 2024; Yan et al., 2024).

محققان بسیاری در ایران و جهان شرایط اقلیمی طبقات مختلف کلان‌شهرها را مشاهده و مدل نموده‌اند که در ادامه به چند مورد از آن‌ها پرداخته می‌شود. در پژوهشی با هدف مقایسه کارایی الگوریتم زون اقلیم محلی در تفکیک مناطق ساخت‌وساز شده در قیاس با نمایه‌های ساخت‌وساز شده از الگوریتم زون‌های اقلیمی محلی استفاده شد. با توجه به محدودیت نداشتن تعداد باند در این روش، از چهار سری تصاویر ماهواره‌ای لندست متعلق به سال ۲۰۲۰ استفاده شد و صحت آن با

جدیدترین نمایه‌های ساخت‌وساز شده (BAEM^۱ و BAEI^۲، BLFEI^۳، DBI^۴) که به‌صورت خودکار طبقه‌بندی شده‌اند مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که صحت طبقه‌بندی ناشی از الگوریتم زون‌های اقلیم محلی ۹۶٪ است، در صورتی که نمایه‌های BAEM و BLFEI قادر به تفکیک کامل مناطق ساخت‌وساز شده از سایر انواع پوشش اراضی نیست و صحت کلی نمایه BAEI ۳۷٪ به دست آمد؛ بنابراین کارایی زون‌های اقلیم محلی بیشتر از نمایه‌های ساخت‌وساز است و در مورد مناطق خشک و نیمه‌خشک، توصیه می‌شود (ستاری و همکاران، ۱۴۰۲).

مطالعات فارسی و بومی در ایران نشان می‌دهد که «جزیره گرمایی شهری» (UHI) در کلان‌شهرها به‌ویژه تهران، هم به‌صورت روزانه و هم شبانه قابل مشاهده است و شدت آن با ساختار فیزیکی شهر و طبقات «اقلیم محلی» یا همان زون‌های اقلیم محلی ارتباط نظام‌مند دارد. یک فراتحلیل جامع بر ۲۱۳ مطالعه داخل کشور گزارش می‌کند که بیش از ۴۰ شهر ایران موضوع پژوهش جزیره گرمایی شهری بوده‌اند و تهران پرتکرارترین مطالعه را به خود اختصاص داده است؛ روند آثار نیز طی سال‌های اخیر صعودی بوده است (مسعودی و همکاران، ۱۴۰۳). در تهران، پژوهش‌های سنجش‌از‌دور با استفاده از محصولات لندست و مادیس نشان داده‌اند که الگوی مکانی جزیره گرمایی شهری با بافت‌های متراکم هم‌پوشانی دارد و نواحی مرکزی و بخش‌هایی از غرب شهر به‌طور معناداری گرم‌تر از پیرامون‌اند؛ این الگو در روز و شب تفاوت‌هایی دارد؛ اما در مجموع با تمرکز ساخت‌وساز و کمبود پوشش سبز تقویت می‌شود (فدایی، ۱۳۹۹).

به‌طور خاص، تهیه نقشه زون‌های اقلیم محلی برای تهران نشان می‌دهد که کلاس‌های متراکم با ارتفاع متوسط (LCZ 2) و متراکم کوتاه (LCZ 3) غالب‌اند و این طبقات با دمای سطح زمین بالاتر هم‌بسته‌اند؛ در مقابل، طبقات پوشش طبیعی و فضاهای باز نفوذپذیر دماس سطحی پایین‌تری دارند (سپاسی زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۲). در گستره ملی/نیمه‌خشک ایران نیز پژوهش‌های زون‌های اقلیم محلی/دماس سطحی زمین بیان می‌کنند که «مجموعه‌های انسان‌ساخت» نسبت به انواع پوشش گیاهی در بازه‌های گرم‌تری نوسان دارند و تفکیک زون‌های اقلیم محلی می‌تواند عامل‌های سطحی (آلبدو، زبری، نفوذپذیری، نسبت سطح-حجم بنا) اثرگذار بر پویایی حرارتی را روشن کند (پرور و همکاران، ۱۴۰۳).

افزون بر این، مطالعات دمایی رویدادمحور برای تهران «از جمله در دوره‌های موج گرما و نیز بازه قرنطینه کرونا» تغییرات جزیره دمایی شهری-دمای سطح زمین را مستند کرده‌اند و نشان می‌دهند که تقویت جزیره دمایی شهری در طبقه‌های متراکم زون‌های اقلیم محلی در دوره‌های تنش حرارتی تشدید می‌شود؛ این شواهد بر نیاز به مداخلات کاهنده مبتنی بر زون‌های اقلیم محلی (افزایش سبزیام‌درخت‌کاری، مصالح با آلبدوی بالا، تهویه شهری) صحه می‌گذارد (Roshan et al., 2024).

در مجموع، بدنه پژوهش فارسی و مطالعات موردی تهران هم‌نظرند که: (۱) شدت و گستره جزیره دمایی شهری در تهران با الگوی زون‌های اقلیم محلی هم‌تافته است؛ (۲) طبقه‌های متراکم انسان‌ساخت (LCZ 2-3) و مشابه (بیشترین سهم در داغ نقاط شهری دارند؛ و (۳) سیاست‌های سازگار با زون‌های اقلیم محلی، افزایش نفوذپذیری سطح، بهبود تهویه کانالی، و گسترش سبزیگی - می‌تواند کاهش معنی‌دار جزیره دمایی شهری-دمای سطح زمین را در مقیاس محله تا کلان‌شهر هدف‌گذاری کند.

توسعه فیزیکی شهرها و گسترش ابعاد آن از عوامل اصلی تغییرات اراضی شهری با پیامدهای محیطی، اقتصادی و اجتماعی متنوع است. در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و روش زون‌های اقلیم محلی، تغییرات اراضی تهران طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ پایش شد. نتایج نشان داد که اراضی شهری رشد مستمر داشته، اراضی بایر اندکی افزایش یافته و پوشش گیاهی متراکم کاهش یافته است (المدرسی و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعه‌ای شبیه‌سازی شده در منطقه آرا دامانسرا نشان داد که شکل مثلثی ساختمان‌ها، بیشترین کارایی را در کاهش دما داشته و ارتفاع ساختمان‌ها بر جهت و

1. built-up area extraction method
2. Built-up Area Extraction Index
3. Built-Up Land Features Extraction Index
4. Dry Built-Up Index

سرعت باد و دمای هوا اثرگذار است (Jani et al., 2021).

بررسی روش زون‌های اقلیم محلی در ناپل بیانگر آن است که این ابزار اگرچه در شناسایی اثر پیکربندی شهری بر دما و امواج گرما مفید است، اما محدودیت‌هایی دارد و یکپارچه‌سازی آن با شاخص‌های توپوگرافی پیشنهاد می‌شود (Gerundo & Stanganelli, 2023). نرم‌افزار GeoClimate نیز برای طبقه‌بندی خودکار زون‌های اقلیم محلی بر اساس داده‌های برداری معرفی شده، هرچند در برآورد ارتفاع ساختمان‌های باز و مرتفع دقت کمی دارد (Bernard et al., 2024). تحلیل همبستگی و رگرسیون در بالتیمور نشان داد که درصد پوشش ساختمانی بیشترین تأثیر مثبت بر دمای سطح زمین و پوشش گیاهی، بیشترین اثر کاهنده بر جزیره دمایی شهری را دارد (Zhou et al., 2011).

در برزیل، ارزیابی عامل دید آسمان و زون‌های اقلیم محلی با روش WUDAPT تفاوت قابل توجهی در عاقل دید آسمان بین واحدهای مختلف نشان داد (Hoppe et al., 2022). مطالعه‌ای در برلین با مقایسه طبقه‌بندی سیستم اطلاعات جغرافیایی و WUDAPT L0 بیانگر ضعف WUDAPT در عدم لحاظ ارتفاع ساختمان و برتری روش سیستم اطلاعات جغرافیایی در رفع این نقص بود (Muhammad et al., 2022). در شانگهای، رابطه منفی قوی بین دمای سطح زمین و شاخص‌های پوشش گیاهی (Fv, NDVI) و رابطه مثبت بین دمای سطح زمین و درصد سطوح نفوذناپذیر گزارش شد (Li et al., 2011). تحلیل داده‌های سه‌بعدی در ۵۷ شهر چین نشان داد که فضای سبز شهری و ارتفاع ساختمان تأثیر متقابل پیچیده‌ای بر SUHI دارند و مناطق صنعتی شدت بالاتری از SUHI را تجربه می‌کنند (Zhou et al., 2022). ارزیابی نقشه‌های زون‌های اقلیم محلی در ایتالیا نیز خطاهای طبقه‌بندی قابل توجه در مناطق مرکزی شهری را در روش WUDAPT L0 آشکار کرد (Buccolieri et al., 2022).

پژوهش‌های پیش‌بینی زون‌های اقلیم محلی با مدل‌های اتوماتای سلولی مانند FLUS نشان دادند که مراکز شهری بیشتر به سمت رشد زون‌های اقلیم محلی مرتفع/فشرده و حاشیه‌ها به سمت زون‌های اقلیم محلی متوسط/کم‌ارتفاع حرکت می‌کنند (Chen & Wang, 2024). در نهایت، مقایسه داده‌های دمایی با طبقه‌بندی زون‌های اقلیم محلی نشان داد که تضادهای حرارتی میان کلاس‌ها تحت تأثیر ارتفاع و فاصله ساختمان، تراکم درختان و رطوبت خاک شکل می‌گیرد (Stewart et al., 2014).

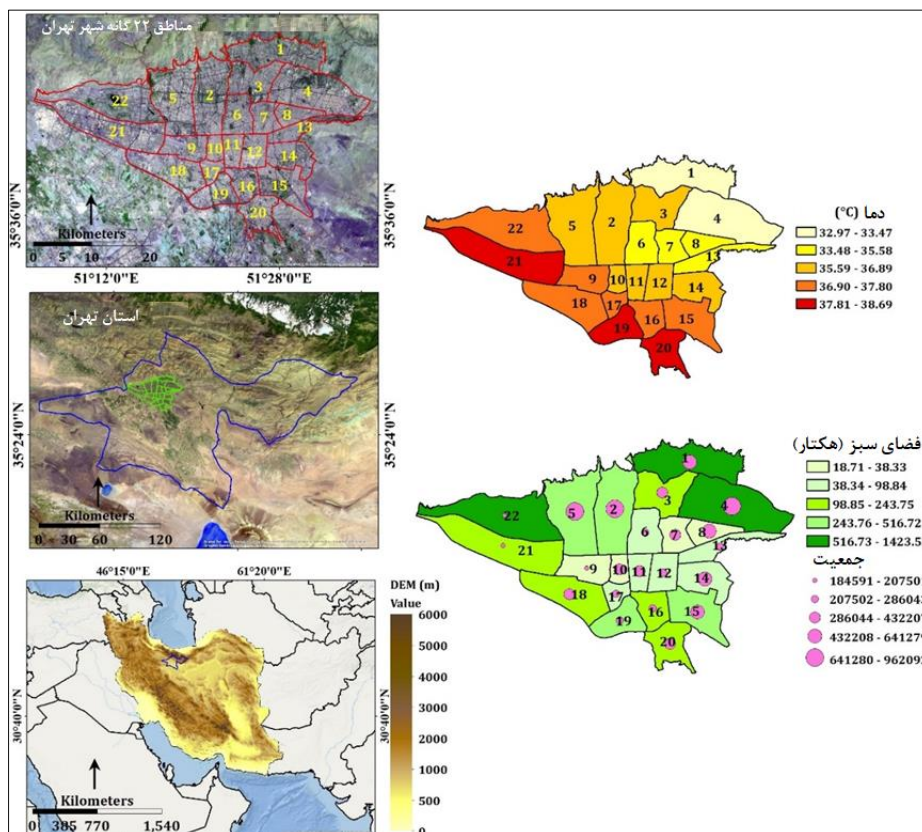
با وجود کاربرد گسترده زون‌های اقلیم محلی و به‌کارگیری آن در تحلیل جزایر گرمای شهری، چند خلأ علمی همچنان پابرجاست. نخست، استفاده نظام‌مند از داده‌های سنجش‌ازدور چندفصلی برای بهبود دقت برجسب‌گذاری زون‌های اقلیم محلی، به‌ویژه در شناسایی پوشش گیاهی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. دوم، در مطالعات شهری ایران و به‌خصوص تهران، یکپارچه‌سازی عوامل انسان‌ساخت و عملکردی با داده‌های ساختاری و مورفولوژیکی در تعیین طبقه‌های اقلیمی محلی به‌صورت محدود انجام شده است. سوم، بخش عمده تحقیقات موجود بر مناطق مرطوب یا معتدل متمرکز بوده و کمبود مطالعات جامع در مناطق خشک و نیمه‌خشک با ویژگی‌های حرارتی خاص، محسوس است. چهارم، علی‌رغم توسعه ابزارهای خودکار مانند WUDAPT و GeoClimate، چالش‌های دقت مکانی و تخمین ویژگی‌های سه‌بعدی شهری همچنان منجر به خطاهای طبقه‌بندی در مناطق متراکم می‌شود.

با مرور مطالعات پیشین بخصوص در رابطه با تهران، ارتباط بین زون‌های اقلیم محلی و موقعیت جزیره گرمای شهری لکه‌های داغ و خنک شهری مورد توجه نبوده است. این شکاف‌ها ضرورت انجام پژوهشی را برجسته می‌کند که با ترکیب داده‌های چندفصلی، اطلاعات سه‌بعدی دقیق و شاخص‌های عملکردی شهری، طبقه‌بندی دقیق‌تری از زون‌های اقلیم محلی برای تهران ارائه کرده و در نتیجه، تحلیل‌های بهینه‌تری از جزایر گرمای شهری و راهکارهای تاب‌آوری انرژی فراهم آورد. پژوهش حاضر بر این اصل قرار دارد که مشخصات زون‌های اقلیم محلی متأثر از تراکم ساختمانی، هندسه شهری، ضریب سطوح نفوذناپذیر و ساختمانی، آلودگی و جذب انرژی سطحی در ایجاد و تشدید جزیره گرمای شهری اثر قابل توجهی دارند؛ بنابراین در پژوهش حاضر تمرکز بر آزمون و درک ارتباط بین زون‌های اقلیم محلی شهر تهران بر وضعیت دمای سطحی و پدیده جزیره گرمای شهری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران دارای طول جغرافیایی از ۵۱ درجه و ۵ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و دارای عرض جغرافیایی از ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی است و دارای طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر است که در نیمه جنوبی البرز واقع شده است. این شهر بین دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز و دشت کویر نمک واقع شده و اقلیم آن به تبعیت از اختلاف ارتفاع و دوری و نزدیکی به کوهستان یا دشت بیابانی کویر نمک از تنوع زیادی در دما و بارش و پدیده‌های جوی برخوردار است (شکل ۱). به دلیل تمرکز قطب‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، آموزشی و غیره در حال حاضر به یکی از بزرگ‌ترین شهرهای دنیا و همچنین آلوده‌ترین شهرهای دنیا تبدیل شده است که دارای منابع آلوده‌کننده زیادی است که ساخت‌وسازهای مرتفع شهری در محبوس شدن و تجمع آن نقش بسزایی دارد. تنوع محیطی و اقلیمی شهر تهران ناشی از توپوگرافی پیچیده طبیعی آن است، به طوری که از ضلع جنوبی با حاشیه دشت کویر نمک با اقلیم بیابانی و ارتفاع پست محدود شده و از شمال به ارتفاعات و کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز میانی پیوند می‌خورد. به همین دلیل اختلاف ارتفاع قابل توجه بالای ۸۰۰ متر در شهر وجود دارد. اختلاف ارتفاع همراه با خود، تفاوت در چشم‌انداز، جهت و میزان شیب سطحی، تغییر در میزان و نوع بارش، اختلاف محسوس دما و رطوبت، تنوع پوشش گیاهی و اقلیمی را به همراه دارد (Moghbel & Shamsipour, 2019). مساحت محدوده مطالعاتی برابر با ۱۹۸۷/۳۳ کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت سیاره‌ای و منطقه‌ای شهر و پیراشهر تهران

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر دربردارنده ۴ تصاویر OLI-Thermal ماهواره لندست ۸ برای سال ۲۰۲۲ به شرح جدول ۱ هست. افزون بر آن از اطلاعات گوگل ارتس برای نمونه‌برداری استفاده گردید. برای این هدف از لایه اطلاعات کاربری به دلیل کامل بودن داده‌ها و همچنین این ایستگاه نماینده اقلیم شهری تهران است (سازمان هواشناسی کشور،

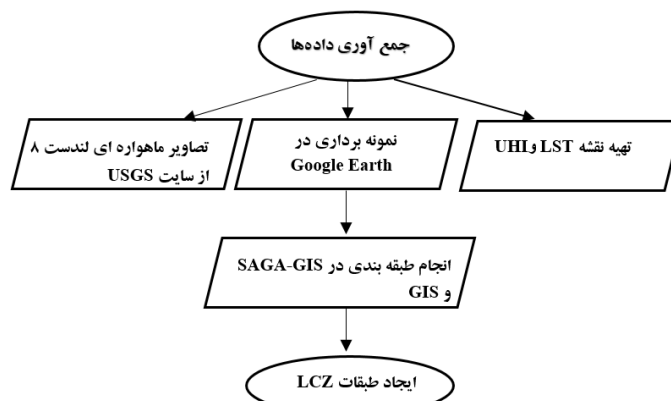
۱۴۰۳) برای معرفی شرایط متوسط دما، استفاده شد. این پژوهش از چهار تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (۱۳ فوریه، ۱۸ آوریل، ۲۴ اوت و ۲۰ نوامبر ۲۰۲۲) با مقیاس مکانی ۳۰ و ۱۰۰ متر و ابرناکی کمتر از ۱۰ درصد استفاده کرده است. انتخاب این چهار بازه زمانی، چرخه فصلی کامل را پوشش داده و امکان استخراج هم‌زمان ویژگی‌های پایدار مورفولوژیکی (ارتفاع و تراکم ساختمان‌ها، کاربری زمین) و تغییرات طیفی-فصلی پوشش زمین را فراهم می‌کند. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه با پوشش فصلی، دقت طبقه‌بندی زون‌های اقلیم محلی را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد، زیرا این داده‌ها علاوه بر ثبات مکانی ویژگی‌ها، تغییرات فصلی در بازتاب طیفی و دمای سطح را نیز منعکس می‌کنند (Bechtel et al., 2019; Wang et al., 2023). از این رو، داده‌های چهارزمانه این مطالعه دارای قابلیت تعمیم و استنتاج معتبر برای تحلیل‌های اقلیمی و ارزیابی جزایر گرمای شهری هستند. مشخصات تصاویر مورد استفاده به شرح جدول ۱ می‌باشد:

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره استفاده شده در پژوهش حاضر

ردیف	نام داده	نام سنجنده	مقیاس مکانی	تاریخ تصویر	وضعیت	تعداد باند
۱	تصویر ماهواره‌ای لندست ۸	OLI	۳۰ و ۱۰۰ متری	۲۰۲۲/۲/۱۳	۱۰٪ ابر	۱۱
۲	تصویر ماهواره‌ای لندست ۸	OLI	۳۰ و ۱۰۰ متری	۲۰۲۲/۴/۱۸	۱۰٪ ابر	۱۱
۳	تصویر ماهواره‌ای لندست ۸	OLI	۳۰ و ۱۰۰ متری	۲۰۲۲/۸/۲۴	۱۰٪ ابر	۱۱
۴	تصویر ماهواره‌ای لندست ۸	OLI	۳۰ و ۱۰۰ متری	۲۰۲۲/۱۱/۲۰	۱۰٪ ابر	۱۱


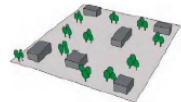

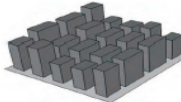

















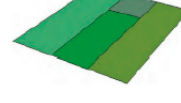

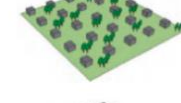



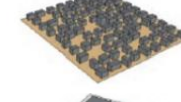

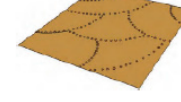

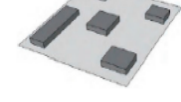

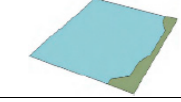
روش پژوهش

چهار تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در تاریخ‌های ۱۳ فوریه، ۱۸ آوریل، ۲۴ اوت و ۲۰ نوامبر ۲۰۲۲ از پایگاه USGS (EarthExplorer) دریافت شد تا چرخه کامل فصلی پوشش داده شود. محدوده مطالعه با تعریف یک لایه چندضلعی شامل شهر تهران و حومه مشخص شد. تصاویر پس از بازنمونه‌برداری به مقیاس ۱۰۰ متر در محیط SAGA-GIS، بر اساس محدوده چندضلعی برش داده شدند. نمونه‌های آموزشی طبقه‌های زون‌های اقلیم محلی بر اساس داده‌های ارتفاع طبقات ساختمانی و تفسیر بصری در Google Earth ترسیم و برچسب‌گذاری شدند. این نمونه‌ها که با دقت بالا تهیه شدند، به‌عنوان ورودی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در SAGA-GIS مورد استفاده قرار گرفتند (Demuzere et al., 2022). سپس مشخصات فیزیکی هر کلاس در محیط ArcMap اضافه و خروجی نهایی شامل ۱۷ طبقه زون‌های اقلیم محلی تولید شد (شکل ۲). به‌منظور تحلیل متغیرهای دینامیک اقلیمی، داده‌های دمای سطح زمین از سنجنده MODIS به کار گرفته شد. این داده‌ها به دلیل قدرت تفکیک زمانی بالا، امکان پایش تغییرات حرارتی فصلی و ارزیابی رفتار گرمایی کلاس‌های زون‌های اقلیم محلی را فراهم کردند. ترکیب داده‌های با دقت مکانی بالا (لندست) و دقت زمانی بالا (MODIS)، رویکردی بهینه برای تحلیل هم‌زمان ساختار و عملکرد اقلیم شهری محسوب می‌شود (Bechtel et al., 2019; Wang et al., 2023). سیستم طبقه‌بندی زون‌های اقلیم محلی شامل ۱۷ دسته استاندارد است (جزئیات بیشتر در جدول ۲ نشان داده شده است).



شکل ۲. روند نمای کلی انجام پژوهش

جدول ۲. راهنمای طبقات اقلیم محلی (Stewart, et al., 2014)

رنگ	نمای کلی	نام و مشخصه کلاس‌ها	رنگ	نمای کلی	نام و مشخصه کلاس‌ها
		LCZ-9 sparsely built (ساختمانی پراکنده)			LCZ-1 compact high-rise (متراکم و بلندمرتبه)
		LCZ-10 Heavy Industrial			LCZ-2 compact mid-rise (متراکم و ارتفاع متوسط)
		LCZ-A(11) dense trees			LCZ-3 compact low-rise
		LCZ-B(12) Scattered Trees (درختان پراکنده)			LCZ-4 open high-rise (بافت باز و بلندمرتبه)
		LCZ-C(13) Low plants (علف‌های کوتاه)			LCZ-5 open mid-rise (بافت باز و متوسط ارتفاع)
		LCZ-D(14) low plants (بوته و درختچه)			LCZ-6 open low-rise (بافت باز و کم ارتفاع)
		LCZ-E(15) Bare, Rock or paved (سنگ یا سنگ‌فرش)			LCZ-7 lightweight low-rise (سبک و کم ارتفاع)
		LCZF(16) Bare soil or sand (خاک بایر یا ماسه)			LCZ-8 large low-rise (بزرگ و کم ارتفاع)
		LCZ-G(17) Water (آب)			

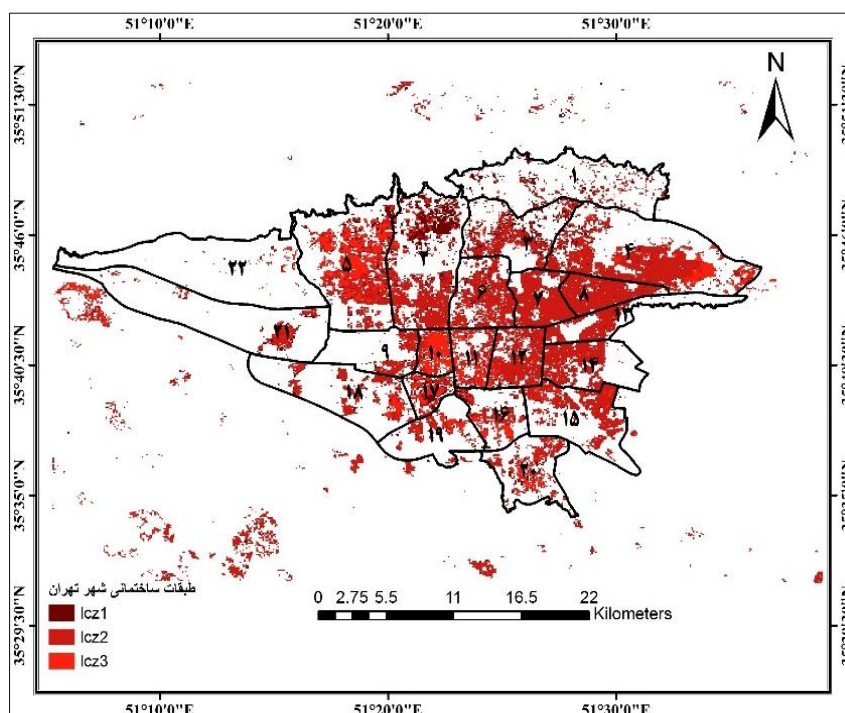
زون‌های اقلیم محلی، طبقه‌بندی انواع سازه‌های انسانی (LCZs 1-10) و پوشش طبیعی زمین (LCZs A-G) را با حداقل فاصله فضایی ۴۰۰-۱۰۰۰ متر تعریف می‌کند که ارتباط نزدیکی با اندازه بلوک شهری دارد (Liu & Shi, 2020). دسته اول برای مشخص کردن ویژگی‌های مورفولوژیکی انواع سازه‌های انسانی در شهر روی یک پوشش زمین غالب تنظیم شده است، و دومی ویژگی‌های فصلی یا موقت (مانند پوشش گیاهی و رطوبت خاک) را منعکس می‌کند. زون‌های اقلیم محلی اطلاعات ارزشمندی در مورد مناطق شهری و پوشش زمین ارائه می‌دهد که نمی‌توان مستقیماً توسط تصاویر ماهواره‌ای ثبت نمود. با توجه به نقش متمایز سیستم‌های طبقه‌بندی زون‌های اقلیم محلی در بررسی اقلیم‌های محلی، ارائه رویکردهای طبقه‌بندی زون‌های اقلیم محلی، چون در انجام مطالعات اقلیم شهری امکان طبقه‌بندی دقیق‌تری را در داخل شهر فراهم می‌کند، امری ضروری است (Demuzere et al., 2022).

برای تهیه نقشه‌های جزیره گرمای شهری تهران، از تصاویر شبانه و روزانه سنجنده‌های MODIS و OLI استفاده گردید. تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ از سایت Earthexplorer وابسته به USGS تهیه شد. و در محیط Google Earth Engin پردازش‌ها انجام و نقشه‌های دمای سطحی تهران و پیرامون برای ساعات روز تهیه گردید. تصاویر شبانه مربوط به سنجنده مادیس ماهواره ترا از سایت اختصاصی خود ماهواره بصورت محصول دمای سطحی تهیه گردید. در ادامه نتایج پردازش تصاویر ماهواره ای با نقشه زون‌های اقلیم محلی در Arc/Map 10-1 ترکیب شده و تحلیل‌های مکانی و عددی آنها انجام شد.

نتایج

تراکم ساختمانی تهران

تراکم ساختمانی، از مهم‌ترین مباحث شهری مربوط به ساخت‌وساز است که معمولاً به صورت درصدی محاسبه شده و تعداد ساختمان در واحد سطح را نشان می‌دهد. از نظر ارتفاعی تمامی ساختمان‌ها به سه دسته ساختمان‌های سه طبقه و کمتر (ارتفاع کمتر از ۱۰ متر)، ساختمان‌های سه تا نه طبقه (ارتفاع بین ۱۰ تا ۲۷ متر) و ساختمان‌های بلندتر از نه طبقه (بالای ۲۷ متر) تقسیم گردید. شهر تهران از لحاظ تراکم ساختمانی ساختار بسیار نامنظمی دارد، به گونه‌ای که ساختمان‌های بلند و فشرده (LCZ1) به صورت پراکنده در تمام مناطق شهر با مساحتی حدود ۲۷/۴۹ کیلومترمربع وجود دارد. ساختمان‌های متوسط ارتفاع نیز با مساحتی بالغ بر ۱۷۲/۱ کیلومترمربع (۸/۶۵٪ از فضای شهر) به طور غالب در مناطق مرکزی شهر تمرکز دارند. ساختمان‌های کم‌ارتفاع با مساحتی بالغ بر ۴۳/۷۸ کیلومترمربع (۲/۲٪ از فضای شهر) عموماً در کمربند میانی تهران از منطقه ۴ تا ۵ کشیده شده‌اند. (شکل ۲)

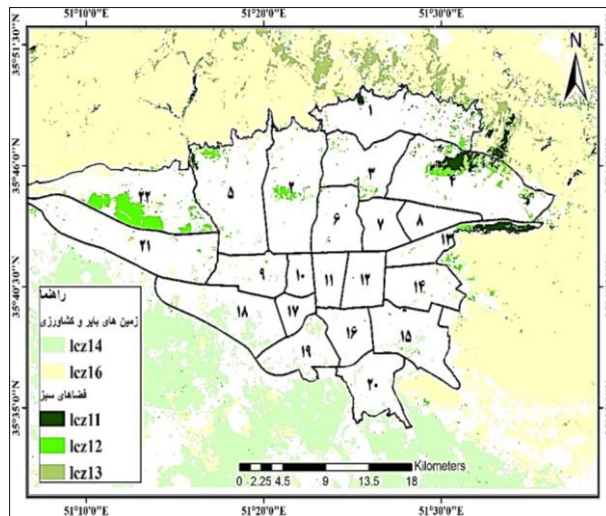


شکل ۲. نقشه طبقات ساختمانی شهر تهران؛ ساختمان‌های بالاتر از نه طبقه (LCZ1)، ساختمان‌های سه تا نه طبقه (LCZ2) و ساختمان‌های سه طبقه و کمتر (LCZ3)

پراکندگی فضای سبز، زمین کشاورزی و بایر شهر تهران

تهران در مجموع دو هزار و ۲۷۷ باب بوستان دارد که مساحت آن‌ها در حالت کلی به پنج هزار و ۹۴۹ هکتار می‌رسد. همچنین مساحت فضای سبز معابر شهری در تهران هشت هزار و ۲۵۳ هکتار بوده و کمربند سبز پیرامون شهر هم ۴۲ هزار و ۸۵۲ هکتار مساحت دارد. مجموع مساحت فضای سبز درون شهری و برون شهری تهران ۵۶ هزار و ۷۸۴ هکتار است که از این رقم سرانه فضای سبز درون شهری تهران ۱۶/۳۳ مترمربع و سرانه فضای سبز برون شهری تهران ۲۴/۵۰ مترمربع است. با استناد به اطلاعات (شکل ۳)، فضاهای سبز دارای درختان مترکم به صورت پارک‌های شهری در مناطقی از شمال شرق (باغ پرندگان، سرخه حصار و لویزان) و غرب (چیتگر) شهر متمرکز هستند (LCZA) و فضاهای سبز با درختانی پراکنده به صورت مقطعی در مناطقی از شمال شهر تهران متمرکز شده‌اند که این مناطق کم برخوردار فضای سبز هستند. پوشش‌های گیاهی علف کوتاه در اطراف شهر پراکنده هستند و تمرکز آن‌ها بیشتر در شرق تهران می‌باشد. زمین‌های بایر در سمت شرق و شمالی تهران متمرکز هستند و زمین کشاورزی به صورت پراکنده در مناطقی از جنوب و غرب و تهران به چشم می‌خورد

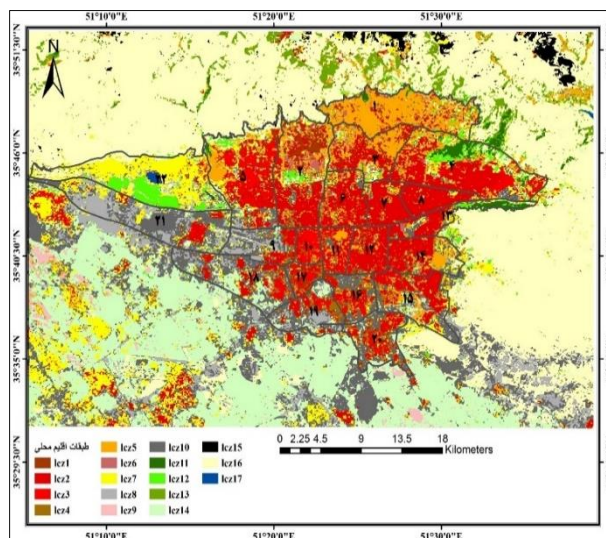
(شکل ۳).



شکل ۳. نقشه فضاهای سبز و زمین‌های کشاورزی و بایر شهر و پیراشهر تهران

طبقات اقلیم محلی شهر تهران

بر پایه پردازش داده‌های طیفی از تصاویر ماهواره لندست ۸ با وضوح بالا و نمونه‌برداری در Google Earth، ۱۷ طبقه اقلیم محلی در تهران به دست آمد. شکل ۴ تعداد زون‌های اقلیم محلی انتخاب‌شده برای هدفه نوع زون‌های اقلیم محلی را نشان می‌دهد. نقشه زون‌های اقلیم محلی گویای این است که LCZ16 (زمین‌های بایر) فراوان‌ترین زون اقلیم محلی در کل محدوده مطالعاتی (۳۵/۱۳٪) است که در قسمت‌های شرقی و شمالی تمرکز بیشتری دارند. سپس LCZ14 (۱۵/۲۴٪) بیشترین درصد مساحت را در کل محدوده به خود اختصاص داده است که مربوط به زمین‌های کشاورزی می‌باشد. همچنین کمترین پهنا مربوط به LCZ17 است که همان پهناهای آبی موجود در منطقه هستند و تنها ۰/۷ درصد از فضای مطالعاتی را به خود اختصاص داده است. پس از آن کمترین محدوده مربوط به LCZ11 (پوشش گیاهی متراکم با درختانی بلند) می‌باشد که در مجموع ۰/۷۳ درصد از محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود. افزون بر این، در بخش غربی و جنوب شرقی شهر، وجود LCZ 10 مربوط به منطقه صنعتی / تجاری است. در مجموع، مساحت مناطق ساختمانی ۸۹۹/۳۳ کیلومترمربع تقریباً ۴۵/۲۳ درصد و پوشش طبیعی زمین ۱۱۰۲/۵۷ کیلومترمربع برابر با ۵۵/۴۷ درصد از کل مساحت محدوده مطالعاتی تهران را فراگرفته است.



شکل ۴. زون‌های اقلیم محلی (LCZ) شهر تهران (برای اسامی دقیق زون‌های اقلیمی به جدول ۲ مراجعه شود)

برای تحلیل وضعیت مورفولوژیکی شهری تهران از پنج شاخص کلیدی استفاده شد. ضریب دید آسمان (SVF)^۱، آلبودی سطحی (Sa)^۲ توان جذب گرمایی سطح (SA)^۳، درصد سطوح نفوذناپذیر (Isf)^۴؛ درصد سطوح نفوذپذیر (psf)^۵، استفاده شد. ISF و PSF از داده‌های پوشش زمین به دست آمد (Yang et al., 2020; Yang et al., 2019). از آنجایی که این مطالعه بیشتر بر روی تأثیر سطوح انسان‌ساخت در شهر تمرکز دارد بنابراین، طبق جدول محاسبه شاخص NDVI^۶ (پوشش گیاهی)، مطابق طرح پیشنهادی استوارت و اوک (۲۰۱۲) انجام نشده است. در این جدول مقدار پارامترها برابر است با:

۱. ضریب نمای آسمان (SVf)، ضریب نمای آسمان (SVF)، که نشان‌دهنده کسری از آسمان قابل مشاهده از سطح مسطح است، γ_i ، تأثیر زاویه ارتفاع زمین بر زاویه آزیموت است. و n تعداد زوایای آزیموت محاسبه شده است (رابطه ۱) (Yang et al., 2018)

$$SVF=1-\frac{\sum_{i=1}^n \sin \gamma_i}{n} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن $\sin \gamma$ زاویه ارتفاع زمین در راستای زاویه آزیموت i و n تعداد زوایای آزیموت است. داده‌های ارتفاع ساختمان‌ها از لایه‌های GIS شهری و اطلاعات ساختمانی Google Earth استخراج شده و برای تعیین زاویه‌های ارتفاع ساختمان‌ها استفاده شدند.

۲. توان جذب گرمایی سطح (SA)، توانایی سطح برای پذیرش یا انتشار گرما (J m⁻² s^{-1/2} K⁻¹). با رطوبت خاک و تراکم مواد متفاوت است (Stewart & Oke, 2012).

۳. درصد سطح غیرقابل نفوذ (Isf) (رابطه ۲) و نفوذپذیر (PSF) این شاخص‌ها از داده‌های پوشش زمین^۷ استخراج شدند. برای هر بلوک شهری، مساحت سطوح نفوذناپذیر (سیمان، آسفالت و ساختمان‌ها) و مساحت سطوح نفوذپذیر (گیاه، آب، خاک باز) محاسبه شد (Oliveira et al., 2020; Hidalgo et al., 2019)

$$ISF=\frac{\sum S_{imperv}}{S_{i \text{ block}}} \quad PSF=\frac{S_{prev}}{S_{i \text{ bhock}}} \quad \text{رابطه ۲}$$

۵. آلبودی سطحی (Sa): نسبت تابش بازتاب‌شده به تابش دریافتی توسط سطح، که به ویژگی‌هایی مانند رنگ، رطوبت و زبری سطح وابسته است (Stewart & Oke, 2012).

کالیبراسیون و اعتبارسنجی داده‌ها: داده‌های به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های مورفولوژیکی با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در سطح شهر مقایسه شد. به‌ویژه، میانگین دما و تغییرات دمای سطح با داده‌های ایستگاه‌های معتبر تهران مقایسه و خطای پیش‌بینی محاسبه شد تا اطمینان از دقت نتایج حاصل شود. باتوجه به تمرکز مطالعه بر تأثیر سطوح انسان‌ساخت، شاخص پوشش گیاهی NDVI بر اساس طرح استوارت و اوک (۲۰۱۲) محاسبه نشد. مقدار پارامترهای محاسبه شده برای شهر تهران در جدول ۳ آورده شده است (Stewart & Oke, 2012).

جدول ۳. مشخصات و مساحت کلاس‌های LCZ محاسبه شده برای شهر تهران

نام طبقه	SVF	SA	Albedo	Isf	Psf	مساحت در کل محدوده (%)	مساحت در کل محدوده km2
LCZ1	۰/۴-۰/۲	۱۸۰۰-۱۵۰۰	۰/۲۰-۰/۱۰	۶۰-۴۰	<۱۰	۱/۳۸	۲۷/۴۹
LCZ2	۰/۶-۰/۳	۲۲۰۰-۱۵۰۰	۰/۲۰-۰/۱۰	۵۰-۳۰	<۲۰	۸/۶۵	۱۷۲/۱
LCZ3	۰/۶-۰/۲	۱۸۰۰-۱۲۰۰	۰/۲۰-۰/۱۰	۵۰-۲۰	<۳۰	۲/۲	۴۳/۷۸

1. Sky View Factor
2. Surface Absorptivity
3. Surface Heat Absorption Capacity
4. Impervious Surface Fraction
5. Pervious Surface Fraction
6. Normalized Difference Vegetation Index
7. Land Cover

ادامه جدول ۳.

نام طبقه	SVF	SA	Albedo	Isf	Psf	مساحت در کل محدوده (%)	مساحت در کل محدوده km2
LCZ4	۰/۷-۰/۵	۱۸۰۰-۱۴۰۰	۰/۲۵-۰/۱۲	۴۰-۳۰	۴۰-۳۰	۱/۳۳	۲۶/۴۳
LCZ5	۰/۸-۰/۵	۲۰۰۰-۱۴۰۰	۰/۲۵-۰/۱۲	۵۰-۳۰	۴۰-۲۰	۵/۸۹	۱۱۷/۲۱
LCZ6	۰/۹-۰/۶	۱۸۰۰-۱۲۰۰	۰/۲۵-۰/۱۲	۵۰-۲۰	۶۰-۳۰	۱/۱۹	۲۳/۷۹
LCZ7	۰/۵-۰/۲	۱۵۰۰-۸۰۰	۰/۳۵-۰/۱۵	<۲۰	<۳۰	۶/۷۹	۱۳۴/۹۴
LCZ8	>۰/۷	۱۸۰۰-۱۲۰۰	۰/۲۵-۰/۱۵	۵۰-۴۰	<۲۰	۵/۲۲	۱۰۳/۹۲
LCZ9	>۰/۸	۱۸۰۰-۱۰۰۰	۰/۲۵-۰/۱۲	<۲۰	۸۰-۶۰	۰/۹۴	۱۸/۷۴
LCZ10	۰/۹-۰/۶	۲۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۲-۰/۱۲	۴۰-۲۰	۵۰-۴۰	۱۰/۸۸	۲۱۶/۳
LCZA(11)	<۰/۴	-	۰/۲-۰/۱۰	<۱۰	<۹۰	۰/۷۳	۱۴/۵۶
LCZB(12)	۰/۸-۰/۵	۱۸۰۰-۱۰۰۰	۰/۲۵-۰/۱۵	<۱۰	<۹۰	۱/۴۸	۲۹/۴۳
LCZC(13)	۰/۹-۰/۷	۱۵۰۰-۷۰۰	۰/۳-۰/۱۵	<۱۰	<۹۰	۱/۹۳	۳۸/۴۹
LCZD(14)	>۰/۹	۱۶۰۰-۱۲۰۰	۰/۲۵-۰/۱۵	<۱۰	<۹۰	۱۵/۲۴	۳۰۲/۹۸
LCZE(15)	>۰/۹	۲۵۰۰-۱۲۰۰	۰/۳-۰/۱۵	<۱۰	<۱۰	۰/۸۷	۱۷/۳۲
LCZF(16)	>۰/۹	۱۴۰۰-۶۰۰	۰/۳۵-۰/۲۰	<۱۰	<۹۰	۳۵/۱۳	۶۹۸/۱۹
LCZG(17)	>۰/۹	۱۵۰۰	۰/۲-۰/۱۰	<۱۰	<۹۰	۰/۰۷	۱/۵۶

*SA: میزان جذب سطحی؛ SVF: عامل دید آسمان؛ ISF: ضریب سطوح نفوذپذیر؛ PSF: ضریب سطوح نفوذناپذیر

اندازه‌گیری شدت جزیره گرمای شهری تهران

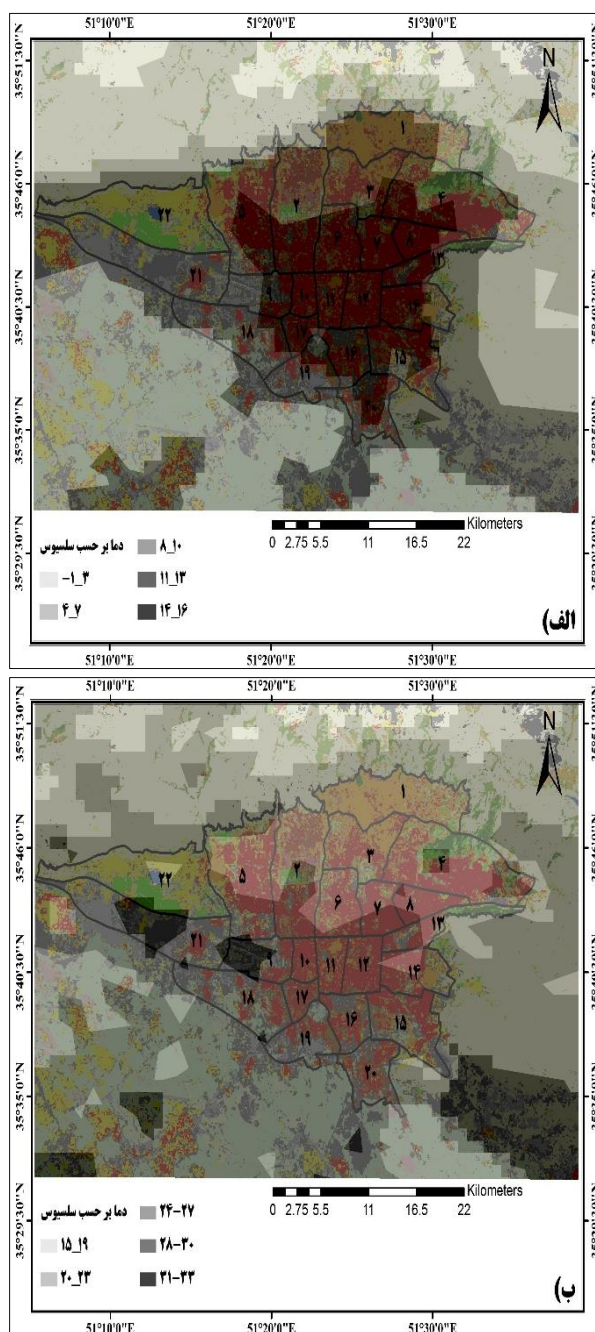
فضاهای شهری اغلب به لحاظ اقلیمی و دمایی شرایط متفاوتی با محیط روستایی و پیرامونی خود دارند. ویژگی بالابودن دمای هوا از مرکز به پیرامون شهری، اثر جزیره گرمای شهری (UHI) نامیده می‌شود (Oke et al., 2017: 116; Stewart, 2011). اثرات جزیره دمایی شهری بر سلامت جوامع انسانی زبان‌بار و مخرب است و در نتیجه باعث افزایش مرگ‌ومیر ناشی از تنش‌های گرمایی می‌شود. طبق مطالعات انجام شده باتوجه‌به افزایش شهرنشینی تا سال ۲۰۵۰ و متعاقباً تغییرات کاربری/پوشش زمین، مشخصه مورفولوژیک و فعالیت‌های انسانی، اثرات مخرب جزیره دمایی شهری بر جوامع تشدید می‌شود. (Wang et al., 2019) پژوهش حاضر اطلاعاتی در مورد دو فرآیند تغییرات کاربری/پوشش زمین و تغییرات دمایی در سطح شهر تهران ارائه می‌کند. اولی مربوط به ویژگی‌های فیزیکی شهری، با تمرکز بر طبقه‌بندی زون‌های اقلیم محلی و دومی بر ویژگی‌های حرارتی شهر متمرکز است. سایر اطلاعات شامل استخراج عوامل مؤثر در وضعیت دمایی هر LCZ، و مشخص کردن عوامل مؤثر جزایر گرمای شهری در محیط‌های مختلف شهری می‌باشد (Rahmani & Sharifi, 2025).

با مراجعه به نقشه دمای سطحی روز در شکل (۵ ب) محدوده شمالی و شرقی شهر با دمای کمتری از سطوح طبیعی پیرامون مشخص می‌شود. در مقابل در برخی محدوده‌ها متأثر از نوع و جنس پوشش سطحی (فلزی، آسفالت، انباری و سیلو) لکه‌های داغی در سطح شهر ثبت شده است. اما در شب به‌دلایل مختلف ناشی از ظرفیت گرمایی بالای سطوح، حبس‌شدگی گرما در پهنه‌های با تراکم بالای ساختمانی، نبود اثر سایه و عدم تهویه طبیعی ناشی از مشخصه مورفولوژیک شهری، پدیده جزیره گرمای شهری ایجاد می‌شود. به‌دلیل وجود اثر سایه در اشکال فشرده شهری در طول روز گرمایش تابش خورشیدی را تعدیل می‌کند، اما گرما را در شب به دام می‌اندازد که منجر به دماهای بالای شبانه می‌شود (Rahmani & sharifi, 2025). محدوده هسته جزیره گرمای شهری طبق شکل (۵ الف) در محدوده مناطق مرکزی (با دمای °C ۱۴-۱۶) و بخش‌هایی از مناطق پیرامون مرکز (با دمای °C ۱۱-۱۳) را در بر می‌گیرد. جزیره گرمای شهری منطقه‌ای با اندازه متغیر است و معمولاً به دلایل فعالیت‌های انسانی در شهرها ایجاد می‌شوند. این فضاها با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شوند (Guha et al., 2017; Jafari et al., 2021)

$$LST > \mu + 2 * \sigma$$

رابطه ۳

که در آن μ و σ به ترتیب مقدار میانگین و انحراف استاندارد LST منطقه به درجه سلسیوس هستند. با استفاده از این معادله می‌توان مناطقی از شهر را با مقادیر دمای سطح زمین بالاتر از میانگین و با فاصله اطمینان بیشتر از ۹۵ درصد نشان می‌دهد، تعیین کرد.



شکل ۵. موقعیت جزیره گرمای شهری در شب (الف)، لکه‌های داغ در طی روز شهر تهران (ب)

همان‌طور که در (شکل ۵ الف) نشان داده شده است، مقدار جزیره گرمای شهری در شب با مقدار متوسط دمای بین ۱۴-۱۶ درجه سلسیوس در مناطق مرکزی شهر شکل گرفته است. پیرامون این منطقه از شهر مانند یک جزیره به ترتیب با دامنه دمایی بین ۱۱ تا ۱۳ و ۸ تا ۱۰ درجه سلسیوس قرار دارد و در خارج از شهر سطوح دمایی پایین‌تر بین ۴-۷ و در مناطق شمالی محدوده مطالعاتی دمایی بین ۳-۱ درجه ثبت شده است. مطابق شکل ۴، مناطق مرکزی شهر با زون‌های اقلیمی مربوط به ساختمانی فشرده یعنی LCZ1- LCZ3 مشخص شده‌اند

که با ساختمان‌های متوسط و بلند با بافتی متراکم، با پوشش سبز بسیار کمتر پوشیده شده‌اند که با ضریب آلبدوی 0.25 و عامل دید آسمان بین 20 و 60 مشخص می‌شوند. در مناطق خارج از این محدوده در قسمت‌های شمالی محدوده مطالعاتی، نوع غالب $LCZ 16$ و $LCZ 15$ با مساحتی ناچیز است که به ترتیب با زمین‌های بایر و پوشش گیاهی بسیار اندک و پوشش سنگی و صخره‌ای پوشیده شده است که دمای مشاهده شده در این مناطق به‌طور کلی کم است. طبق جدول ۴، درصد مساحت هر LCZ در جزیره گرمای شهری شب‌هنگام تهران ارائه شده است که مقدار $LCZ4$ با مقدار $74/22$ درصد از همه بیشتر است، سپس $LCZ2$ و $LCZ5$ هستند و در کمترین محدوده دمایی ($3-1$) در قسمت‌های شمالی و خارج از شهر به ترتیب $LCZ15 > LCZ16 > LCZ13$ از همه بیشتر است.

در بیشترین محدوده دمایی یعنی $14-16$ درجه سلسیوس به‌طور کلی، نقشه دمای سطحی روز می‌تواند به‌طور منطقی منعکس کننده آن باشد. مناطق با دمای سطحی بالا (لکه‌های قرمز) با دمای بین $31-33$ درجه سلسیوس عمدتاً در قسمت‌های جنوب غرب و جنوب شرق تهران مشاهده شد که شامل مناطق صنعتی و سیلوها و انبارهای صنایع در این منطقه است، در حالی که مناطق دمای سطحی کم (مناطق روشن) با دمای بین $15-19$ درجه سلسیوس بیشتر در شمال و شمال شرق تهران مشاهده شد. (شکل ۵ ب) این تغییرات مربوط به اثرات بلوک‌های همسایگی، انتشار گرمای انسانی، توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی مناطق است. اختصاص این مقادیر دمایی در این مناطق ممکن است به تغییرات قابل توجه شکل زمین نسبت به مناطق دیگر باشد که بیشترین درصد مساحت در مقادیر دمایی سطحی بالا مربوط به $LCZ4, LZCg, LCZ10$ نسبت به $LCZ6$ می‌باشد در حالی که بیشترین درصد مساحت در دمای سطحی پایین مربوط به $LCZ7 > LCZ16 > LZC13 > LZC15$ است (جدول ۴).

جدول ۴. درصد مساحت هر طبقه اقلیمی در جزایر گرمایی شب و روز

طبقات اقلیمی	درصد مساحت در بازه دمای جزیره گرمایی در شب					درصد مساحت در بازه دمای نقاط داغ در روز				
	$3-C^{\circ}$	$7-C^{\circ}$	$10-C^{\circ}$	$13-C^{\circ}$	$16-C^{\circ}$	$19-C^{\circ}$	$23-C^{\circ}$	$27-C^{\circ}$	$30-C^{\circ}$	$33-C^{\circ}$
	-1	4	8	11	14	15	20	24	28	31
Lcz1	1/7	0/37	4/64	61/42	22/68	0/6	1/18	60/5	37/26	0/42
Lcz2	1/04	0/3	2/75	30/58	65/58	0/59	0/38	42/19	56/15	0/59
Lcz3	0/15	0/2	4/6	40/7	54/32	0/03	0/14	39/15	60/41	0/25
Lcz4	0	0	1/57	24/19	74/22	0	0	11/01	88/03	0/94
Lcz5	1/11	6/91	13/85	44/3	58/38	0/47	17/7	67/24	28/69	0/48
Lcz6	0/29	1/62	5/92	58/34	33/8	0/12	0/48	64/14	34/61	0/62
Lcz7	2/63	0/59	33/44	59/43	3/87	2/1	0/48	16/53	75/51	5/25
Lcz8	0/16	0/01	19/63	77/15	3/02	0/12	0	3/82	64/46	31/54
Lcz9	0	1/83	78/03	16/36	3/76	0	0/17	65/47	34/08	0/26
Lcz10	0/17	0/12	24/83	63/66	11/2	0/14	0/07	7/99	71/95	19/82
Lcz11	0/08	19/26	31/98	47/3	1/35	0	1/62	86/41	11/84	0
Lcz12	0	4/04	23/45	70/1	2/39	0	0/19	39/42	53/53	6/85
Lcz13	22/31	60/47	15/46	1/75	0	6/59	34/16	55/55	2/88	0
Lcz14	0/27	0/4	80/58	17/74	0/99	0/2	0/1	27/73	68/82	3/12
Lcz15	69/29	27/17	3/27	0/25	0	38/14	33/42	20/57	2/36	0/24
Lcz16	10/85	39/93	30/67	18/14	0/39	2/33	14/43	36/66	38/73	7/4
Lcz17	0	6/05	10/21	83/73	0	0	0	82/18	17/82	0

در مدل تجربی پیشنهادی فعلی، مناطق شهری باید ابتدا به انواع مختلف زون‌های اقلیم محلی طبقه‌بندی شوند تا نقشه LCZ به دست آید. سپس میانگین بزرگی جزیره دمای شهری برای هر نوع زون‌های اقلیم محلی بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود. با اختصاص میانگین بزرگی جزیره دمای شهری انواع مختلف زون‌های اقلیم محلی به

بلوک‌ها مطابق نقشه زون‌های اقلیم محلی، یک نقشه جزیره دمای شهری ایجاد می‌شود.

بحث

این پژوهش با به‌کارگیری چارچوب نوین زون‌های اقلیم محلی با پردازش تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست-۸ (۲۰۲۲)، انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زون‌های اقلیم محلی تهران نشان می‌دهد که تراکم ساختمانی بالا به همراه فقدان فضاهای طبیعی و سبز در مناطق مرکزی با عامل دید آسمان، ضریب سطوح ساختمانی و نفوذناپذیر بالا در نتیجه تهویه طبیعی ضعیف مشخص می‌شود. این شرایط منجر به افزایش بار گرمای محیطی در مرکز می‌شود. برای اعتباردهی به نتایج زون‌های اقلیم محلی در تعیین موقعیت مکانی جزیره گرمای شهری، از پردازش تصاویر حرارتی ماهواره‌ای روزانه و شبانه لندست استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به طور معناداری نتایج زون‌های اقلیم محلی را تأیید می‌کنند؛ بنابراین در این مطالعه نقشه‌ای جامع از پویایی‌های حرارتی مبتنی بر ساختار فیزیکی، هندسه و پوشش اراضی شهر و پیراشهر تهران ارائه گردید که گامی فراتر از مطالعات پیشین همچون پژوهش‌های سیاسی‌زنگی‌آبادی و همکاران (۱۴۰۲) محسوب می‌شود که در آن صرفاً به زون‌بندی اقلیم محلی شهر پرداخته شده است و تحلیل‌های اقلیمی مبتنی بر ساختار فیزیکی و ساختار شهر تهران را ارائه نمود. در همین زمینه مطالعه انصاری-قولنجی و همکاران (۱۴۰۳) که برای شهر و پیراشهر ارومیه انجام شد، زون‌های اقلیم محلی در ارتباط با خدمات اکوسیستم در ذخیره کربن شهر و پیراشهر بود.

این مطالعه نشان داد که عوامل تأثیرگذار در زون‌های اقلیم محلی مختلف تأثیرات متفاوتی بر جزیره دمایی شهری دارند. در مناطق ساخته‌شده، مقدار مطلق پوشش گیاهی نسبت به مساحت مناطق به طور قابل‌توجهی بالاتر از مناطق طبیعی بود که نشان‌دهنده اثر بازدارندگی قوی‌تر شاخص پوشش گیاهی NDVI بر جزیره دمایی شهری در این مناطق است. این امر بر نقش حیاتی ایجاد فضاهای سبز شهری در کاهش اثرات جزیره دمایی شهری تأکید می‌کند. SVF عموماً در مناطق زون‌های اقلیم محلی بین ۱-۳ در طول روز تأثیر منفی نشان می‌دهد، در درجه اول به دلیل تأثیر سایه ساختمان‌ها که قرار گرفتن در معرض نور خورشید و جذب گرما را کاهش می‌دهد، در نتیجه از مقدار گرمای سطحی در روز می‌کاهد. برعکس این حالت در شب عمل می‌کند و کاهش SVF سبب افزایش دما و جزیره دمایی شهری در شب می‌شود، در مناطق طبیعی، SVF یک اثر مثبت اعمال می‌کند، زیرا به دلیل کاهش سطوح ساختمانی تأثیر سایه‌زنی بر محیط حرارتی کلی را به حداقل می‌رساند. تجسم هم‌زمان مبتنی بر جدول ۴ از این عوامل، تفاوت‌های منطقه‌ای قابل‌توجهی را در ضرایب تأثیر نشان داد. با تکامل ساختارها و عملکردهای فضایی شهری، عواملی مانند ضریب دید آسمان، نسبت سطوح غیرقابل نفوذ و پوشش گیاهی به طور قابل‌توجهی اثر جزیره دمایی شهری را تشدید کردند. (Zheng et al., 2023)

در این مطالعه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای در ساعات روز و شب نتایج قابل‌توجهی به دست آمد. در تصاویر روزانه لکه‌های داغی در مناطق غربی تهران در محدوده با کاربری‌های انباری و سیلوها به دست آمد که در کنار آنها لکه‌های داغ متمرکز بر دامنه‌های جنوبی کوهستان نوار شمالی تهران مورد توجه بیشتری است. به دلیل دریافت زاویه تابش عمودی در دامنه‌های جنوبی در صبح این دامنه‌های با رخنمون سنگی و خاک برهنه با گرمای ویژه و اینرسی گرمایی پایین در مقایسه با فضای شهری سریع داغ می‌شوند. ترکیبی از شار حرارتی پایین تابش خورشیدی و ظرفیت ذخیره گرمای زیاد کل سطح در واحد منجر به جزیره دمایی شهری بالاتر در مناطق با چگالی بالا می‌شود (Yang et al., 2018). علاوه بر این، مناطق با تراکم بالا اغلب جمعیت‌های بیشتری را جذب می‌کنند که منجر به انتشار گرمای انسانی بالاتر نسبت به مناطق کم‌تراکم می‌شود. به دلیل خشکی پیرامون شهر با زمین‌های بایر، در روز شهر به نسبت دمای پایین‌تری از زمین‌های پیراشهری دارند. برعکس در طول شب باتوجه به دام افتادن انرژی خورشیدی در بین فضاهای ساختمانی و کاهش سرعت خروج انرژی سطحی سبب می‌شود محدوده شهری به‌ویژه در مرکز شهر با هسته جزیره گرمای شهری مشخص گردد (Moghbel & Shamsipour., 2019; Bokaie et al., 2019; Najafzadeh et al., 2021). تفاوت مطالعه حاضر با مطالعات نامبرده در شناسایی علت شکل‌گیری و موقعیت مکانی جزیره گرمای شهری است که با مدل زون‌های اقلیم محلی انجام شده است. در این مطالعه با

شناسایی ۱۷ زون اقلیمی مبتنی بر ساختار هندسه و کالبد و پوششی متمایز و با سنجش پارامترهای ریخت‌شناختی (SVF)، آلبدو، ISF)، سازکارها و علل تشکیل جزیره گرمای شهری را در مقیاس محلی آشکار می‌گردد. به طور مشخص، یافته‌ها نشان می‌دهد که زون‌های فشرده بلندمرتبه (LCZ1) با ضریب دید آسمان پایین (SVF=0.2-0.4) و ظرفیت ذخیره گرمایی بالا ($SA=1800 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}\cdot\text{K}^{-1}$)، علی‌رغم پوشش تنها ۱/۳۸ درصد مساحت تهران، هسته‌های اصلی جزیره دمایی شهری شبانه (16°C – 14°C) در مناطق مرکزی را شکل می‌دهند. این در حالی است که پژوهش سپاسی زنگی‌آبادی اگرچه به ترسیم زون‌های اقلیم محلی و با تأکید بر پوشش اراضی با طبقات ساختمانی مختلف پرداخته بود، اما نوسانات دمایی و اثرات گرمایی خاص هر زون‌ها را نادیده گرفته است.

SA بر دمای هوا در شهر تهران به دلیل ظرفیت ذخیره حرارت مصالح ساختمانی همبستگی مثبتی دارند. دلایل این رابطه مثبت ISF و جزیره دمایی شهری این بود که مصالح سطوح غیرقابل نفوذ عبارت‌اند از آسفالت، بتن و موارد دیگر باقابلیت جذب حرارت قوی که مسلماً تأثیری فزاینده بر دمای هوا دارد. SVF بالاتر با جزیره دمایی شهری بالاتر همبستگی مثبتی دارد (Shi et al., 2019). زیرا فضاهای باز ساختمان با مقادیر SVF بالاتر منجر به قرار گرفتن بیشتر در معرض تابش خورشیدی و در نتیجه افزایش جزیره دمایی شهری می‌شود (Scarano & Mancini, 2017). جالب‌توجه است، علی‌رغم تأثیر مثبت ساخته‌ای بلند و متراکم بر جزیره گرمایی در شب در طول روز این تأثیر منفی است و در مناطقی که ساخت متراکم با ساختمان‌های بلند دارند مقدار دما پایین‌تر است و لکه‌های داغ بر مناطق ثقل جزایر گرمایی در شب منطبق نیستند؛ بنابراین ارتفاع ساختمان‌ها که به دسته UCP‌های انسانی تعلق دارد، با جزیره دمایی شهری رابطه منفی داشت که نشان می‌دهد ساختمان‌های بلندتر، جزیره دمایی شهری پایین‌تر هستند (Jani et al., 2021). دلایل این امر را می‌توان به افزایش پوشش سایه و بهبود تهویه در راهروهای ساختمان‌های بلندتر نسبت داد که هر دو باعث کاهش دمای بالای محلی می‌شوند. عوامل طبیعی، مانند شاخص پوشش گیاهی NDVI، WR، یک نسبت منفی واضح با جزیره دمایی شهری در یافته‌های سایر مطالعات در این زمینه و همچنین پژوهش حاضر نشان می‌دهند. در پژوهشی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه، یک همبستگی منفی بین اجسام آبی و LST پیدا شد که ممکن است به دلیل ظرفیت گرمایی ویژه آب و اثر خنک‌کنندگی آن بر دماهای مجاور از طریق تبخیر باشد (Zhou et al., 2011). به طور مشابه، در پژوهشی یک رابطه خطی منفی قوی بین میانگین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی پیدا شد، عمدتاً به این دلیل که پوشش گیاهی از طریق تبخیر و تعرق، شار گرمای نهان را در هوا افزایش می‌دهد (Li et al., 2011).

نوآوری کلیدی این تحقیق در کمی‌سازی اثرات متقابل پارامترهای شهری است: به‌عنوان نمونه کاهش SVF در زون‌های متراکم گرما را شبانه به دام می‌اندازد، درحالی‌که همین عامل در مناطق طبیعی (LCZA/B) با بهبود تهویه، اثر خنک‌کنندگی دارد. همچنین، زون‌های به‌ظاهر کم‌خطر مانند LCZ6 (بافت باز کم‌ارتفاع) به دلیل پوشش گیاهی ناکافی ($PSF < 30\%$) به کانون‌های گرمایی تبدیل می‌شوند. این یافته‌ها ناقض فرضیه‌های رایج در برنامه‌ریزی شهری تهران است که عمدتاً بر توسعه فضای سبز افقی متمرکز بوده‌اند. با این وجود، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی همراه است: عدم بررسی اثر رطوبت و آلاینده‌ها بر جزیره دمایی شهری، و غفلت از پویایی‌های زمستانی که در مطالعات آتی می‌توانند با تلفیق داده‌های هواشناسی و مدل‌سازی سه‌بعدی (ENVI-met) تکمیل شود. در مقایسه نهایی، این تحلیل با ایجاد پیوند علی بین ریخت‌شناسی شهری و الگوهای حرارتی، چارچوبی علمی برای برنامه‌ریزی اقلیم‌محور تهران فراهم می‌کند که هم از توصیه‌های کلی اجتناب کرده و هم داده‌های موجود را با لایه‌های عملکردی غنی‌تر می‌سازد. اولویت‌گذاری مداخلات بر اساس نقشه LCZ-UHI، راهبرد بهینه برای کاهش 3°C – 5°C دما در هسته‌های گرمایی تهران خواهد بود.

نتیجه‌گیری

مطالعه اثر جزیره گرمای شهری در زون‌های مختلف اقلیم محلی در کلان‌شهرها برای اجرای راهبردهای کاهش جزیره دمایی شهری ضروری است. در تهران، عوامل اصلی مؤثر بر جزیره دمایی شهری شامل چیدمان و تراکم ساختمانی بالا و پوشش گیاهی ناکافی هستند، درحالی‌که افزایش آلبدوی سطح و گسترش فضای سبز می‌تواند اثرات آن را کاهش دهد. بر اساس

نتایج، LCZ-4 داغ‌ترین زون در طول روز و شب شناسایی شد، در حالی که LCZ 15، LCZ16 و LCZ13 خنک‌ترین مناطق با پراکندگی گسترده هستند. این تفاوت به اثر همسایگی و ناهموازی‌های محلی نسبت داده می‌شود. همچنین، مناطق کم‌ارتفاع مانند LCZ8 و LCZ10 به دلیل تراکم مصالح با ظرفیت گرمایی بالا و محدودیت پوشش گیاهی، بیشترین اثر جزیره دمایی شهری را تجربه می‌کنند. مقایسه زون‌های اقلیم محلی انسان‌ساخت و طبیعی نشان داد که زون‌های اقلیم محلی ساخته‌شده با مصالح جاذب گرما (بتن، آسفالت) دماهای بالاتری دارند، در حالی که زون‌های اقلیم محلی طبیعی با پوشش گیاهی گسترده، اثر جزیره دمایی شهری را کاهش می‌دهند (Cai et al., 2018; Yang et al., 2018). علاوه بر این، مناطق با تراکم بالا اغلب جمعیت‌های بیشتری را جذب می‌کنند که منجر به انتشار گرمای انسانی بالاتر نسبت به مناطق کم‌تراکم می‌شود.

در میان زون‌های اقلیم محلی ساخته‌شده، زون‌های اقلیم محلی فشرده (LCZ1-3) نسبت به LCZ های باز (LCZ4-6) دمای بیشتری نشان دادند که ناشی از تراکم و ظرفیت ذخیره حرارتی بالای مصالح سطح است. تحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی مبتنی بر پنج شاخص شهری (UCP) نشان داد که ۳۷.۱ درصد از منطقه مطالعه دارای شدت جزیره دمایی شهری «بالا» و «بسیار زیاد» بوده که با تراکم بالای ساخت و سطح نفوذناپذیر گسترده همخوانی دارد. ۲. جزیره دمایی شهری در LCZ های فشرده (۱۴-۱۶ °C) از LCZ های طبیعی (۴-۶ °C) بالاتر بود و LCZ های فشرده نسبت به زون‌های اقلیم محلی باز دماهای بیشتری داشتند. ۳. عوامل طبیعی مانند درصد آب و فضای سبز (WR و NDVI) رابطه منفی با جزیره دمایی شهری دارند، در حالی که شاخص‌های انسانی (SA، ISF و SVF) رابطه مثبت دارند. همچنین همبستگی بین پارامترهای شهری و جزیره دمایی شهری نشان داد که: SA و ISF با جزیره دمایی شهری همبستگی مثبت دارند، زیرا مصالح غیرقابل نفوذ گرما را جذب می‌کنند، SVF بالاتر منجر به افزایش جزیره دمایی شهری می‌شود، زیرا تابش خورشیدی بیشتری به سطح وارد می‌شود (Shi et al., 2019; Scarano & Mancini, 2017). جالب‌توجه است، علیرغم تأثیر مثبت ساخته‌های بلند و متراکم بر جزیره گرمایی در شب در طول روز این تأثیر منفی است ارتفاع ساختمان‌ها تأثیر منفی بر جزیره دمایی شهری در شب دارد، که ناشی از افزایش سایه و تهویه طبیعی است (Jani et al., 2021). دلایل این امر را می‌توان به افزایش پوشش سایه و بهبود تهویه در راهروهای ساختمان‌های بلندتر نسبت داد که هر دو باعث کاهش دمای بالای محلی می‌شوند. عوامل طبیعی مانند NDVI و WR اثر خنک‌کننده قابل توجهی بر جزیره دمایی شهری دارند. در پژوهش‌هایی مشخص شد که پوشش گیاهی و آب سطحی می‌توانند به طور مؤثر شار گرمای نهان را افزایش داده و دماهای سطحی را کاهش دهند (Zhou et al., 2011; Li et al., 2011).

در کلان‌شهر تهران تأثیر توپوگرافی نیز مشهود بود؛ LCZ6 در مناطق مرتفع شمال شهر دماهای کمتری نسبت به بلوک‌های مشابه در جنوب داشت؛ بنابراین، تجزیه و تحلیل UCP و LCZ نشان می‌دهد که برای کاهش اثر جزیره دمایی شهری، عوامل طبیعی و مورفولوژیکی سه‌بعدی شهری اهمیت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌های انسانی دارند. با مطالعه رابطه بین UCP های مختلف و جزیره دمایی شهری، می‌توان پیش‌بینی کرد که کدام عوامل برای کاهش اثر جزیره دمایی شهری در شهرهای بزرگ بسیار مهم هستند. چالش‌های این مطالعه شامل محدودیت داده‌ها به تابستان ۲۰۲۲ و عدم ورود پارامترهای محیطی مانند رطوبت، باد و آلاینده‌هاست. تحقیقات آینده باید داده‌های فصلی کامل‌تر را ترکیب کرده و اثرات متغیرهای محیطی بر جزیره دمایی شهری را ارزیابی کنند تا راهنمایی جامع برای برنامه‌ریزی شهری ارائه شود.

منابع

- المدرسی، سید علی؛ دودانگه، محسن؛ ابراهیمی، سید عقیل؛ آبادی، علی حسن (۱۳۹۹). ارزیابی مدل زون‌های اقلیم محلی (LCZ) در پایش تغییرات کاربری اراضی با تأکید رشد فیزیکی (منطقه مورد مطالعه: شهر تهران). چهارمین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش‌ازدور و GIS) در آمایش سرزمین، یزد. <https://civilica.com/doc/1255317>
- انصاری قولنجی، رقیه؛ شمسی پور، علی‌اکبر؛ شجاع، فائزه (۱۴۰۳). محاسبه میزان ظرفیت ذخیره کربن در شهری با اقلیم سرد و کوهستانی مطالعه موردی: شهر و پیرا شهر ارومیه. شهر پایدار، ۷(۲)، ۴۵-۶۱. <https://doi.org/10.22034/jsc.2024>.

- پرور، زهرا؛ محمدزاده، مرجان؛ سعیدی، سپیده (۱۴۰۳). بررسی تغییرات دمای سطح زمین (LST) در منطقه‌بندی اقلیم محلی (LCZs) مناطق نیمه خشک (مطالعه شهر بجنورد). *محیط زیست طبیعی*، ۷۷(۲)، ۳۷۱-۳۸۴. <https://doi.org/10.22059/jne.2024.372929.2653>.
- سپاسی زنگی‌آبادی، سعید؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ حسینی، علی (۱۴۰۲). پهنه‌بندی آب‌وهوای محلی کلان‌شهر تهران بر پایه ساختار فیزیکی. *نشریه علمی مطالعات شهری*، ۱۲(۴۸)، ۴۳-۵۴. <https://doi.org/10.34785/J011.2022.019>.
- ستاری، نجمه؛ عرفانی، ملیحه؛ جهانی شکیب، فاطمه (۱۴۰۲). مقایسه کارایی الگوریتم زون اقلیم محلی در تفکیک مناطق ساخت‌وساز شده نسبت به نمایه‌های ساخت‌وساز شده. *نشریه سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۵(۴)، ۱-۱۶. <https://doi.org/10.48308/gisj.2022.102576>.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۴۰۳). *نگاشت اقلیم شهر و توصیه‌های برنامه‌ریزی (مروری بر تجارب جهانی)*، چاپ دوم، تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- فدایی، هادی (۱۳۹۹). بررسی جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۹(۱۱۶)، ۱۱۹-۱۳۰. <http://doi.org/10.22131/sepehr.2021.242864>.
- کورکی‌نژاد، محمدحسن؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ حبیبی، کیومرث (۱۴۰۲). رویکردی نوین در نگاشت نقشه‌های تحلیلی آب‌وهوای شهری - مطالعه موردی: شهر تهران. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۳۲(۱۲۷)، ۷۷-۹۴. <http://doi.org/10.22131/sepehr.2023.552685.2865>.
- کیا، زینب؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ عزیزی، قاسم (۱۴۰۳). شناسایی واحدهای همگن واکنش به اقلیم در کلانشهر تهران. *فصلنامه مطالعات شهری*، ۱۴(۵۳)، ۶۷-۸۰. <http://doi.org/10.22034/urbs.2024.140790.5015>.
- مسعودی، حسن؛ مشکینی، ابوالفضل؛ قائد رحمتی، صفر؛ واوریان گرمسیر، امیررضا (۱۴۰۳). فراتحلیلی بر مطالعات جزیره گرمایی شهری در ایران. *آمایش سرزمین*، ۱۶(۲)، ۳۰۳-۳۲۲. <http://doi.org/10.22059/jtpe.2025.386543.670483>.

References

- Al-Modarresi, S. A., Dodangeh, M., Ebrahimi, S. A., & Abadi, A. H. (2020). Evaluation of the local climate zone (LCZ) model in monitoring land use changes with emphasis on physical growth: Case study of Tehran city. In *Proceedings of the 4th National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models (Remote Sensing and GIS) in Land Use Planning* (Yazd, Iran). Civilica. <https://civilica.com/doc/1255317>. (in Persian)
- Ansari-Golenji, R., Shamsipour, A. A., & Shoja, F. (2024). Carbon storage capacity in a city with a cold and mountainous climate: The case study of Urmia city and suburb. *Journal of Sustainable City*, 7(2), 45-61. <https://doi.org/10.22034/jsc.2024.434150.1758>. (in Persian)
- Bechtel, B., Demuzere, M., Mills, G., Zhan, W., Sismanidis, P., Small, C., & Voogt, J. (2019). SUHI analysis using local climate zones—A comparison of 50 cities. *Urban Climate*, 28, 100451. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.01.005>.
- Bernard, J., Bocher, E., Grazianni, M., Leconte, F., Lagouanelle, E., & Saux, W. (2024). A generic algorithm to automatically classify urban fabric according to the local climate zone system: Implementation in GeoClimate 0.0.1 and application to French cities. *Geoscientific Model Development*, 17, 2077-2116. <https://doi.org/10.5194/gmd-17-2077-2024>.
- Bokaie, M., Shamsipour, A. A., Khatibi, P., & Hosseini, A. (2019). Seasonal monitoring of urban heat island using multi-temporal Landsat and MODIS images in Tehran. *International Journal of Urban Sciences*, 23(2), 269-285. <https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1548942>.
- Bounoua, L., Safia, A., Masek, J., Peters-Lidard, C., & Imhoff, M. L. (2009). Impact of urban growth on surface climate: A case study in Oran, Algeria. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(2), 217-231. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC2044.1>.
- Buccolieri, R., Esposito, A., Pappacogli, G., Grulois, M., Donato, A., Santiago, J. L., Martilli, A., Maffei, G., & Salizzoni, P. (2022). Local climate zones (LCZs) and urban morphological parameters using GIS: An application to Italian cities. *Environmental Sciences Proceedings*, 19(1), 15. <https://doi.org/10.3390/ecas2022-12795>.
- Cai, M., Ren, C., Yong, X., Kevin, K., & Wang, R. (2018). Investigating the relationship between

- local climate zone and land surface temperature using an improved WUDAPT methodology: A case study of Yangtze River Delta, China. *Urban Climate*, 24, 485–502. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.010>.
- Chen, G., & Wang, R. (2024). Application of LCZ to land use and land cover studies. In book *Local climate zone application in sustainable urban development*, 105–125. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56168-9_6.
- Demuzere, M., Kittner, J., Martilli, A., Mills, G., Moede, C., Stewart, I. D., van Vliet, J., & Bechtel, B. (2022). A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science. *Earth System Science Data*, 14(8), 3835–3873. <https://doi.org/10.5194/essd-14-3835-2022>.
- Fadaei, H. (2021). Investigating urban heat islands of Tehran using satellite images. *Sepehr: Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, 29(116), 119–130. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.242864>. (in Persian)
- Gerundo, C., & Stanganelli, M. (2023). A methodological approach to improve the definition of local climate zones in complex morphological contexts: Application to the case study of Naples metropolitan area. In *Lecture Notes in Civil Engineering*, 463, 1–11). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54096-7_53
- Gousseff, M., Bocher, E., Bernard, J., Lagouanelle, E., & Wiederhold, S. (2023). lczexplore: An R package to explore local climate zone classifications. *Journal of Open Source Software*, 8(89), 5445. <https://doi.org/10.21105/joss.05445>
- Hidalgo, J., Dumas, G., Masson, V., Petit, G., Bechtel, B., Bocher, E., Foley, M., Schoetter, R., & Mills, G. (2019). Comparison between local climate zone maps derived from administrative datasets and satellite observations. *Urban Climate*, 27, 64–89. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.10.004>.
- Hoppe, I. L., Wollmann, C. A., Buss, A. S., Gobo, J. P. A., & Shooshtarian, S. (2022). Local climate zones, sky view factor and magnitude of daytime/nighttime urban heat islands in Balneário Camboriú, SC, Brazil. *Climate*, 10(12), 197. <https://doi.org/10.3390/cli10120197>.
- Huang, M., Zhong, S., & Mei, X. (2024). Spatiotemporal patterns in the urban heat island effect of several contemporary and historical Chinese “stove cities.” *Sustainability*, 16(7), 3091. <https://doi.org/10.3390/su16073091>.
- Jani, D. M., Mohd, W. M. N. W., & Salleh, S. A. (2021). Effects of high-rise residential building shape and height on the urban microclimate in a tropical region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 767(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/767/1/012031>.
- Jonidi Jafari, A., Delikhoon, M., Jamshidi Rastani, M., Norouzian Baghani, A., Sorooshian, A., Rohani-Rasaf, M., Kermani, M., Rezaei Kalantary, R., Golbaz, S., & Golkhorshidi, F. (2021). Characteristics of gaseous and particulate air pollutants at four different urban hotspots in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 72, 102907. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102907>.
- Kia, Z., Shamsipour, A., & Azizi, G. (2025). Identification of homogeneous climate response units in Tehran metropolitan. *Motaleate Shahri*, 14(53), 67–80. <https://doi.org/10.22034/urbs.2024.140790.5015>. (in Persian)
- Kotharkar, R., Dongarsane, P., Ghosh, A., & Kotharkar, V. (2024). Numerical analysis of extreme heat in Nagpur city using heat stress indices, all-cause mortality and local climate zone classification. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105099. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105099>.
- Kourki Nejad, M. H., Shamsipour, A. A., & Habibi, K. (2023, May). A novel approach to mapping urban climate analytical maps: A case study of Tehran city. In *Proceedings of the National Conference on Urban Climate/Spatial Analysis*, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/1873395>. (in Persian)

- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, *115*(12), 3249–3263. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.008>.
- Li, N., Lu, D. S., Wu, M., Zhang, Y. L., & Lu, L. Y. (2018). Coastal wetland classification with multiseasonal high-spatial resolution satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, *39*(23), 8963–8983. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1500731>.
- Liang, Y., Song, W., Cao, S., & Du, M. (2023). Local climate zone classification using daytime Zhuhai-1 hyperspectral imagery and nighttime light data. *Remote Sensing*, *15*(13), 3351. <https://doi.org/10.3390/rs15133351>.
- Liu, S. J., & Shi, Q. (2020). Local climate zone mapping as remote sensing scene classification using deep learning: A case study of metropolitan China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *164*, 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.008>.
- Lowe, S. A. (2016). An energy and mortality impact assessment of the urban heat island in the US. *Environmental Impact Assessment Review*, *56*, 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.10.004>.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, *28*(5), 823–870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>.
- Malys, L., Musy, M., & Inard, C. (2015). Microclimate and buildings energy consumption: Sensitivity analysis of coupling methods. *Journal of Building Performance*, *6*(1), 15–28. <https://doi.org/10.1080/17512549.2015.1043643>.
- Masoudi, H., Meshkini, A., Ghaedrahmati, S., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2024). A meta-analysis on urban heat island studies in Iran. *Town and Country Planning*, *16*(2), 303–322. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2025.386543.670483>. (in Persian)
- Meng, Q., Xue, C., Zhang, W., Demuzere, M., Hystad, P., Liu, T., James, P., Bechtel, B., & Hankey, S. (2024). Mapping urban form onto local climate zones for the continental US from 1986–2020. *Scientific Data*, *11*, 195. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03042-4>.
- Moghbel, M., & Shamsipour, A. A. (2019). Spatiotemporal characteristics of urban land surface temperature and UHI formation: A case study of Tehran, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, *137*(3–4), 2463–2476. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2735-7>.
- Muhammad, F., Xie, C., Voge, J., & Afshari, A. (2022). Inference of local climate zones from GIS data, and comparison to WUDAPT classification and custom-fit clusters. *Land*, *11*(5), 747. <https://doi.org/10.3390/land11050747>.
- Najafzadeh, F., Mohammadzadeh, A., Ghorbanian, A., & Jamali, S. (2021). Spatial and temporal analysis of surface urban heat island and thermal comfort using Landsat satellite images between 1989 and 2019: A case study in Tehran. *Remote Sensing*, *13*(21), 4469. <https://doi.org/10.3390/rs13214469>.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.
- Oliveira, A., Lopes, A., & Niza, S. (2020). Local climate zones in five southern European cities: An improved GIS-based classification method based on Copernicus data. *Urban Climate*, *33*, 100631. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100631>.
- Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2024). Land surface temperature (LST) variability in local climate zones (LCZs) in semi-arid regions (Case study: Bojnourd City). *Journal of Natural Environment*, *77*(2), 371–384. <https://doi.org/10.22059/jne.2024.372929.2653>. (in Persian)
- Rahmani, N., & Sharifi, A. (2025). Urban heat dynamics in local climate zones (LCZs): A systematic review. *Building and Environment*, *267*, 112225. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.267.112225>.

- Roshan, G., Arekhi, S., Bayganeh, Z., & Attia, S. (2024). Evaluation of the intensity of urban heat islands during heat waves using local climate zones in the semi-arid, continental climate of Tehran. *Urban Climate*, 56, 102079. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102079>.
- Satari, N., Erfani, M., & Jahanishakib, F. (2023). Comparison of the efficiency of local climatic zone algorithm in separating built-up area compared to built-up indices. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 15(4), 1–16. <https://doi.org/10.48308/gisj.2022.102576>. (in Persian)
- Scarano, M., & Mancini, F. (2017). Assessing the relationship between sky view factor and land surface temperature at the spatial resolution. *International Journal of Remote Sensing*, 38(23), 6910–6929. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1368099>.
- Sepasi Zangiabadi, S., Shamsipour, A., & Hoseini, A. (2023). Local climate zoning of Tehran metropolitan based on physical structure. *Motaleate Shahri*, 12(48), 43–54. <https://doi.org/10.34785/J011.2022.019>. (in Persian)
- Shamsipour, A. A. (2024). *Urban climate mapping and planning recommendations: A review of global experiences* (2nd ed.). Tehran, Iran: Tehran University Press.. (in Persian)
- Stewart, I. D. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31(2), 200–217. <https://doi.org/10.1002/joc.2141>.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.
- Stewart, I. D., Oke, T. R., & Krayenhoff, E. S. (2014). Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology*, 34(4), 1062–1080. <https://doi.org/10.1002/joc.3746>.
- Subhanil, G., Himanshu, G., & Mukherjee, S. (2017). Dynamic analysis and ecological evaluation of urban heat islands in Raipur city, India. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(3), 036020. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.036020>.
- Wang, J., Zhou, W., & Wang, J. (2019). Time-series analysis reveals intensified urban heat island effects but without significant urban warming. *Remote Sensing*, 11(19), 2229. <https://doi.org/10.3390/rs11192229>.
- Wang, Z., Cao, S., Du, M., Song, W., Quan, J., & Lv, Y. (2023). Local climate zone classification by seasonal and diurnal satellite observations: An integration of daytime thermal infrared multispectral imageries and high-resolution night-time light data. *Remote Sensing*, 15(10), 2599. <https://doi.org/10.3390/rs15102599>.
- Xie, Z. L., Chen, Y. L., Lu, D. S., Li, G. Y., & Chen, E. X. (2019). Classification of land cover, forest, and tree species classes with ZiYuan-3 multispectral and stereo data. *Remote Sensing*, 11(2), 164. <https://doi.org/10.3390/rs11020164>.
- Yan, Y., Jian, W., Wang, B., & Liu, Z. (2024). Multi-scale effects of LCZ and urban green infrastructure on diurnal land surface temperature dynamics. *Sustainable Cities and Society*, 117, 105945. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105945>.
- Yang, J., Hu, L., & Wang, C. (2019). Population dynamics modify urban residents' exposure to extreme temperatures across the United States. *Science Advances*, 5(12), eaay3452. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay3452>.
- Yang, J., Wang, Y., Xiu, C., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., & Li, X. (2020). Optimizing local climate zones to mitigate urban heat island effect in human settlements. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123767. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123767>.
- Yang, X., Yao, L., Jin, T., Peng, L., Jiang, Z., Hu, Z., & Ye, Y. (2018). Assessing the thermal behavior of different local climate zones in the Nanjing metropolis, China. *Building and Environment*, 137, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.009>.
- Yasser, A., Hossein, A., & Ehsan, B. (2022). Impact of wind speed on urban heat and pollution

- islands. *Urban Climate*, 44, 101200. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101200>.
- Zheng, S., Chen, X., & Liu, Y. (2023). Impact of urban renewal on urban heat island: Study of renewal processes and thermal effects. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104995. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104995>.
- Zhou, R., Xu, H., Zhang, H., Zhang, J., Liu, M., He, T., Gao, J., & Li, C. (2022). Quantifying the relationship between 2D/3D building patterns and land surface temperature: Study on the metropolitan Shanghai. *Remote Sensing*, 14(16), 4098. <https://doi.org/10.3390/rs14164098>.
- Zhou, W., Huang, G., & Cadenasso, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102(1), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.009>.
- Zhou, Y., Zhao, H., Mao, S., Zhang, G., Jin, Y., Luo, Y., Huo, W., Pan, Z., An, P., & Lun, F. (2022). Exploring surface urban heat island (SUHI) intensity and its implications based on urban 3D neighborhood metrics: An investigation of 57 Chinese cities. *Science of the Total Environment*, 847, 157662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157662>.

