



A Meta-Analysis on Urban Heat Island Studies in Iran

Hasan Masoudi¹ | Abolfazl Meshkini^{2*} | Safar Ghaedrahmati³ | Amir Reza Khavarian-Garmsir⁴

1. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: masoudi.hasan@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: meshkini@modares.ac.ir
3. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: safarahmati@modares.ac.ir
4. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran. Email: a.khavarian@geo.ui.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received Decembe 05, 2024
Revised Decembe 23, 2024
Accepted January 04, 2025
Published online 17 February 2025

Keywords:
Urban Heat Island (UHI),
Urban Heating,
Climate Change,
Temperature Variation,
Meta-Analysis.

ABSTRACT

The urban heat island (UHI) is the most visible manifestation of climate change in cities, which has generated a lot of research interest in recent years. Despite the high importance of UHI and the large volume of studies conducted in this field, this issue has not been systematically analyzed in domestic research. The present study was developed with the aim of meta-analyzing previous studies in the field of UHI and, by focusing on domestic studies, it aims to examine the research process, analyze their nature in terms of different dimensions and extract research gaps. The statistical population of the study includes reputable domestic publications and articles indexed in the databases of Magiran, Normagz, and Jihad Daneshgahi, which includes a total of 213 studies. The findings of the study indicate an upward trend in studies, and their dimensions and depth have gradually increased in this field. So far, UHI has been studied in more than 40 cities in the country, with the majority conducted in the cities of Tehran (33%), Isfahan (8.25%), and Mashhad (7.28%). These studies have been published in more than 88 domestic journals, with geographers and climatologists playing the largest role in their compilation. About 90% of the studies are of an applied type and have been written with a quantitative approach. In addition, satellite images and meteorological data have been used more than other methods in data collection (more than 70%). Four main thematic areas were identified in UHI studies, of which “measuring UHI and the impact of various factors on them” is the dominant theme. Finally, the present study extracts the gaps in the topic of UHI and highlights that a reasonable amount of knowledge has been produced in the field of measuring UHI to date; However, it is not enough, and future studies should move towards providing mitigation and adaptation solutions and strategies, thereby increasing the climate resilience of cities against this phenomenon.

Cite this article: Masoudi, H.; Meshkini, A.; Ghaedrahmati, S. & Khavarian-Garmsir, A. R. (2024-25). A Meta-Analysis on Urban Heat Island Studies in Iran. *Town and Country Planning*.16 (2), 303-322. <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.386543.670483>



© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.386543.670483>



فرا تحلیلی بر مطالعات جزیره گرمایی شهری در ایران

حسن مسعودی^۱ | ابوالفضل مشکینی^{۲*} | صفر قائدرحمتی^۳ | امیررضا خاوریان گرمسیر^۴

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: masoudi.hasan@modares.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: meshkini@modares.ac.ir
۳. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: safarrahmami@modares.ac.ir
۴. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: a.khavarian@geo.ui.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

کلیدواژه:

تغییرات اقلیمی،

تغییرات دما،

جزیره گرمایی (حرارتی) شهری،

فرا تحلیلی،

گرمایش شهری.

جزیره گرمایی شهری مشهودترین نمود تغییر اقلیم در شهرهاست که امروزه علاقه تحقیقاتی فراوانی را به خود جلب کرده است. به‌رغم اهمیت بالای جزایر حرارتی شهری و حجم گسترده‌ای از مطالعات انجام‌شده در این زمینه، این موضوع به صورت سیستماتیک در پژوهش‌های داخلی تحلیل نشده است. پژوهش حاضر با هدف فرا تحلیلی مطالعات پیشین در حوزه جزایر گرمایی شهری تدوین شد و با تمرکز بر مطالعات داخلی، ضمن بررسی روند مطالعات، قصد داشت ماهیت آن‌ها را به لحاظ ابعاد مختلف واکاوی و شکاف‌های تحقیقاتی را استخراج کند. جامعه آماری پژوهش شامل نشریات معتبر داخلی و مقالات نمایه‌شده در پایگاه‌های اطلاعاتی مگیران، نورمگز، و جهاد دانشگاهی است که در مجموع ۲۱۳ مطالعه را در بر می‌گیرد. یافته‌های تحقیق حاکی از روند صعودی مطالعات است که به مرور بر ابعاد و گستردگی آن‌ها افزوده شده است. تاکنون، جزایر حرارتی شهری در بیش از ۴۰ شهر کشور مطالعه شده که عمده‌ترین آن‌ها در شهرهای تهران (۳۳٪) و اصفهان (۲۵٪) و مشهد (۲۸٪/۷) بوده است. این مطالعات در بیش از ۸۸ نشریه داخلی به چاپ رسیده‌اند که جغرافیدانان و اقلیم‌شناسان بیشترین نقش را در تدوین آن‌ها داشته‌اند. حدود ۹۰ درصد مطالعات از نوع کاربردی بوده و با رویکرد کمی به نگارش درآمده‌اند. در گردآوری داده‌ها نیز تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی بیش از دیگر روش‌ها کاربرد داشته است. پژوهش حاضر چهار حیطه موضوعی اصلی در این زمینه را شناسایی کرد که «اندازه‌گیری جزایر گرمایی شهری و تأثیر عوامل مختلف بر آن» در مطالعات غالب بوده است. در نهایت، مطالعه حاضر شکاف‌های موجود در موضوع جزایر گرمایی شهری را استخراج کرد. یادآور می‌شود تاکنون دانش معقولی در زمینه سنجش جزایر گرمایی شهری تولید شده است؛ لیکن، کافی نبوده و مطالعات آینده باید به سمت ارائه راهکارها و استراتژی‌های کاهش و انطباق و در نتیجه افزایش تاب‌آوری اقلیمی شهرها در برابر این پدیده حرکت کنند.

استناد: مسعودی، حسن؛ مشکینی، ابوالفضل؛ قائدرحمتی، صفر و خاوریان گرمسیر، امیررضا (۱۴۰۳). فرا تحلیلی بر مطالعات جزیره گرمایی شهری در ایران. *آمایش سرزمین*، ۱۶ (۲) ۳۳۲-۳۰۳. <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.386543.670483>

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2025.386543.670483>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.



مقدمه و بیان مسئله

مشهودترین و مستندترین نمود تغییر اقلیم در شهرها جزیره حرارتی یا گرمایی شهری (UHI) نام دارد (Oke, 2002; Santamouris et al., 2019) که به عنوان تفاوت دما (بالا بودن دما) در مناطق متراکم شهری در مقایسه با مناطق غیر شهری یا روستایی پیرامونی شناخته می‌شود (Rahmani & Sharifi, 2023). گرمای بیش از حد^۱ و UHI به دلایل متعدد از جمله فقدان ساختار قانونی خاص، پیچیدگی زمانی و مکانی، ترکیب با سایر عوامل، و نامرئی بودن از دیگر خطرات اقلیمی متمایز است (Keith et al., 2019) و تهدید جدی‌تری برای جوامع محسوب می‌شود (Kotharkar & Arch, 2021). امروزه، UHI در سراسر جهان مشاهده شده (Zhou et al., 2018) و در بیش از ۴۰۰ شهر نیز ثبت شده است (Santamouris, 2020). از همین رو، UHI در عصر کنونی به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل شده (Estoque et al., 2017) و علاقه تحقیقاتی قابل توجهی را به‌ویژه در دهه گذشته به خود جلب کرده است (Zhou et al., 2018).

دلایل متعددی را می‌توان به وقوع UHI و تشدید آن در بافت‌های شهری نسبت داد (Aflaki et al., 2017). در یک دسته‌بندی کلی، عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و تشدید UHI را می‌توان به دو دسته قابل کنترل و غیر قابل کنترل تقسیم کرد. عوامل کنترل‌پذیر عمدتاً مربوط به طراحی و برنامه‌ریزی شهرها و فرایندهای تصمیم‌گیری هستند که تا حدودی در کنترل انسان قرار دارند؛ درحالی‌که عوامل غیر قابل کنترل به محیط طبیعی بستگی دارند و تقریباً از کنترل انسان خارجند (Parsaee et al., 2019). با وجود این، اجماع گسترده‌ای وجود دارد که UHI ماحصل اصلی رشد و توسعه شهری است (Aflaki et al., 2017) و ارتباط نزدیکی مابین تغییرات کاربری اراضی و ساختار شهری و پیکربندی ساختمان‌ها با افزایش دما و تغییرات اقلیمی قابل مشاهده است (Parsaee et al., 2019). شهرنشینی فزاینده همراه با فعالیت‌های انسانی رو به رشد محرک اصلی شکل‌گیری و تشدید جزایر گرمایی و تغییرات اقلیمی است (Santamouris, 2015a). شهرنشینی، با تغییر الگوهای سکونتگاهی و محیط ساخته‌شده (مشکینی و همکاران، ۱۴۰۳) فشار به سرزمین و اکوسیستم‌های طبیعی و انسانی را افزایش داده (محمودزاده و مسعودی، ۱۳۹۸) و با تغییر کاربری اراضی موجب گرمایش شهری شده است (Diren-Üstün et al., 2024). علاوه بر آن، گرمای حاصل از خودروها و ترافیک شهری، صنایع، تراکم شدید ساختمانی و جمعیتی، استفاده از مصالح با آلبیدو پایین، و مورفولوژی شهری با خیابان‌های باریک از دیگر عواملی هستند که در تشدید UHI مؤثرند (Leal Filho et al., 2017).

بنابراین، مناطق شهری کانون اصلی بروز تغییرات اقلیمی و جزایر حرارتی هستند (Halder et al., 2021) که آثار زیان‌بار تغییرات اقلیم و افزایش دما در آن‌ها بسیار چشمگیرتر است (Melgar, 2023). افزایش اوج تقاضای برق و آب به‌ویژه در طول تابستان (Keith et al., 2019) و تأثیر نامطلوب UHI بر جوامع انسانی و اکوسیستم طبیعی به طور گسترده در مباحث مستند شده است (Deilami et al., 2018). این آثار به حدی است که برخی از UHI به عنوان «قاتل خاموش» یاد می‌کنند. زیرا پیامدهای آن تدریجی است و تأثیر مخربی بر سلامت انسان و زیرساخت‌ها و اکوسیستم‌های طبیعی در درازمدت می‌گذارد (Kotharkar & Arch, 2021). افزون بر آن، با توجه به برهم‌کنش و هم‌افزایی UHI و تغییرات اقلیم جهانی و شهرنشینی پیش‌بینی‌ها حاکی از تشدید اثر و پیامدهای زیان‌بار UHI در آینده تحت شرایط اقلیمی گرم‌تر و جهان به‌سرعت در حال شهرنشینی است (Carvalho et al., 2017). بنابراین، نگرانی‌های جدی و شدیدی در زمینه پیامدهای این پدیده در حال و آینده وجود دارد (Santamouris, 2020) و بسیار مهم است که بدانیم چه عواملی موجب شکل‌گیری و تشدید UHI می‌شوند تا متناسب با آن‌ها بتوان اقدامات پیشگیرانه را هدف قرار داد. همین موضوع ضرورت مطالعات بیشتر و جامع‌تر و ابداع راهکارهایی برای مقابله با آثار UHI را دوچندان می‌کند (Deilami et al., 2018).

بنابراین، شهرها همان‌طور که به عنوان مراکز اصلی و تشدیدکننده تغییرات اقلیمی و اثر UHI شناخته می‌شوند، کانون کلیدی برای مواجهه با آن و ارائه راهکارها و استراتژی‌های مربوطه نیز در نظر گرفته می‌شوند (Melgar, 2023). به عبارتی، شهرها نقش

1. urban heat island
2. overheating

اساسی در کاهش آثار تغییرات اقلیمی و UHI و دستیابی به پایداری دارند و این امر در گزارش‌ها و برنامه‌های بین‌المللی متعدد به‌صراحت اشاره شده است (Sharifi, 2021b). در این میان، برنامه‌ریزی و حکمروایی شهری عنصر حیاتی برای کاهش چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و UHI و دستیابی به شهرهای تاب‌آور و پایدار است که مستلزم همکاری بین ذی‌نفعان مختلف از جمله نهادهای دولتی و بخش خصوصی و شهروندان است (Arunab & Mathew, 2024). به واقع، هر چه شهرها بهتر برنامه‌ریزی شوند و اقدامات مطلوبی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در آن‌ها صورت گیرد به اهداف توافق‌نامه پاریس نزدیک‌تر می‌شویم و پایداری و تاب‌آوری آن‌ها افزایش می‌یابد (Aboagye & Sharifi, 2024). به طور کلی، محققان در برخورد یا چالش‌های اقلیمی از جمله UHI سازگاری یا انطباق^۱ و کاهش^۲ را به عنوان دو رویکرد اساسی در این زمینه مطرح می‌کنند. سازگاری بر محدود کردن آسیب‌پذیری شهرها و افزایش تاب‌آوری و ظرفیت غلبه متمرکز است (Sharifi, 2021a) و IPCC آن را «فرایند تطبیق یا تعدیل با اقلیم واقعی یا مورد انتظار و اثر آن بر سیستم‌های طبیعی یا انسانی» تعریف کرده است (IPCC, 2014). اقداماتی شامل کمک مالی برای زندگی در فضاهای نامطبوع، اجرای سیستم‌های هشدار بهداشتی، طراحی ساختمان‌های با کیفیت بهتر (Santamouris, 2020)، ارتقای آگاهی عمومی (Arunab & Mathew, 2024) در این دسته قرار می‌گیرند. در مقابل، کاهش به مسائل مربوط به محرک‌های تغییرات اقلیمی می‌پردازد و به عنوان «مداخله انسانی برای کاهش استفاده از منابع یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای» تعریف شده است (IPCC, 2014). گسترش فضاهای سبز شهری و سطوح سبز، استفاده از سقف‌های خنک (بام سبز یا سفید)، استفاده از سطوح با آلبیدوی بالا از استراتژی‌های کارآمدی هستند که در کاهش دمای شهرها و اثر UHI مؤثرند (Santamouris, 2015a). در این میان، اقدامات کاهشی توجه بیشتری را به خود جلب کرده و در بسیاری از شهرها، حتی در جهان توسعه‌یافته، ترتیبات سازمانی بهتری برای آن شکل گرفته است. با وجود این، از زمان انتشار چهارمین گزارش ارزیابی IPCC یک تغییر پارادایم به سمت کاربست هم‌زمان کاهش و سازگاری و ادغام آن‌ها صورت گرفته است؛ که این هم‌افزایی می‌تواند دستیابی به توسعه شهری کم‌کربن و پایدار را تسریع بخشد (Sharifi, 2021a).

بر مبنای آنچه آمد، پدیده UHI تقریباً در همه شهرهای جهان مشاهده شده است؛ واقعیتی که با توجه به روند رو به رشد شهرنشینی و گرمایش جهانی انتظار می‌رود در دهه‌های آینده چشمگیرتر و بغرنج‌تر شود. این موضوع بر اهمیت فزاینده این پدیده در مطالعات شهری صحنه می‌گذارد و ضرورت توجه به آن را دوچندان می‌کند. با وجود خیل عظیمی از پژوهش‌ها در زمینه UHI، چه در داخل چه در خارج از کشور، مطالعه جامعی در این حوزه با هدف تحلیل استنادی و محتوایی تحقیقات پیشین در داخل کشور انجام نشده است. به واقع، مطالعات در موضوع جزایر گرمایی به‌وفور انجام شده است؛ لیکن، اغلب پژوهش‌ها پراکنده‌اند و دسته‌بندی جامعی از آن‌ها صورت نگرفته است. افزون بر آن، تاکنون هیچ مطالعه مروری و نظام‌مندی از تحقیقات گذشته در موضوع جزایر حرارتی در داخل کشور انجام نشده است. ضرورت مسئله و پراکندگی مطالعات قبلی نگارندگان را بر آن داشت تا با نگاه مروری و تحلیل محتوایی به پر کردن شکاف و خلأ موجود بپردازند. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف فراتحلیل پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه جزایر حرارتی- با تأکید بر مطالعات داخلی- تدوین شده است؛ تا ضمن بررسی و مرور ویژگی‌های عمومی پژوهش‌ها ماهیت آن‌ها را به لحاظ ابعاد مختلف واکاوی کند و با بررسی دقیق آن‌ها به سه پرسش اصلی پاسخ دهد: **نخست**، روند مطالعات خارجی (به صورت اجمالی) و داخلی در موضوع UHI به چه صورت بوده است؟ **دوم**، پژوهش‌های پیشین به کدام دسته‌های موضوعی پرداخته‌اند؟ **سوم**، شکاف‌های پژوهش در حوزه یادشده کدام‌اند؟ نتایج این تحقیق می‌تواند در شناخت روندها و موضوعات مطرح در زمینه UHI مؤثر واقع شود و راهنمای مناسبی برای پژوهشگران و محققان در این حوزه باشد.

روش پژوهش

قرن‌هاست دانشمندان به این نتیجه رسیده‌اند که یک مطالعه به‌تنهایی نمی‌تواند حتی بخش کوچکی از یک مشکل بزرگ را حل

1. adaptation
2. mitigation

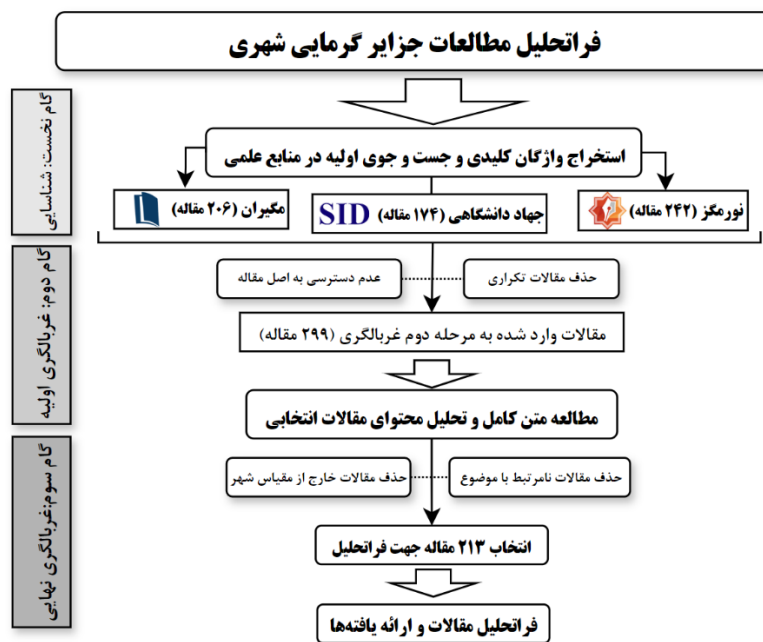
کند. بنابراین، اساس علم انباشت دانش حاصل از نتایج بسیاری از مطالعات است (E. Hunter et al., 1986). به واقع، انباشت اطلاعات حاصل از پژوهش‌های علمی یکی از ویژگی‌های دانش بشری است که همواره از روندی رو به رشد برخوردار است. این موضوع از جایی به بعد به عنوان یک بحران علمی مطرح می‌شود که حجم بالا و پراکندگی گسترده مطالعات موجب دشواری دست یافتن به دانش عینی و کاربردی از میان انبوه اطلاعات پژوهشی در موضوعی خاص می‌شود (مرادپور و همکاران، ۱۴۰۰). محققان با آگاهی از این موضوع و با جمع‌بندی و تلخیص گسترده‌ای از پژوهش‌ها دانش کاربردی و اصیل نهفته در آن‌ها را استخراج و از بروز بحران‌ها و سوگیری‌های علمی جلوگیری می‌کنند (Shu & Ye, 2023).

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر به منظور بررسی و ترکیب و آسیب‌شناسی پژوهش‌های گذشته معرفی و به کار گرفته شده است روش فراتحلیل یا متا-آنالیز^۱ است (بهره و همکاران، ۱۴۰۱). فراتحلیل یک روش کمی و کاملاً سیستماتیک است که برای تجزیه و تحلیل تناقضات و ناهمگونی‌های نتایج تحقیقات پیشین در یک زمینه خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی، متا-آنالیز عدم قطعیت منتج از یک مطالعه را با ادغام چندین پژوهش فردی و مرتبط به میزان قابل توجهی کاهش و نتایج قابل اعتمادتری ارائه می‌دهد (Sun et al., 2023). بنابراین، فراتحلیل در باب یک مسئله پژوهشی خاص به کار گرفته می‌شود و با حصول به یافته‌های دقیق علمی از پژوهش‌های پیشین مطالعات آینده را جهت می‌دهد و تسهیل می‌کند. با توجه به مسئله موجود و مطالعات گسترده‌ای که در زمینه جزایر حرارتی، چه در داخل چه در خارج از کشور، تدوین شده است، پژوهش حاضر با کاربردی روش فراتحلیل به دنبال مرور سیستماتیک مطالعات پیشین است. بر همین اساس، این تحقیق از نظر هدف کاربردی- توسعه‌ای و از نظر روش توصیفی- تحلیلی است. پژوهش حاضر از چهار مرحله کلی تشکیل شده است که به اختصار عبارت‌اند از: ۱. تعیین موضوع و سؤال پژوهش؛ ۲. مرور پیشینه که شامل تنظیم پروتکل جست‌وجو، جست‌وجو، و غربالگری اولیه است؛ ۳. انتخاب مقالات و ارزیابی کیفیت آن‌ها جهت غربالگری نهایی؛ ۴. استخراج داده‌ها و ارائه یافته‌ها (Hansen et al., 2022).

علاوه بر آن، با توجه به سؤالات پژوهش، یک روند سه‌مرحله‌ای در پیش گرفته شد: نخست، مرور اجمالی موضوع پژوهش در پژوهش‌های خارجی؛ دوم، مرور مطالعات داخلی و فراتحلیل آن‌ها؛ سوم، دسته‌بندی موضوعی و استخراج شکاف‌های مطالعاتی. در همین زمینه، ابتدا با تحلیل محتوای پیشینه تحقیق و جست‌وجوی اولیه در پایگاه مطالعاتی وب آو ساینس^۲ (WoS) روند موضوع پژوهش در مطالعات خارجی مرور شد. سپس، در قالب روش فراتحلیل، با تنظیم پروتکل و انتخاب کلیدواژه‌های تحقیق (جدول ۱)، جست‌وجوی اولیه‌ای در پایگاه‌های اطلاعاتی جهاد دانشگاهی (SID) و نورمگز و مگیران در تاریخ ۱۴۰۳/۰۸/۰۲ صورت گرفت. در جست‌وجوی اولیه، مجموعاً ۶۲۲ مطالعه شناسایی شد که جامعه آماری تحقیق را در بر می‌گیرند. با غربالگری اولیه، که شامل حذف مطالعات تکراری و دسترسی به منابع و مقیاس تحقیق است، ۲۹۹ مطالعه استخراج شد. در ادامه، همه منابع دانلود و فایل متنی آن‌ها از منظر ویژگی‌های عمومی و محتوایی بررسی شد. در نهایت، ۲۱۳ مطالعه جهت فراتحلیل انتخاب شد (شکل ۱).

جدول ۱. پروتکل جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی

کلیدواژه	معیار جست‌وجو	بازه زمانی	پایگاه اطلاعاتی
جزایر گرمایی، جزایر حرارتی، جزیره گرمایی، جزیره حرارتی، تغییرات دما	عنوان، چکیده، کلیدواژه	از ابتدا تا پایان مهرماه ۱۴۰۳	مگیران و نورمگز و SID



یافته‌های پژوهش

مروری بر روند شکل‌گیری و تکامل جزایر گرمایی در مطالعات جهانی

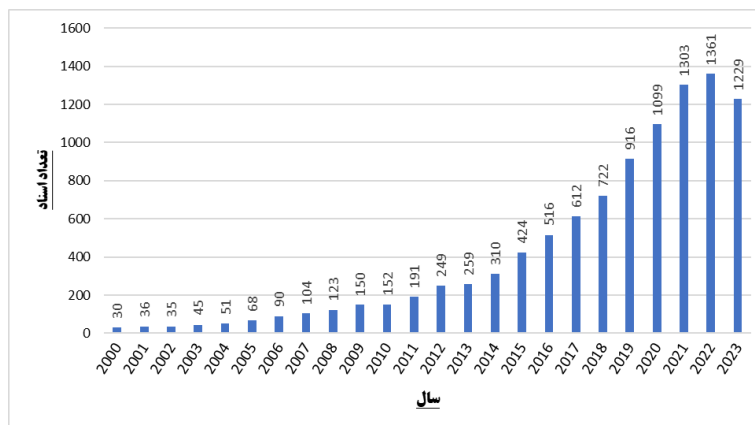
اصطلاح «جزیره گرمایی شهری» یا UHI را نخستین بار گوردون مانلی^۱ (۱۹۵۸) در مطالعات هواشناسی انگلیسی‌زبان مطرح کرد (Aflaki et al., 2017). با این حال، از زمان پیدایش و مطالعه در زمینه تغییرات اقلیم و تغییرات دمای شهرها بیش از ۲۰۰ سال می‌گذرد (Stewart & Mills, 2021). نخستین بار، این موضوع را لوک هاوارد^۲ در سال ۱۸۱۸ با انتشار کتابی با عنوان *اقلیم لندن*^۳ بررسی کرد (Howard, 2012). هاوارد اولین مشاهدات علمی در ارتباط با دمای شهرها را انجام داد و تجزیه و تحلیل‌های وی نشان داد لندن نسبت به پیرامون خود چند درجه سانتی‌گراد گرم‌تر است (Stewart, 2011). با وجود این، مطالعات سیستماتیک در مورد UHI و تغییرات دمای شهر و اثر آن تا اوایل دهه ۱۹۵۰ به صورت جدی دنبال نشده بود و در حقیقت بعد از آن و به دنبال شهرنشینی گسترده پس از جنگ جهانی دوم (Wu & Ren, 2019) و افزایش نگرانی در مورد تأثیر انسان بر محیط پیرامونی بود که این مفهوم در مطالعات جهانی گسترش یافت (Yow, 2007). این موضوع تا اواخر قرن ۲۰ و شروع قرن ۲۱ نیز نگرانی گسترده‌ای محسوب نمی‌شد (O'Neill et al., 2009). اما، از آن زمان تاکنون (غالباً از دهه ۱۹۹۰) به دلیل تأثیرات نامطلوب این پدیده بر محیط زیست شهری و زیست‌پذیری شهرها حجم عظیمی از مطالعات در این خصوص توسط محققان و اندیشمندان متعدد انجام شده است. امروزه UHI و تغییرات دمای شهرها یکی از موضوعات تحقیقاتی مهم در زمینه‌های مختلف علمی است (Estoque et al., 2017) و پژوهش‌های متعددی در این خصوص در صدها شهر جهان از جمله تقریباً همه شهرهای بزرگ اروپا، امریکای شمالی، و آسیای شرقی به انجام رسیده است (Stewart, 2011).

توجه به گرمای شدید و UHI در طراحی و برنامه‌ریزی شهرها ابتدا عمدتاً در حیطه پژوهشگران و معماران شهرهای کویری و بیابانی بود؛ مانند گولانی^۴ (۱۹۸۳) که بهترین شیوه‌ها را در طراحی این شهرها بیان کرد و و فیک آلپ^۵ (۱۹۹۱) که در مورد استفاده از معماری سنتی و بومی در سازگاری با گرمای بیش از حد سکونتگاه‌ها تحقیق می‌کرد (Keith et al., 2019). در میان

1. Gordon Manley
2. Luke Howard
3. *The Climate of London*
4. Golany
5. Vefik Alp

نسل اولیه محققان و پیشگامان در این زمینه، مطالعات و کارهای تیموتی اوکه^۱ بیش از همه مؤثر بوده است (Wang, 2022). وی از پیشتازان و محققان برجسته در مطالعه اقلیم شهری و جزایر حرارتی است که تحقیقاتش از دهه ۷۰ میلادی تاکنون به درک و شناخت ما از UHI و اثر آن بر شهرها کمک شایانی کرده است.

مطالعات جزایر گرمایی شهری را می‌توان به دو دوره کلاسیک (۱۸۰۰ - ۱۹۸۰) و دوره مدرن (۱۹۸۰ به بعد) تقسیم کرد. در طول دوره کلاسیک محققان مشاهدات جوی را به رسمیت شناختند و به اندازه‌گیری دما در شهرهای مختلف پرداختند و در این عرصه به پیشرفت‌های زیادی رسیدند (Stewart, 2019). در چینی شرایطی بود که لندسبرگ^۲ اظهار داشت پدیده جزیره گرمایی به یک «رویداد کمی قابل پیش‌بینی» تبدیل شده است (Landsberg, 1979). در دوره مدرن، مطالعات علاوه بر شناسایی و کشف جزایر حرارتی بر پیامدها و اثر UHI در شهرها و همین‌طور استراتژی‌های کاهش و سازگاری تمرکز کرده‌اند (Wu & Ren, 2019). امروزه، جزایر گرمایی شهری به یکی از مباحث علمی مهم و مطرح در دهه‌های گذشته تبدیل شده و روزبه‌روز بر علاقه‌مندی به آن افزوده شود؛ به گونه‌ای که تحلیل اسناد موجود در پایگاه علمی وب آو ساینس با استفاده از کلیدواژه‌های «Urban Heat Island» یا «Urban Heat-Island» یا «UHI» در تاریخ ۲۳ مهر ۱۴۰۳ (۱۴ اکتبر ۲۰۲۴) نشان داد از سال ۲۰۰۰ تاکنون حدود ۱۰۰۹۹ سند شامل کتاب، مقاله علمی- پژوهشی، مقاله مروری، مقاله کنفرانسی، و غیره در موضوع مورد مطالعه به چاپ رسیده است که از این تعداد حدود ۶۷۵ پژوهش در حوزه جغرافیا و مطالعات شهری بوده است. نمودار زمانی مطالعات از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ نیز حاکی از روند افزایشی پژوهش‌ها و در نتیجه علاقه‌مندی رو به رشد پژوهشگران به این موضوع است (شکل ۱).

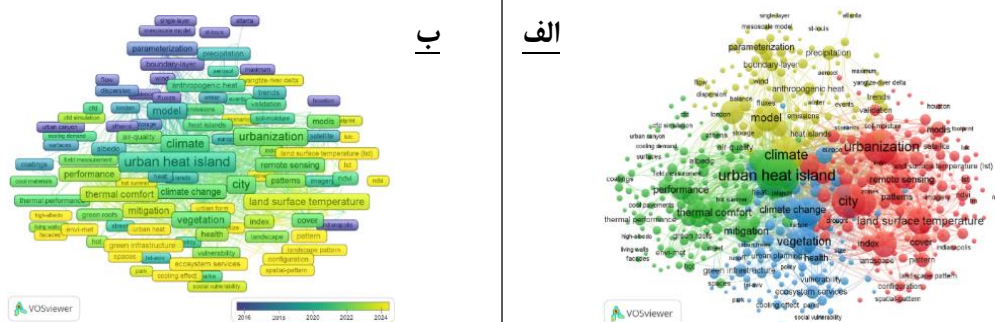


شکل ۲. روند پژوهش‌های مرتبط با جزایر گرمایی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ (منبع: پایگاه داده WoS)

به لحاظ موقعیت جغرافیایی نیز به ترتیب چین (۳۴٪)، امریکا (۲۱٪)، انگلستان (۶/۵٪)، ایتالیا (۶/۲٪)، و آلمان (۵/۹٪) بیشترین سهم را در بین مطالعات صورت‌گرفته در سرتاسر جهان دارند. همچنین کشور ایران با ۲۰۷ عنوان سند در جایگاه شانزدهم (۲/۱٪) قرار گرفته است.

در تحلیل هم‌زمانی واژگان کلیدی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer (با اعمال آستانه ۷ رخداد مشترک و ۵۰۰ کلیدواژه اول) چهار خوشه اصلی از واژگان کلیدی شناسایی شد که بیشترین بسامد را داشته‌اند. از میان واژگان استخراج‌شده به ترتیب جزایر حرارتی شهری، دما، اقلیم، شهرنشینی، پوشش گیاهی، و دمای سطحی زمین بیشترین کاربرد و هم‌رخدادی را در مطالعات داشته‌اند (شکل ۳ الف). روند موضوعات مطرح بر حسب سال‌های مختلف نیز نشان می‌دهد موضوعات و واژگانی نظیر اثر خنک‌سازی، خدمات اکوسیستم، زیرساخت‌های سبز، اقدامات کاهشی، آسایش حرارتی، و غیره از موارد جدیدی هستند که در سال‌های اخیر به طور گسترده‌تر مطرح شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شکل ۳ ب).

1. Timothy Oke
2. Landsberg

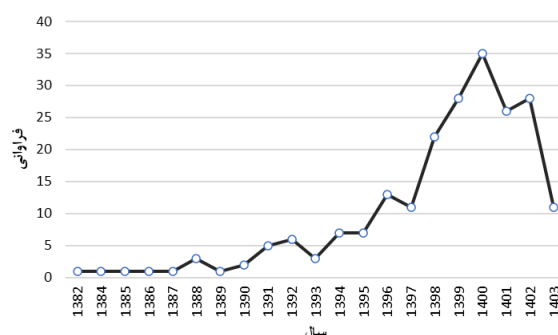


شکل ۳. الف) نقشه شبکه هم‌رخدادی واژگان در مطالعات جزایر حرارتی شهری؛ ب) روند موضوعات و واژگان مرتبط با پژوهش از سال ۲۰۰۰ (منبع: پایگاه داده WoS)

فرا تحلیل پژوهش‌های داخلی

توزیع زمانی و مکانی پژوهش‌ها

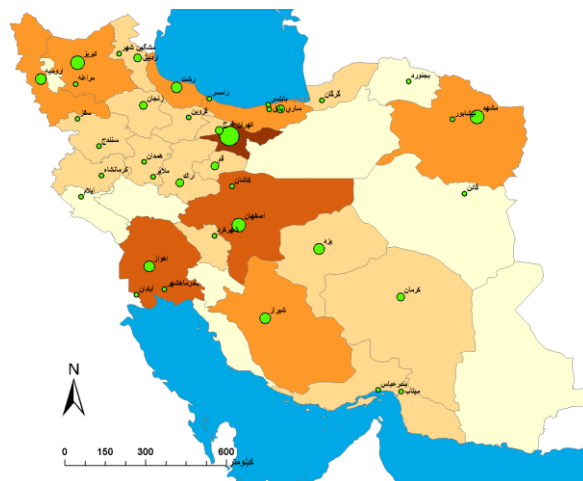
نخستین بار، یدالله فرید در کتاب *جغرافیا و شهرشناسی* به تفاوت دمای شهرها و روستاها اشاره کرد. وی بیان داشت: «شهرها از مناطق روستایی حومه خود گرم‌ترند. زیرا در استفاده از انرژی اسراف می‌کنند و ظرفیت حرارتی خیابان‌ها و ساختمان‌ها نیز برای دریافت اشعه خورشید بیشتر می‌باشد. در طول روز گرم شدن سطوح ساختمان‌های شهری سریع‌تر از روستاهای اطراف شهر است. گرمایی که از خانه‌ها و سوخت‌های اتومبیل‌ها در فضاهای شهری نشر می‌یابد و در تغییر هوای شهر اثر می‌گذارد گرمایی است که با رشد و توسعه شهر فزاینده است». ایشان این نوع انرژی (گرما) آزاد شده به وسیله انسان را نوعی آلودگی هوا خواند. چون باعث تغییر مشخصی در آب‌وهوای شهرها می‌شود و در آینده نیز اثر جهانی بر آب‌وهوا و اقلیم خواهد داشت (فرید، ۱۳۶۸؛ به نقل از صرامی و سلکی، ۱۳۸۵: ۴۳). با وجود این، مفهوم جزایر گرمایی تقریباً از اواسط دهه ۱۳۸۰ در کشور ایران به صورت کاربردی و جدی مطرح شد و به مرور مورد توجه محققان حوزه‌های مختلف قرار گرفت. بر اساس یافته‌های تحقیق، پژوهش‌ها در دهه ۸۰ تقریباً روند ثابت داشته و از اوایل دهه ۹۰ با یک روند صعودی دنبال شده است؛ تا جایی که در سال ۱۴۰۰ بیشترین مطالعات در این حوزه انجام شده است (۱۶/۵٪). در سال‌های بعدی (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) مطالعات با مقداری افت مواجه شده است. اما، با توجه به اینکه در میانه سال ۱۴۰۳ هستیم، همچنان موضوع UHI مورد توجه محققان داخلی است و از اهمیت آن کاسته نشده است (شکل ۴).



شکل ۴. روند زمانی مقالات داخلی منتشر شده در حوزه جزایر گرمایی شهری

همچنین، تحلیل پراکندگی جغرافیایی مطالعات نشان می‌دهد بیشترین پژوهش‌ها در استان‌های تهران، اصفهان، خوزستان، و خراسان رضوی انجام شده است. در این میان، استان تهران با ۶۸ مورد در حدود ۳۰ درصد از مطالعات قبلی را به خود اختصاص داده است. بر اساس شهرهای مورد مطالعه نیز یافته‌ها حاکی از آن است که UHI در کلان‌شهرهای کشور بیشتر مورد توجه است؛ که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت بالای پدیده UHI و تشدید آن در کلان‌شهرها باشد. بر مبنای نتایج پژوهش، به ترتیب شهرهای تهران (۳۳٪)، اصفهان (۲۵/۸٪)، مشهد (۷/۲۸٪)، و تبریز (۶/۸٪) بیشترین فراوانی را در مطالعات دو دهه

اخیر به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۵). این پدیده تاکنون در بیش از ۲۷ استان و ۴۰ شهر کشور مطالعه شده است؛ لیکن، در استان‌هایی همچون سمنان، سیستان و بلوچستان، بوشهر، و لرستان پژوهشی در این زمینه انجام نشده یا کمتر مورد توجه بوده است. با وجود این، با توجه به اهمیت UHI و فراگیر بودن آن در شهرهای مختلف جهانی با اندازه‌ها و جمعیت‌های متنوع و همین‌طور پیش‌بینی‌های علمی از تشدید تغییرات اقلیمی و پدیده UHI انتظار می‌رود این موضوع در سایر استان‌ها و شهرهای کشور نیز مورد توجه محققان واقع شود.



شکل ۵. توزیع جغرافیایی مطالعات انجام‌شده در حوزه جزایر گرمایی بر حسب استان و شهر

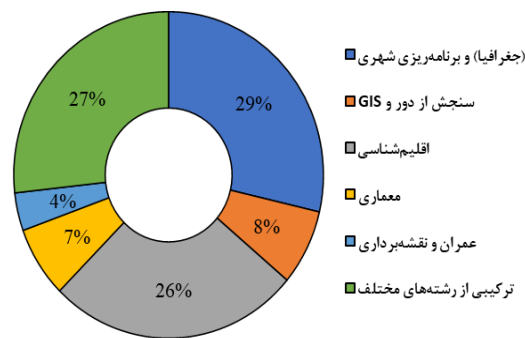
تحلیل پژوهش‌ها بر مبنای نشریات انتشاردهنده و تخصص پژوهشگران

نشریات علمی- پژوهشی نقش مهمی در انتشار و گسترش یافته‌های علمی محققان دارند. از آن جهت که یافته‌های اصیل و پژوهشی بسیاری از مطالعات دیگر، از جمله پایان‌نامه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی، در قالب مقاله به چاپ می‌رسند، تمرکز اصلی این پژوهش بر مقالات منتشرشده در نشریات علمی- پژوهشی داخلی بوده است. در پژوهش حاضر، بیش از ۸۸ نشریه داخلی شناسایی شد که مقالات انجام‌شده در حوزه UHI را به چاپ رسانده‌اند. در این میان، به ترتیب نشریه‌های *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، *جغرافیا و مطالعات محیطی*، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، *محیط‌شناسی*، و *محیط‌شناسی* بیشتر حجم مطالعات را به چاپ رسانده‌اند (جدول ۲).

جدول ۲. ده نشریه برتر کشور در چاپ مقالات با موضوع جزایر گرمایی شهری

عنوان نشریه	فراوانی	عنوان نشریه	فراوانی
اطلاعات جغرافیایی (سپهر)	۱۲	جغرافیا و پایداری محیط	۷
جغرافیا و مطالعات محیطی	۱۰	آمایش جغرافیایی فضا	۶
تحلیل فضایی مخاطرات محیطی	۹	تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی	۵
محیط‌شناسی	۹	جغرافیا و برنامه‌ریزی	۵
جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی	۷	سنجش از دور و GIS ایران	۵

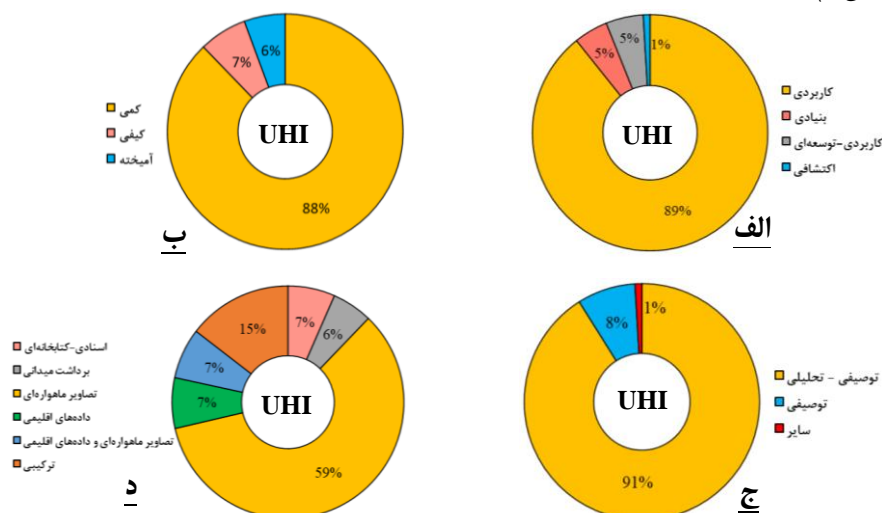
بیشترین مطالعات در حوزه UHI نیز توسط محققان جغرافیا (برنامه‌ریزی شهری) و شهرسازی (۲۹٪) و اقلیم‌شناسان (۲۶٪) صورت گرفته است. متخصصان سنجش از دور و GIS، معماری، عمران و نقشه‌برداری، و ژئومورفولوژی از دیگر محققانی هستند که در این زمینه به پژوهش پرداخته‌اند. این مورد نشان‌دهنده بین‌رشته‌ای بودن مطالعات UHI است که هر محقق بنا بر تخصص خود از جنبه دیگری این پدیده را مطالعه و بررسی کرده است.



شکل ۶. مطالعات انجام‌شده بر اساس تخصص نگارندگان

تحلیل پژوهش‌ها بر مبنای هدف و دیدگاه روش‌شناختی

از نظر ماهیت پژوهش (نوع تحقیق بر مبنای هدف)، در حدود ۹۰ درصد از مطالعات در دسته کاربردی قرار دارند و مطالعات بنیادی و کاربردی- توسعه‌ای هر یک حدود ۵ درصد از پژوهش‌ها را شامل می‌شود. بر اساس رویکرد پژوهش، حدود ۸۸ درصد از پژوهش‌ها از نوع کمی و ۷ درصد از نوع کیفی هستند و ۶ درصد نیز با رویکرد آمیخته (کمی- کیفی) به نگارش درآمده‌اند. از نظر روش تحقیق نیز بخش اعظم مطالعات (۹۱٪) توصیفی- تحلیلی و ۸ درصد از پژوهش‌ها توصیفی هستند و تنها ۱ درصد از آن‌ها با سایر روش‌ها صورت گرفته است. تحلیل روش‌های گردآوری اطلاعات نشان می‌دهد در مطالعات UHI تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی نقش اساسی دارند؛ طوری که بر اساس یافته‌ها در ۵۹ درصد از مطالعات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. داده‌های هواشناسی و کاربرد توأمان آن‌ها با تصاویر ماهواره‌ای در حدود ۱۴ درصد از مطالعات به کار گرفته شده‌اند. برخی از مطالعات نیز از اسناد و منابع کتابخانه‌ای استفاده کرده‌اند (۷٪) و بعضی دیگر نیز بر برداشتهای میدانی متکی بوده‌اند (۶٪). دسته دیگری از مطالعات نیز متکی به یک نوع داده خاص نیستند و ترکیبی از داده‌ها و اطلاعات مختلف (۱۵٪) را مورد استفاده قرار داده‌اند (شکل ۷).



شکل ۷. الف) پژوهش‌های انجام‌شده بر مبنای ماهیت تحقیق؛ ب) رویکرد تحقیق؛ ج) روش تحقیق؛ د) روش گردآوری اطلاعات

دسته‌بندی موضوعی مطالعات جزایر گرمایی شهری

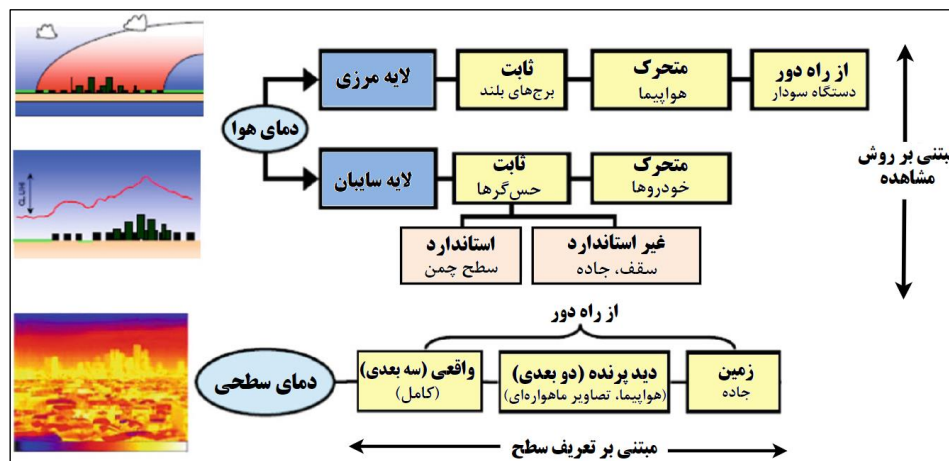
همان‌طور که پیش‌تر آمد، UHI یکی از موضوعات گسترده و بین‌رشته‌ای است که مورد توجه متخصصان مختلف قرار گرفته است. عموماً، اولین مطالعات در داخل و خارج از کشور به توصیف نحوه شکل‌گیری و تشدید این پدیده و وجود آن در شهرها پرداخته و آن را مورد سنجش قرار داده‌اند. مطالعات بعدی، عمدتاً علل و عوامل ایجاد UHI، آثار آن، و راهکارهایی را که در

مواجهه با آن می‌توان در نظر گرفت مورد بررسی قرار داده‌اند. مطالعات انجام‌شده در موضوع UHI را در یک بررسی کلی می‌توان به چهار حیطه موضوعی اصلی تقسیم کرد:

اندازه‌گیری و سنجش جزایر گرمایی شهری

اولین مطالعات در ارتباط با UHI به دنبال اختلاف دمای مشاهده‌شده بین شهرها و پیرامونشان به انجام رسید. این مطالعات از دهه‌ها قبل شروع شده‌اند و همچنان با رشد صعودی در حال انجام گرفتن هستند. بنابراین، می‌توان گفت این دسته از مطالعات درصد بالاتری از تحقیقات را به خود اختصاص داده‌اند و در وهله اول جزء مطالعات مربوط به UHI هستند. پژوهش‌هایی که به اندازه‌گیری و کشف جزایر حرارتی می‌پردازند اغلب یک بازه زمانی را شامل می‌شوند که در آن تغییرات زمانی-مکانی جزایر حرارتی در یک منطقه شهری مورد بررسی قرار می‌گیرد. دسته دیگری از این مطالعات نیز به توسعه و کاربرد روش‌ها و تکنیک‌های مختلف در سنجش جزایر حرارتی می‌پردازند.

به طور کلی، جزایر حرارتی به دو دسته سطحی و جوئی یا اتمسفریک طبقه‌بندی می‌شوند که در نحوه شکل‌گیری، روش‌های اندازه‌گیری، تأثیرات، و تا حدودی راهبردهای مواجهه با یکدیگر متفاوت‌اند (Basics, 2011). جزیره حرارتی سطحی توسط افزایش دما در سطوح شهری ایجاد می‌شود که با اندازه‌گیری اشعه مادون قرمز توسط تصاویر ماهواره‌ای و فناوری‌های سنجش از دوری (اندازه‌گیری غیر مستقیم) قابل شناسایی است. دسته دوم نیز خود شامل لایه‌های تاج یا سایبان شهری (فضای موجود بین ساختمان‌های شهری) و لایه مرزی شهری (بالتر از لایه اول و سطح بام‌ها) می‌شود که با اندازه‌گیری دمای هوا و با استفاده از مشاهدات زمینی و شبکه دماسنج‌های ثابت یا تراورس (اندازه‌گیری مستقیم) صورت می‌گیرد (Badawy & Chen, 2020). مرور مطالعات نشان داد محققان داخلی از هر دو روش برای سنجش جزایر حرارتی استفاده کرده و با استفاده از داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای به تحلیل جزایر حرارتی و تغییرات دما پرداخته‌اند. مطالعات زندی و همکارانش (۱۴۰۱)، مددی و همکارانش (۱۴۰۱)، احمدی و علی‌بخشی (۱۴۰۰) در این دسته قرار می‌گیرند. فراتحلیل مطالعات نشان می‌دهد در مجموع حدود ۳۶ درصد از مطالعات به اندازه‌گیری و سنجش جزایر گرمایی پرداخته‌اند.

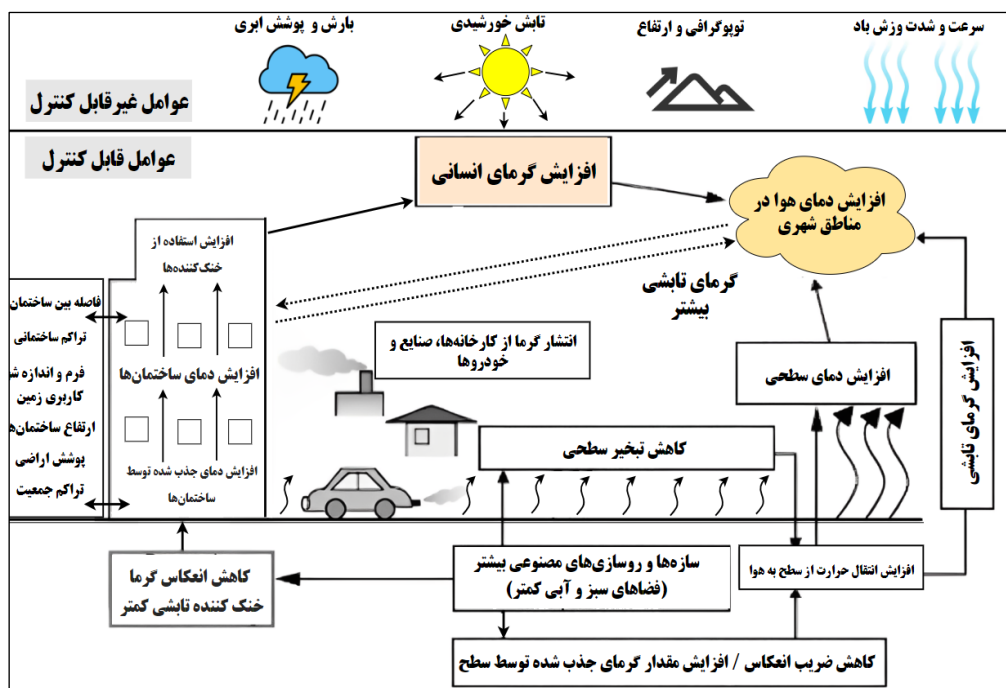


شکل ۸. روش‌های اندازه‌گیری انواع جزایر گرمایی شهری (منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۴۰۳)

مطالعه تأثیر عوامل مختلف بر جزایر گرمایی شهری و ارتباط آن‌ها با یکدیگر

این نوع از مطالعات عوامل متعددی را که در شکل‌گیری و تشدید جزایر حرارتی و تغییرات دمایی مؤثرند بررسی کرده‌اند. عوامل متعددی در شکل‌گیری و تشدید جزایر گرمایی نقش دارند که بر پایه فراتحلیل مطالعات آن‌ها را می‌توان در دو دسته کلی تقسیم کرد: **اول**، عوامل غیر قابل کنترل نظیر بارش و پوشش ابری و تابش خورشیدی و وزش باد و **دوم**، عوامل قابل کنترل همچون کاربری اراضی و تراکم جمعیت و فرم شهری (شکل ۹). این مطالعات با دسته قبلی هم‌پوشانی زیادی دارند و بسیاری از مطالعات، که به سنجش و ارزیابی جزایر حرارتی شهری می‌پردازند، در واقع تأثیر عوامل مختلف-به‌ویژه شهرنشینی گسترده و تغییرات کاربری

اراضی- بر این پدیده را بررسی می‌کنند. برخی از پژوهش‌های مرتبط در این زمینه عبارت‌اند از مطالعات تیموری و همکارانش (۱۴۰۲)، ملکی‌مرشت و همکارانش (۱۴۰۱)، مرتضوی و همکارانش (۱۴۰۱)، امیدوار و همکارانش (۱۳۹۹). بر اساس یافته‌های پژوهش، بیش از ۴۰ درصد از مطالعات داخلی انجام‌شده در حوزه جزایر حرارتی شهری در این دسته قرار می‌گیرند. به عبارتی، با توجه به هم‌پوشانی تحقیقات دسته اول و دسته دوم بیش از ۷۵ درصد از مطالعات داخلی در این دو حیطه انجام شده است.

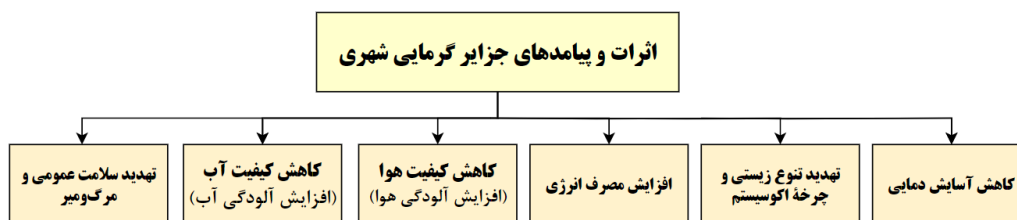


شکل ۹. دسته‌بندی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و تشدید جزایر گرمایی شهری (منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۴۰۳)

مطالعه آثار و پیامدهای جزایر گرمایی شهری

جزایر حرارتی و افزایش بی‌رویه دمای شهرها آثار و پیامدهای متعددی بر اقلیم و ساکنان شهری به دنبال دارد (Leal Filho et al., 2017) و جنبه‌های متعددی از زندگی انسان اعم از مصرف انرژی، آسایش حرارتی، رفاه، و سلامت را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Santamouris, 2015b). جزایر گرمایی شهری نه تنها تأثیر منفی بر انسان‌ها و محیط زیست آن‌ها دارد، بلکه بر محیط زیست شهری نیز تأثیر سوء می‌گذارد و چرخه اکوسیستم را می‌تواند مختل کند (Wu & Ren, 2019). با این حال، عمده‌ترین و جدی‌ترین تأثیر UHI را بر سلامت انسان می‌توان دید؛ طوری که یک ارتباط قوی بین مرگ‌ومیر و دمای بالا در شهرها گزارش شده است (Patz et al., 2005).

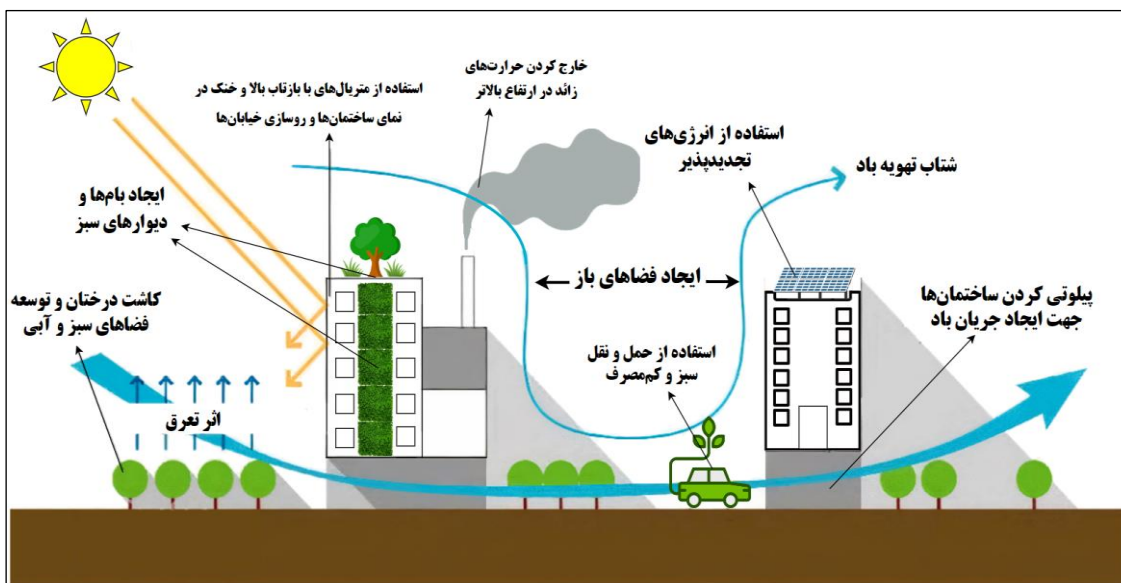
این دسته از مطالعات در ایران، برخلاف پژوهش‌های بین‌المللی، کمتر انجام شده است و مورد استقبال اندکی از پژوهشگران بوده‌اند. بنابراین، با وجود همبستگی بالای شدت جزایر حرارتی و بروز پدیده‌های مختلف نظیر آلودگی هوا، تنش گرمایی، افزایش مصرف انرژی، بیماری‌های متعدد، و غیره شکاف بزرگی در این زمینه دیده می‌شود. این موضوع ضرورت بررسی آثار و پیامدهای پدیده جزایر حرارتی بر جوامع و محیط‌های شهری در تحقیقات آینده را دوچندان می‌کند. مطالعات مرتضوی و همکارانش (۱۴۰۱)، ناصر و همکارانش (۱۴۰۱)، ثناگر و همکارانش (۱۳۹۹) در این دست قرار می‌گیرند. بر مبنای یافته‌های پژوهش، تنها حدود ۸ درصد از مطالعات پیشین در این حیطه بوده است.



شکل ۱۰. آثار و پیامدهای جزایر گرمایی شهری (منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۴۰۳)

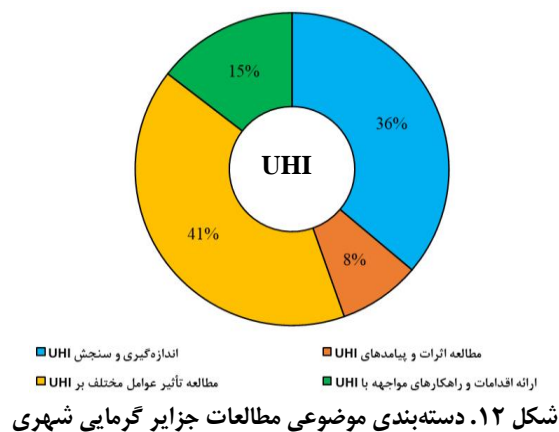
ارائه اقدامات و راهکارهای مواجهه با جزایر گرمایی شهری

آخرین دسته از مطالعات مربوط به UHIها را پژوهش‌هایی شامل می‌شود که به منظور ارائه راهکارهایی جهت کاهش اثر UHI یا سازگاری با آن انجام می‌شوند. در واقع، با توجه به چالش‌ها و مسائل متعددی که گرمای فزاینده شهرها و تشدید UHIها به وجود آورده است، کاهش سریع یا توقف افزایش انتشار کربن شهری و افزایش امواج گرما و دیگر رویدادهای شدید آب‌وهوایی و به‌کارگیری استراتژی‌های کاهش گرما در شهرها به یک ضرورت اساسی تبدیل شده است (Melgar, 2023). به طور کلی، مقابله با UHI نیازمند تغییرات بلندمدت در سیاست‌ها و برنامه‌های عملیاتی شهرهاست (Parsaee et al., 2019). این تحقیقات عمدتاً در سال‌های اخیر مورد توجه بوده‌اند و در آن‌ها بر راهکارهای کاهش اثر جزایر حرارتی توجه شده است. راهکارهایی همچون روسازی‌های خنک، توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل همگانی، توسعه فضاها و بام‌های سبز، و غیره از جمله این موارد است. برخی از مطالعات مرتبط در این زمینه عبارت‌اند از مطالعات توفیقی و همکارانش (۱۴۰۲)، نامجومنش و همکارانش (۱۴۰۱)، حیدری و همکارانش (۱۴۰۱).



شکل ۱۱. اقدامات و راهکارهای مواجهه با جزایر گرمایی شهری (منبع: مطالعات نگارندگان، ۱۴۰۳)

دسته‌های موضوعی مورد بحث در شکل ۱۲ نشان داده شده‌اند. بر مبنای مطالب گفته‌شده، مطالعات جزایر گرمایی شهری در ابتدا با تمرکز بر دسته اول (اندازه‌گیری و سنجش UHI) آغاز شد و به مرور هم‌زمان با تشدید این پدیده و درک عمیق از آن دیگر موضوعات نیز مد نظر محققان قرار گرفت.



شکاف پژوهشی در مطالعات داخلی

امروزه، پدیده جزایر حرارتی فقط یک بحران یا مسئله شهری نیست؛ بلکه بسیاری به این نتیجه رسیده‌اند که این موضوع یک مرحله از شهرنشینی و توأمان با گسترش شهرهاست و پدیده‌ای جهانی محسوب می‌شود. با شدت‌گیری برخی از مسائل و بحران‌ها در دنیای امروز، نظیر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، می‌توان انتظار داشت پدیده جزایر حرارتی در آینده از شدت بیشتری برخوردار باشد. به عبارتی، جزایر حرارتی موضوعی حیاتی است که با هم‌افزایی احتمالی با امواج گرما (گرمایش جهانی) پرداختن به آن هم برای دوره فعلی هم برای آینده امری ضروری است. بنا بر آنچه در بخش قبل بحث شد، می‌توان گفت هر مطالعه‌ای در زمینه UHI‌ها در یکی از چهار دسته فوق قرار می‌گیرد. تحقیقات آتی نیز از هر نوعی که باشند، با توجه به تشدید تغییرات اقلیمی و گرمایش شهرها، همچنان مجال بحث و گفت‌وگو خواهند داشت و می‌توانند در حل مسائل و چالش‌های کنونی و آتی تأثیرگذار باشند. در مجموع، بررسی مطالعات بین‌المللی حاکی از آن است که بسیاری از مطالعات به سمت طرح استراتژی‌های کاهش و سازگاری آثار UHI پیش می‌روند (دسته چهارم) که در این زمینه حجم بالایی از پژوهش‌ها نیز انجام شده است. در مقیاس داخلی اما شرایط قدری متفاوت‌تر است و عموماً مطالعات در دسته اول قرار می‌گیرند. یعنی، مطالعات داخلی که عمدتاً از سوی متخصصان جغرافیدانان و اقلیم‌شناسان صورت می‌گیرد اغلب به دنبال سنجش و کشف روند زمانی-مکانی تغییرات دمایی و UHI هستند؛ اگرچه این موضوع نیز همچنان جای کار دارد و تنها در برخی از کلان‌شهرها و شهرهای بزرگ کشور بررسی شده است. با این حال، با توجه به روند مطالعات خارجی و تشدید دما و آثار UHI در بسیاری از شهرهای کشور، ضروری است مطالعات آینده نیز به سمت ارائه راهکارها و استراتژی‌های کاهش و انطباق و در نتیجه افزایش تاب‌آوری اقلیمی شهرها حرکت کنند. در واقع، با توجه به هم‌پوشانی موضوعات، مطلوب است تحقیقات آتی طیفی از دسته‌بندی فوق (سنجش UHI در یک بازه طولانی، به‌کارگیری روش‌ها و مدل‌های کارآمد و نوین، بررسی آثار افزایش دما بر ساکنان، و در نهایت ارائه استراتژی‌های کاهش) را داشته باشند تا به نتایج کارآمدتری در این زمینه دست یابند.

علاوه بر آن، اغلب مطالعات پراکنده‌اند و دسته‌بندی جامعی از آن‌ها وجود ندارد. همچنان که مرور پیشینه پژوهش نشان داد، UHI آثار متعددی بر اقلیم و ساکنان شهری دارد که عمدتاً در سطح محلی مطرح است. با این حال، از آنجا که جزایر گرمایی در مقایسه با حومه شهرها بررسی شده‌اند و نواحی پیرامونی بر شدت پدیده تأثیرگذارند، UHI یک چالش کلان محسوب می‌شود و ضروری است به منظور اطمینان از تعادل اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی بین شهرها و اطرافشان این مسئله در مقیاس منطقه‌ای و فراشهری نیز بررسی شود. لیکن، مطالعات گذشته در ارزیابی آثار تغییرات اقلیمی و ارائه راهکارهای کاهش و سازگاری توجه نسبتاً کمی به فرایندهای مقیاس منطقه‌ای و کلان کرده‌اند (Leal Filho et al., 2017).

مایلز (۲۰۱۷) به طور کلی هفت نوع شکاف پژوهش در مطالعات را شناسایی می‌کند و معتقد است محققان باید این شکاف‌ها یا گپ‌های موجود در موضوع مورد مطالعه را شناسایی کنند تا از تکرارپذیری و کیفیت آن اطمینان حاصل کنند. شکاف‌های مد نظر مایلز عبارت‌اند از: شکاف شواهد و مدارک، شکاف دانشی، شکاف عملی-دانشی، روش‌شناسی، تجربی، نظری، و جغرافیایی-جمعیتی (Miles, 2017). در سال‌های اخیر دانش کافی در زمینه UHI ایجاد شده و به مرور روش‌ها و ابزارهای

شناخت این پدیده نیز کامل تر و بهینه تر شده است؛ لیکن، همچنان شکاف‌هایی در این زمینه وجود دارد که بر مبنای دسته‌بندی درج‌شده در جدول ۳ خلاصه شده‌اند.

جدول ۳. شکاف پژوهش در مطالعات داخلی و خارجی بر اساس دسته‌بندی مایلز

نوع شکاف	مطالعات خارجی	مطالعات داخلی
شواهد و مدارک	موضوع جزایر حرارتی تاکنون در بسیاری از شهرهای جهان بررسی شده است؛ عمدتاً در کلان‌شهرها و از سوی محققان چینی، امریکایی، اروپایی. بر اساس شواهد موجود، پدیده جزایر حرارتی در بیش از ۴۰۰ شهر بزرگ جهان مطالعه و تأیید شده است.	مطالعه جزایر حرارتی در ایران محدود به برخی کلان‌شهرها و شهرهای بزرگ است یا در مقیاس‌های کوچک‌تر مطالعه شده است. این مطالعات همگی تأییدکننده وجود و شکل‌گیری جزایر حرارتی در شهرهای ایران هستند.
دانش	پدیده جزایر حرارتی از سابقه طولانی در پژوهش برخوردار است و دانش کافی در این زمینه جمع‌آوری شده است. این مطالعات در کشورهای پیشرفته چشمگیرتر و کاربردی‌تر هستند. روند مطالعات در این حوزه نیز، همان‌طور که پیش‌تر بررسی شد، از سنجش و اندازه‌گیری به سمت ارائه راهکارهای انطباقی و کاهش پیش‌رفته است.	این پدیده در کشورمان تقریباً از یک دهه گذشته مورد توجه محققان بوده است. با توجه به اهمیت بالای جزایر حرارتی و مطالعه آن‌ها در شهرها، شناخت دقیق‌تر و بیشتر این پدیده ضروری است. همچنین، جزایر حرارتی جنبه‌های مختلفی را تحت تأثیر قرار می‌دهند که نیاز است توجه بیشتری قرار گیرند.
روش‌شناسی	به لحاظ روش‌شناختی، در سال‌های اخیر تکنیک‌های شناخت و اندازه‌گیری این پدیده گسترده‌تر و دقیق‌تر شده است. مطالعات کنونی عمدتاً بر تکنیک‌های مبتنی بر سنجش از دور، هوش مصنوعی، یادگیری عمیق، و یادگیری ماشین تکیه دارند.	جزایر حرارتی در ایران عمدتاً با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری اندازه‌گیری و تحلیل می‌شوند و کمتر به دیگر تکنیک‌ها که مبتنی بر هوش مصنوعی هستند توجه شده است. تکنیک‌های نوین، در واقع، مکمل و تکمیل‌کننده روش‌های قبلی‌اند که نتایج دقیق‌تری دارند.
تجربی	مشاهدات و تجربیات قبلی در زمینه موضوع تحقیق حاکی از وجود و تشدید پدیده جزایر حرارتی در بسیاری از شهرهای جهان است. محققان در این زمینه راهکارهای متعددی را در نظر گرفته‌اند که در این میان راهکارهای کاهش و انطباقی بیش از همه مد نظر بوده است؛ مواردی نظیر توسعه فضاهای سبز، استفاده از مواد با آلبیدو بالا، و ... در مطالعات خارجی، تجارب از مطالعات صرف فراتر رفته و راهکارهای عمل‌گرایانه‌تری ارائه شده است.	مشاهدات داخلی نیز وجود و تشدید این پدیده را تأیید می‌کنند؛ لیکن، بسیاری از آن‌ها راهکارهای جامع و کاربردی ارائه نداده یا به مرحله اجرا نرسیده‌اند. علاوه بر آن، کمتر مطالعه‌ای عوامل و ریشه‌های شکل‌گیری این پدیده در شهرها را بررسی کرده است.
جغرافیایی-جمعیتی	مطالعات خارجی از پراکندگی قابل قبولی به لحاظ جغرافیایی برخوردارند؛ طوری که تقریباً در اکثر شهرهای بزرگ جهانی این موضوع مورد توجه محققان بوده است. علاوه بر آن، به لحاظ مقیاس جغرافیایی نیز این مطالعات هم شامل مقیاس‌های محلی و شهری هم منطقه‌ای می‌شوند. یعنی، علاوه بر مطالعه یک شهر در مقیاس‌های متفاوت، مجموعه‌های شهری و چند شهر در ارتباط با یکدیگر را نیز مطالعه کرده‌اند.	مطالعات داخلی پراکندگی کمتری داشته‌اند و تنها در چند شهر بزرگ و عمدتاً در مقیاس شهری و مناطق شهری مد نظر بوده‌اند.

نتیجه و پیشنهاد

جزایر گرمایی شهری یکی از پدیده‌های بارز ناشی از شهرنشینی گسترده در محیط‌های شهری است که تأثیرات مخربی بر کیفیت زندگی، سلامت عمومی، و پایداری محیط زیست دارد. این پژوهش ضمن مرور روند مطالعات خارجی، با فراتحلیل ۲۱۳ مطالعه داخلی انجام‌شده در بازه‌های زمانی مختلف، تصویری جامع از وضعیت مطالعات مرتبط با UHI در ایران ارائه داده و به تحلیل روندها، روش‌ها، و شکاف‌های تحقیقاتی پرداخته است. پژوهش حاضر را می‌توان جزء اولین مطالعات مروری دانست که به بررسی پدیده جزایر گرمایی در تحقیقات داخلی پرداخته است. این پژوهش روند مطالعات را بررسی کرده و آن‌ها را بر اساس توزیع مکانی و زمانی، هدف و روش مطالعه، نشریات چاپ‌شده، تخصص نگارندگان، و حیطه‌های موضوعی دسته‌بندی کرده است. بنابراین، از این منظر پژوهشی نو محسوب می‌شود که می‌تواند راهنمای جامعی برای پژوهشگران و متخصصان در موضوع جزایر گرمایی شهری باشد.

یافته‌ها نشان می‌دهد بیش از ۹۰ درصد مطالعات مورد بررسی ماهیت کاربردی و رویکردی کمی داشته‌اند. تصاویر ماهواره‌ای، با کاربست ۵۹ درصد، رایج‌ترین ابزار گردآوری داده‌ها هستند و در بسیاری از موارد با داده‌های هواشناسی ترکیب شده‌اند. بیش از

۷۵ درصد پژوهش‌ها بر «اندازه‌گیری و سنجش جزایر گرمایی» و «تأثیر عوامل مختلف بر آن» متمرکز بوده‌اند. این پژوهش‌ها اغلب در کلان‌شهرهایی نظیر تهران (۳۳٪)، اصفهان (۸/۲۵٪)، و مشهد (۸/۲۸٪) انجام شده‌اند؛ درحالی‌که سایر مناطق کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از منظر انتشار ۸۸ نشریه داخلی در انتشار مقالات مرتبط با UHI نقش داشته‌اند و نشریه اطلاعات جغرافیایی (سپهر) با ۱۲ مقاله بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. در میان تخصص‌های علمی نیز متخصصان جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و شهرسازان و اقلیم‌شناسان، با بیش از ۵۰ درصد مشارکت، نقش برجسته‌ای در مطالعات داشته‌اند. علاوه بر آن، در یک دسته‌بندی موضوعی بیش از ۷۵ درصد از مطالعات بر سنجش و ارزیابی جزایر گرمایی شهری و ارتباط آن با دیگر عوامل، نظیر تغییر کاربری اراضی و شهرنشینی، متمرکز بوده‌اند.

این مقاله همچنین نشان می‌دهد که با وجود تولید دانش قابل توجه در زمینه UHI همچنان شکاف‌های مهمی در مطالعات داخلی به چشم می‌خورد. بر اساس یافته‌ها، مطالعات داخلی از پراکندگی کمتری برخوردارند و اغلب آن‌ها محدود به کلان‌شهرها و شهرهای بزرگ‌اند؛ درحالی‌که بسیاری از شهرهای بزرگ و کوچک کشور در معرض این پدیده‌اند و از این نظر مغفول مانده‌اند. مطالعات داخلی عمدتاً مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دوری (تصاویر ماهواره‌ای) و داده‌های هواشناسی هستند و کمتر از روش‌های نوین در شناخت پدیده UHI استفاده می‌شود. علاوه بر آن، مطالعات داخلی اغلب به شناخت مسئله پرداخته‌اند و کمتر به بررسی آثار جزایر گرمایی شهری و ارائه راهکارهای کاهش و انطباقی توجه کرده‌اند. ضروری است مطالعات آینده با تأکید بر ارائه استراتژی‌های عملیاتی، گسترش دامنه پژوهش‌ها به شهرهای کوچک‌تر، و استفاده از فناوری‌های نوین به سمت ارتقای تاب‌آوری اقلیمی شهرها حرکت کنند. تنها با این رویکرد می‌توان در جهت کاهش آثار جزایر گرمایی شهری و دستیابی به توسعه پایدار شهری گام برداشت.

منابع

- احمدی، محمود و علی‌بخشی، زهرا (۱۴۰۰). بررسی تغییرات لکه‌های داغ شهر تهران و اقرار بر اساس نوع کاربری اراضی و نقش آن در مخاطرات حرارتی شهری. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸(۲)، ۱۱۹ - ۱۳۴.
- امیدوار، کمال؛ مؤیدفر، سعیده؛ فاطمی، مهران و نارنگی‌فرد، مهدی (۱۳۹۹). ارزیابی ارتباط کاربری اراضی شهری و جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر بیابانی یزد). *جغرافیای طبیعی*، ۱۳(۴۷)، ۱ - ۱۷.
- بهره‌ا، پورجعفر، محمدرضا و رفیعیان، مجتبی (۱۴۰۱). فراتحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر مکان‌سازی فضاهای دانش و نوآوری معاصر. *آمایش سرزمین*، ۱۴، ش ۲، ۴۹۱ - ۵۲۲.
- توفیقی، آرمین؛ تن‌زاده، رشید و مقدس‌نژاد، فریدون (۱۴۰۲). شناخت پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری و کاهش آن با رویکرد بررسی روسازی راه. *مهندسی عمران*، ۵۵(۹)، ۱.
- تیموری، ایرج؛ اصغری زمانی، اکبر و محرم‌پور، عرفان (۱۴۰۲). بررسی اثر مورفولوژی شهری بر شدت جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر تبریز). *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۳۲(۱۲۶)، ۱۸۳ - ۱۹۵.
- حیدری، علی‌اکبر؛ قهرمان‌ایزدی، ندا و اکبری، زهرا (۱۴۰۱). ارائه الگوی بهینه چیدمان مجتمع‌های مسکونی با تأکید بر کاهش پدیده جزیره گرمایی (نمونه موردی: مجتمع‌های مسکونی میان مرتبه شهر شیراز). *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۱۳(۵۰)، ۲۲۴ - ۲۳۹.
- ثناگر، الهام؛ رفیعیان، مجتبی؛ حنایی، تکتیم و منصفی، دانیال (۱۳۹۹). کاهش تأثیرات جزایر حرارتی شهری بر سلامت انسان‌ها از طریق تغییرات فرم شهری در اقلیم گرم و خشک شهر مشهد. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ش ۴، د ۲۲، ۳۷۵ - ۳۸۷.
- زندى، رحمان؛ سلمانی‌مقدم، محمد و روکی، زهره (۱۴۰۱). سنجش میزان خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین با کاربری اراضی (نمونه مطالعه: شهر اصفهان). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۴(۱)، ۶۱ - ۷۶.
- صرامی، حسین و سلکی، لیلیا (۱۳۸۵). جزیره گرمایی. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۱۴(۵۶)، ۴۳.
- محمودزاده، حسن و مسعودی، حسن (۱۳۹۸). تحلیلی بر تغییرات ساختاری سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز با استفاده از مبانی اکولوژی سیمای سرزمین و با تأکید بر مفهوم پیوستگی. *آمایش سرزمین*، ۱۱، ش ۲، ۱۷۹ - ۲۰۴.
- مددی، عقیل؛ قلعه، احسان؛ عبادی، الهامه و نطافت‌تکله، بهروز (۱۴۰۱). بررسی ارتباط کاربری‌های مختلف با دمای سطح زمین مبتنی بر تحلیل خودهمبستگی فضایی (موران) با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: شهرستان کوثر). *فضای جغرافیایی*، ۲۲(۷۷)، ۹۹ - ۱۱۹.
- مرادپور، نبی؛ پوراحمد، احمد؛ حاتمی‌نژاد، حسین و زیاری، کرامت‌الله (۱۴۰۰). فراتحلیل بر پژوهش‌های چاپ‌شده در حوزه تاب‌آوری شهری در ایران. *مدیریت شهری و روستایی*، ش ۶۴، ۷ - ۲۴.
- مرتضوی‌اصل، کامیار؛ سعیدی، نوید و رضایی، محمود (۱۴۰۱). ارزیابی میزان تأثیر ذرات معلق و پوشش گیاهی بر تشکیل جزایر گرمایی و خنک در شهر تهران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۹(۱)، ۹۷ - ۱۱۴.
- مشکینی، ابوالفضل؛ علی‌پور، سمیه و مسعودی، حسن (۱۴۰۳). تاب‌آوری کالبدی مسکن شهری در برابر زلزله: تحلیلی از محلات و مناطق شمالی کلان‌شهر تهران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۳(۴۱)، ۳۹ - ۶۰.
- ملکی‌مرشت، رقیه؛ سبحانی، بهروز و مرادی، مسعود (۱۴۰۱). واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز). *جغرافیا و توسعه*، ۲۰(۶۷)، ۱۰۲ - ۱۱۷.
- ناصر، مریم؛ صفایی‌پور، مسعود و رضایی‌جعفری، کامران (۱۴۰۱). بررسی تأثیر جزایر گرمایی کلان‌شهر اهواز بر میزان آسایش روانی شهروندان. *مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای*، ۳(۱)، ۱ - ۲۲.
- نامجوینش، جواد؛ کارگر، بهمن و زیویار، پروانه (۱۴۰۱). مدیریت شهری و بازآفرینی فضاهای سبز و تأثیر آن در تعدیل جزایر گرمایی. *جامعه‌شناسی سیاسی ایران*، ۵(۱۲)، ۲۳۳۳ - ۲۳۵۲.
- Aboagye, P. D., & Sharifi, A. (2024). Urban climate adaptation and mitigation action plans: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113886.
- Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A.H., Ghaffarianhoseini, A., Omrany, H., Wang, Z.-H., & Akbari, H. (2017). Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong. *Cities*, 62, 131–145.
- Ahmadi, M. & Alibakhshi, Z. (2021). The assessment of hot spots changes in Tehran and satellite based on land use and its role in urban heat hazards. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(2), 119-134. (in Persian)

- Arunab, K. S., & Mathew, A. (2024). Quantifying urban heat island and pollutant nexus: A novel geospatial approach. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105117.
- Badawy, S. & Chen, D.-H. (2020). *Recent Developments in Pavement Engineering*. Springer.
- Bahra, B., Pourjafar, M., & Rafieian, M. (2022). A Meta-Analysis of the Factors Effective on Placemaking the Contemporary Knowledge and Innovation Spaces. *Town and Country Planning*, 14(2), 491-522. (in Persian)
- Basics, U.H.I. (2011). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. *US EPA*.
- Carvalho, D., Martins, H., Marta-Almeida, M., Rocha, A., & Borrego, C. (2017). Urban resilience to future urban heat waves under a climate change scenario: A case study for Porto urban area (Portugal). *Urban Climate*, 19, 1–27.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 67, 30–42.
- Diren-Üstün, D. H., Ünal, Y. S., Bilgen, S. İ., Sonuç, C. Y., Sodoudi, S., Güney, C., ... & İncecik, S. (2024). Effects of land-use mitigation scenarios on urban heat island intensity in Istanbul. *Atmospheric Research*, 297, 107083.
- E. Hunter, J., L. Schmidt, F., & B. Jackson, G. (1986). Meta-Analysis: Cumulating Research Findings Across Studies Sage Publications: Beverly Hills, 1982, 176 pp. *Educational Researcher*, 15(8), 20-21.
- Estoque, R.C. & Murayama, Y. (2017). Monitoring surface urban heat island formation in a tropical mountain city using Landsat data (1987–2015). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 133, 18–29.
- 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.
- Halder, B., Bandyopadhyay, J., & Banik, P. (2021). Monitoring the effect of urban development on urban heat island based on remote sensing and geo-spatial approach in Kolkata and adjacent areas, India. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103186.
- Hansen, C., Steinmetz, H., & Block, J. (2022). How to conduct a meta-analysis in eight steps: a practical guide. *Management Review Quarterly*, 1-19.
- He, B.-J., Wang, W., Sharifi, A., & Liu, X. (2023). Progress, knowledge gap and future directions of urban heat mitigation and adaptation research through a bibliometric review of history and evolution. *Energy Build.* 112976.
- Heidari, A.A., Ghahreman-Izadi, N., & Akbari, Z. (2022). Presenting the optimal pattern of residential complexes with an emphasis on reducing heat island (Case example: mid-rise residential complexes in Shiraz city). *Research and Urban Planning*, 13(50), 224-239. (in Persian)
- Howard, L. (2012). *The climate of London: deduced from meteorological observations*. Cambridge University Press.
- IPCC (2014). *Climate change 2014 synthesis report*. IPCC Geneva, Szwitserl. 1059–1072.
- Keith, L., Meerow, S., & Wagner, T. (2019). Planning for extreme heat: a review. *Journal of Extreme Events*, 6(03n04), 2050003.
- Kotharkar, R. & Arch, A.G.M. (2021). Progress in extreme heat management and warning systems: A systematic review of heat-health action plans (1995-2020). *Sustainable Cities and Society*, 76, 103487.
- Landsberg, H. E. (1979). Atmospheric changes in a growing community (the Columbia, Maryland experience). *Urban Ecology*, 4(1), 53-81.
- Landsberg, H.E. (1981). *The urban climate*. Academic press.
- Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Emanche, V. O., & Quasem Al-Amin, A. (2017). An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1600.
- Madadi, A., Ghale, E., Ebadi, E., & Nezafat-takle, B. (2022). Investigating the Relationship between Different Uses with Earth's Surface Temperature Based on Spatial Autocorrelation Analysis Using Landsat Satellite Image Data (Case Study: Kosar County). *Geographic Space*, 22(77), 99-119. (in Persian)
- Mahmoudzadeh, H. & Masoudi, H. (2019). The Analysis of Structural Landscape Changes in Tabriz City Using Landscape Ecology Principles with an Emphasis on the Connectivity Concept. *Town and Country Planning*, 11(2), 179-204. (in Persian)
- Maleki-Rashti, R., Sobhani, B., & Moradi, M. (2022). Investigation of the relationship between heat waves and urban heat islands (Case study: Ahvaz metropolis). *Geography and Development*, 20(67), 121-141. (in Persian)
- Melgar, H. (2023). *Radical Urban Natures: Mitigating Urban Heat with Nature-Based Techniques in Portland, Oregon* (Master's thesis, Portland State University).

- Meshkini, A., Alipour, S., & Masoudi, H. (2024). Physical Resilience of urban housing against earthquakes: an analysis of northern neighborhoods and regions of Tehran Metropolis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(41), 39-60. (in Persian)
- Miles, D. A. (2017). *A taxonomy of research gaps: Identifying and defining the seven research gaps*. In Doctoral student workshop: finding research gaps-research methods and strategies, Dallas, Texas (pp. 1-15).
- Moradpour, N., Pourahmad, A., Hataminezhad, H., & Ziari, K. (2022). A meta-analysis of published research in the field of urban resilience in Iran. *Urban Management*, 20(64), 7-24. (in Persian)
- Mortazavi-Asl, S.K., Saeidirezvani, N., Rezaei, M. (2022). Evaluation of the effect of particulate matter and vegetation on the formation of heat and cold islands in Tehran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 9(1), 97-114. (in Persian)
- Namjoumanesh, J., Karegar, B., & Zivyar, P. (2022). Urban management and regeneration of green spaces and its effect on mitigation of heat islands. *Political Sociology of Iran*, 5(12), 2332-2352. (in Persian)
- Naser, M., Safaeepour, M., & Rezaei Jafari, K. (2022). Investigating the Effect of Heat Islands in Ahvaz Metropolis on the Level of Psychological Comfort of Citizens. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 3(1), 1-22. (in Persian)
- O'Neill, M.S., Carter, R., Kish, J.K., Gronlund, C.J., White-Newsome, J.L., Manarolla, X., Zanobetti, A., & Schwartz, J.D. (2009). Preventing heat-related morbidity and mortality: new approaches in a changing climate. *Maturitas*, 64, 98-103.
- Oke, T.R. (2002). *Boundary layer climates*. Routledge.
- Omidvar, K., Moaiedfar, S., Fatemi, M., & Narengi-Fard, M. (2020). Assessing the relationship between urban land use and thermal islands (Case study: Yazd desert city). *Journal of Physical Geography*, 13(47), 1-17. (in Persian)
- Parsaee, M., Joybari, M. M., Mirzaei, P. A., & Haghighat, F. (2019). Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental technology & innovation*, 14, 100341.
- Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J.A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310-317.
- Peng, J., Hu, Y., Dong, J., Liu, Q., & Liu, Y. (2020). Quantifying spatial morphology and connectivity of urban heat islands in a megacity: A radius approach. *Science of The Total Environment*, 714, 136792.
- Rahmani, N., & Sharifi, A. (2023). Comparative Analysis of the Surface Urban Heat Island (SUHI) Effect Based on the Local Climate Zone (LCZ) Classification Scheme for Two Japanese Cities, Hiroshima, and Sapporo. *Climate*, 11(7), 142.
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*, 20(1), 120-128.
- Sanagar, E., Rafeian, M., Hanaee, T., & Monsefi parapari, D. (2020). The Effects of Urban Heat Islands Mitigation on Human Health through Change in Urban form Hot and Arid Climate of Mashhad. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(4(95)), 375-387. (in Persian)
- Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of the Total Environment*, 512, 582-598.
- (2015b). Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges. *Energy Build*, 91, 43-56.
- 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 Build*, 207, 109482.
- Santamouris, M., Ding, L., & Osmond, P. (2019). Urban heat island mitigation. Decarbonising Built Environ. *Charting Transit*, 337-355.
- Sarami, H. & Salaki, L. (2006). Thermal Islands. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 14(56), 43-49. (in Persian)
- Sejati, A.W., Buchori, I., & Rudiarto, I. (2019). The spatio-temporal trends of urban growth and surface urban heat islands over two decades in the Semarang Metropolitan Region. *Sustainable Cities and Society*. 46, 101432.
- 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.
- Sharifi, A. (2021a). Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Science of the Total Environment*. 750, 141642.
- (2021b). Urban sustainability assessment: An overview and bibliometric analysis. *Ecological Indicators*. 121, 107102.
- Shu, X., & Ye, Y. (2023). Knowledge Discovery: Methods from data mining and machine learning. *Social Science Research*, 110, 102817.

- 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.
- Stewart, I.D. (2019). Why should urban heat island researchers study history? *Urban Climate*. 30, 100484.
- Stewart, I.D. & Mills, G. (2021). *The Urban Heat Island*. Elsevier.
- Sun, J., Zhou, T., & Wang, D. (2023). Effects of urbanisation on PM_{2.5} concentrations: A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 166493.
- Teimouri, I., Asghari Zamani, A., & Moharrampour, E. (2023). The effect of urban morphology on the intensity of urban heat islands (Case study: Tabriz). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 32(126), 183-195. (in Persian)
- Tofighi, A., Tanzadeh, R., & Moghadas Nejad, F. (2023). Urban Heat Island Destructive Phenomenon and Its Reduction with the Approach of Road Pavement Evaluation. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 55(9), 1733-1752. (in Persian)
- Wang, Z.-H. (2022). Reconceptualizing urban heat island: Beyond the urban-rural dichotomy. *Sustainable Cities and Society*. 77, 103581.
- Wu, Z., & Ren, Y. (2019). A bibliometric review of past trends and future prospects in urban heat island research from 1990 to 2017. *Environmental Reviews*, 27(2), 241-251.
- Yow, D. M. (2007). Urban heat islands: Observations, impacts, and adaptation. *Geography Compass*, 1(6), 1227-1251.
- Zandi, R., Salmani Moghadam, M., & Roki, Z. (2023). Measuring the Degree of Spatial Autocorrelation of Land Surface Temperature with Land Use (Isfahan City). *Geography and Environmental Planning*, 34(1), 61-76. (in Persian)
- Zhao, Z., Sharifi, A., Dong, X., Shen, L., & He, B. J. (2021). Spatial variability and temporal heterogeneity of surface urban heat island patterns and the suitability of local climate zones for land surface temperature characterization. *Remote Sensing*, 13(21), 4338.
- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., ... & Sobrino, J. A. (2018). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 11(1), 48.