اقتصاد و برنامه ریزی شهری
دوره ۷، شماره ۹

مرور نظام‌مند و تحلیل علم‌سنجی پژوهش‌های جزایر گرمایی شهری: روندها، شکاف‌ها و چشم‌اندازها

هادی رضایی راد[1]*؛ سبا شیخی[2]؛ سحر فلاح برزگر[3]

۱. استادیار گروه شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. دانش‌آموختهٔ دکتری شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی گروه شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۶

چکیده

پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری (Urban Heat Island) یکی از چالش‌های مهمِ ناشی از شهرنشینی و تغییرات اقلیمی است که سلامت عمومی، مصرف انرژی و تاب‌آوری شهرها را تضعیف می‌کند. این پژوهش با هدف سامان‌دهیِ دانش موجود، ترسیم روندهای پژوهشی و شناسایی عوامل مؤثر بر تشدید جزایر گرمایی، یک مرور سیستماتیک همراه با تحلیل علم‌سنجی را ارائه می‌کند. داده‌ها با عبارت‌های کلیدی مرتبط از پایگاه‌های Web of Science، Scopus و Google Scholar استخراج شد. برای تحلیل ساختار دانش و مصورسازی شبکه‌های هم‌رخدادی، هم‌نویسندگی و هم‌استنادی، از نرم‌افزار VOSviewer استفاده شد و مرور کیفی نمونه‌ای برای استخراج شاخص‌های فضایی و عملکردی به کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد انتشار مطالعات طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۵ روندی افزایشی داشته و از ۲۰۱۸ به طور محسوسی شتاب گرفته است. کشورهایی مانند چین، ایالات متحده و استرالیا، بیشترین سهم نشر در این حوزه را دارند. تحلیل خوشه‌ای کلیدواژه‌ها، چهار محور مفهومی شامل اقلیم و سلامت شهری، دما و سنجش از دور، طراحی و شکل شهر، و راهکارهای تعدیلی را نمایان ساخت. در مجموع، ۲۳ شاخص فضایی ـ عملکردی مؤثر بر جزایر گرمایی شناسایی شد که پوشش گیاهی، تراکم سطوح نفوذناپذیر و آلبدو از مهم‌ترین آن‌هاست. یافته‌های پژوهش پیشنهادهایی عملی برای کاهش اثرات جزایر گرمایی در مقیاس محلی و منطقه‌ای، پیشنهادهای اولویت‌بندی مداخلات شهری و راهنمایی برای سیاست‌گذاران و طراحان شهری ارائه می‌کنند.

کلمات کلیدی

تغییرات اقلیمی
جزایر گرمایی شهری
شبکهٔ هم‌نویسندگی
هم‌استنادی
هم‌رخدادی
VOSviewer

* نویسندهٔ مسئول: h.rezaeirad@basu.ac.ir

COPYRIGHTS
©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

RezaeiRad H. Sheikhi S. Fallaah Barzegar S. A systematic review and scientometric analysis of urban heat island research: Trends, gaps, and perspectives. *Urban Economics and Planning* 7(9):42-64.

DOI: 10.22034/uep.2026.557763.1771

۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از چالش‌های مهم قرن بیست‌ویکم، اثرات گسترده‌ای بر سامانه‌های طبیعی و انسانی به جا گذاشته است که نمود بارز آن در فضاهای شهری مشاهده می‌شود. در میان پیامدهای اقلیمی ناشی از شهرنشینی، پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری (Urban Heat Island) از برجسته‌ترین و پرچالش‌ترین مصادیق به شمار می‌رود (Santamouris et al., 2019). این پدیده به افزایش دمای مناطق شهری نسبت به نواحی پیرامونی روستایی اشاره دارد و با تشدید گرمایش جهانی، فراوانی و شدت موج‌های گرما را افزایش داده و مخاطرا ت اقلیمی را در مقیاس محلی گسترش می‌دهد (Ramani et al., 2023). جزایر گرمایی حاصل برهم‌کنش میان عوامل طبیعی شامل ویژگی‌های اقلیمی، شرایط جوی و توپوگرافی زمین، با عوامل انسان‌ساخت یعنی طراحی، ساخت‌وساز و برنامه‌ریزی شهری است (Hernández-Herráez et al., 2025; Huang et al., 2025).

از دیدگاه نظری، پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری عموماً بر پایهٔ مدل تعادل انرژی سطح شهری (Urban Surface Energy Balance) تبیین می‌شود که بر تعامل میان تابش خالص، شار گرمای محسوس، شار گرمای نهان، ذخیرهٔ گرمایی در بافت شهری و گرمای آنتروپوژنیک تأکید دارد. در این چارچوب، تغییر در ویژگی‌های فیزیکی سطوح شهری نظیر ضریب بازتاب (Albedo)، ظرفیت حرارتی مصالح، زبری سطح و میزان پوشش گیاهی، تعادل انرژی را به سمت افزایش دمای سطحی سوق می‌دهد. علاوه بر این، مدل‌های مورفولوژی شهری با تمرکز بر شاخص‌هایی مانند نسبت ارتفاع به عرض معابر، ضریب دید آسمان (Sky View Factor) و تراکم ساختمانی، نقش ساختار کالبدی شهر را در تعدیل یا تشدید تجمع حرارتی تبیین می‌کنند (Ning et al., 2024). در سال‌های اخیر، رویکردهای تلفیقی میکرواقلیمی نیز با ترکیب مدل‌های عددی، داده‌های سنجش از دور و اندازه‌گیری‌های میدانی، چارچوبی چندمقیاسی برای تحلیل پویایی حرارتی شهرها ارائه کرده‌اند که امکان درک دقیق‌تر ناهمگنی فضایی گرما را فراهم می‌سازد. این چارچوب‌های مفهومی، مبنای شکل‌گیری خوشه‌های موضوعی شناسایی‌شده در تحلیل علم‌سنجی حاضر نیز محسوب می‌شوند.

اهمیت پرداختن به این موضوع از سه منظر اصلی قابل توجه است: نخست، تأثیر مستقیم آن بر سلامت و رفاه شهروندان؛ دوم، نقش آن در افزایش تاب‌آوری شهری در برابر تنش‌های اقلیمی؛ و سوم، پیامدهای آن بر کارایی انرژی و پایداری محیطی. در دوره‌های موج گرما، هم‌زمانیِ وقوع پدیدهٔ جزیرهٔ حرارتی با دماهای بالا، شرایط گرمایی را تشدید می‌کند و خطر مرگ‌ومیر ناشی از گرما را افزایش می‌دهد (Wang & Zhang, 2025; Zhao et al., 2018). همچنین، شواهد گوناگون نشان می‌دهد پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری در بیش از ۴۰۰ شهر در سراسر جهان شناسایی و مستند شده است (Zhou et al., 2019; Santamouris, 2020).

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های منتشرشده نشان می‌دهند مطالعات جزایر گرمایی شهری به سمت بهره‌گیری از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا، تحلیل‌های چندمقیاسی و الگوریتم‌های پیشرفتهٔ یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق حرکت کرده‌اند. این رویکردها امکان مدل‌سازی روابط غیرخطی میان شاخص‌های سطح زمین، مورفولوژی شهری و شدت دمای سطحی را فراهم ساخته و ظرفیت پیش‌بینی نقاط داغ شهری را به طور قابل توجهی افزایش داده‌اند (Akintola & Neziri, 2025; Kong et al., 2025; Lynda et al., 2025). همچنین، ادغام داده‌های اجتماعی ـ اقتصادی با داده‌های فیزیکی در چارچوب‌های نوین تحلیل حرارتی، زمینه‌ساز شکل‌گیری رویکردهایی همچون عدالت حرارتی شهری و برنامه‌ریزی اقلیم پایدار شده است. این تحولات بیانگر گذار مطالعات جزایر گرمایی از تحلیل‌های صرفاً توصیفی به چارچوب‌های داده‌محور، مدل‌محور و سیاست‌محور در سال‌های اخیر است.

با وجود رشد چشمگیر پژوهش‌ها در حوزهٔ جزایر گرمایی، مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از تحقیقات، ماهیتی موردی و محدود به مناطق خاص دارند و تصویر جامع و نظام‌مندی از ساختار دانش، روند تحول مفهومی و شبکه‌های همکاری علمی ارائه نمی‌کنند. افزون بر این، اغلب مرورهای موجود بر جنبه‌های مدل‌سازی حرارتی یا تحلیل‌های اقلیمی متمرکز بوده و کمتر به شناسایی پیوند میان شاخص‌های محیطی و الگوهای علمی جهانی پرداخته‌اند. این کاستی‌ها، پراکندگی‌ها و نبود رویکرد تلفیقی، امکان درک مسیر تحول پژوهش‌ها و ارائهٔ چارچوبی منسجم برای سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد را محدود کرده است. با توجه به چارچوب‌های مفهومی مطرح‌شده و تحولات روش‌شناختی اخیر، ضرورت یک تحلیل علم‌سنجی تلفیقی بیش از پیش آشکار می‌شود.

نوآوری پژوهش حاضر در ترکیب دو رویکرد مکمل، یعنی تحلیل علم‌سنجی و مرور نظام‌مند کیفی است. این رویکرد امکان ترسیم نقشه‌ای جامع از حوزهٔ مطالعات جزایر گرمایی شهری را فراهم می‌سازد و علاوه بر شناسایی الگوهای تولید دانش و همکاری علمی، عوامل محیطی مؤثر بر شکل‌گیری و تشدید این پدیده را نیز استخراج و تحلیل می‌کند. بر همین‌اساس، این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های استخراج‌شده از پایگاه‌های Web of Science، Scopus و Google Scholar و تحلیل آن‌ها از طریق نرم‌افزار VOSviewer، به بررسی روند زمانی مطالعات، شناسایی کشورهای پیشرو، تعیین خوشه‌های موضوعی و شاخص‌های مؤثر بر شدت جزایر گرمایی شهری می‌پردازد. در این چارچوب، سه پرسش به عنوان محور پژوهش مطرح شده است:

۱. مهم‌ترین عوامل و شاخص‌های مؤثر در شکل‌گیری و تشدید پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری در مطالعات علمی کدام‌اند؟

۲. کدام کشورها، نهادها و پژوهشگران، بیشترین نقش را در تولید دانش این حوزه ایفا کرده‌اند؟

۳. ساختار همکاری علمی و خوشه‌های مفهومی غالب در مطالعات جزایر گرمایی شهری چگونه شکل گرفته است و روندهای نوظهور این حوزه کدام‌اند؟

۲. پیشینهٔ تحقیق

پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری برای نخستین‌بار در اوایل قرن نوزدهم توسط لوک هوارد (Luke Howard) مطرح شد؛ وی در سال ۱۸۱۸ تفاوت محسوس دمای میان مرکز شهر لندن و نواحی پیرامونی را مشاهده و ثبت کرد (Gartland, 2008). در ادامه، گوردون منلی (Gordon Manley) در سال ۱۹۵۸ واژهٔ «Urban Heat Island» را در مطالعات هواشناسی رواج داد (Aflaki et al., 2017). هرچند مشاهدات اولیه به قرن نوزدهم بازمی‌گردد، اما پژوهش‌های نظام‌مند دربارهٔ این پدیده از دههٔ ۱۹۸۰ میلادی آغاز شد (Mofidi & Zare, 2013; Mohazzabieh). در دهه‌های اخیر، دامنه و عمق مطالعات مرتبط با جزایر گرمایی شهری گسترش یافته و رویکرد پژوهش‌ها

از بررسی‌های پایه‌ای و میدانی به سوی بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور، مدل‌سازی اقلیم شهری و تحلیل‌های داده‌محور حرکت کرده است. تمرکز بر ابعاد عدالت اقلیمی، طراحی پایدار و تاب‌آوری شهری نیز به‌تدریج به محورهای اصلی پژوهش‌ها تبدیل شده است (Halder et al., 2021; Peroni & Pappalardo, 2024; Zhao et al., 2025). این روند، علاوه بر ارتقای درک علمی از مکانیزم‌های شکل‌گیری جزایر گرمایی، به ارائهٔ راهکارهای کاربردی برای کاهش اثرات آن و بهبود کیفیت زندگی در محیط‌های شهری منجر شده است. پژوهش‌های متعددی در سطح جهانی و ملی به بررسی ابعاد مختلف جزایر گرمایی شهری پرداخته‌اند، این مطالعات از نظر رویکرد، مقیاس مکانی، روش‌شناسی و اهداف پژوهش، تنوع قابل توجهی دارند. به منظور مرور یافته‌های این پژوهش‌ها، جدول ۱ خلاصه‌ای از مهم‌ترین مطالعات داخلی و بین‌المللی مرتبط با پدیدهٔ جزایر گرمایی را ارائه می‌کند.

جدول ۱. مرور مطالعات داخلی و بین‌المللی مرتبط با پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری

عنوان مقاله/نویسندگان/سال انتشار	نمونهٔ پژوهش	روش پژوهش	هدف	یافته‌ها
Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures (Deilami et al., 2018)	مروری	مرور نظام‌مند بر اساس مقالات منتشرشده	مرور نظام‌مند مطالعات جهانی برای شناسایی عوامل فضایی ـ زمانی، داده‌ها، روش‌ها و راهکارهای کاهش اثر جزایر گرمایی شهری	تراکم، کاربری زمین، پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جزیرهٔ گرمایی هستند. روش‌های سنجش شامل سنجش از دور و داده‌های میدانی است، و راهکارهای کاهش شامل ایجاد و افزایش فضای سبز، بام‌ها و سطوح خنک، و طراحی شهری پایدار معرفی شده‌اند.
عوامل مؤثر بر شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری، با تأکید بر ویژگی‌ها و چالش‌های طراحی شهری (Pouramin et al., 2020)	مروری	روش کیفی و مرور نظام‌مند	مرور نظام‌مند و تحلیل موضوعی مقالات علمی انجام‌شده در زمینهٔ جزایر گرمایی شهری	طبق بررسی‌های انجام‌شده، جزایر گرمایی تحت تأثیر دو عامل اقلیمی و عوامل مربوط به ساخت شهر است، که در این میان میزان و کیفیت پوشش گیاهی در سطح شهر اهمیت بیشتری دارد.
Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology (Sharma et al., 2021)	شهر نویدا- هند	مدل‌سازی دمای سطح زمین و شبیه‌سازی وضعیت دما	ارزیابی جزایر گرمایی و آسایش حرارتی در شهر نویدا با استفاده از تکنولوژی‌های جغرافیایی به منظور تحلیل دما و شرایط زیست‌محیطی	مناطق با سطوح نفوذناپذیر بیشتر و پوشش گیاهی کمتر، شدت بالاتری از جزایر گرمایی و کاهش آسایش حرارتی را تجربه کرده‌اند. بهبود پوشش گیاهی و مدیریت فضای سبز به کاهش شدت جزایر گرمایی کمک می‌کند.
بررسی جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (Fadaei, ۲۰۲۱)	تهران و حومه	تحلیلی توصیفی و تصاویر ماهواره‌ای و GIS	تحلیل فضایی پدیدهٔ جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روی نقشه پوشش گیاهی	مناطق با پوشش گیاهی کم و تراکم ساختمانی بالا، بیشترین دمای سطح را دارند و به عنوان کانون اصلی جزایر گرمایی هستند و بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و کاهش دمای سطح زمین رابطهٔ معکوس وجود دارد.
Surface Urban Heat Island Assessment of a Cold Desert City: A Case Study over the Isfahan Metropolitan Area of Iran (Karimi et al., 2021)	کلان‌شهر اصفهان	مدل‌سازی آماری	ارزیابی شدت جزایر گرمایی سطحی شهری SUHII در شهر اصفهان از طریق تحلیل داده‌های ماهواره‌ای	نتایج نشان داد SUHII در اصفهان طی زمان افزایش یافته و بیشترین همبستگی منفی با پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق مشاهده شده و مناطق با آلبدو پایین و تراکم ساختمانی بالا بیشترین دمای سطح را داشته‌اند.
رابطهٔ گرمای هوا، میانگین گرمای تابشی و آلبدو در کاهش جزایر حرارتی در شهرها (Haji Fathali et al., 2022)	قزوین محلهٔ پونک	کمی و تحلیل میدانی و مدل‌سازی	بررسی تأثیر دما، میانگین دمای تابشی و آلبدو بر شدت جزایر گرمایی و ارائهٔ راهکارها	افزایش آلبدو (بازتابندگی سطح) و کاهش میانگین گرمای تابشی باعث کاهش شدت جزایر گرمایی می‌شوند. استفاده از مصالح روشن‌تر و فضای سبز به عنوان مؤثرترین راهکارها در این زمینه معرفی شده‌اند.
بررسی تأثیر قرنطینه ناشی از پاندمی کووید ۱۹ بر جزایر گرمایی در مناطق شهری، صنعتی و فضای سبز تهران (Nojavan & Tabib-Mahmoudi, 2022)	مناطق صنعتی و فضای سبز تهران	داده‌های دمای سطح زمین و روش کمی	بررسی تأثیر قرنطینهٔ ناشی از پاندمی کووید ۱۹ بر شدت جزایر گرمایی تهران با تمرکز بر مناطق صنعتی و فضاهای سبز	اعمال قرنطینه موجب کاهش دمای سطح در مناطق صنعتی و بهبود شرایط خنک‌کنندگی فضای سبز شد و همچنین بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطهٔ معکوس معناداری وجود دارد.
تحلیل همبستگی عوامل کلان‌مقیاس محیط طبیعی و مصنوع با شدت جزایر گرمایی شهری (Ghasemi et al., 2024)	اصفهان	ضریب همبستگی پیرسون و SPSS	یافتن رابطه بین شدت جزایر گرمایی و عوامل کلان‌مقیاس محیط طبیعی و مصنوع در کلان‌شهر اصفهان با داده‌های سنجش از دور	فشردگی ساخت عامل اصلی تشدیدکنندهٔ جزایر گرمایی است، آلودگی هوا ارتباط اندکی با افزایش دمای سطح هنگام روز و تابش خورشید دارد. پوشش گیاهی نقش مؤثرتری بر تعدیل جزایر گرمایی نسبت به عوامل دیگر دارد.

عنوان مقاله/نویسندگان/سال انتشار	نمونهٔ پژوهش	روش پژوهش	هدف	یافته‌ها
تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با آلودگی هوا با سنجش از دور در شهر کرمان (Mazidi et al., 2023)	شهر کرمان	کمی، سنجش از دور	بررسی تغییرات زمانی جزایر گرمایی شهری و ارتباط آن با آلودگی هوا در شهر کرمان، با استفاده از داده‌های سنجش از دور	افزایش دمای سطح زمین در کرمان با افزایش آلودگی هوا مرتبط است. مناطق با پوشش گیاهی کم و زمین‌های بایر، بیشتر در معرض تشکیل جزایر گرمایی هستند. استفاده از داده‌های سنجش از دور، ابزار مؤثری برای پایش این پدیده و کاهش اثرات آن محسوب می‌شود.
Urban Heat Island Differentiation and Influencing Factors: A Local Climate Zone Perspective (Ning et al., 2024)	ناحیه‌های اقلیمی محلی (LCZ) در محدودهٔ مورد مطالعه	داده‌های سنجش از دور، تحلیل همبستگی و مدل‌سازی	بررسی تمایز و عوامل مؤثر بر شدت جزیرهٔ گرمایی از منظر طبقه‌بندی اقلیمی محلی (LCZ)	شدت جزایر گرمایی در ناحیه‌های اقلیمی محلی مختلف، تفاوت معناداری دارد. ساخت‌وساز متراکم و سطوح سخت باعث افزایش جزیرهٔ گرمایی می‌شود. وجود فضای سبز و آب، باعث کاهش شدت جزیرهٔ گرمایی می‌شود.
Efficiency Assessment for the Urban heat island mitigation Measures in a city with an oceanic climate During the summer (Morales-González et al., 2024)	والدیویا، شیلی	کمی، مدل‌محور، داده‌های خرداقلیم‌شناسی	بررسی کارایی اقدامات کاهش جزایر گرمایی در والدیویا، با هدف بهبود آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی در دورهٔ تابستانی	اقدامات کاهش جزیرهٔ گرمایی مانند افزایش پوشش گیاهی و استفاده از مصالح با بازتاب بالا به طور مؤثر دمای سطح زمین را در والدیویا کاهش داد و آسایش حرارتی را بهبود بخشید.
بررسی انطباقی ارتباط شاخص‌های کالبدی بخش مسکونی با توزیع جزایر حرارتی شهر تبریز (مطالعهٔ موردی مناطق ۲ و ۸ تبریز) (Badri Asl et al., 2024)	شهر تبریز	کمی، داده‌های سنجش از دور، تحلیل‌های آماری	بررسی نحوهٔ تقلیل میزان جزایر گرمایی با رعایت شاخص‌های کالبدی شهری تأثیرگذاری بر دمای سطح زمین در مناطق ۲ و ۸ تبریز	ویژگی‌های کالبدی بخش مسکونی نقش مهمی در شکل‌گیری و شدت جزایر گرمایی دارند. طراحی مناسب بافت شهری و بهبود شاخص‌های کالبدی می‌تواند به کاهش دمای سطح زمین و تعدیل جزایر گرمایی کمک کند.
Assessment of urban heat island using remote sensing and geospatial application: A case study in Sao Paulo city, Brazil, South America (Venkatraman et al., 2024)	سائوپائولو، برزیل	کمی و توصیفی، تحلیل و داده‌های ماهواره‌ای	تحلیل شدت و توزیع فضایی جزایر گرمایی در سائوپائولو با استفاده از داده‌های سنجش از دور و فناوری‌های جغرافیایی	ساخت‌وساز متراکم و پوشش گیاهی کم، عامل افزایش دمای سطح زمین و شدت جزایر گرمایی است. گسترش فضای سبز می‌تواند نقش مؤثری در کاهش این پدیده ایفا کند.
Analysis of the impact mechanisms and driving factors of urban spatial morphology on urban heat (Huang et al., 2025)	مناطق مرکزی و حاشیه‌ها در تیان‌جین، چین	تحلیل سنجش از دور با مدل XGBoost	شناسایی عوامل اصلی شهری موثر بر دمای سطح زمین و ساختار فضایی	شاخص‌های سه‌بعدی شهری (تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها) و عوامل اجتماعی ـ اقتصادی مهم‌ترین محرک‌های جزایر گرمایی بوده و اثر آن‌ها در مرکز و حاشیهٔ شهر متفاوت است.

مرور مطالعات مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد بخش عمدهٔ پژوهش‌ها به بررسی رابطهٔ میان متغیرهای کالبدی و محیطی شهرها؛ از جمله تراکم ساخت، میزان پوشش گیاهی، آلبدو و الگوی کاربری زمین، با شدت جزایر گرمایی اختصاص یافته است. بسیاری از این پژوهش‌ها با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و ابزارهای تحلیل مکانی، به شناسایی کانون‌های حرارتی پرداخته‌اند و ارتباط معناداری میان کاهش پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین گزارش کرده‌اند. در کنار آن، مطالعات نظام‌مند بین‌المللی با تمرکز بر عوامل فضایی ـ زمانی، راهکارهای تعدیل حرارتی همچون سطوح بازتابنده، بام‌های سبز و طراحی شهری اقلیم‌پایدار را از مؤثرترین روش‌های مقابله با این پدیده معرفی کرده‌اند. پژوهش‌های داخلی نیز، به‌ویژه در سال‌های اخیر، عمدتاً بر تحلیل فضایی جزایر گرمایی در کلان‌شهرهایی مانند تهران، اصفهان و تبریز متمرکز بوده‌اند. این مطالعات ضمن تأکید بر نقش تراکم ساختمانی و فشردگی بافت در تشدید پدیده، به اهمیت طراحی شهری و انتخاب مصالح با بازتابندگی بالا در کاهش اثرات گرمایی اشاره کرده‌اند. با این‌حال، اکثر این پژوهش‌ها، ماهیتی موردی و منطقه‌ای دارند و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین‌اقلیمی و مطالعات کلان‌مقیاس در سطح ملی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، بخش قابل توجهی از مطالعات، هرچند به روش‌های سنجش از دور و مدل‌سازی متکی هستند، اما از پیوند مفهومی میان شاخص‌های کالبدی، محیطی و اجتماعی غفلت کرده‌اند.

در مجموع، بررسی پیشینهٔ پژوهش‌ها نشان می‌دهد گرچه نقش شاخص‌های فیزیکی نظیر پوشش گیاهی و آلبدو در تعدیل جزایر گرمایی به‌خوبی اثبات شده است، اما تحلیل‌های جامع‌تری برای درک هم‌زمان اثرات متقابل عوامل طبیعی، کالبدی و اجتماعی در مقیاس‌های مختلف شهری ضرورت دارد. همچنین، در سطح علمی، خلأ روش‌شناسی در ترکیب تحلیل‌های کمی (علم‌سنجی و داده‌محور) با ارزیابی‌های کیفی (مفهومی و سیاست‌محور) به چشم می‌خورد. از این‌رو، نیاز به پژوهشی جامع احساس می‌شود که ضمن مرور نظام‌مند ادبیات موجود، ساختار دانشی حوزهٔ جزایر گرمایی شهری را در سطح بین‌المللی ترسیم کند و از رهگذر آن، شکاف‌های دانشی و روندهای نوظهور را شناسایی کند. بر همین‌مبنا، در بخش بعد به منظور تبیین مبانی نظری پژوهش، چارچوب مفهومی و مدل‌های تبیین‌کنندهٔ پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری بررسی می‌شود تا بنیان نظری لازم برای تحلیل یافته‌ها فراهم شود.

۳. مبانی نظری

پدیدۀ جزایر گرمایی شهری به عنوان یکی از اثرات شناخته‌شدۀ شهرنشینی و تغییرات اقلیمی، بیش از دو قرن است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مرور جدول ۲ نشان می‌دهد تعریف جزایر گرمایی شهری از توصیف‌های اولیه‌ی تجربی به تعاریف انرژی‌محور و سپس به چارچوب‌های مفهومی مانند «ناحیۀ اقلیمی محلی» تکامل یافته است. این تحول مفهومی، بنیان نظری تحلیل‌های معاصر در زمینۀ عوامل مؤثر بر شدت و پراکنش جزایر گرمایی را فراهم کرده است.

جدول ۲. سیر تحول تاریخی تعاریف و مفاهیم جزایر گرمایی شهری

عنوان مقاله	نویسنده	سال انتشار	تعریف جزایر گرمایی (UHI)
The climate of London: Deduced form Meteorological Observation, Made in the Metropolis and at Various Places Ariund It	Howard	۱۸۱۸-۱۸۳۳	اولین مشاهداتِ انجام‌شده نشان داد دمای شهر بالاتر از مناطق اطراف است. تمرکز روی اثرات توپوگرافی و پوشش زمین بود. تعریف علمی مدرنی هنوز شکل نگرفته بود.
City size and urban heat island	Oke	۱۹۷۲	جزیرۀ گرمایی پدیده‌ای است که در آن دمای هوای شهر بالاتر از محیط روستایی اطراف است. این پدیده ناشی از تغییرات سطحی و تراکم انسانی است (مطالعات اولیه).
City size and urban heat island	Oke	۱۹۷۳	تفاوت دمای محسوس بین شهر و مناطق روستایی اطراف، که شدت آن‌ها با اندازه و تراکم شهر افزایش می‌یابد (تمرکز روی رابطۀ شهر و شدت جزیرۀ گرمایی).
The urban climate	Landsberg	۱۹۸۱	پدیدۀ افزایش دما در مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی، ناشی از تراکم ساختمان‌ها، کاهش تبخیر و فعالیت‌های انسانی، مورد بررسی قرار گرفت (اولین تعریف جامع و سیستماتیک ارائه شد).
The energetic basis of the urban heat island	Oke	۱۹۸۲	یک پدیده انرژی‌شناختی که باعث بالا رفتن دمای شهر نسبت به مناطق اطراف می‌شود، ناشی از تغییر پوشش زمین، ذخیرۀ حرارت، تبخیر کمتر و فعالیت‌های انسانی (این توصیف، پایه و اساس اکثر تعاریف مقالات آتی شد).
Two decades of urban climate research: A review if turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island	Arnfield	۲۰۰۳	افزایش دمای مناطق شهری نسبت به مناطق اطراف، ناشی از تغییر پوشش زمین، ساختمان‌ها، و فعالیت‌های انسانی مورد بررسی قرار گرفت (شامل مرور جامع تحقیقات انجام گرفته، بود).
The impact of urbanization and climate change on urban heat island intensity and cooling potential of green infrastructure	Chapman et al.	۲۰۱۷	جزایر گرمایی زمانی رخ می‌دهد که شهرها گرم‌تر از مناطق روستایی هستند. شدت تراکم شهری و کاهش پوشش گیاهی باعث افزایش این پدیده می‌شود، مکانیزم‌ها شامل کاهش تبخیر، افزایش گرمای حاصل از فعالیت‌های انسانی، تغییر آلبدو و تونل شهری هستند.
A systematic review and scientific critique of the urban heat island literature	Stewart	۲۰۲۱	مفاهیمی نظیر تفاوت دمای هوا بین مناطق شهری و روستایی، به عنوان تعریف محوری با مشکلاتی در تطابق با سیاست‌ها، و معرفی چارچوب LCZ (منطقۀ اقلیمی محلی) برای استانداردسازیِ مفهوم و مقایسۀ جزایر گرمایی، مطرح شد.
Contrasting trends and drivers of global surface and canopy urban heat islands	Du et al.	۲۰۲۳	دو نوع جزایر گرمایی معرفی می‌شود، (سطحی: دمای سطح زمین) و (تاج‌پوشش (canopy): دمای هوا در نزدیک سطح). روند جهانی از ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ به این صورت بوده: جزایر گرمایی سطحی، روزانه ۶ برابر و شبانه دو برابر جزایر گرمایی تاج‌پوشش است. نوع دوم بیشتر وابسته به ویژگی‌های سطحی است، ولی نوع اول بیشتر تحت تأثیر اقلیم زمینه‌ای قرار دارد.

به منظور انسجام‌بخشی به روند تحول نظری پدیدۀ جزایر گرمایی شهری، می‌توان سیر مفهومی این حوزه را در قالب یک چارچوب مرحله‌ای و زمانمند تبیین کرد. در مرحلۀ نخست، مطالعات اولیه که عمدتاً مبتنی بر مشاهدات تجربی و اندازه‌گیری‌های میدانی بودند، به شناسایی تفاوت دمایی میان مناطق شهری و پیرامونی پرداختند و بر توصیف پدیده تمرکز داشتند. در مرحلۀ دوم، با توسعۀ نظریۀ تعادل انرژی سطح شهری، رویکردهای فیزیکی و مدل‌محور شکل گرفتند که تلاش داشتند سازوکارهای انتقال و ذخیرۀ انرژی در بافت شهری را تبیین کنند. مرحلۀ سوم با گسترش مطالعات مورفولوژی شهری و تحلیل شاخص‌هایی نظیر تراکم ساختمانی، ضریب دید آسمان و الگوی کاربری زمین، به بررسی نقش ساختار کالبدی شهر در تشدید یا تعدیل گرمای شهری پرداخت. در نهایت، مرحلۀ چهارم که هم‌زمان با پیشرفت فناوری‌های سنجش از دور، مدل‌سازی عددی و تحلیل داده‌های کلان شکل گرفت، رویکردهای تلفیقی و چندمقیاسی را معرفی کرد که علاوه بر ابعاد فیزیکی، مؤلفه‌های اجتماعی، اقتصادی و عدالت حرارتی را نیز در تحلیل‌ها وارد ساخت. این تقسیم‌بندی مرحله‌ای، امکان درک منسجم‌تر روند تحول نظری و پیوند میان رویکردهای مختلف را فراهم می‌سازد.

تحول نظری پدیدۀ جزایر گرمایی شهری صرفاً به تعمیق درک علمی این پدیده محدود نمانده، بلکه پیامدهای کاربردی مهمی نیز برای برنامه‌ریزی و طراحی شهری به همراه داشته است. بر اساس مرور نظام‌مند پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی به طور مشخص،

چارچوب تعادل انرژی شهری مبنای توسعهٔ راهکارهایی همچون افزایش ضریب بازتاب سطوح (Albedo)، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب، تغییر نوع کاربری زمین و افزایش نسبت فضای سبز، و کاهش گرمای آنتروپوژنیک در طراحی کالبدی شهرها قرار گرفته است. مطالعات مورفولوژیک نیز با تأکید بر شاخص‌هایی نظیر تراکم، نسبت ارتفاع به عرض معابر و ضریب دید آسمان (SVF)، نسبت سطح زیربنا (FAR)، سایه و تنوع ارتفاع ساختمان، در اصلاح الگوی استقرار بناها و بهبود تهویهٔ طبیعی شهری نقش ایفا کرده‌اند. شاخص‌های اجتماعی ـ اقتصادی نیز شامل تراکم جمعیت، فعالیت‌های انسانی، شاخص نور شب، زیرساخت عمومی، و درآمد سرانه‌اند. در رویکردهای جدیدتر، ادغام داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی میکرواقلیمی، امکان شناسایی نقاط داغ شهری و اولویت‌بندی مداخلات فضایی را فراهم ساخته و زمینه‌ساز تدوین سیاست‌های اقلیم‌پایدار، توسعهٔ زیرساخت‌های سبز و ارتقای عدالت حرارتی در مقیاس محله‌ای شده است. سیر تحول نظری این حوزه به طور مستقیم در شکل‌گیری راهبردهای عملی برای کاهش اثرات گرمایی و افزایش تاب‌آوری شهری بازتاب یافته است.

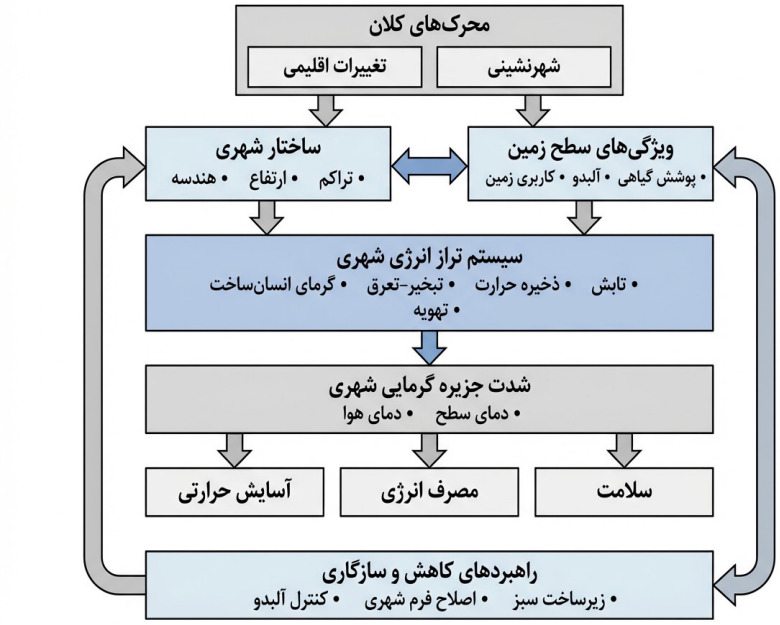
بررسی جدول ۳ نشان می‌دهد شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی (NDVI) و بازتاب سطح (Albedo)، بیشترین تأثیر منفی (کاهنده) بر دمای سطح زمین را دارند، در حالی که سطوح نفوذناپذیر (Impervious Surfaces) و تراکم ساختمانی، تأثیر مثبت (افزاینده) بر گرمایش شهری دارند. در سطح اجتماعی ـ اقتصادی نیز، شاخص‌های تراکم جمعیت و فعالیت‌های انسانی در ترکیب با عوامل کالبدی، نقشِ تشدیدکننده ایفا می‌کنند. این طبقه‌بندی سه‌بعدی، مبنای تدوین چارچوب مفهومی پژوهش حاضر محسوب می‌شود. در این پژوهش، با بهره‌گیری از تحلیل علم‌سنجی و مرور نظام‌مند کیفی، ارتباط میان این شاخص‌ها در قالب شبکه‌های دانشی و خوشه‌های پژوهشی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا روابط میان مؤلفه‌های طبیعی، کالبدی و اجتماعی در شکل‌گیری پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری تبیین شود.

جدول ۳. شاخص‌های مؤثر بر پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری بر اساس مرور مطالعات علمی منتخب

شاخص	نوع شاخص	نوع تأثیر بر دمای سطح زمین	توضیح تکمیلی
NDVI (شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی)	سطح زمین	کاهش دما	هر چه پوشش گیاهی بیشتر، خنکی بیشتر
NDWI (شاخص تفاوت نرمال‌شده آب)	سطح زمین	کاهش دما	تأثیر در تعامل با عوامل دیگر مثل NDVI
Albedo ضریب بازتاب	سطح زمین	کاهش دما	سطح روشن، گرما را بازتاب می‌دهد
Impervious Surface Area (مساحت سطوح نفوذناپذیر)	سطح زمین	افزایش دما	سطوح نفوذناپذیر مثل آسفالت
LST (دمای سطح زمین)	وابسته	شاخص اصلی	تفاوت دمای سطح بین مناطق شهری و غیرشهری
Building height (ارتفاع ساختمان)	فرم شهری	کاهش دما	ارتفاع زیاد باعث حبس گرما می‌شود
Building density (تراکم ساختمانی)	فرم شهری	افزایش دما	تراکم بیشتر، تهویه کمتر
Sky view factor (ضریب دید آسمان)	فرم شهری	کاهش دما	دید به آسمان SVF کمتر: گرمای بیشتر
Floor area ratio (نسبت سطح زیربنا)	فرم شهری	افزایش دما	–
Population density (تراکم جمعیت)	اجتماعی- اقتصادی	افزایش دما	–
Land use Type (نوع کاربری زمین)	سطح زمین	متغیر (بسته به نوع کاربری)	بسته به نوع پوشش (گیاهی، آبی، ساخته شده)
Green space Ratio (نسبت فضای سبز)	سطح زمین	کاهش دما	–
Transportation index (شاخص حمل و نقل)	اجتماعی- اقتصادی	افزایش دما	ایجاد سطوح داغ‌تر
Night light index (شاخص نور شبانه)	اجتماعی- اقتصادی	افزایش دما	نمایندهٔ فعالیت انسانی/شهری
Per Capita Income (درآمد سرانه)	اجتماعی- اقتصادی	متغیر	–

شاخص	نوع شاخص	نوع تأثیر بر دمای سطح زمین	توضیح تکمیلی
Public infrastructure Score (امتیاز زیرساخت عمومی)	اجتماعی- اقتصادی	افزایش دما	–
Building Height Diversity (تنوع ارتفاع ساختمان)	فرم شهری	متغیر	تعامل با NDVI و SVF
Public Green Space (فضای سبز عمومی)	سطح زمین	کاهش دما	تأثیر ضعیف اما مثبتی دارد
Shadow (سایه)	فرم شهری	افزایش دما	نبود سایه باعث جذب گرمای بیشتر می‌شود
Anthropogenic Heat (گرمای ناشی از فعالیت‌های انسانی)	اجتماعی- اقتصادی	افزایش دما	حرارت تولیدشده از فعالیت‌های انسانی مثل خودرو و ...
Wind Speed (سرعت باد)	سطح زمین	کاهش دما	سرعت هوا در سطح زمین که در پراکندگی دما تأثیر دارد
Cloud Cover (پوشش ابری)	سطح زمین	کاهش دما	میزان ابری بودن در تابش خورشید و دمای سطح تأثیرگذار است
NDBI (ساخت و ساز)	سطح زمین	افزایش دما	نمایندهٔ تراکم شهری و سطوح ساختمانی

بر اساس مرور نظام‌مند مطالعات پیشین و تحلیل خوشه‌های دانشیِ استخراج‌شده، می‌توان چارچوبی فرایندمحور برای تبیینِ سازوکارهای شکل‌گیری و تشدید جزایر گرمایی شهری ارائه کرد. در این چارچوب، تغییرات اقلیمی و فرایندهای شهرنشینی به عنوان محرک‌های کلان، از طریق اثرگذاری بر ساختار کالبدی شهر و ویژگی‌های سطح زمین، زمینهٔ تحول در سیستم تراز انرژی شهری را فراهم می‌سازند. تعامل میان مورفولوژی شهری، خصوصیات پوشش سطح و عوامل اجتماعی ـ اقتصادی، الگوی جذب و بازتاب تابش، ذخیرهٔ حرارت، تبخیر ـ تعرق، جریان هوا و گرمای انسان‌ساخت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پیامد این تغییرات در سطح فرایندی، افزایش دمای سطح زمین و دمای هوای شهری و در نتیجه تشدید شدت جزیرهٔ گرمایی شهری است. تشدید جزیرهٔ گرمایی شهری به نوبهٔ خود پیامدهایی نظیر کاهش آسایش حرارتی، افزایش مصرف انرژی و مخاطرات سلامت عمومی را به همراه دارد. در مقابل، راهبردهای طراحی و برنامه‌ریزی اقلیم‌پاسخگو، توسعهٔ زیرساخت سبز و اصلاح ویژگی‌های بازتابی سطوح می‌توانند به عنوان سازوکارهای بازخوردی در جهت تعدیل سیستم انرژی شهری عمل کنند. بر این‌اساس، چارچوب مفهومی پژوهش حاضر، روابط تعاملی میان ساختار شهری، ویژگی‌های سطح زمین و فرایندهای انرژی را در بستر محرک‌های کلان تبیین می‌کند و مبنایی نظری برای تحلیل علم‌سنجی و سازمان‌دهی خوشه‌های پژوهشی فراهم می‌آورد (شکل ۱).



شکل ۱. چارچوب مفهومی فرایندمحورِ پژوهش در تبیین عوامل مؤثر بر شدت جزایر گرمایی شهری

۴. روش‌شناسی

این تحقیق بر پایهٔ رویکرد مرور نظام‌مند متون علمی و با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل علم‌سنجی طراحی شده است. هدفِ پژوهش شناسایی روندها، محورهای مفهومی و ساختارهای دانشی مرتبط با پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری در ادبیات جهانی و تبیین مسیرهای پژوهش در آینده است. ماهیت پژوهش، کاربردی و ترکیبی (کیفی - کمی) است؛ به این‌معنا که در گام نخست، با تحلیل محتوای نظام‌مند، شاخص‌ها و مضامین نظری استخراج شده‌اند و در گام دوم، با تحلیل علم‌سنجی، ساختار دانشی و شبکهٔ همکاری علمی پژوهش‌ها تحلیل شده است.

۱.۴. مراحل اجرای پژوهش

مرحلهٔ نخست: مرور نظام‌مند منابع علمی

در مرحلهٔ نخست، ادبیات نظری و تجربی مرتبط با جزایر گرمایی شهری مرور شد تا چارچوب مفهومی و شاخص‌های مؤثر شناسایی شود. مرور نظام‌مند بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020 انجام شد و شامل سه مرحلهٔ غربالگریِ عنوان، چکیده و تمام‌متن بود. برای شفافیت و تکرارپذیری، پروتکل مرور نظام‌مند با استفاده از چارچوب SPAR-4-SLR تدوین شد که در جدول ۴ توضیح داده شده است.

جدول ۴. طراحی مفهومی و استراتژی جست‌وجوی پژوهش در مرور نظام‌مند مطالعات جزایر گرمایی شهری

مؤلفه‌های طراحی پژوهش	توضیحات
پایگاه‌های داده	Web of Science Core Collection, Scopus, Google Scholar
کلیدواژه‌ها و استراتژی جست‌وجو	(“Urban Heat Island” OR “UHI”) AND (“Urban Climate” OR “Surface Temperature”) AND (“Mitigation” OR “Green Infrastructure” OR “Urban Design”)
بازهٔ زمانی	۱۹۹۹ تا ۲۰۲۵ میلادی
نوع اسناد	مقاله‌های پژوهشی، مروری و کنفرانسی
زبان	انگلیسی
معیارهای ورود	مقالات دارای داده‌ی تجربی، مدل‌سازی یا تحلیلی دربارهٔ جزایر گرمایی شهری، منتشرشده در مجلات معتبر نمایه‌شده
معیارهای خروج	مقالات فاقد ارتباط مستقیم با شهر یا اقلیم شهری، فاقد متن کامل یا گزارش‌های داوری‌نشده

فرایند غربالگری توسط دو پژوهشگر به صورت مستقل انجام شد و اختلاف‌نظرها از طریق اجماع حل شد. بر اساس معیارهای مطرح‌شده، پس از غربالگریِ سه‌مرحله‌ای (عنوان، چکیده، متن کامل)، از میان ۱۲۴۵ سند اولیه، در نهایت ۲۹۲ مقاله برای سنتز نهایی انتخاب شد. از این تعداد، ۱۸۰ مقاله در تحلیل کیفی و ۱۱۲ مورد در تحلیل علم‌سنجی لحاظ شدند (شکل ۲).

مرحلهٔ دوم: روش سنتز کیفی مطالعات

پس از طی مراحل غربالگری بر اساس دستورالعمل PRISMA و شناسایی مطالعات واجد شرایط، تعداد ۱۸۰ مقاله وارد مرحلهٔ سنتز کیفی شدند. سنتز کیفی با هدف استخراج نظام‌مند شاخص‌ها، متغیرها و مضامین نظری مرتبط با عوامل مؤثر بر شدت جزایر گرمایی شهری انجام شد. در این مرحله، از رویکرد تحلیل محتوای مضمون‌محور (Thematic Content Analysis) استفاده شد تا الگوهای مفهومی تکرارشونده در ادبیات شناسایی و طبقه‌بندی شوند. معیارهای ورود و خروج مطالعات پیش از آغاز تحلیل تعیین شدند و شامل ارتباط مستقیم با پدیدهٔ جزایر گرمایی شهری، ارائهٔ داده‌های تجربی یا مدل‌سازی، تمرکز بر شاخص‌های کالبدی، محیطی یا اجتماعی ـ اقتصادی و انتشار در مجلات داوری‌شده بودند. مقالات فاقد تمرکز مشخص بر محیط شهری، مطالعات صرفاً نظری بدون چارچوب تحلیلی مشخص و مقالات فاقد دسترسی به متن کامل از فرایند سنتز حذف شدند. در این مرحله، هر مقاله به عنوان یک واحد تحلیلی در نظر گرفته شد و شاخص‌های مورد استفاده، متغیرهای بررسی‌شده و نتایج اصلیِ مرتبط با شدت جزایر گرمایی شهری استخراج شد.

شکل ۲. نمودار جریان PRISMA (نسخه ۲۰۲۰) فرایند گزینش مطالعات

مرحلهٔ سوم: فرایند کدگذاری و استخراج شاخص‌ها

به منظور افزایش دقت و تکرارپذیری، فرایند کدگذاری در دو مرحله انجام شد. در مرحلهٔ نخست، کدگذاریِ باز (Open Coding) به صورت مستقل توسط دو پژوهشگر انجام گرفت و تمامی مفاهیم، شاخص‌ها و متغیرهای مرتبط با شدت جزایر گرمایی شهری استخراج شد. این مرحله ماهیتی عمدتاً استقرایی داشت و با هدف شناسایی طیف گسترده‌ای از عوامل مطرح‌شده در ادبیات صورت پذیرفت. در گام بعدی، کدگذاری محوری (Axial Coding) با رویکردی تلفیقی (استقرایی ـ قیاسی) انجام شد. در این مرحله، شاخص‌های استخراج‌شده بر اساس چارچوب نظری پژوهش در سه بعد اصلی شامل:

۱. ویژگی‌های سطح زمین (مانند پوشش گیاهی، آلبدو، سطوح نفوذناپذیر)،

۲. مورفولوژی و ساختار شهری (مانند تراکم، ارتفاع ساختمان‌ها، هندسهٔ شهری)،

۳. عوامل اجتماعی ـ اقتصادی و گرمای انسان‌ساخت، دسته‌بندی شدند.

اختلاف‌نظرها میانِ کدگذاران از طریق بحث و اجماع حل گردید تا انسجام تحلیلی حفظ شود. در نهایت، شاخص‌های پرتکرار و مضامین غالب شناسایی و مبنای تدوین چارچوب مفهومی پژوهش قرار گرفتند.

مرحلهٔ چهارم: تحلیل علم‌سنجی

در گام چهارم، فرایند تحلیل علم‌سنجی با هدف ترسیم ساختار دانشی و شبکهٔ همکاری علمی در حوزهٔ جزایر گرمایی شهری اجرا شد. علم‌سنجی، شاخه‌ای از مطالعات علم است که با روش‌های کمی، الگوهای تولید، انتشار و ارجاع، دانش علمی را تحلیل می‌کند و به درک ساختار، روندها و شکاف‌های دانشی کمک می‌کند (Hood & Wilson, 2001). در این پژوهش، تحلیل علم‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer (نسخهٔ ۱,۶,۲۰) و داده‌های استخراج‌شده از پایگاه‌های Web of Science Core Collection، Scopus و Google Scholar انجام شد. انتخاب پایگاه Web of Science به عنوان یکی از منابع اصلی داده‌های علم‌سنجی به دلیل پوشش گستردهٔ مجلاتِ داوری‌شدهٔ بین‌المللی، ساختار استاندارد داده‌های استنادی و کاربرد گستردهٔ آن در مطالعات کتاب‌سنجی صورت گرفت. این پایگاه به دلیل انسجام داده‌های ارجاعی و قابلیت استخراج دقیق روابط هم‌استنادی، زوج کتاب‌شناختی و شبکه‌های همکاری علمی، یکی از منابع معتبر در تحلیل‌های شبکه‌ای علم‌سنجی محسوب می‌شود. استفادهٔ هم‌زمان از پایگاه‌های Scopus و Google Scholar نیز با هدف افزایش جامعیت بازیابی اسناد و کاهش احتمال حذف مطالعات مرتبط انجام شد؛ با این‌حال، داده‌های مورد استفاده در تحلیل شبکه‌ها پس از پاک‌سازی و نرمال‌سازی استاندارد شدند تا انسجام تحلیلی حفظ شود.

نرم‌افزار VOSviewer امکان ترسیم شبکه‌های هم‌نویسندگی، هم‌رخدادی واژگان، و تحلیل هم‌استنادی را فراهم می‌سازد (Van Eck & Waltman, 2010). تحلیل علم‌سنجی شامل شش بخش اصلی بود:

۱. تحلیل هم‌رخدادی واژگان (Keyword Co-occurrence) برای شناسایی ساختارهای مفهومی؛

۲. تحلیل هم‌پوشانی (Overlay Visualization) برای ردیابی واژگان نوظهور و روندهای زمانی؛

۳. تحلیل تراکم داده‌ها (Density Visualization) برای نمایش شدت ارتباطات مفهومی؛

۴. تحلیل هم‌نویسندگی کشورها (Co-authorship of Countries) جهت ترسیم شبکه‌های همکاری علمی؛

۵. تحلیل زوج کتاب‌شناختی سازمان‌ها (Bibliographic Coupling of Organizations) برای شناسایی نهادهای فعال؛

۶. تحلیل هم‌استنادی نویسندگان (Co-citation of Authors) به

منظور شناسایی پژوهشگران اثرگذار.

عبارت‌های جست‌وجو شامل «Heat Island» در بخش موضوع، «Urban Heat Island» در عنوان، و «Urban Design» در تمامی فیلدها بود. انتخاب این کلیدواژه‌ها بر اساس مرور مقدماتی ادبیات و شناسایی اصطلاحات پرتکرار و محوری در حوزهٔ جزایر گرمایی شهری انجام شد. ترکیب عبارت‌های مرتبط با «Urban Heat Island» به عنوان هستهٔ مفهومی اصلی، همراه با واژگان مکمل در حوزهٔ اقلیم شهری و طراحی شهری، با هدف پوشش هم‌زمان ابعاد اقلیم‌شناختی، کالبدی و راهبردی پژوهش‌ها طراحی شد. این رویکرد امکان تمرکز بر مطالعات مرتبط با بستر شهری را فراهم کرده و از ورود مطالعات غیرمرتبط با محیط‌های غیرشهری جلوگیری کرده است. با این‌حال، محدودسازی جست‌وجو به این اصطلاحات ممکن است موجب حذف برخی مطالعات شود که از واژگان جایگزین یا چارچوب‌های مفهومی متفاوت استفاده کرده‌اند؛ این مسئله یکی از محدودیت‌های ذاتی هر استراتژی جست‌وجوی نظام‌مند محسوب می‌شود.

جست‌وجو در تاریخ ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۴ (۱۷ مه ۲۰۲۵ میلادی) انجام شد و در مجموع، ۶۰۴ سند علمی بازیابی شد که شامل ۴۹۸ مقالهٔ پژوهشی، ۷۴ مقالهٔ کنفرانسی و ۳۳ مقالهٔ مروری بود. جدیدترین سند مربوط به سال ۲۰۲۵ و قدیمی‌ترین مربوط به سال ۱۹۹۹ میلادی است. داده‌های گردآوری‌شده شامل اطلاعات مربوط به نویسندگان، کشورها، نهادها، کلیدواژه‌ها و استنادها بود. از آنجا که بازیابی داده‌ها در تاریخ ۱۷ مه ۲۰۲۵ انجام شده است، نتایج این پژوهش بازتابی از وضعیت نمایه‌شدهٔ ادبیات تا آن مقطع زمانی است. مقالات منتشرشده در سال‌های اخیر، به‌ویژه در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵، ممکن است هنوز به میزان کافی ارجاع دریافت نکرده باشند و در نتیجه در تحلیل‌های هم‌استنادی و قدرت پیوند شبکه‌ای کمتر نمایان شوند. این مسئله می‌تواند نوعی سوگیری زمانی در تحلیل‌های استنادی ایجاد کند. علاوه بر این، فرایند نمایه‌سازی در پایگاه‌های داده علمی، همواره با تأخیر همراه است و ممکن است برخی اسناد جدید در زمان انجام جست‌وجو هنوز به طور کامل نمایه نشده باشند. بنابراین، یافته‌های علم‌سنجی این پژوهش باید در چارچوب بازهٔ زمانیِ مشخص‌شده تفسیر شوند و امکان تغییر در ساختار شبکه‌ها با به‌روزرسانی داده‌ها در آینده وجود دارد.

۲.۴. پارامترهای تحلیل و تنظیمات نرم‌افزار

برای اطمینان از شفافیت و تکرارپذیری تحلیل علم‌سنجی، پارامترهای کلیدی نرم‌افزار VOSviewer در جدول ۵ ارائه شده‌اند. این پارامترها شامل نوع تحلیل، آستانهٔ ورود داده‌ها به شبکه، روش نرمال‌سازی و الگوریتم خوشه‌بندی هستند. انتخاب آستانه‌ها بر اساس معیارهای استاندارد در تحلیل‌های کتاب‌سنجی (Van Eck & Waltman, 2010) و با هدف حفظ انسجام شبکه و جلوگیری از نویز داده‌ای انجام شده است. تمام داده‌ها از پایگاه‌ها استخراج و نرمال‌سازی شدند. نقشه‌های دانشی حاصل با تنظیمات ثابت برای تضمین تکرارپذیری اجرا شدند. در گام پایانی، یافته‌های مرور نظام‌مند با نتایج علم‌سنجی تلفیق شد تا ضمن استخراج شاخص‌های پرتکرار (در سه بعد سطح زمین، مورفولوژی شهری و اجتماعی ـ اقتصادی)، روندهای نوظهور و شکاف‌های دانشی نیز شناسایی شوند. این تلفیق به درک عمیق‌تر از تحولات مفهومی و سیاست‌پژوهانهٔ مطالعات جزایر گرمایی شهری انجامید.

جدول ۵. پارامترهای تنظیم و روش‌های نرمال‌سازی در تحلیل‌های علم‌سنجی با نرم‌افزار VOSviewer

نوع تحلیل	آستانهٔ ورود به شبکه	روش نرمال‌سازی	الگوریتم خوشه‌بندی
تحلیل هم‌رخدادی واژگان	≥ ۱۴ بار تکرار واژه	Association Strength	LinLog / Modularity-based Clustering
تحلیل هم‌نویسندگی کشورها	≥ ۵ پیوند علمی مشترک	Fractional Counting	Modularity Optimization (Resolution = 1.00)
تحلیل زوج کتاب‌شناختی سازمان‌ها	≥ ۴ استناد مشترک	Fractional Counting	VOS Clustering (Resolution = 1.00)
تحلیل هم‌استنادی نویسندگان	≥ ۴ استناد	Fractional Counting	Modularity-based Clustering
نمای هم‌پوشانی و تراکم داده‌ها	بر پایهٔ فراوانی و سال انتشار	Association Strength	بدون خوشه‌بندی (نمای بصری مقیاس‌پذیر)

۵. یافته‌ها

مصورسازی، ابزاری کارآمد برای تحلیل، تفسیر و انتقال مؤثر اطلاعات در مطالعات علم‌سنجی به شمار می‌رود. هدف از این بخش، تبیین روابط مفهومی، ساختارهای دانشی و شبکه‌های همکاری علمی در حوزهٔ پژوهش‌های مرتبط با جزایر گرمایی شهری است. برای درک بهترِ سازوکار تحلیل و مصورسازی شبکه‌ها، مفاهیم کلیدی در جدول ۶ معرفی می‌شوند:

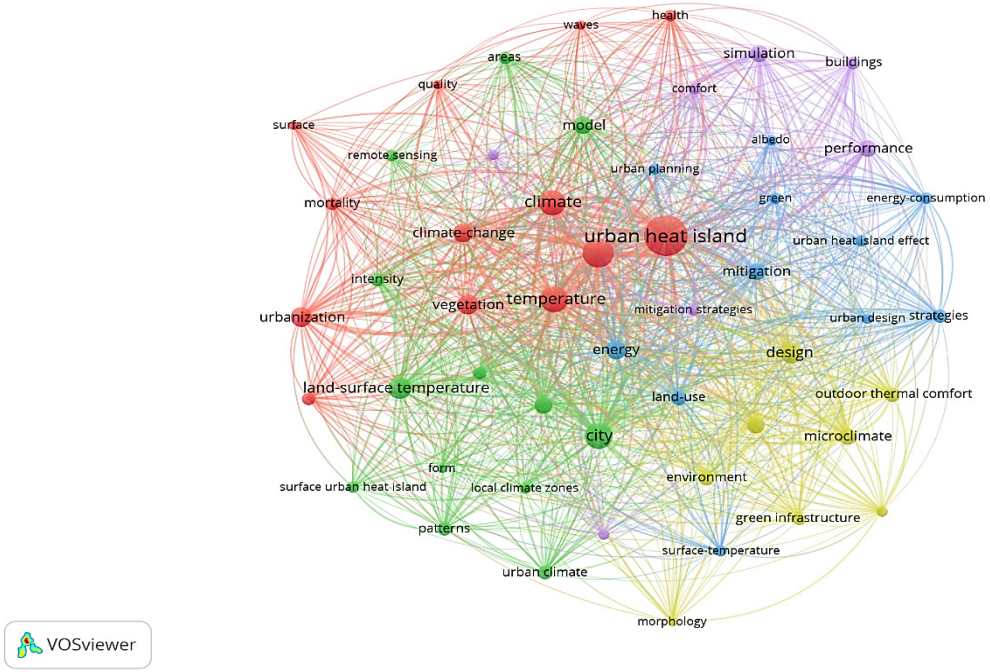
جدول ۶. مفاهیم و اجزای تحلیل در نرم‌افزار VOSviewer

عنوان	مفهوم
آیتم/گره (Item)	آیتم‌ها موضوعاتی هستند که تحقیقات بر اساس آن انجام می‌شود.
لینک/پیوند (Link)	اتصال یا ارتباط بین دو آیتم، توسط لینک برقرار می‌شود.
قدرت پیوند (Link strength)	یک عددِ همواره مثبت است که با افزایش مقدار عددی آن، پیوند قوی‌تری میان دو آیتم وجود خواهد داشت.
شبکه (Network)	آیتم‌ها و لینک‌ها با یکدیگر یک شبکه را تشکیل می‌دهند.
خوشه (Cluster)	مجموعه ای از آیتم‌های موجود در نقشه است که بر حسب عدد، برچسب‌گذاری می‌شوند.
مصورسازی شبکه (Network Visualization)	مصورسازی شبکه، شامل تجسم روابط میان پیوندها و آیتم/گره‌ها است.
مصورسازی هم‌پوشانی (Overlay Visualization)	مصورسازی هم‌پوشانی، کاری شبیه مصورسازی شبکه است با این تفاوت که در این نما، طریقهٔ رنگ‌آمیزی آیتم‌ها متفاوت است.
مصورسازی تراکم داده (Density Visualization)	این نما برای درک ساختار کلی نقشه و جلب توجه به مهم‌ترین مناطق نقشه مفید است.
هم‌زمانی وقوع دو آیتم (Co-occurence)	استخراج کلمات کلیدی مقالات در حوزهٔ تحقیقاتی خاص به منظور شناسایی مسائل و تحولات اصلی موضوع پژوهش.
هم‌استنادی (Co-citation)	هم‌استنادی یعنی دو سند علمی یا دو مقاله‌ای که یک مقالهٔ جدید به هر دو استناد داده است. زمانی که دو مقاله توسط یک مقاله مورد استناد قرار بگیرند، یعنی شباهت موضوعی بین آن‌ها برقرار است.
زوج کتاب‌شناختی (Bibliographic Coupling)	زمانی دو سند، زوجِ کتاب‌شناختی هستند که در رفرنسِ یک مقاله با هم دیده شوند؛ به این معنا که هر دو سند علمی به دو یا چند مقالهٔ مشترک استناد داده‌اند. این مفهوم در اصل نشان می‌دهد دو سند در چند رفرنس مشترک هستند و به نوعی عکس تحلیل هم‌استنادی است.
هم‌نویسندگی (Co-authorship)	هم‌نویسندگی به معنای اشتراک و همکاری میان نویسندگان مقالات در چند اثر علمی و یا مشارکت دو یا چند نویسنده در تولید یک اثر است.
تمام کلمات کلیدی (All Keywords)	در بررسی هم‌زمانی وقوع دو آیتم، منظور از این شاخص، خلاصهٔ مقالات و کلمات کلیدی استخراج‌شده توسط نویسنده به همراه کلمات کلیدی است که سیستم به صورت خودکار از پایگاه‌های داده علمی استخراج می‌کند.

۱.۵. تحلیل هم‌زمانی وقوع دو آیتم در نمای شبکه‌ای

از تحلیل هم‌زمانی وقوع واژگان (keyword Co-occurrence) برای شناسایی روابط مفهومی میان کلیدواژه‌های پرتکرار استفاده شده است. این روش امکان شناسایی ساختارهای پنهان در حوزهٔ پژوهشی، تعیین واژگان کلیدیِ پرکاربرد و بررسی ارتباط آن‌ها با یکدیگر را فراهم می‌سازد. این تحلیل با استفاده از نرم‌افزار VOS و در قالب نمای شبکه‌ای، مصورسازی شده است. در این شبکه، گره‌ها نمایانگر واژگان کلیدی هستند و با برچسب‌هایی به علامت دایره نمایش داده می‌شوند. بزرگی و کوچکی گره‌ها با توجه به وزن آن‌ها تعیین می‌شود، به طوری که برچسب‌های بزرگ‌تر، نشان‌دهندهٔ وزن بیشتر آیتم است. خطوط بین آن‌ها نشان‌دهندهٔ میزان همزمانی وقوع این واژگان در اسناد مختلف است. ضخامت خطوط ارتباطی، بیانگر شدت همزمانی (Total link Strength) بین واژگان بوده و نزدیکی مکانی آن‌ها، رابطهٔ مفهومی نزدیک‌تر را نمایش می‌دهد، به طوری که هر چه فاصله کمتر باشد، ارتباط بین دو آیتم قوی‌تر است و دو آیتم به تعداد دفعات بیشتری در یک مقاله دیده شده‌اند و نشان‌دهندهٔ هم‌رخدادی وقوع دو آیتم است. علاوه بر این واژگان در قالب خوشه‌هایی با رنگ‌های متفاوت گروه‌بندی شده‌اند که هر خوشه بیانگر یک حوزهٔ مفهومی خاص در ادبیات موضوعیِ مورد بررسی است.

از میان ۲۶۹۹ آیتم شناسایی‌شده از مقالات استخراج‌شده از پایگاه‌های داده، ۶۰ آیتَم دارای حداقل مقدار فراوانی ۱۴ بار تکرار وقوع کلمه است. هم‌زمانی وقوع آیتم کلیدی، ناشی از ارتباط نزدیک‌تر نسبت به سایر آیتم‌ها است و می‌تواند ایده‌ای جدید برای حوزهٔ تحقیق مشخص کند. بعد از عملیات غربالگری روی ۶۰ آیتم جهت جلوگیری از کلمات تکراری و غیرمرتبط، در نهایت ۵۲ کلمهٔ کلیدی برای تحلیل نهایی انتخاب شد. کلمهٔ کلیدی «جزایر گرمایی شهری» (urban heat island) با مجموع قدرت پیوند ۸۷۴ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۴۸، در جایگاه اول قرار گرفته است. کلمات «تأثیر» (impact) و «شهر» (city) به‌ترتیب با مجموع قدرت پیوند ۶۰۲ و ۴۲۸، و تعداد دفعات هم‌رخدادی ۵۰ و ۵۰ در ردهٔ دوم و سوم قرار گرفته‌اند. کلمهٔ «سنجش از دور» (remote sensing) با مجموع قدرت پیوند ۵۴ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۳۰، در ردهٔ آخر شبکه قرار گرفته است. شکل ۳ نمای کلی مصورسازی شبکه را نشان می‌دهد.



شکل ۳. تحلیل هم‌رخدادی وقوع دو آیتم بر اساس کلیدواژه‌های جزیرهٔ گرمایی شهری در مصورسازی شبکه‌ای

در این تحلیل ۵۲ آیتم موجود در ۵ خوشه تقسیم شده‌اند، به طوری که هر رنگ نشان‌دهندهٔ یک خوشه است. آیتم‌های یک خوشه دارای شباهت‌های بیشتری نسبت به سایر خوشه‌ها هستند که این آیتم‌ها توسط خطوط به یکدیگر متصل شده‌اند. خوشهٔ ۱ با بیشترین آیتم، شامل ۱۳ آیتم و با رنگ قرمز نمایش داده شده است. خوشهٔ ۲ دارای ۱۳ آیتم و با رنگ سبز، خوشهٔ ۳ با ۱۱ آیتم و با رنگ آبی، خوشهٔ ۴ با ۸ آیتم و رنگ زرد و خوشهٔ پنجم با ۷ آیتم و با رنگ بنفش در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

خوشه اول: خوشهٔ اول از ۱۳ کلمهٔ کلیدی (حدود ۲۵ درصد از تعداد کل کلمات کلیدی) تشکیل شده است که شامل آیتم‌های اقلیم، تغییرات اقلیمی، پوشش شهری، سلامت شهری، تأثیر، مرگ‌ومیر، کیفیت، سطح پوشش، دما، جزیرهٔ گرمایی شهری، شهرنشینی، پوشش گیاهی و امواج است. جزایر گرمایی شهری (Urban heat island) با مجموع قدرت پیوند ۸۷۴ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۴۸ در جایگاه اول، و سطح (Surface) با مجموع قدرت پیوند ۵۹ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۲۷ کمترین عدد را به خود اختصاص داده است.

خوشهٔ دوم: خوشهٔ دوم نیز از ۱۳ کلمهٔ کلیدی تشکیل شده است (حدود ۲۵ در صد از تعداد کل کلمات کلیدی) و شامل آیتم‌های دمای هوا، نواحی، شهر، شکل شهر، شدت، دمای سطح زمین، منطقه اقلیمی محلی، مدل، الگوها، سنجش از دور، جزیرهٔ گرمایی سطحی، اقلیم شهری و جزایر گرمایی شهری است. شهر (city) با مجموع قدرت پیوند ۴۲۸ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۵۰ در جایگاه اول، و سنجش از دور با میزان مجموع قدرت پیوند ۵۴ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۳۰ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است.

خوشهٔ سوم: خوشهٔ سوم دربردارندهٔ ۱۱ کلمهٔ کلیدی (حدود ۲۱.۱۵ درصد از تعداد کل کلمات کلیدی) است، و شامل بازتاب، انرژی، مصرف انرژی، فضای سبز، کاربری زمین، کاهش اثرات، راهبردها، دمای سطحی، طراحی سطحی، اثر جزیرهٔ گرمایی شهری و برنامه‌ریزی شهری است و ضریب بازتاب (Albedo) با مجموع قدرت پیوند ۶۳ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۳۰ کمترین مقدار عددی را به خود اختصاص داده است.

خوشهٔ چهارم: خوشهٔ چهارم متشکل از ۸ کلمهٔ کلیدی (حدود ۱۵/۳۸ درصد از کل کلمات کلیدی) یعنی طراحی، محیط زیست، هندسه، زیرساخت سبز، خرد اقلیم، مورفولوژی شهری، آسایش حرارتی بیرونی و آسایش حرارتی است. مورفولوژی شهری با مجموع قدرت پیوند ۷۱ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۳۳ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است.

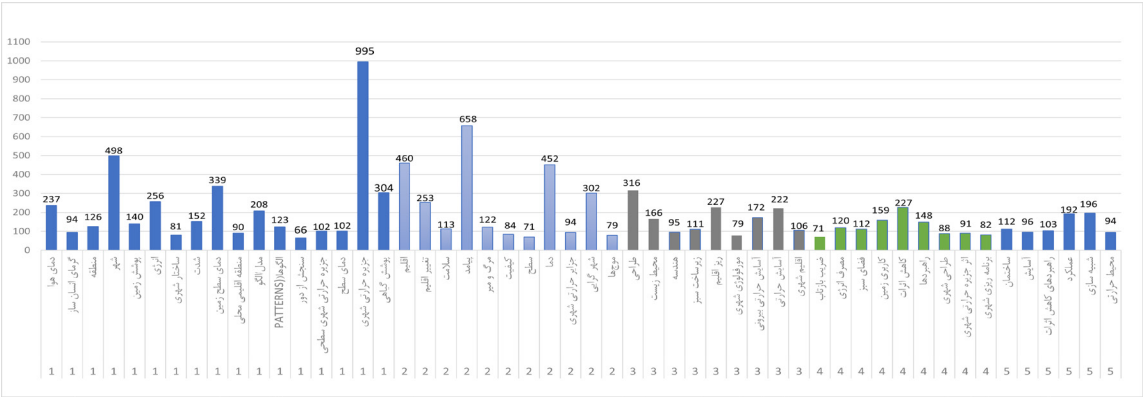
خوشهٔ پنجم: خوشهٔ پنجم متشکل از ۷ کلمهٔ کلیدی (حدود ۱۳/۴۶ درصد از کل کلمات کلیدی) است و شامل گرمای حاصل از فعالیت‌های انسان، ساختمان‌ها، آسایش حرارتی، راهبرد کاهش اثرات، عملکرد و محیط حرارتی است که محیط حرارتی با مجموع قدرت پیوند ۷۷ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیتم ۳۰ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است. جدول ۷ جزئیات آماری واژگان استخراج‌شده از تحلیل هم‌رخدادی را نشان می‌دهد.

جدول ۷. کلیدواژه‌های استخراج‌شده از تحلیل هم‌رخدادی در مطالعات جزیرهٔ گرمایی شهری

شناسه	خوشه	کلمهٔ کلیدی	مجموع قدرت پیوند	مجموع پیوند	رخدادها
۱	۱	دمای هوا	۲۳۷	۴۷	۴۳
۳	۱	گرمای انسان‌ساز	۹۴	۳۵	۱۶
۴	۱	منطقه	۱۲۶	۳۳	۲۵
۶	۱	شهر	۴۹۸	۵۱	۹۷
۱۰	۱	پوشش زمین	۱۴۰	۳۷	۲۵
۱۲	۱	انرژی	۲۵۶	۴۷	۵۰
۱۵	۱	ساختار شهری	۸۱	۳۳	۱۵
۲۱	۱	شدت	۱۵۲	۴۳	۲۷
۲۲	۱	دمای سطح زمین	۳۳۹	۴۵	۶۸
۲۴	۱	منطقه اقلیمی محلی	۹۰	۳۵	۱۷
۲۸	۱	مدل/الگو	۲۰۸	۴۸	۴۷
۳۲	۱	الگوها	۱۲۳	۳۵	۲۶
۳۵	۱	سنجش از دور	۶۶	۳۱	۲۰
۳۹	۱	جزیرهٔ حرارتی شهری سطحی	۱۰۲	۳۱	۲۱
۴۰	۱	دمای سطح	۱۰۲	۳۳	۱۹
۴۶	۱	جزیرهٔ حرارتی شهری	۹۹۵	۳۸	۲۴۴
۵۱	۱	پوشش گیاهی	۳۰۴	۴۹	۵۷
۷	۲	اقلیم	۴۶۰	۵۰	۹۵
۸	۲	تغییر اقلیم	۲۵۳	۴۵	۵۰
۱۹	۲	سلامت	۱۱۳	۳۷	۱۹
۲۰	۲	پیامد	۶۵۸	۵۱	۱۲۸
۳۰	۲	مرگ‌ومیر	۱۲۲	۳۷	۲۴
۳۴	۲	کیفیت	۸۴	۲۹	۱۵
۳۸	۲	سطح	۷۱	۲۸	۱۴
۴۱	۲	دما	۴۵۲	۴۸	۹۹
۴۸	۲	جزایر حرارتی شهری	۹۴	۴۹	۲۳
۵۰	۲	شهرگرایی	۳۰۲	۴۶	۶۱
۵۲	۲	موج‌ها	۷۹	۳۱	۱۵
۱۱	۳	طراحی	۳۱۶	۴۹	۶۷
۱۴	۳	محیط زیست	۱۶۶	۴۵	۳۰
۱۶	۳	هندسه	۹۵	۳۵	۱۷
۱۸	۳	زیرساخت سبز	۱۱۱	۴۰	۲۴
۲۵	۳	خرد اقلیم	۲۲۷	۴۵	۴۴

شناسه	خوشه	کلمهٔ کلیدی	مجموع قدرت پیوند	مجموع پیوند	رخدادها
۲۹	۳	مورفولوژی شهری	۷۹	۳۴	۱۵
۳۱	۳	آسایش حرارتی بیرونی	۱۷۲	۴۳	۳۲
۴۲	۳	آسایش حرارتی	۲۲۲	۴۳	۴۲
۴۴	۳	اقلیم شهری	۱۰۶	۳۷	۲۶
۲	۴	ضریب بازتاب	۷۱	۳۱	۱۷
۱۳	۴	مصرف انرژی	۱۲۰	۳۹	۲۱
۱۷	۴	فضای سبز	۱۱۲	۴۰	۱۹
۲۳	۴	کاربری زمین	۱۵۹	۴۳	۳۲
۲۶	۴	کاهش اثرات	۲۲۷	۴۹	۴۴
۳۷	۴	راهبردها	۱۴۸	۴۳	۲۷
۴۵	۴	طراحی شهری	۸۸	۳۷	۱۷
۴۷	۴	اثر جزیرهٔ حرارتی شهری	۹۱	۳۷	۱۹
۴۹	۴	برنامه‌ریزی شهری	۸۲	۳۴	۱۹
۵	۵	ساختمان	۱۱۲	۳۹	۲۳
۹	۵	آسایش	۹۶	۳۶	۲۲
۲۷	۵	راهبردهای کاهش اثرات	۱۰۳	۳۷	۱۷
۳۳	۵	عملکرد	۱۹۲	۳۴	۴۱
۳۶	۵	شبیه‌سازی	۱۹۶	۴۵	۴۴
۴۳	۵	محیط حرارتی	۹۴	۴۱	۱۸

شکل ۴، خوشه‌های مفهومی کلیدواژه‌های پرتکرار را در پژوهش‌های مرتبط با جزایر گرمایی شهری نمایش می‌دهد. هر رنگ بیانگر یک خوشهٔ معنایی مجزا است که نشان‌دهندهٔ هم‌زمانی بالای واژگان در مقالات علمی است. نتایج نشان می‌دهد کلیدواژهٔ «جزیرهٔ حرارتی شهری» (Urban Heat Island) با بیشترین قدرت پیوند (۹۹۵) در مرکز شبکه قرار دارد و به عنوان هستهٔ اصلی پژوهش‌ها عمل می‌کند. واژگانی مانند «تأثیر» (Impact)، «اقلیم» (Climate) و «دما» (Temperature) نیز از مهم‌ترین پیوندهای مفهومی در کنار آن هستند. در مقابل، واژگان مرتبط با «زیرساخت سبز»، «طراحی شهری» و «راهبردهای کاهش اثرات» ضمن داشتن قدرت پیوندِ پایین‌تر، نشان‌دهندهٔ روندهای نوظهور و تغییر جهت مطالعات از تحلیل پدیده به سمت سیاست‌گذاری و طراحی پایدار شهری‌اند.

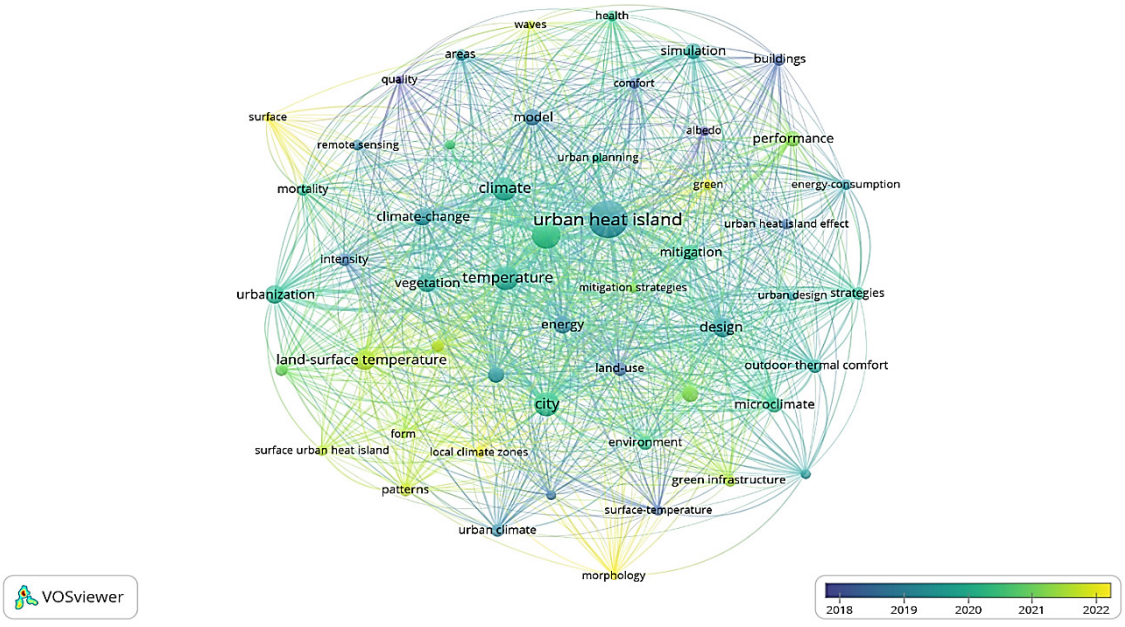


شکل ۴. خوشه‌بندی کلیدواژه‌ها بر اساس تحلیل هم‌رخدادی در مطالعات جزیرهٔ گرمایی شهری

تحلیل شبکهٔ هم‌رخدادی واژگان نشان داد ساختار مفهومی ادبیات جزایر گرمایی شهری در قالب پنج خوشهٔ متمایز سازمان یافته است. خوشهٔ نخست که بزرگ‌ترین و متراکم‌ترین بخش شبکه را تشکیل می‌دهد، پیرامون مفاهیمی نظیر «جزیرهٔ حرارتی»، «شهرنشینی»، «پوشش گیاهی»، «اقلیم» و «مرگ‌ومیر» شکل گرفته است. تمرکز بالای قدرت پیوند در این خوشه بیانگر آن است که هستهٔ مرکزی دانش این حوزه همچنان بر مفاهیم اقلیمی و پیامدهای سلامت‌محور استوار است که نشان‌دهندهٔ گسترش مطالعات از سطح فیزیکی پدیده به پیامدهای اجتماعی و ریسک‌های اقلیمی است. خوشهٔ دوم بیشتر بر مفاهیمی مانند «دمای سطح زمین»، «دمای هوا»، و «منطقهٔ اقلیم محلی»، متمرکز بوده و بر اندازه‌گیری، پایش و مدل‌سازی شدت پدیده استوار است. در خوشهٔ سوم، واژگانی مانند «طراحی»، «انرژی»، «کاربری زمین» و «برنامه‌ریزی شهری» قرار دارند که بیانگر حرکت ادبیات به سمت مقیاس انسانی و نقش طراحی و برنامه‌ریزی شهری در تنظیم حرارتی است. خوشهٔ چهارم و پنجم به‌ترتیب بر «خرداقلیم»، «آسایش حرارتی»، «مورفولوژی شهری» و نیز «راهبردهای کاهش اثرات»، «عملکرد» و «ساختمان» تمرکز دارند. این ساختار نشان می‌دهد مطالعات اخیر از مرحلهٔ شناخت پدیده عبور کرده و به سمت توسعهٔ راهکارهای طراحی و ارزیابی عملکردی حرکت کرده‌اند. به طور کلی، توزیع خوشه‌ها بیانگر یک گذار مفهومی در ادبیات است؛ به گونه‌ای که تمرکز اولیه بر پایش و سنجش حرارتی، به‌تدریج به سمت تحلیل پیامدها، طراحی اقلیم‌پاسخگو و راهبردهای کاهش اثرات توسعه یافته است. این تحول، بلوغ تدریجی حوزه و حرکت آن از مطالعات توصیفی به پژوهش‌های مداخله‌محور را نشان می‌دهد.

۲.۵. تحلیل هم‌زمانی وقوع دو آیتم در نمای هم‌پوشانی شبکه (Overlay Visualization)

در نمای هم‌پوشانی، تحلیل هم‌زمانیِ وقوع کلیدواژه‌ها با در نظر گرفتن میانگین سال انتشار مقالاتِ مرتبط با هر واژه، صورت گرفته است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در این نوع مصورسازی، واژگان نه تنها بر اساس هم‌رخدادی، بلکه بر پایهٔ زمانِ وقوع نیز کدگذاری رنگی می‌شوند، به طوری که واژگان قدیمی‌تر با رنگ‌های سرد (آبی تا سبز) و واژگان جدیدتر با رنگ‌های گرم (زرد تا نارنجی) نمایش داده می‌شوند. در این‌میان بررسی هم‌زمانی وقوع دو واژه (جزیرهٔ حرارتی شهری و تغییرات اقلیمی) نشان می‌دهد این دو کلیدواژه نه تنها در یک خوشهٔ مفهومی مشترک قرار گرفته‌اند، بلکه در سال‌های نسبتاً مشابه، مورد توجه محققان در حوزهٔ جزیرهٔ حرارتی شهری بوده‌اند و در مقایسه با واژگان نوظهور، تمرکز زمانی آن‌ها زودتر تثبیت شده است. رنگ زرد (فضای سبز، ساختار شهری/ مورفولوژی، منطقهٔ اقلیمی محلی، سطح و ...) و رنگ سبز (عملکرد، زیرساخت سبز، پوشش، آسایش حرارتی و ...)، نشان‌دهندهٔ این است که این کلیدواژه‌ها در سال‌های اخیر در حوزهٔ جزایر حرارتی شهری مورد توجه واقع شده‌اند و می‌توانند به موضوعات اثرگذاری تبدیل شوند. کلیدواژه‌هایی که به رنگ زرد هستند، سال انتشار آن‌ها مربوط به سال‌های بعد از ۲۰۲۱ است و در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران هستند، به طوری که امکان شناسایی موضوعات نوظهور را فراهم می‌سازند و می‌توان از آن‌ها برای پیشبرد موضوع تحقیق در این حوزه کمک گرفت. اندازهٔ دایره‌ها، وزن آیتم‌ها را نشان می‌دهد و به معنای دیده شدن آن آیتم با سایر آیتم‌ها در مقالات است. فاصلهٔ آیتم‌ها، ارتباط آن‌ها را با یکدیگر مشخص می‌کند و با کاهش فاصله، ارتباط بین آیتم‌ها نیز بیشتر می‌شود.

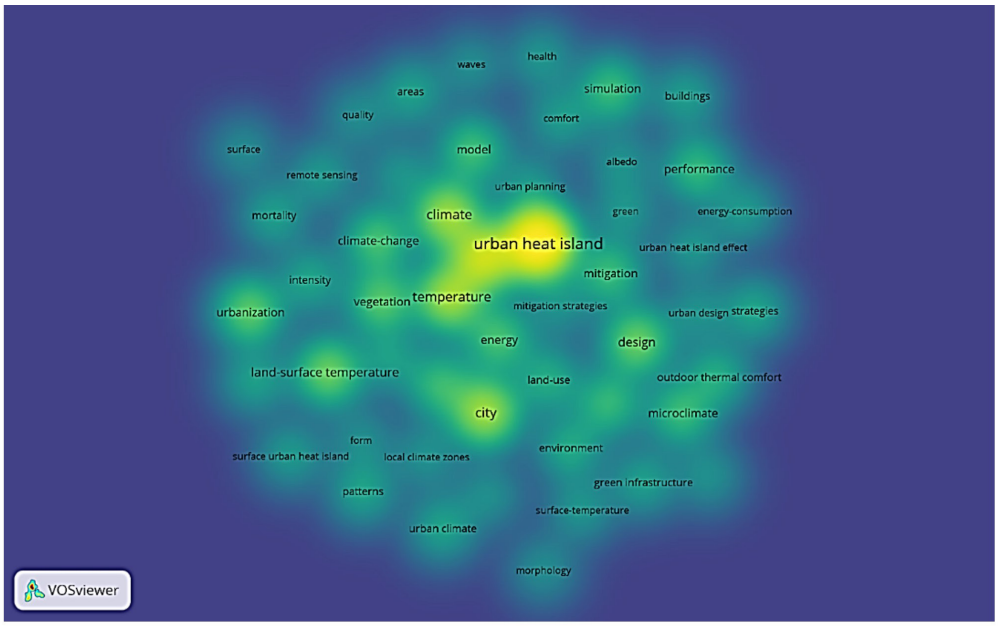


شکل ۵. تحلیل هم‌رخدادی وقوع دو آیتم بر اساس کلیدواژه‌های جزیرهٔ گرمایی شهری در مصورسازی هم‌پوشانی

بررسی روند زمانی کلیدواژه‌ها نشان می‌دهد تمرکز اولیهٔ پژوهش‌ها عمدتاً بر مفاهیم پایه‌ای نظیر «جزیرهٔ حرارتی شهری»، «دما»، «اقلیم» و «تغییر اقلیم» بوده که در بازهٔ پیش از ۲۰۱۹ در مرکز توجه قرار داشته‌اند. این مرحله را می‌توان دورهٔ تثبیت مفهومی و اندازه‌گیری پدیده دانست. در مقابل، ظهور واژگانی نظیر «زیرساخت سبز»، «مورفولوژی شهری»، «آسایش حرارتی»، «عملکرد» و «منطقه اقلیمی محلی» در طیف رنگ‌های گرم‌تر، نشان‌دهندهٔ انتقال تمرکز پژوهش‌ها از مرحلهٔ شناخت پدیده به مرحلهٔ مداخلهٔ طراحی‌محور و سازگاری اقلیمی است. این تحول بیانگر تغییر رویکرد ادبیات از مطالعات توصیفی و سنجشی به سمت پژوهش‌های کاربردی، سیاست‌محور و اقلیم‌پاسخگو است. به بیان دیگر، تحلیل هم‌پوشانی شبکه نشان می‌دهد ادبیات جزایر گرمایی شهری در سال‌های اخیر به طور فزاینده‌ای به سمت راهکارهای کالبدی و طراحی شهری به عنوان ابزار تعدیل اثرات حرارتی حرکت کرده؛ موضوعی که با چارچوب مفهومی فرایندمحور پژوهش حاضر نیز هم‌راستا است.

۳.۵. تحلیل هم‌زمانی وقوع دو آیتم در نمای مصورسازی تراکم داده‌ها

نمای مصورسازی تراکم داده‌ها، ابزاری بصری برای نمایش شدت تکرار و اهمیت نسبی واژگان کلیدی است. با توجه به شکل ۶، در این نما، نواحی مختلف نقشه با توجه به تراکم واژگان و تعداد پیوندهای آن‌ها با سایر آیتم‌ها، با رنگ‌هایی از آبی تا زرد نمایش داده می‌شوند. نواحی زرد رنگ، بیانگر نقاطی با بیشترین فراوانی و وزن ارتباطی‌اند، به طوری که با افزایش تعداد آیتم‌ها با نقطهٔ مورد نظر، فاصلهٔ کمتر و افزایش وزن آیتم‌ها در همسایگی نقطه، رنگ آن آیتم به زرد نزدیک‌تر می‌شود و به‌عکس. زمانی که دو واژه در این نما در نواحی مجاور و با تراکم بالا قرار گیرند، این نزدیکی فضایی می‌تواند نشان‌دهندهٔ هم‌زمانی وقوع مفهومی در متون علمی باشد. به بیان دیگر، واژگانی که در خوشه‌ای پرتراکم و در فاصله‌ای نزدیک از یکدیگر دیده می‌شوند، به احتمال زیاد در مقالات علمی به طور هم‌زمان به کار رفته‌اند و دارای ارتباط معنایی قوی‌تری هستند. رنگ زرد شامل کلمات کلیدی جزیرهٔ حرارتی، شهر، تأثیر، دما، اقلیم و ... است. در این نما آیتم‌هایی که دارای سایز فونتِ ریزتر یا چگالی کمتر هستند، کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند و نشان‌دهندهٔ میزان اهمیت آن‌ها در مقالات است.



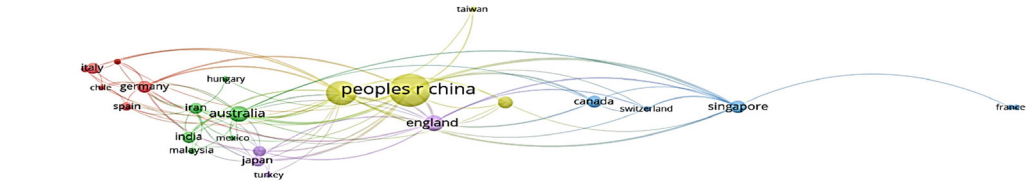
شکل ۶. تحلیل هم‌رخدادی بر اساس کلیدواژه‌های جزیرهٔ گرمایی شهری در مصورسازی تراکم داده‌ها

تحلیل تراکم نشان می‌دهد هستهٔ متراکم شبکه، عمدتاً حول مفاهیم «جزیرهٔ حرارتی شهری»، «شهر»، «دما»، «اقلیم» و «تأثیر» شکل گرفته است. تمرکز بالای این واژگان در ناحیهٔ زرد بیانگر تثبیت آن‌ها به‌عنوان مفاهیم بنیادین و غالب در ادبیات است. این موضوع نشان می‌دهد بخش عمدهٔ تولیدات علمی همچنان بر سنجش، توصیف و تحلیل شدت پدیده تمرکز دارد. در مقابل، واژگانی مرتبط با «زیرساخت سبز»، «مورفولوژی شهری»، «آسایش حرارتی» و «راهبردهای کاهش» در نواحی با تراکم متوسط قرار گرفته‌اند. این الگو بیانگر آن است که اگرچه این حوزه‌ها در حال رشد هستند، اما هنوز به اندازهٔ مفاهیم کلاسیکِ سنجش حرارتی، به هستهٔ مرکزی دانش تبدیل نشده‌اند. به بیان دیگر، ساختار تراکم شبکه، نشان‌دهندهٔ یک تمرکز مفهومی نامتقارن است که در آن مطالعات توصیفی غالب بوده و مطالعات مداخله‌محور در حال تقویت جایگاه خود هستند. این یافته با نتایج تحلیل هم‌پوشانی زمانی نیز هم‌راستا است و بیانگر گذار تدریجی حوزه از تمرکز بر اندازه‌گیری پدیده به سمت طراحی اقلیم‌پاسخگو و راهبردهای کاهش اثرات است.

۴.۵. تحلیل هم نویسندگی بر اساس آیتم کشورها

هم‌نویسندگی نشان می‌دهد پژوهشگران یا کشورها در چند اثر علمی با هم مشترک بوده‌اند و این مشارکت در یک شبکهٔ همکاری

علمی به هم متصل است. در این پژوهش هم‌نویسندگی بر اساس آیتم کشورها مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحلیل هر گره، نمایندهٔ یک کشور است و خطوط بین آن‌ها نشان‌دهندهٔ روابط و همکاری پژوهشی بین کشورها در تولید مقالات علمی مشترک است. هر چقدر اندازهٔ آیتم بزرگ‌تر باشد، آن کشور نشریات بیشتری تولید کرده است و پیوند بالاتری دارد. همچنین، ضخامت پیوندها و فاصلهٔ آن‌ها نشان‌دهندهٔ همکاری بیشتر بین کشورها است. هم‌نویسندگی به محققان جهت درک مشارکت موجود و شناسایی همکاران بالقوه و بهبود همکاری میان نویسندگان این کشورها کمک خواهد کرد. از میان ۶۶ کشور، ۲۶ کشور انتخاب شد که بعد از غربالگری داده‌ها، در نهایت ۲۵ کشور در نمای مصورسازی شبکه شرکت می‌کنند که دارای حداقل پیوند ۵ هستند. این ۲۵ آیتم موجود در ۵ خوشه تقسیم شده‌اند، که هر خوشه با یک رنگ نشان داده شده است. آیتم‌هایی که در یک خوشه قرار گرفته‌اند مشابهت بیشتری نسبت به سایر آیتم‌هایی که در خوشهٔ متفاوت هستند، دارند. بر اساس شکل ۷، خوشهٔ ۱ با رنگ آیتم قرمز دارای ۶ آیتم و خوشهٔ ۲ با رنگ سبز و دارای ۶ آیتم، بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده‌اند. خوشهٔ ۱ شامل کشورهای شیلی، مصر، آلمان، یونان، ایتالیا و اسپانیا است. خوشهٔ دوم نیز شامل کشورهای استرالیا، هند، ایران، مالزی و مکزیک است. خوشهٔ سوم دارای ۵ عضو و با رنگ آبی شامل کشورهای کانادا، فرانسه، مراکش، سنگاپور و سوئیس است. خوشهٔ چهارم دارای ۴ عضو و با رنگ زرد شامل کشورهای چین، کرهٔ جنوبی، تایوان و آمریکا است. خوشهٔ پنجم دارای ۴ عضو شامل کشورهای انگلیس، ژاپن، هلند و ترکیه و به رنگ بنفش است.

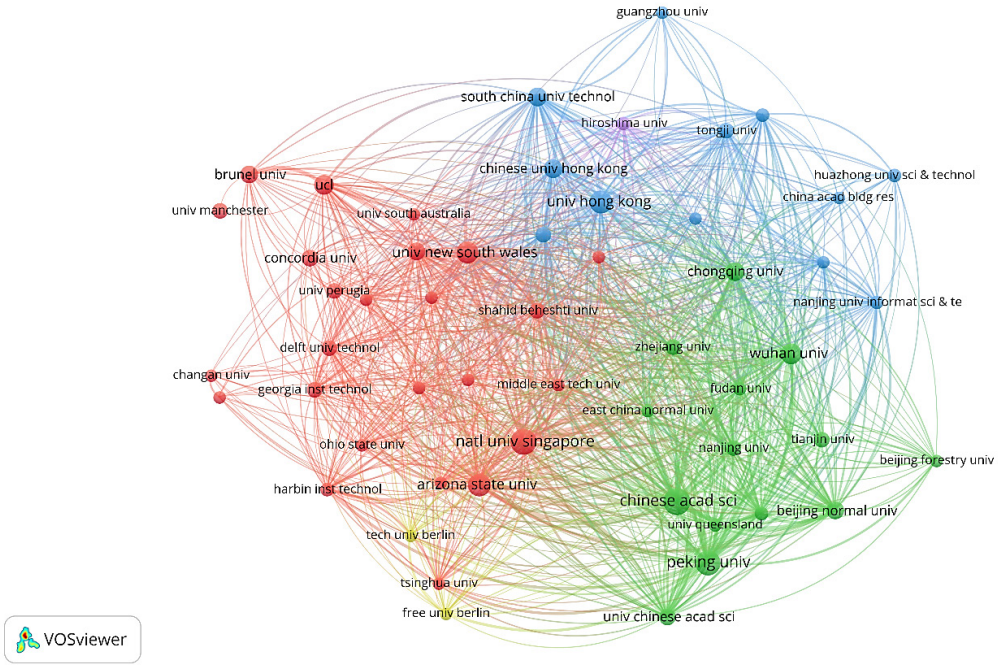


شکل ۷. تحلیل هم‌نویسندگی بر اساس کشور در مطالعات جزیرهٔ گرمایی شهری در مصورسازی شبکه‌ای

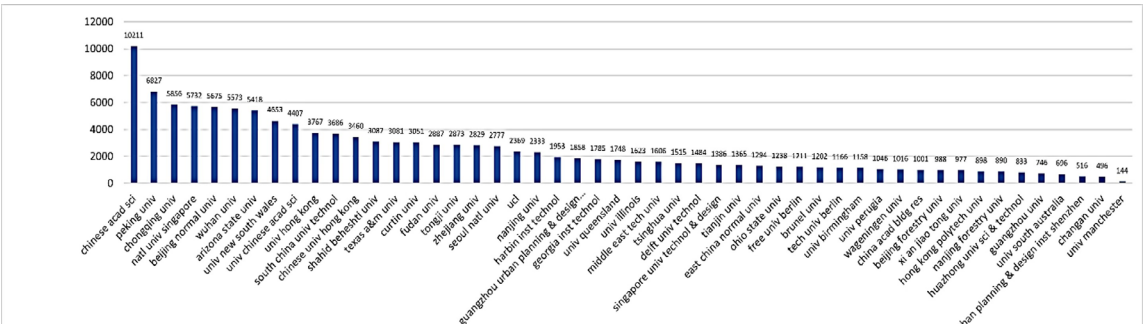
تحلیل شبکهٔ هم‌نویسندگی کشورها بیانگر آن است که ساختار تولید دانش در حوزهٔ جزایر گرمایی شهری، ماهیتی خوشه‌ای و نسبتاً منطقه‌محور دارد. الگوی شکل‌گیری خوشه‌ها نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از همکاری‌ها در چارچوب پیوندهای جغرافیایی و منطقه‌ای سازمان یافته‌اند؛ به گونه‌ای که در برخی خوشه‌ها، تمرکز کشورهای اروپایی مشاهده می‌شود و در خوشه‌هایی دیگر، کشورهای آسیایی یا اقتصادهای بزرگ جهانی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. با این‌حال، در برخی موارد خوشه‌ها ترکیبی از کشورهای واقع در مناطق مختلف را نیز در بر می‌گیرند که بیانگر گسترش پیوندهای فرامنطقه‌ای و بین‌المللی در تولید دانش است. حضور کشورهایی مانند چین و ایالات متحده در خوشه‌ای متراکم و با پیوندهای قوی، نشان‌دهندهٔ نقش محوری آن‌ها در شبکهٔ همکاری علمی و جایگاه آن‌ها به عنوان قطب‌های اصلی تولید دانش در این حوزه است. در مقابل، برخی کشورها در خوشه‌های چندملیتی و با پیوندهای وابسته‌تر قرار گرفته‌اند که می‌تواند بیانگر اتکای بیشتر آن‌ها به همکاری‌های بین‌المللی برای ارتقای تولید علمی باشد. به طور کلی، اگرچه روند گسترش همکاری‌های جهانی در این حوزه مشهود است، ساختار شبکه همچنان تا حدی متأثر از نزدیکی‌های جغرافیایی، اشتراکات اقلیمی و مسائل شهری مشابه است. تمرکز اصلی همکاری‌ها در میان کشورهای صنعتی و اقتصادهای نوظهورِ پیشرو نیز بیانگر نوعی نابرابری فضایی در توزیع ظرفیت تولید دانش مرتبط با جزایر گرمایی شهری است.

۵.۵. تحلیل زوج کتاب‌شناختی بر اساس سازمان‌ها

در این بخش، تحلیل پیوند کتاب‌سنجی بر پایهٔ سازمان‌ها انجام شده است. این نوع تحلیل به شناسایی مؤسساتی می‌پردازد که تولیدات علمی آن‌ها از منابع و مراجع مشترک استفاده کرده‌اند. زمانی که دو سازمان در اسناد پژوهشی خود به منابع مشابهی استناد می‌کنند، می‌توان نتیجه گرفت که این نهادها در حوزه‌های مفهومی نزدیک به یکدیگر فعالیت دارند. همان‌طور که در شکل ۸ نمایش داده شده، در این پژوهش از آیتم سازمان‌ها استفاده شده است. حداقلِ مقدارِ استنادات هر سازمان ۴ تعیین شده است، به طوری که از میانِ ۶۷۴ سازمان شناسایی‌شده، ۵۴ مورد دارای حداقل مقدار استناد ۴ هستند. در نمای مصورسازی شبکه، ارتباط بین دو آیتم، نشان‌دهندهٔ تعداد رفرنس‌هایی است که با هم مشترک هستند. فاصلهٔ کمتر بین دو آیتم، نشان‌دهندهٔ ارتباط قوی‌تر میان آن دو است. قدرت پیوند نیز به معنای تعداد رفرنس‌های مشترک است. اندازهٔ وزنی هر آیتم تعیین‌کنندهٔ مجموع قدرت پیوند است و هر چقدر آیتم بزرگ‌تر باشد به معنای قدرت پیوند بیشتر است. با توجه به شکل ۹ سازمان«Chinese Academy of Sciences» با مجموع ۱۰۲۱۱ استناد دارای بیشترین قدرت پیوند بوده و رتبهٔ اول را به خود اختصاص می‌دهد. مجلهٔ «Peking university» و «Chongqing university» به‌ترتیب با ۶۸۲۷ و ۵۸۵۶ قدرت پیوند، در ردهٔ دوم و سوم قرار می‌گیرند. مجلهٔ «University of Manchester» با قدرت پیوند ۱۴۴ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است. نقشهٔ زوج کتاب‌شناختی به ۵ خوشه تقسیم می‌شود که خوشهٔ اول به رنگ قرمز دارای ۲۵ آیتم، خوشهٔ دوم با ۱۴ آیتم به رنگ سبز، خوشهٔ سوم به رنگ آبی دارای ۱۲ آیتم، خوشهٔ چهارم به رنگ زرد دارای ۲ آیتم و خوشهٔ آخر به رنگ بنفش دارای ۱ آیتم است. شکل‌های ۸ و ۹ این ارتباطات را نشان می‌دهند.



شکل ۸. تحلیل پیوند کتاب‌شناختی بر اساس سازمان‌ها در مطالعات جهانی جزایر گرمایی شهری در مصورسازی شبکه‌ای



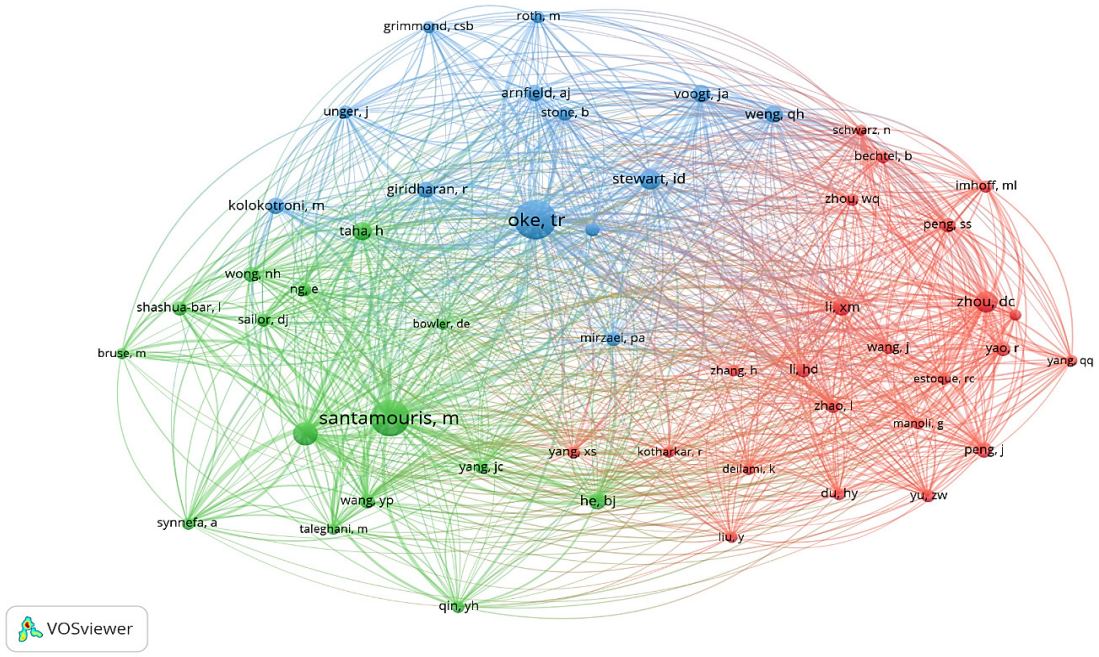
شکل ۹. قدرت کلی پیوند آیتم‌های پیوند کتاب‌شناختی بر اساس سازمان‌ها در مطالعات جزیره گرمایی شهری

نتایج تحلیل زوج کتاب‌شناختی نشان می‌دهد که ساختار ارجاعی ادبیات جزایر گرمایی شهری دارای تمرکز نهادی قابل توجهی است. برتری سازمان‌هایی مانند Chinese Academy of Sciences، Peking University و Chongqing University بیانگر نقش پررنگ نهادهای علمی چین در شکل‌دهی به بنیان‌های نظری و تجربی این حوزه است. تمرکز بالای قدرت پیوند در این سازمان‌ها نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از تولیدات علمی به مجموعه‌ای نسبتاً مشترک از منابع مرجع استناد می‌کنند که بیانگر شکل‌گیری یک هستهٔ معرفتی غالب است. در مقابل، سازمان‌هایی با قدرت پیوند پایین‌تر در خوشه‌های کوچک‌تر قرار گرفته‌اند که نشان‌دهندهٔ تنوع نسبی رویکردها و پراکندگی در برخی جریان‌های پژوهشی است. تقسیم شبکه به پنج خوشه نیز بیانگر وجود بلوک‌های نهادی با گرایش‌های مفهومی مشابه است؛ به‌گونه‌ای که سازمان‌های هر خوشه احتمالاً بر موضوعات یا رویکردهای روش‌شناختی مشترکی تمرکز دارند. به طور کلی، ساختار زوج کتاب‌شناختی نشان می‌دهد که اگرچه ادبیات جزایر گرمایی شهری از نظر جغرافیایی گسترده است، اما از نظر ارجاعی تا حدی متمرکز و وابسته به چند قطب علمی اصلی است. این تمرکز می‌تواند در شکل‌دهی به جهت‌گیری‌های پژوهشی و اولویت‌های موضوعی، نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد.

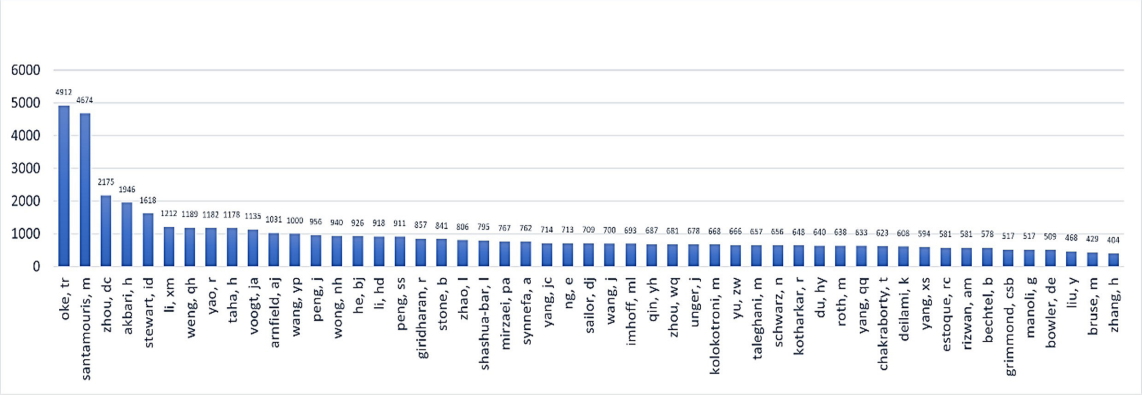
۶.۵. تحلیل هم‌استنادی بر اساس هم‌استنادی نویسندگان در نمای مصورسازی شبکه

در این بخش، تحلیل هم‌استنادی نویسندگان با هدف شناسایی پژوهشگرانی انجام شده است که آثار آن‌ها به صورت هم‌زمان در منابع علمی مختلف مورد استناد قرار گرفته‌اند. زمانی که دو نویسنده در مقالات گوناگون به شکل مکرر و به طور مشترک مورد استناد قرار می‌گیرند، می‌توان نتیجه گرفت که بین آن‌ها ارتباط موضوعی یا فکری وجود دارد. این نوع تحلیل به شناسایی خوشه‌های فکری، جریان‌های پژوهشی و تأثیرگذارترین پژوهشگران در یک حوزهٔ خاص کمک می‌کند و نقش مهمی در ترسیم ساختار علمی آن حوزه ایفا می‌کند. با توجه به شکل ۱۰ هر گره نشان‌دهندهٔ یک نویسنده است، و از میان ۱۱۰۹۵ نویسنده در حوزهٔ جزایر گرمایی، ۵۴ نویسنده دارای حداقل ۴۰ سند علمی هستند.

درخـور یـادآوری اسـت بعـد از غربالگـری داده‌هـا از میان ۵۴ نویسـنده، در نهایت ۵۱ نویسـنده انتخاب شـد و ۳ نویسـنده به دلیل تشـابه اسمی حـذف شـد. بـا توجه بـه شـکل ۱۰ هر رنـگ نشـان‌دهندۀ نویسـندگانی اسـت کـه در موضـوع مشـابهی علاقه‌مند بوده‌انـد و اغلـب در یک زمینۀ مشـابه فعالیـت می‌کننـد. هـر چـه انـدازۀ دایـره بزرگ‌تـر باشـد، نشـان‌دهندۀ تعـداد اسـتنادات بیشـتر اسـت. دایره‌های کوچک‌تـر دارای اسـتنادات کمتـر هسـتند و نویسـندگان تـازه‌کار در ایـن دایـره قـرار می‌گیرنـد. تحلیـل هم‌اسـتنادی بـر اسـاس نویسـندگان نشـان می‌دهـد که Oke با ۵۰۴ و ۴۹۱۲ دارای بیشـترین اسـتناد و قدرت پیوند اسـت. Santamouris و نیـز Akbari به‌ترتیـب بـا ۴۲۹ و ۱۷۹ در رده‌های دوم و سـوم قـرار می‌گیرنـد. Santamouris و Zhou به‌ترتیـب بـا ۴۶۷۴ و ۲۱۷۵ در ردۀ دوم و سـوم بالاتریـن قـدرت پیونـد قـرار می‌گیرنـد. ۵۱ آیتـم در ۳ خوشـه تقسـیم شـده‌اند بـه طوری که خوشـۀ اول شـامل ۲۳ آیتـم و بـه رنـگ قرمـز در ردۀ اول، خوشـۀ دوم دارای ۱۵ آیتـم به رنگ سـبز و خوشـۀ سـوم دارای ۱۳ آیتـم و بـه رنگ آبـی در ردۀ آخر اسـت. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نمای گرافیکی این تحلیل را نمایش می‌دهند.



شکل ۱۰. تحلیل هم‌استنادی بر اساس استنادهای نویسندگان در حوزۀ جزایر گرمایی شهری در مصورسازی شبکه‌ای



شکل ۱۱. قدرت کلی پیوند آیتم‌های هم‌استنادی بر اساس استنادهای نویسندگان در مطالعات جزیرۀ گرمایی شهری

تحلیـل هم‌اسـتنادی نویسـندگان نشـان می‌دهـد سـاختار فکـری حوزۀ جزایـر گرمایـی شـهری بـر پایـۀ مجموعـه‌ای از پژوهشـگران بنیان‌گذار شـکل گرفتـه اسـت. قرارگیـری Oke در مرکـز شـبکه هم‌اسـتنادی و برخـورداری از بالاتریـن میـزان اسـتناد و قـدرت پیونـد، مؤیـد نقـش محـوری او در شـکل‌دهی بـه چارچوب‌هـای نظـری اولیـه اقلیم شـهری اسـت. آثـار او بـه عنـوان نقطـۀ مرجـع مشـترک بسـیاری از مطالعـات بعـدی عمـل می‌کند و سـتون فقرات نظـری ادبیات را تشـکیل می‌دهد. در خوشـه‌های دیگـر، پژوهشـگرانی نظیـر Santamouris و Akbari نمایانگـر جریـان مطالعات انـرژی و راهبردهای کاهش اثـرات حرارتی در محیط‌هـای ساخته‌شـده هسـتند، در حالـی کـه حضـور نویسـندگانی ماننـد Zhou نشـان‌دهندۀ تمرکـز بـر مطالعـات سـنجش از دور و تحلیل‌هـای کمـی در مقیـاس شـهری اسـت. ایـن خوشـه‌بندی بیانگـر

شکل‌گیری سه جریان فکری اصلی در ادبیات است: (۱) بنیان‌های اقلیم شهری و نظری، (۲) رویکردهای انرژی و طراحی کاهشی، و (۳) مطالعات داده‌محور و سنجش از دور. به طور کلی، ساختار هم‌استنادی نشان می‌دهد حوزهٔ جزایر گرمایی شهری دارای هستهٔ نظری تثبیت‌شده‌ای است که طی زمان با جریان‌های کاربردی و فناوری‌محور تکمیل شده است. این الگو بیانگر بلوغ تدریجی دانش از مرحلهٔ نظریه‌پردازی به مرحلهٔ کاربرد و مداخله است.

۷.۵. ترکیب و تلفیق یافته‌های علم‌سنجی جزایر حرارتی شهری

یافته‌های حاصل از تحلیل علم‌سنجی پژوهش‌های مربوط به جزایر حرارتی شهری، بیانگر رشد چشمگیر توجه علمی به این پدیده در سال‌های اخیر است. هدف از این بخش، تلفیق نتایج به‌دست‌آمده از شش تحلیل اصلی شامل هم‌واژگی، هم‌نویسندگی، هم‌استنادی و تحلیل‌های سازمانی، کشوری و مفهومی است، تا تصویری جامع از ساختار دانشی و جهت‌گیری پژوهش‌ها در این حوزه ارائه شود.

بر اساس مرور نظام‌مند ۶۰۴ سند علمی، در مجموع ۲۳ شاخص مؤثر بر جزایر حرارتی شهری شناسایی شد که در سه بعد اصلی شامل شاخص‌های سطح زمین، مورفولوژی شهری و شاخص‌های اجتماعی ـ اقتصادی طبقه‌بندی شدند. از میان آن‌ها، شاخص‌هایی نظیر دمای سطح زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، شاخص ساخت‌وساز (NDBI)، ضریب بازتاب (Albedo) و نوع کاربری زمین (Land use) بیشترین تکرار را داشته‌اند.

در تحلیل هم‌رخدادی واژگان، واژه‌های «جزیرهٔ حرارتی شهری»، «تأثیر» و «شهر» پرتکرارترین کلیدواژه‌ها بوده و هستهٔ مفهومی شبکه را تشکیل می‌دهند. در مقابل، واژگانی مانند «مورفولوژی شهری»، «منطقهٔ اقلیمی محلی» و «زیرساخت سبز» به عنوان موضوعات نوظهور در سال‌های اخیر ظهور یافته‌اند و نشانگر جهت‌گیری جدید مطالعات از تحلیل اثرات به سوی راهبردهای سازگاری و کاهش اثرات حرارتی هستند. نمای هم‌پوشانی کلیدواژه‌ها نشان می‌دهد واژگان مرتبط با طراحی شهری، آسایش حرارتی و زیرساخت‌های سبز عمدتاً در سال‌های پس از ۲۰۲۱ ظهور یافته‌اند؛ در حالی که واژگانی مانند ضریب بازتاب، شدت و دمای سطحی، در مقالات قدیمی‌تر کاربرد بیشتری داشته‌اند. این تغییر، دگرگونی رویکرد پژوهش‌ها از تحلیل‌های صرفاً فیزیکی به سوی مطالعات میان‌رشته‌ای اقلیم- طراحی شهری را نشان می‌دهد. در تحلیل شبکهٔ هم‌نویسندگی کشورها، مشخص شد که چین، ایالات متحده و استرالیا بیشترین حجم همکاری‌های علمی را به خود اختصاص داده‌اند و در مقابل، کشورهایی چون فرانسه، بلغارستان و مراکش کمترین سطح مشارکت را داشته‌اند. پژوهشگران ایرانی نیز عمدتاً با کشورهای هند، استرالیا، مالزی و مکزیک همکاری مشترک داشته‌اند که بیانگر شکل‌گیری شبکه‌های نوین علمی میان کشورهای درحال‌توسعه است. نتایج تحلیل زوج کتاب‌شناختی بر اساس سازمان‌ها نشان داد که نهادهایی نظیر Chinese Academy of Sciences، Peking University و Chongqing University بیشترین میزان پیوند و استناد مشترک را دارند و به عنوان مراکز اصلی تولید دانش در این حوزه شناخته می‌شوند. همچنین، تحلیل هم‌استنادی نویسندگان حاکی از آن است که پژوهشگرانی همچون Santamouris، Oke و Akbari از اثرگذارترین چهره‌ها در شکل‌دهی مبانی نظری و روش‌شناختی مطالعات جزایر حرارتی شهری بوده‌اند.

هرچند بدنه‌ی اصلی دانش این حوزه بر پایهٔ آثار کلاسیک این نویسندگان بنا شده است، اما در سال‌های اخیر، پژوهشگران نوظهور با بهره‌گیری از فناوری‌های سنجش از دور و مدل‌سازی حرارتی، در حال گسترش مرزهای دانشی این حوزه هستند.

به طور کلی، تلفیق نتایج شش تحلیل علم‌سنجی نشان می‌دهد ساختار دانش جزایر گرمایی شهری دارای سه لایهٔ اصلی است: هستهٔ تجربی مبتنی بر سنجش و مدل‌سازی حرارتی، لایهٔ میانی شامل پیامدهای اقلیمی و سلامت‌محور، و لایهٔ نوظهور مداخله‌محور مبتنی بر طراحی شهری و زیرساخت سبز. این ساختار چندلایه‌ای، بیانگر بلوغ تدریجی حوزه و حرکت آن از تمرکز صرف بر اندازه‌گیری پدیده به سمت تحلیل‌های میان‌رشته‌ای و راهبردهای کاهش اثرات است. همگرایی نتایج حاصل از تحلیل‌های هم‌واژگی، هم‌استنادی و زوج کتاب‌شناختی نشان می‌دهد تحول مفهومی این حوزه، نه صرفاً در سطح واژگان، بلکه در سطح ساختار ارجاعی و شبکه‌های همکاری علمی نیز رخ داده است.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل ساختار تولید دانش، الگوهای همکاری علمی و سازمان مفهومی ادبیات جهانی جزایر گرمایی شهری انجام شده است. بهره‌گیری از رویکرد علم‌سنجی و تحلیل‌های هم‌رخدادی واژگان، هم‌استنادی نویسندگان، هم‌نویسندگی کشورها و زوج کتاب‌شناختی، امکان ترسیم نقشه‌ای نظام‌مند از چارچوب‌های نظری، جریان‌های پژوهشی و پیوندهای دانشی این حوزه را فراهم ساخت. نتایج شبکهٔ هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها نشان داد مفاهیمی نظیر «جزیرهٔ حرارتی شهری»، «تأثیر»، «اقلیم» و «دمای سطح زمین» از بالاترین فراوانی و قدرت پیوند برخوردارند و به عنوان هستهٔ مفهومی پایدار ادبیات شناخته می‌شوند. تمرکز و تراکم پیوندهای مفهومی پیرامون این کلیدواژه‌ها بیانگر آن است که بخش عمده‌ای از مطالعات، حول سنجش، تحلیل و تبیین الگوهای حرارتی در بستر اقلیم شهری سازمان یافته‌اند.

در مقابل، ظهور و تقویت مفاهیمی نظیر «زیرساخت سبز»، «راهبردهای کاهش اثرات»، «عملکرد حرارتی» و «تاب‌آوری شهری» در سال‌های اخیر، که در خوشه‌های نسبتاً متمایز اما در تعامل با هستهٔ مرکزی قرار گرفته‌اند، نشان‌دهندهٔ گسترش دامنهٔ موضوعی پژوهش‌ها از سطح تحلیل پدیده به سطح مداخله و سیاست‌گذاری است. این تغییر در آرایش شبکه‌ای مفاهیم، حاکی از آن است که ادبیات حوزه از تمرکز صرف بر تشخیص و اندازه‌گیری شدت جزایر گرمایی، به سمت ارزیابی راهکارهای کاهش و سازگاری اقلیمی حرکت کرده است.

بررسی خوشه‌های مفهومی همچنین نشان می‌دهد شاخص‌های مرتبط با سطح زمین و مورفولوژی شهری از جمله پوشش گیاهی، نسبت سطوح نفوذناپذیر، آلبدو و تراکم ساختمانی، در مرکز توجه پژوهش‌ها قرار داشته‌اند. تأکید فراوانی کلیدواژه‌ها و قدرت پیوند میان این متغیرها با مفاهیم دمای سطح زمین، بیانگر جایگاه برجستهٔ آن‌ها در چارچوب‌های تحلیلی موجود است. لازم به تأکید است که این نتیجه مبتنی بر تحلیل ساختار مفهومی ادبیات است و نه استنتاج علّی مستقیم از داده‌های تجربی؛ با این حال، تمرکز شبکه‌ای بر این متغیرها نشان می‌دهد آن‌ها به طور گسترده به عنوان عوامل کلیدی در تبیین تغییرات حرارتی شهری مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در سطح همکاری‌های علمی، تحلیل شبکهٔ هم‌نویسندگی کشورها نشان داد تولید دانش در این حوزه، ساختاری خوشه‌ای و تا حدی منطقه‌محور دارد. بیشترین تراکم همکاری‌ها در میان کشورهایی نظیر چین، ایالات متحده و استرالیا مشاهده شد که از قدرت پیوند و حجم تولید علمی بالاتری برخوردارند. در عین حال، حضور کشورهایی مانند ایران، هند و مالزی در خوشه‌های فعال شبکه، بیانگر گسترش تدریجی مشارکت علمی در مناطق درحال‌توسعه است. آرایش خوشه‌ها نشان می‌دهد اگرچه همکاری‌های بین‌المللی رو به افزایش است، ساختار شبکه همچنان تحت تأثیر پیوندهای جغرافیایی، اشتراکات اقلیمی و شبکه‌های پژوهشی منطقه‌ای، سازمان می‌یابد. این الگو می‌تواند بیانگر نوعی تمرکز فضایی در تولید دانش و نابرابری نسبی در دسترسی به منابع تحقیقاتی پیشرفته باشد.

تحولات اخیر در مطالعات جزایر گرمایی شهری نشان‌دهندهٔ گذار تدریجی از رویکردهای توصیفی مبتنی بر تحلیل‌های آماری ساده به سمت رویکردهای داده‌محور، مدل‌محور و تحلیل‌های شبکه‌ای است. گسترش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، مدل‌های انرژی شهری و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، امکان بررسی پویایی‌های حرارتی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر و با تفکیک فضایی دقیق‌تر را فراهم کرده است. اگرچه مطالعهٔ حاضر ماهیتی علم‌سنجی دارد و به مدل‌سازی تجربی مستقیم نمی‌پردازد، الگوهای استخراج‌شده از شبکه‌های هم‌رخدادی و هم‌استنادی نشان می‌دهد که تمرکز ادبیات پژوهشی طی دو دههٔ اخیر به طور فزاینده‌ای به سمت تحلیل‌های کمی، داده‌محور و کاربردی حرکت کرده است. این تغییر جهت در ساختار مفهومی حوزه، بازتابی از بلوغ نسبی روش‌های تحلیلی و افزایش پیچیدگی ابزارهای مورد استفاده در مطالعات شهری است.

از منظر شکاف‌های پژوهشی، تحلیل شبکه‌ها نشان داد که با وجود تمرکز گسترده بر سنجش از دور و تحلیل‌های دمای سطح زمین، ابعاد اجتماعی، اقتصادی و رفتاری پدیدهٔ جزایر گرمایی در ساختار مفهومی حوزه سهم کمتری دارند. پیوندهای نسبتاً ضعیف میان مفاهیم عدالت حرارتی، آسیب‌پذیری اجتماعی و نابرابری فضایی با هستهٔ اصلی شبکه، بیانگر ظرفیت توسعهٔ رویکردهای میان‌رشته‌ای در آینده است. همچنین ناهمخوانی مقیاس‌های تحلیل؛ از مقیاس‌های کلان مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای با تفکیک متوسط تا نیازهای طراحی شهری در مقیاس محله‌ای، یکی از چالش‌های روش‌شناختی برجسته در ادبیات محسوب می‌شود. تمرکز غالب بر داده‌های سنجش از دور، اگرچه امکان پوشش گستردهٔ فضایی را فراهم می‌کند، اما در بازنمایی ناهمگنی‌های خرداقلیمی محدودیت‌هایی ایجاد می‌کند که می‌تواند در تعمیم نتایج به سیاست‌های طراحی شهری اثرگذار باشد.

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق در تحلیل روابط غیرخطی میان متغیرهای سطح زمین، مورفولوژی شهری و دمای سطحی گسترش یافته است. با این‌حال، بررسی الگوهای استنادی نشان می‌دهد چالش‌هایی نظیر بیش‌برازش مدل‌ها، وابستگی به کیفیت داده‌های ورودی و محدودیت در تفسیرپذیری نتایج، همچنان موضوع بحث در ادبیات هستند. بنابراین، توسعهٔ چارچوب‌های ترکیبی که داده‌های ماهواره‌ای، اندازه‌گیری‌های میدانی و شاخص‌های اجتماعی- اقتصادی را به صورت یکپارچه تلفیق کنند، می‌تواند یکی از مسیرهای تقویت‌کنندهٔ پژوهش‌های آینده باشد.

از منظر کاربردی، یافته‌های این مطالعه که مبتنی بر تحلیل ساختار دانشی ادبیات جهانی است، می‌تواند در سه سطح مورد استفاده قرار گیرد: نخست، در سطح تشخیصی، از طریق شناسایی محورهای مفهومی غالب و متغیرهای پرتکرار که چارچوب تحلیلی مطالعات را شکل داده‌اند؛ دوم، در سطح برنامه‌ریزی پژوهشی، با شناسایی خلأهای موضوعی و فرصت‌های توسعهٔ رویکردهای میان‌رشته‌ای؛ و سوم، در سطح سیاست‌گذاری، از طریق همسوسازی برنامه‌های شهری با روندهای علمی غالب، به‌ویژه در حوزهٔ زیرساخت‌های سبز، مدیریت کاربری زمین و سازگاری اقلیمی. با این‌حال، باید تأکید شود که این مطالعه نقشه‌ای از ساختار دانش ارائه می‌دهد و نه ارزیابی تجربی مستقیم از اثربخشی راهبردهای مداخله‌ای.

در زمینهٔ همکاری‌های بین‌المللی، انتقال فناوری‌های نوین سنجش از دور، مدل‌سازی میکرواقلیمی و تحلیل داده‌های کلان می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در توانمندسازی کشورهای درحال‌توسعه ایفا کند. با این‌حال، بومی‌سازی این فناوری‌ها مستلزم تطبیق آن‌ها با شرایط اقلیمی، ساختار کالبدی و ویژگی‌های اجتماعی هر شهر است. ایجاد شبکه‌های پژوهشی مشترک و توسعهٔ پایگاه‌های دادهٔ محلی می‌تواند به انتقال دانش از سطح جهانی به کاربردهای منطقه‌ای کمک کند و زمینهٔ طراحی راهبردهای متناسب با زمینه‌های اقلیمی خاص را فراهم آورد.

در نهایت، تحلیل روند ۲۵سالهٔ ادبیات نشان می‌دهد حوزهٔ جزایر گرمایی شهری از تمرکز اولیه بر تبیین اقلیم‌شناختی پدیده، به سمت رویکردهای تحلیلی، داده‌محور و سیاست‌پژوهانه حرکت کرده است. تقویت مفاهیمی نظیر زیرساخت سبز، تاب‌آوری حرارتی و عدالت اقلیمی در سال‌های اخیر بیانگر گسترش افق‌های مفهومی این حوزه و ادغام تدریجی آن با مباحث توسعهٔ پایدار شهری است. نتایج این پژوهش با ترسیم ساختار شبکه‌ای دانش موجود، چارچوبی برای جهت‌دهی به تحقیقات آینده و شناسایی مسیرهای توسعهٔ علمی در مواجهه با چالش‌های گرمایش شهری فراهم می‌آورد.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله نویسندگان به سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

مقالهٔ حاضر، حامی مادی و معنوی نداشته است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

Aflaki, A., Mirnezhad, M., Ghaffarianhoseini, A., 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. https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.003

Akintola, M., & Neziri, G. (2025). An open-source deep learning framework for scalable urban heat island detection using geo-spatial data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 11-16. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-II-4-W13-2025-11-2025

Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A re-

view of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(1), 1-26. https://doi.org/10.1002/joc.859

Badri Asl S., Pourmohammadi M. R., & Roustaei S. (2024). A comparative study of the relationship between physical indicators of residential areas and the distribution of urban heat islands in Tabriz. *Urban Planning Knowledge*, 8(2): 97–113. https://doi.org/10.22124/upk.2023.23422.1822 [In Persian]

Chapman, S., Watson, J. E., Salazar, A., Thatcher, M., & McAlpine, C. A. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: A systematic review. *Landscape Ecology*, 32(10), 1921-1935. https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4

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. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009

Du, H., Zhan, W., Voogt, J., Bechtel, B., Chakraborty, T. C., Liu, Z., ... & Miao, S. (2023). Contrasting trends and drivers of global surface and canopy urban heat islands. *Geophysical Research Letters*, 50(15), e2023GL104661. https://doi.org/10.1029/2023GL104661

Fadaei H. (2021). Investigation of Tehran's urban heat islands using satellite imagery. *Geographical Information Scientific-Research Quarterly*, 29(116): 119–130. https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.242864 [In Persian]

Gartland, L. (2008). *Heat islands: Understanding and mitigation of heat in urban areas*. London, Erthscan. https://doi.org/10.4324/9781849771559

Ghasemi E., Nazemi Z., Mokhtarzadeh S., & Soleimani M. (2024). Correlation analysis of macro-scale natural and artificial environmental factors with the intensity of urban heat islands. *Urban Studies Quarterly*, 13(49): 17-32. https://doi.org/10.22034/urbs.2023.62764 [In Persian]

Haji Fathali M., Feyzi M., & Dehghan A. (2022). The relationship between air temperatures, mean radiant temperature, and albedo in reducing urban heat islands. *Geography (Journal of the Iranian Geographical Association)*, 19(71): 173–191. https://dor.isc.ac/dor/http://dor.net/dor/20.1001.1.27833739.1400.19.71.9.6 [In Persian]

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. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103186

Hernández-Herráez, G., Martínez-Lastras, S., Lagüela, S., Martín-Jiménez, J. A., & Del Pozo, S. (2025). Morphological and environmental drivers of urban heat islands: A geospatial model of nighttime land surface temperature in Iberian cities. *Applied Sciences*, 15(11), 6093. https://doi.org/10.3390/app15116093

Howard, L. (1833). *The climate of London: Deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it* (Vol. 3). Harvey and Darton, J. and A. Arch, Longman, Hatchard, S. Highley [and] R. Hunter. https://doi.org/10.1017/cbo9781139135467.020

Huang, C., Liu, K., Ma, T., Xue, H., Wang, P., & Li, L. (2025). Analysis of the impact mechanisms and driving factors of urban spatial morphology on urban heat islands. *Scientific Reports*, 15(1), 18589. https://doi.org/10.1038/s41598-025-04025-0

Karimi, A., Mohammad, P., Gachkar, S., Gachkar, D., García-Martínez, A., Moreno-Rangel, D., & Brown, R. D. (2021). Surface urban heat island assessment of a cold desert city: A case study over the Isfahan Metropolitan Area of Iran. *Atmosphere*, 12(10), 1368. https://doi.org/10.3390/atmos12101368

Kong, G., Peng, J., & Corcoran, J. (2025). Modelling urban heat island effects: A global analysis of 216 cities using machine learning techniques. *Computational Urban Science*, 5(1), 18. https://doi.org/10.1007/s43762-025-00178-w

Landsberg, H. E. (1981). The urban climate (Vol. 28). Academic Press.

Lynda, D., Logeswari, G., Tamilarasi, K., & Rakesh, S. (2025). Hybrid Bayesian deep learning model for predicting urban heat island intensity in African cities. *Scientific Reports*, 15(1), 31280. https://doi.org/10.1038/s41598-025-13492-4

Mazidi A., Rousta, I., & Mohammadi Ravari F. (2023). Temporal changes of urban heat islands and their relationship with air pollution using remote sensing. *Climate Change Research Journal*, 4(13): 103–120. https://doi.org/10.30488/ccr.2023.404996.1151 [In Persian]

Mofidi S. M., & Zare Mohazzabieh A. (2013). Urban sidewalk surface materials for reducing the effects of heat islands. *Tarah Quarterly*, 8: 118–122. https://www.magiran.com/p1186885 [In Persian]

Morales-González, J. I., Verichev, K., & Carpio, M. (2024). Efficiency assessment for the urban heat island mitigation measures in a city with an oceanic climate during the summer period: Case of Valdivia, Chile. *Urban Climate*, 55, 101897. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101897

Ning, S., Zhou, Y., Wang, M., Li, B., Li, P., Zhang, L., & Luo, Y. (2024). Urban heat Island differentiation and influencing factors: A local climate zone perspective. *Sustainability*, 16(20), 9103. https://doi.org/10.3390/su16209103

Nojavan M., & Tabib-Mahmoudi F. (2022). Investigation of the effect of the COVID-19 lockdown on heat islands in urban, industrial, and green areas of Tehran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 9(3): 57–74. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3326-fa.html [In Persian]

Oke, T. R. (1972, January). City size and urban heat island. In Bulletin of the American Meteorological Society (Vol. 53, No. 7, p. 713). 45 BEACON ST, BOSTON, MA 02108-3693: AMER METEOROLOGICAL SOC.

Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment (1967)*, 7(8), 769-779. https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24. https://doi.org/10.1002/qj.49710845502

Peroni, F., & Pappalardo, S. E. (2024). Climate justice in future cities: Geographical perspectives for inclusive urban resilience and adaptation. *Landscape and Urban Planning*, 244, 104998. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104998

Pouramin K., Khatami S. M., & Shamsoddini A. (2020). Factors affecting the formation of urban heat islands with emphasis on urban design characteristics and challenges. *Urban Design Discourse Journal*, 1(1): 69–83. https://udd.modares.ac.ir/article_23160.html [In Persian]

Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability, and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207, 109482. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482

Santamouris, M., Ding, L., & Osmond, P. (2019). Urban heat island mitigation. In *Decarbonising the Built Environment: Charting the Transition* (pp. 337-355). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7940-6_18

Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M., & Bhattacharya, P. (2021). Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology. *Urban Climate*, 35, 100751. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100751

Stewart, I. D., Krayenhoff, E. S., Voogt, J. A., Lachapelle, J. A., Allen, M. A., & Broadbent, A. M. (2021). Time evolution of the surface urban heat island. *Earth's Future*, 9(10), e2021EF002178. https://doi.org/10.1029/2021EF002178

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Venkatraman, S., Kandasamy, V., Rajalakshmi, J., Sabarunisha Begum, S., & Sujatha, M. (2024). Assessment of urban heat island using remote sensing and geospatial application: A case study in São Paulo city, Brazil, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 134, 104763. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104763

Wang, S., & Zhan, W. (2025). Urban heat islands increase or reduce mortality in different cities. *Nature Climate Change*, 15(5), 473-474. https://doi.org/10.1038/s41558-025-02310-4

Zhao, L., Oppenheimer, M., Zhu, Q., Baldwin, J. W., Ebi, K. L., Bou-Zeid, E., ... & Liu, X. (2018). Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environmental research letters*, 13(3), 034003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9f73

Zhao, L., Fan, X., & Hong, T. (2025). Urban heat island effect: Remote sensing monitoring and assessment—methods, applications, and future directions. *Atmosphere*, 16(7), 791. https://doi.org/10.3390/atmos16070791

Zhou, D., Zhao, S., Liu, S., Zhang, L., & Zhu, C. (2014). Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers. *Remote sensing of environment*, 152, 51-61. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.017