

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

هادی رضایی‌راد<sup>۱\*</sup>، سبا شیخی<sup>۲</sup>، سحر فلاح برزگر<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (نویسنده مسئول):

(H.rezaeirad@Basu.ac.ir)

۲. دانش‌آموخته دکتری شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. دانشجوی کارشناسی گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

### مروری

تاریخ دریافت: 1404-08-19

تاریخ بازنگری: 1404-12-04

تاریخ پذیرش: 1405-02-06

### چکیده

پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری (Urban Heat Island) یکی از چالش‌های مهم ناشی از شهرنشینی و تغییرات اقلیمی است که سلامت عمومی، مصرف انرژی و تاب‌آوری شهرها را تضعیف می‌کند. این پژوهش با هدف سامان‌دهی 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 به‌کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد انتشار مطالعات طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۲۵ روندی افزایشی داشته و از ۲۰۱۸ به‌طور 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-عملکردی مؤثر بر جزایر گرمایی شناسایی شد که پوشش گیاهی، تراکم سطوح غیرقابل نفوذ و آلودگی 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، شبکه هم‌نویسندگی، هم‌استنادی، هم‌رخدادی،

VOSviewer

## ۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم، اثرات گسترده‌ای بر سامانه‌های طبیعی و انسانی بر جای گذاشته است که نمود بارز آن در فضاهای شهری مشاهده می‌شود. در میان پیامدهای اقلیمی ناشی از شهرنشینی، پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری (Urban Heat Island) از برجسته‌ترین و پرچالش‌ترین مصادیق به‌شمار 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 مخاطرات 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، پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری عموماً بر پایه‌ی مدل تعادل انرژی سطح شهری (Urban Surface Energy Balance) تبیین می‌شود که بر تعامل میان تابش خالص، شار گرمای محسوس، شار گرمای نهان، ذخیره‌ی 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، هم‌زمانی وقوع پدیده‌ی جزیره حرارتی با دماهای بالا، شرایط گرمایی را تشدید کرده و خطر مرگ‌ومیر ناشی از گرما را افزایش می‌دهد (Wang & Zhang, 2025; Zhao et al., 2018). همچنین شواهد گوناگون نشان می‌دهد پدیده‌ی 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 منتشر شده نشان می‌دهند که مطالعات جزایر گرمایی شهری به سمت بهره‌گیری از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا، تحلیل‌های چندمقیاسی و الگوریتم‌های پیشرفته‌ی 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 به‌طور قابل توجهی افزایش داده‌اند (Akintola & Neziri, 2025; Kong et al., 2025). Lynda et al., 2025). همچنین، ادغام داده‌های اجتماعی-اقتصادی با داده‌های فیزیکی در چارچوب‌های نوین تحلیل حرارتی، زمینه‌ساز شکل‌گیری رویکردهایی همچون عدالت حرارتی شهری و برنامه‌ریزی اقلیم‌پایدار 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 حوزه‌ی جزایر گرمایی، مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که 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 ارائه‌ی 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 حوزه‌ی 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 همین اساس، 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 به‌عنوان محور پژوهش مطرح شده است:

۱. مهم‌ترین عوامل و شاخص‌های مؤثر در شکل‌گیری و تشدید پدیده‌ی 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. پیشینه تحقیق

پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری برای نخستین بار 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 واژه‌ی «Urban Heat Island» را در مطالعات هواشناسی رواج داد (Aflaki et al., 2017). هرچند مشاهدات اولیه به قرن نوزدهم بازمی‌گردد، اما پژوهش‌های نظام‌مند درباره‌ی این پدیده از دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی آغاز شد (Mofidi & Zare Mohazzabieh, 2013). 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 به تدریج 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 ارائه‌ی 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. به‌منظور مرور یافته‌های این پژوهش‌ها، جدول ۱ خلاصه‌ای از مهم‌ترین مطالعات داخلی و بین‌المللی مرتبط با پدیده‌ی جزایر گرمایی را ارائه می‌کند.

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

عنوان مقاله/نویسندگان/سال انتشار	نمونه 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 منتشر شده	مرور نظام‌مند مطالعات جهانی برای شناسایی عوامل فضایی-زمانی، داده‌ها، روش‌ها و راهکارهای کاهش اثر جزایر گرمایی شهری	تراکم، کاربری زمین، پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جزیره 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.

عنوان مقاله/نویسندگان/سال انتشار	نمونه پژوهش	روش پژوهش	هدف	یافته‌ها
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 انجام شده در زمینه‌ی جزایر گرمایی شهری	طبق بررسی‌های انجام شده، 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 زیست محیطی	مناطق با سطوح غیرقابل نفوذ 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, 2021)	تهران و حومه	تحلیلی توصیفی و تصاویر ماهواره‌ای و GIS	تحلیل فضایی پدیده جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بر روی نقش 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 رابطه‌ی 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 در شهر اصفهان از طریق تحلیل داده‌های ماهواره‌ای	نتایج نشان داد که SUHII در اصفهان در طول زمان افزایش یافته و بیشترین همبستگی منفی با پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق مشاهده شده و مناطق با آلبندو پایین و تراکم ساختمانی بالا بیشترین دمای سطح را داشته‌اند.
رابطه‌ی گرمای هوا، میانگین گرمای تابشی و آلبندو در کاهش جزایر حرارتی در شهرها (Haji Fathali et al., 2022)	قزوین محله‌ی پونک	کمی و تحلیل میدانی و مدل‌سازی	بررسی تأثیر دما، میانگین دمای تابشی و آلبندو بر شدت جزایر گرمایی و ارائه‌ی راهکارها	افزایش آلبندو (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 قرنطینه‌ی 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 رابطه‌ی معکوس معناداری وجود دارد.
تحلیل همبستگی عوامل کلان مقیاس 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	فشرده‌گی ساخت عامل اصلی تشدیدکننده 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.
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 پیش‌بینی و کاهش اثرات آن محسوب می‌شود.

عنوان مقاله/نویسندگان/سال انتشار	نمونه پژوهش	روش پژوهش	هدف	یافته‌ها
Urban Heat Island Differentiation and Influencing Factors: A Local Climate Zone Perspective (Ning et al., 2024)	ناحیه‌های اقلیمی محلی (LCZ) در محدوده مورد مطالعه	داده‌های سنجش از دور، تحلیل همبستگی و مدل‌سازی	بررسی تمایز و عوامل مؤثر بر شدت جزیره گرمایی از منظر طبقه-گرمایی از منظر طبقه-بندی اقلیمی محلی (LCZ)	شدت جزایر گرمایی در ناحیه‌های اقلیمی محلی مختلف، تفاوت معناداری دارد. ساخت و ساز متراکم و سطوح سخت باعث افزایش جزیره گرمایی می‌شود. وجود فضای سبز و آب، باعث کاهش شدت جزیره 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، مدل محور، داده‌های خرداقلیم شناسی	بررسی کارایی اقدامات کاهش جزایر گرمایی در والدیویا، با هدف بهبود آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی در دوره تابستانی	اقدامات کاهش جزیره 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 (مطالعه موردی منطقه ۲ و ۸ تبریز) (Badri Asl et al., 2024)	شهر تبریز	کمی، داده‌های سنجش از دور، تحلیل‌های آماری	بررسی نحوه‌ی 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	ساخت و ساز 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 ایفاء 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 مؤثر بر دمای سطح زمین و ساختار فضایی	شاخص‌های سه بعدی شهری (تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها) و عوامل اجتماعی-اقتصادی مهم-ترین محرک‌های جزایر گرمایی بوده و اثر آن‌ها در مرکز و حاشیه‌ی شهر متفاوت است.

مرور مطالعات مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که بخش عمده‌ی پژوهش‌ها به بررسی رابطه‌ی 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-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 این حال، 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 پیشینه‌ی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که گرچه نقش شاخص‌های فیزیکی نظیر پوشش گیاهی و آلودگی در تعدیل جزایر گرمایی به خوبی 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 این رو، نیاز به پژوهشی جامع احساس می‌شود که ضمن مرور نظام‌مند ادبیات موجود، ساختار دانشی حوزه‌ی جزایر گرمایی شهری را در سطح بین‌المللی ترسیم کند و از رهگذر آن، شکاف‌های دانشی و روندهای نوظهور را شناسایی نماید. بر همین مبنا، در بخش بعد به منظور تبیین مبانی نظری پژوهش، چارچوب مفهومی و مدل‌های تبیین‌کننده‌ی پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری بررسی می‌شود تا بنیان نظری لازم برای تحلیل یافته‌ها فراهم گردد.

### ۳. مبانی نظری

پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری به عنوان یکی از اثرات شناخته‌شده‌ی شهرنشینی و تغییرات اقلیمی، بیش از دو قرن است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مرور جدول ۲ نشان می‌دهد که تعریف جزایر گرمایی شهری از توصیف‌های اولیه‌ی تجربی به تعاریف انرژی‌محور و سپس به چارچوب‌های مفهومی مانند «ناحیه‌ی اقلیمی محلی» تکامل یافته است. این تحول مفهومی، بنیان نظری تحلیل‌های معاصر در زمینه‌ی 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	1818-1833	اولین مشاهدات 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	1972	جزیره 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	1973	تفاوت دمای محسوس بین شهر و مناطق روستایی اطراف، که شدت آن‌ها با اندازه و تراکم شهر افزایش می‌یابد. (تمرکز روی رابطه‌ی شهر و شدت جزیره گرمایی)
The urban climate	Landsberg	1981	پدیده‌ی 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	1982	یک پدیده انرژی‌شناختی که باعث بالا رفتن دمای شهر نسبت به مناطق اطراف می‌شود، ناشی از تغییر پوشش زمین، ذخیره 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	2003	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.	2017	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 آلودگی و تونل شهری هستند.
A systematic review and scientific critique of the urban heat island literature	Stewart	2021	مفاهیمی نظیر تفاوت دمای هوا بین مناطق شهری و روستایی، به عنوان تعریف محوری با مشکلاتی در تطابق با سیاست‌ها، و معرفی چارچوب LCZ (منطقه

عنوان مقاله	نویسنده	سال انتشار	تعریف جزایر گرمایی (UHI)
			اقلیمی محلی) برای استانداردسازی مفهوم و مقایسه‌ی جزایر گرمایی، مطرح شد.
Contrasting trends and drivers of global surface and canopy urban heat islands	Du et al.	2023	دو نوع جزایر گرمایی معرفی می‌شود، (سطحی: دمای سطح زمین) و (تاج-پوشش (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.

به‌منظور انسجام‌بخشی به روند تحول نظری پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری، می‌توان سیر مفهومی این حوزه را در قالب یک چارچوب مرحله‌ای و زمان‌مند تبیین کرد. در مرحله‌ی 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 مرحله‌ی دوم، با توسعه‌ی نظریه‌ی تعادل انرژی سطح شهری، رویکردهای فیزیکی و مدل‌محور شکل گرفتند که تلاش داشتند سازوکارهای انتقال و ذخیره‌ی انرژی در بافت شهری را تبیین کنند. مرحله‌ی 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، مرحله‌ی 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.

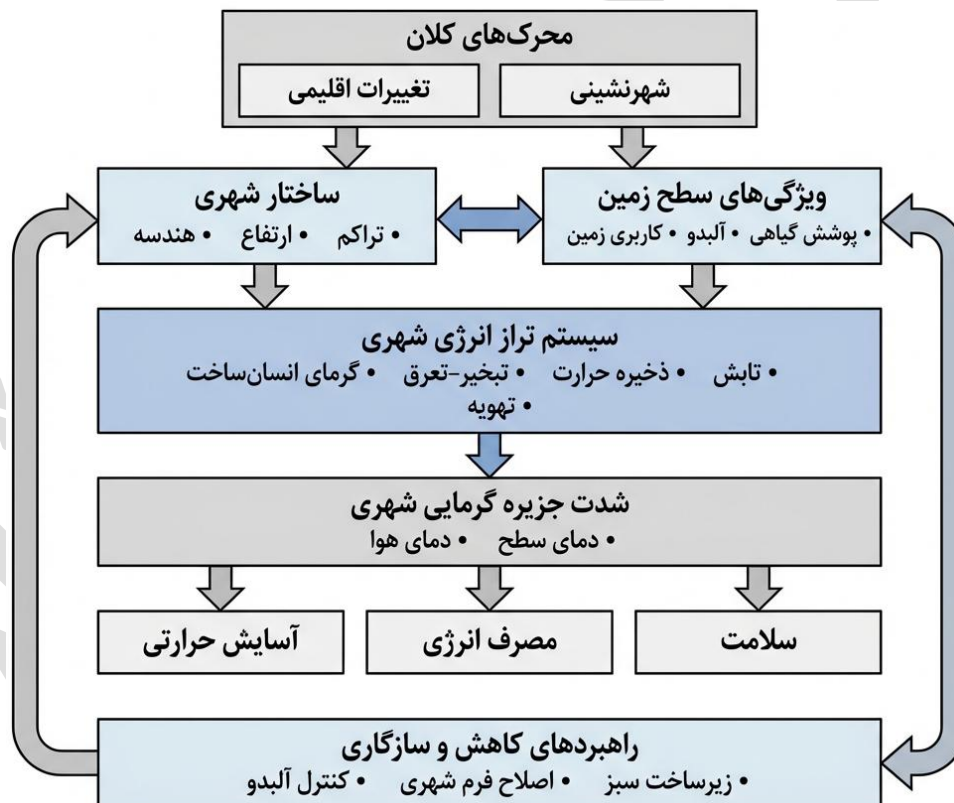
تحول نظری پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری صرفاً به تعمیق درک علمی این پدیده محدود نمانده، بلکه پیامدهای کاربردی مهمی نیز برای برنامه‌ریزی و طراحی شهری به همراه داشته است. بر اساس مرور نظام‌مند پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی به‌طور مشخص، چارچوب تعادل انرژی شهری مبنای توسعه‌ی راهکارهایی همچون افزایش ضریب بازتاب 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 زیرینا (FAR)، سایه و تنوع ارتفاع ساختمان، در اصلاح الگوی استقرار بناها و بهبود تهویه‌ی طبیعی شهری نقش ایفا کرده‌اند. شاخص‌های اجتماعی-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، توسعه‌ی زیرساخت‌های سبز و ارتقای عدالت حرارتی در مقیاس محله‌ای شده است. سیر تحول نظری این حوزه به‌طور مستقیم در شکل‌گیری راهبردهای عملی برای کاهش اثرات گرمایی و افزایش تاب‌آوری شهری بازتاب یافته است.

بررسی جدول ۳ نشان می‌دهد که 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-اقتصادی نیز، شاخص‌های تراکم جمعیت و فعالیت‌های انسانی در ترکیب با عوامل کالبدی، نقش 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 پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری تبیین شود.

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

شاخص	نوع شاخص	نوع تأثیر بر دمای سطح زمین	توضیح تکمیلی
NDVI (شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی)	سطح زمین	کاهش دما	هر چه پوشش گیاهی بیشتر، خنکی بیشتر
NDWI (شاخص تفاوت نرمال شده 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 غیرقابل نفوذ 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	نماینده فعالیت انسانی شهری
Per Capita Income (درآمد سرانه)	اجتماعی- اقتصادی	متغیر	-
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 تولید شده 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	نماینده‌ی تراکم شهری و سطوح ساختمانی

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



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

#### ۴. روش‌شناسی

این تحقیق بر پایه‌ی رویکرد مرور نظام‌مند متون علمی و با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل علم‌سنجی طراحی شده است. هدف پژوهش شناسایی روندها، محورهای مفهومی و ساختارهای دانشی مرتبط با پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری در ادبیات جهانی و تبیین مسیرهای پژوهش در آینده است. ماهیت پژوهش، کاربردی و ترکیبی (کیفی-کمی) است؛ بدین معنا که در گام نخست، با تحلیل محتوای

نظام‌مند، شاخص‌ها و مضامین نظری استخراج شده‌اند و در گام دوم، با تحلیل علم‌سنجی، ساختار دانشی و شبکه‌ی همکاری علمی پژوهش‌ها تحلیل گردیده است.

#### ۴.۱. مراحل اجرای پژوهش

##### مرحله‌ی نخست: مرور نظام‌مند منابع علمی

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

جدول ۴. طراحی مفهومی و استراتژی جستجوی 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 جستجو	("Urban Heat Island" OR "UHI") AND ("Urban Climate" OR "Surface Temperature") AND ("Mitigation" OR "Green Infrastructure" OR "Urban Design")
بازه‌ی زمانی	۱۹۹۹ تا ۲۰۲۵ میلادی
نوع اسناد	مقاله‌های پژوهشی، مروری و کنفرانسی
زبان	انگلیسی
معیارهای ورود	مقالات دارای داده‌ی تجربی، مدلسازی یا تحلیلی درباره‌ی جزایر گرمایی شهری، منتشرشده در مجلات معتبر نمایه‌شده
معیارهای خروج	مقالات فاقد ارتباط مستقیم با شهر یا اقلیم شهری، فاقد متن کامل یا گزارش‌های غیرداوری شده

فرآیند غربالگری توسط دو پژوهشگر به صورت مستقل انجام شد و اختلاف‌نظرها از طریق اجماع حل شد. بر اساس معیارهای مطرح شده، پس از غربالگری سه مرحله‌ای (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 گردیدند (شکل ۲).

##### مرحله‌ی دوم: روش سنتز کیفی مطالعات

پس از طی مراحل غربالگری بر اساس دستورالعمل PRISMA و شناسایی مطالعات واجد شرایط، تعداد ۱۸۰ مقاله وارد مرحله‌ی 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 گردید 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 پدیده‌ی جزایر گرمایی شهری، ارائه‌ی داده‌های تجربی یا مدلسازی، تمرکز بر شاخص‌های کالبدی، محیطی یا اجتماعی-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 فرآیند سنتز حذف شدند. در این مرحله، هر مقاله به‌عنوان یک واحد تحلیلی در نظر گرفته شد و شاخص‌های مورد استفاده، متغیرهای بررسی‌شده و نتایج اصلی مرتبط با شدت جزایر گرمایی شهری استخراج گردید.



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

### مرحله سوم: فرآیند کدگذاری و استخراج شاخص‌ها

به منظور افزایش دقت و تکرارپذیری، فرآیند کدگذاری در دو مرحله انجام شد. در مرحله نخست، کدگذاری 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 مطرح شده در ادبیات صورت پذیرفت. در گام بعدی، کدگذاری محوری (Axial Coding) با رویکردی تلفیقی (استقرایی- قیاسی) انجام شد. در این مرحله، شاخص‌های استخراج شده بر اساس چارچوب نظری پژوهش در سه بعد اصلی شامل:

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

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

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

اختلاف نظرها میان 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.

### مرحله چهارم: تحلیل علم‌سنجی

در گام چهارم، فرآیند تحلیل علم‌سنجی با هدف ترسیم ساختار دانشی و شبکه‌ی همکاری علمی در حوزه‌ی جزایر گرمایی شهری اجرا گردید. 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 می‌نماید (Hood & Wilson, 2001). در این پژوهش، تحلیل علم‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer (نسخه ۱.۶.۲۰) و داده‌های استخراج شده از پایگاه‌های Web of Science Core Collection، Scopus و Google Scholar انجام شد. انتخاب پایگاه Web of Science یکی از منابع اصلی داده‌های علم‌سنجی به دلیل پوشش گسترده‌ی مجلات داوری شده‌ی بین‌المللی، ساختار استاندارد داده‌های استنادی و کاربرد گسترده‌ی 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 معتبرترین منابع در تحلیل‌های شبکه‌ای علم‌سنجی محسوب می‌شود. استفاده‌ی هم‌زمان از پایگاه‌های Scopus و Google Scholar نیز با هدف افزایش جامعیت بازیابی اسناد و کاهش احتمال حذف مطالعات مرتبط انجام شد؛ با این حال، داده‌های مورد استفاده در تحلیل شبکه‌ها پس از پاک‌سازی و نرمال‌سازی استاندارد شدند تا انسجام تحلیلی حفظ گردد. 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 جستجو 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 حوزه‌ی جزایر گرمایی شهری انجام شد. ترکیب عبارت‌های مرتبط با «Urban Heat Island» به‌عنوان هسته‌ی مفهومی اصلی، همراه با واژگان مکمل در حوزه‌ی اقلیم شهری و طراحی شهری، با هدف پوشش هم‌زمان ابعاد اقلیم‌شناختی، کالبدی و راهبردی پژوهش‌ها طراحی گردید. این رویکرد امکان تمرکز بر مطالعات مرتبط با بستر شهری را فراهم کرده و از ورود مطالعات غیرمرتبط با محیط‌های غیرشهری جلوگیری نموده است. با این حال، محدودسازی جستجو به این اصطلاحات ممکن است موجب حذف برخی مطالعات شود که از واژگان جایگزین یا چارچوب‌های مفهومی متفاوت استفاده کرده‌اند؛ این مسأله یکی از محدودیت‌های ذاتی هر استراتژی جستجوی نظام‌مند محسوب می‌شود.

جستجو در تاریخ ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۴ (۱۷ مه ۲۰۲۵ میلادی) انجام شد و در مجموع ۶۰۴ سند علمی بازیابی گردید که شامل ۴۹۸ مقاله‌ی پژوهشی، ۷۴ مقاله‌ی کنفرانسی و ۳۳ مقاله‌ی 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 نمایه‌شده‌ی 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، فرآیند نمایه‌سازی در پایگاه‌های داده علمی، همواره با تأخیر همراه است و ممکن است برخی اسناد جدید در زمان انجام جستجو هنوز به‌طور کامل نمایه نشده باشند. بنابراین، یافته‌های علم‌سنجی این پژوهش باید در چارچوب بازه‌ی زمانی مشخص شده تفسیر شوند و امکان تغییر در ساختار شبکه‌ها با به‌روزرسانی داده‌ها در آینده وجود دارد.

#### ۴.۲. 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، آستانه‌ی 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 گردید تا ضمن استخراج شاخص‌های پرتکرار (در سه بعد سطح زمین، مورفولوژی شهری و اجتماعی-اقتصادی)، روندهای نوظهور و شکاف‌های دانشی نیز شناسایی شوند. این تلفیق به درک عمیق‌تر از تحولات مفهومی و سیاست‌پژوهانه‌ی مطالعات جزایر گرمایی شهری انجامید.

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

نوع تحلیل	آستانه ورود به شبکه	روش نرمال‌سازی	الگوریتم خوشه‌بندی
تحلیل هم‌رخدادی واژگان	$\leq 14$ بار تکرار واژه	Association Strength	LinLog / Modularity-based Clustering
تحلیل هم‌نویسندگی کشورها	$\leq 5$ پیوند علمی مشترک	Fractional Counting	Modularity Optimization (Resolution = 1.00)
تحلیل زوج کتاب‌شناختی سازمان‌ها	$\leq 4$ استناد مشترک	Fractional Counting	VOS Clustering (Resolution = 1.00)
تحلیل هم‌استنادی نویسندگان	$\leq 4$ استناد	Fractional Counting	Modularity-based Clustering
نمای هم‌پوشانی و تراکم داده‌ها	بر پایه‌ی 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 حوزه‌ی پژوهش‌های مرتبط با جزایر گرمایی شهری است. برای درک بهتر ساز و کار 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 عدد همواره مثبت می‌باشد 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)	مجموعه‌ای 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، طریقه‌ی رنگ-آمیزی آیتم‌ها متفاوت می‌باشد.
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-occurrence)	استخراج کلمات کلیدی مقالات در حوزه‌ی تحقیقاتی خاص به منظور شناسایی مسائل و تحولات اصلی موضوع پژوهش.
هم‌استنادی (Co-citation)	هم‌استنادی یعنی دو سند علمی یا دو مقاله‌ای که یک مقاله‌ی 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، زوج کتاب‌شناختی هستند که در رفرنس یک مقاله با هم دیده شوند، به این معنا که هر دو سند علمی به دو یا چند مقاله‌ی مشترک استناد داده‌اند. این مفهوم در اصل نشان می‌دهد که دو سند در چند رفرنس مشترک هستند و به نوعی عکس تحلیل هم‌استنادی می‌باشد.

عنوان	مفهوم
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 آیت، منظور از این شاخص، خلاصه‌ی مقالات و کلمات کلیدی استخراج شده توسط نویسنده به همراه کلمات کلیدی است که سیستم به صورت خودکار از پایگاه‌های داده علمی استخراج می‌کند.

### ۵.۱. تحلیل هم‌زمانی وقوع دو آیت 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 حوزه‌ی پژوهشی، تعیین واژگان کلیدی 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 می‌گردد، به طوری که برچسب‌های بزرگ‌تر، نشان‌دهنده‌ی وزن بیشتر آیت می‌باشد. خطوط بین آن‌ها نشان‌دهنده‌ی 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، رابطه‌ی مفهومی نزدیک‌تر را نمایش می‌دهد، به طوری که هر چه فاصله کمتر باشد، ارتباط بین دو آیت قوی‌تر است و دو آیت به تعداد دفعات بیشتری در یک مقاله دیده شده‌اند و نشان‌دهنده‌ی هم‌رخدادی وقوع دو آیت است. علاوه بر این واژگان در قالب خوشه‌هایی با رنگ‌های متفاوت گروه‌بندی شده‌اند که هر خوشه بیانگر یک حوزه‌ی مفهومی خاص در ادبیات موضوعی مورد بررسی است.

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



برنامه‌ریزی شهری می‌باشد و ضریب بازتاب (Albedo) با مجموع قدرت پیوند ۶۳ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیت ۳۰ کمترین مقدار عددی را به خود اختصاص داده است.

**خوشه چهارم:** خوشه‌ی چهارم متشکل از ۸ کلمه‌ی 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 می‌باشد. مورفولوژی شهری با مجموع قدرت پیوند ۷۱ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیت ۳۳ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است.

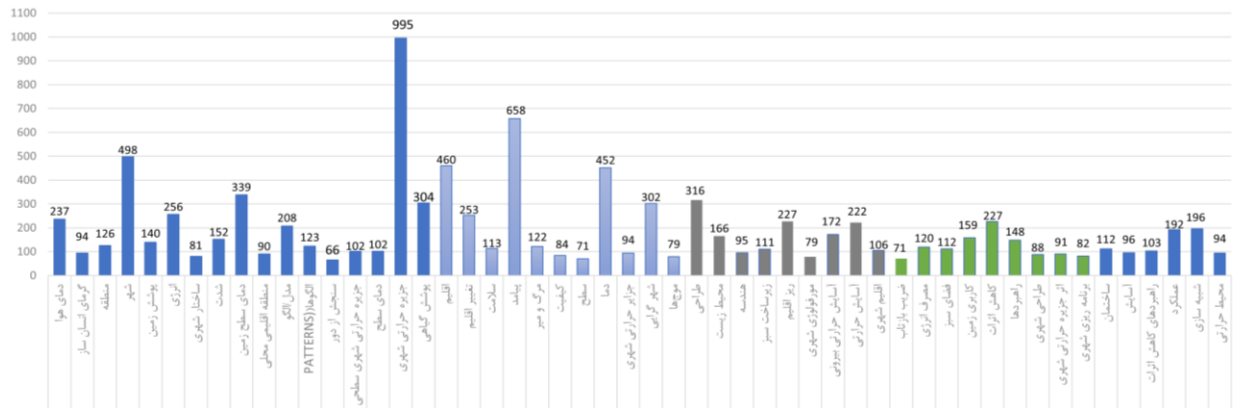
**خوشه پنجم:** خوشه‌ی پنجم متشکل از ۷ کلمه‌ی کلیدی (حدود ۱۳.۴۶ درصد از کل کلمات کلیدی) است و شامل گرمای حاصل از فعالیت‌های انسان، ساختمان‌ها، آسایش حرارتی، راهبرد کاهش اثرات، عملکرد و محیط حرارتی می‌باشد که محیط حرارتی با مجموع قدرت پیوند ۷۷ و تعداد دفعات هم‌رخدادی وقوع دو آیت ۳۰ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است. جدول ۷ جزئیات آماری واژگان استخراج‌شده از تحلیل هم‌رخدادی را نشان می‌دهد.

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

شناسه	خوشه	کلمه 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	مدل‌الگو	۲۰۸	۴۸	۴۷
۳۲	۱	الگوها	۱۲۳	۳۵	۲۶
۳۵	۱	سنجش از دور	۶۶	۳۱	۲۰
۳۹	۱	جزیره حرارتی شهری سطحی	۱۰۲	۳۱	۲۱
۴۰	۱	دمای سطح	۱۰۲	۳۳	۱۹
۴۶	۱	جزیره 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	مرگ و میر	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

شناسه	خوشه	کلمه کلیدی	مجموع قدرت پیوند	مجموع پیوند	رخدادها
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
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 جزیره 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 خوشه‌ی معنایی مجزا است که نشان‌دهنده‌ی هم‌زمانی بالای واژگان در مقالات علمی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که کلیدواژه‌ی «جزیره حرارتی شهری» (Urban Heat Island) با بیشترین قدرت پیوند (۹۹۵) در مرکز شبکه قرار دارد و به‌عنوان هسته‌ی 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 پیوند پایین‌تر، نشانگر 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 جزیره گرمایی شهری

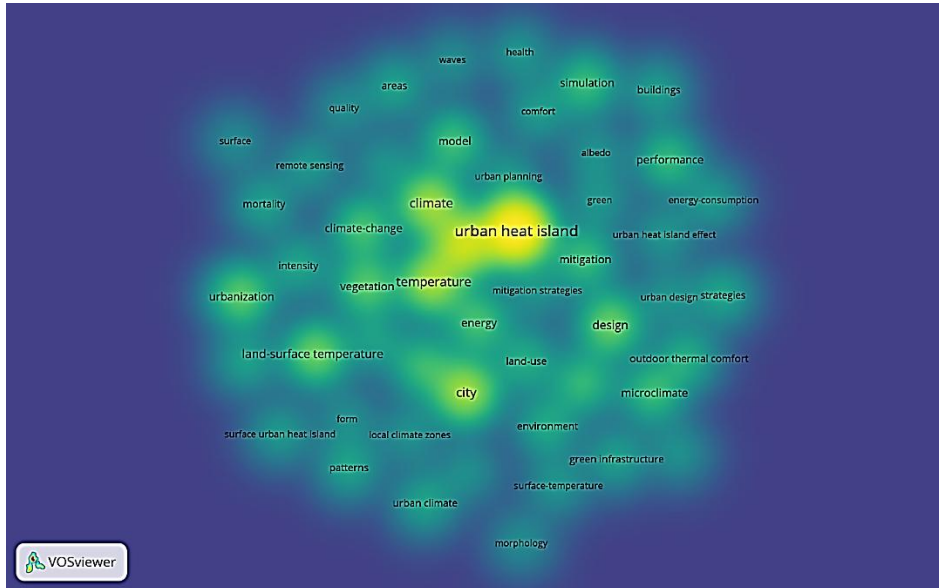
تحلیل شبکه‌ی هم‌رخدادی واژگان نشان داد که ساختار مفهومی ادبیات جزایر گرمایی شهری در قالب پنج خوشه‌ی متمایز سازمان یافته است. خوشه‌ی نخست که بزرگ‌ترین و مترکام‌ترین بخش شبکه را تشکیل می‌دهد، پیرامون مفاهیمی نظیر «جزیره حرارتی»، «شهرنشینی»، «پوشش گیاهی»، «اقلیم» و «مرگ و میر» شکل گرفته است. تمرکز بالای قدرت پیوند در این خوشه بیانگر آن است که هسته‌ی مرکزی دانش این حوزه همچنان بر مفاهیم اقلیمی و پیامدهای سلامت‌محور استوار است که نشان‌دهنده‌ی گسترش مطالعات از سطح فیزیکی پدیده به پیامدهای اجتماعی و ریسک‌های اقلیمی است. خوشه‌ی دوم بیشتر بر مفاهیمی مانند «دمای سطح زمین»، «دمای هوا»، و «منطقه اقلیم محلی»، متمرکز بوده و بر اندازه‌گیری، پایش و مدل‌سازی شدت پدیده استوار است. در خوشه‌ی 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. خوشه‌ی چهارم و پنجم به ترتیب بر «خرداقلیم»، «آسایش حرارتی»، «مرفولوژی شهری» و نیز «راهبردهای کاهش اثرات»، «عملکرد» و «ساختار» تمرکز دارند. این ساختار نشان می‌دهد که مطالعات اخیر از مرحله‌ی شناخت پدیده عبور کرده و به سمت توسعه‌ی راهکارهای طراحی و ارزیابی عملکردی حرکت کرده‌اند. به‌طور کلی، توزیع خوشه‌ها حاکی از یک گذار مفهومی در ادبیات است؛ به‌گونه‌ای که تمرکز اولیه بر پایش و سنجش حرارتی، به تدریج 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.

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

در نمای هم‌پوشانی، تحلیل هم‌زمانی وقوع کلیدواژه‌ها با در نظر گرفتن میانگین سال انتشار مقالات 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 پایه‌ی زمان 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 این میان بررسی هم‌زمانی وقوع دو واژه (جزیره حرارتی شهری و تغییرات اقلیمی) نشان می‌دهد که این دو کلیدواژه نه تنها در یک خوشه‌ی مفهومی مشترک قرار گرفته‌اند، بلکه در سال‌های نسبتاً مشابه، مورد توجه محققان در حوزه‌ی جزیره حرارتی شهری بوده‌اند و در مقایسه با واژگان نوظهور، تمرکز زمانی آن‌ها زودتر تثبیت شده است. رنگ زرد (فضای سبز، ساختار شهری/ مورفولوژی، منطقه‌ی اقلیمی محلی، سطح و ...) و رنگ سبز (عملکرد، زیرساخت سبز، پوشش، آسایش حرارتی و ...)، نشان‌دهنده‌ی این است که این کلیدواژه‌ها در سال‌های اخیر در حوزه‌ی جزایر حرارتی شهری مورد توجه واقع



این نما در نواحی مجاور و با تراکم بالا قرار گیرند، این نزدیکی فضایی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی 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 جزیره حرارتی، شهر، تأثیر، دما، اقلیم و ... است. در این نما آیتم‌هایی که دارای سایز فونت ریزتر یا چگالی کمتر می‌باشند، کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند و نشانگر میزان اهمیت آن‌ها در مقالات می‌باشد.



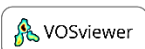
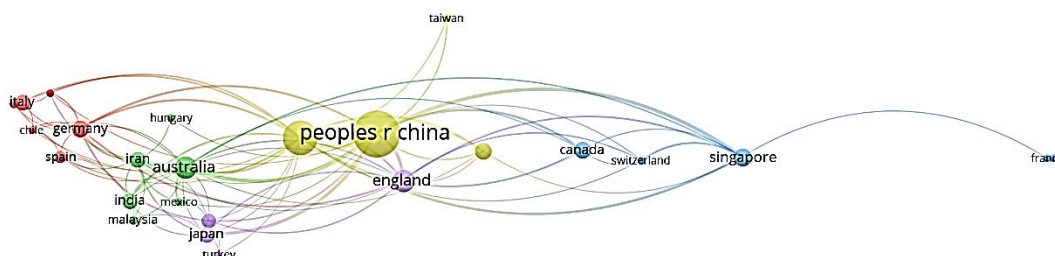
شکل ۶. تحلیل هم‌رخدادی بر اساس کلیدواژه‌های جزیره گرمایی شهری در مصورسازی تراکم داده‌ها

تحلیل تراکم نشان می‌دهد که هسته‌ی متراکم شبکه، عمدتاً حول مفاهیم «جزیره حرارتی شهری»، «شهر»، «دما»، «اقلیم» و «تأثیر» شکل گرفته است. تمرکز بالای این واژگان در ناحیه‌ی زرد بیانگر تثبیت آن‌ها به‌عنوان مفاهیم بنیادین و غالب در ادبیات است. این موضوع نشان می‌دهد که بخش عمده‌ی 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 اندازه‌ی مفاهیم کلاسیک سنجش حرارتی، به هسته‌ی مرکزی دانش تبدیل نشده‌اند. به بیان دیگر، ساختار تراکم شبکه، نشان‌دهنده‌ی 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.

#### ۵.۴. تحلیل هم‌نویسندگی بر اساس آیتم کشورها

هم‌نویسندگی نشان می‌دهد که پژوهشگران یا کشورها در چند اثر علمی با هم مشترک بوده‌اند و این مشارکت در یک شبکه‌ی همکاری علمی به هم متصل است. در این پژوهش هم‌نویسندگی بر اساس آیتم کشورها مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحلیل هر گره، نماینده‌ی یک کشور است و خطوط بین آن‌ها نشان‌دهنده‌ی روابط و همکاری پژوهشی بین کشورها در تولید مقالات علمی مشترک می‌باشد. هر چقدر اندازه‌ی آیتم بزرگ‌تر باشد، آن کشور نشریات بیشتری تولید کرده است و پیوند بالاتری دارد. همچنین ضخامت پیوندها و فاصله‌ی آن‌ها نشان‌دهنده‌ی همکاری بیشتر بین کشورها می‌باشد. 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 خوشه‌ی متفاوت هستند، دارند. بر اساس شکل ۷، خوشه‌ی شماره یک با رنگ آیتم قرمز دارای ۶ آیتم و خوشه‌ی شماره دو با رنگ سبز و دارای ۶ آیتم، بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده‌اند. خوشه‌ی شماره یک شامل کشورهای شیلی، مصر، آلمان، یونان، ایتالیا و اسپانیا است. خوشه‌ی دوم نیز شامل کشورهای استرالیا، هند، ایران، مالزی و مکزیک می‌باشد. خوشه‌ی سوم دارای ۵ عضو و با رنگ آبی شامل کشورهای کانادا، فرانسه، مراکش، سنگاپور و سوئیس می‌باشد. خوشه‌ی چهارم دارای ۴ عضو و با رنگ زرد شامل کشورهای چین، کره‌ی جنوبی، تایوان و آمریکا می‌باشد. خوشه‌ی پنجم دارای ۴ عضو شامل کشورهای انگلیس، ژاپن، هلند و ترکیه و به رنگ بنفش می‌باشد.



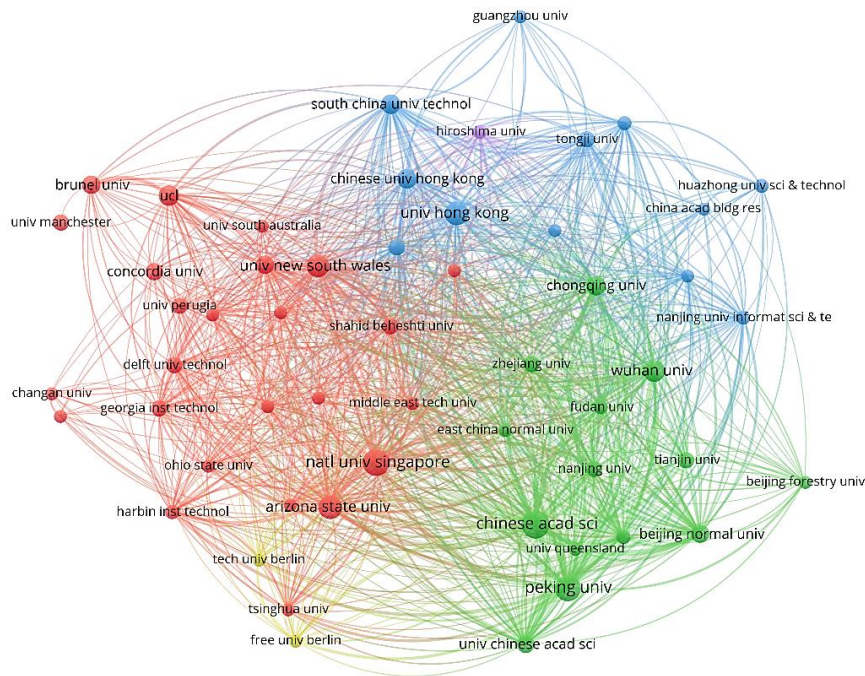
شکل ۷. تحلیل هم‌نویسندگی بر اساس کشور در مطالعات جزیره گرمایی شهری در مصورسازی شبکه‌ای

تحلیل شبکه‌ی هم‌نویسندگی کشورها بیانگر آن است که ساختار تولید دانش در حوزه‌ی 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؛ به‌گونه‌ای 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 این حال، 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 مترکم و با پیوندهای قوی، نشان‌دهنده‌ی نقش محوری آن‌ها در شبکه‌ی همکاری علمی و جایگاه آن‌ها به‌عنوان 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. به‌طور 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 نوظهور پیشرو نیز بیانگر نوعی نابرابری فضایی در توزیع ظرفیت تولید دانش مرتبط با جزایر گرمایی شهری است.

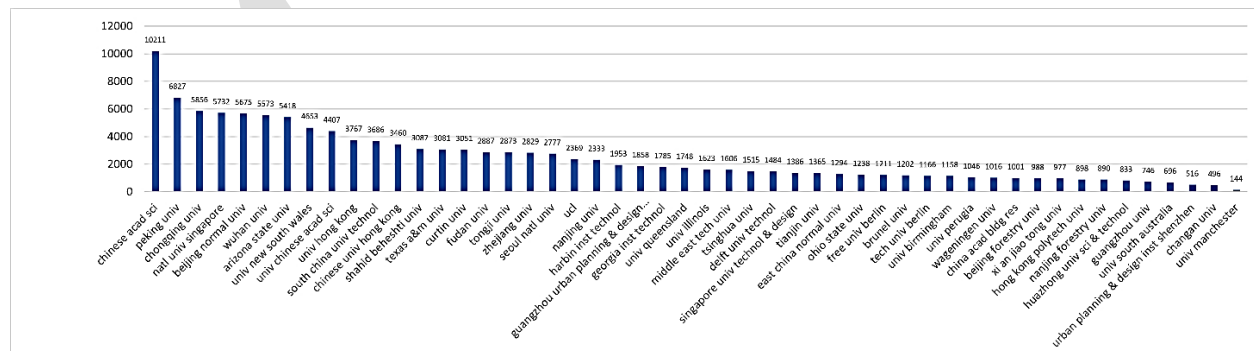
#### ۵.۵. تحلیل زوج کتاب‌شناختی بر اساس سازمان‌ها

در این بخش، تحلیل پیوند کتاب‌سنجی بر پایه‌ی سازمان‌ها انجام شده است. این نوع تحلیل به شناسایی مؤسسه‌ای 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 است، در این پژوهش از آیتم سازمان‌ها استفاده شده است. حداقل مقدار استنادات هر سازمان ۴ تعیین شده است، به

طوری که از میان ۶۷۴ سازمان شناسایی شده، ۵۴ مورد دارای حداقل مقدار استناد ۴ می‌باشند. در نمای مصورسازی شبکه، ارتباط بین دو آیتم، نشان‌دهنده‌ی تعداد رفرنس‌هایی است که با هم مشترک هستند. فاصله‌ی کمتر بین دو آیتم، نشان‌دهنده‌ی ارتباط قوی‌تر میان آن دو است. قدرت پیوند نیز به معنای تعداد رفرنس‌های مشترک است. اندازه‌ی وزنی هر آیتم تعیین‌کننده‌ی 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 رتبه‌ی اول را به خود اختصاص می‌دهد. مجله‌ی «Peking university» و «Chongqing university» به ترتیب با ۶۸۲۷ و ۵۸۵۶ قدرت پیوند، در رده‌ی دوم و سوم قرار می‌گیرند. مجله‌ی «University of Manchester» با قدرت پیوند ۱۴۴ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است. نقشه‌ی زوج کتاب‌شناختی به ۵ خوشه تقسیم می‌شود که خوشه‌ی اول به رنگ قرمز دارای ۲۵ آیتم، خوشه‌ی دوم با ۱۴ آیتم به رنگ سبز، خوشه‌ی سوم به رنگ آبی دارای ۱۲ آیتم، خوشه‌ی چهارم به رنگ زرد دارای ۲ آیتم و خوشه‌ی آخر به رنگ بنفش دارای ۱ آیتم می‌باشد. شکل 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

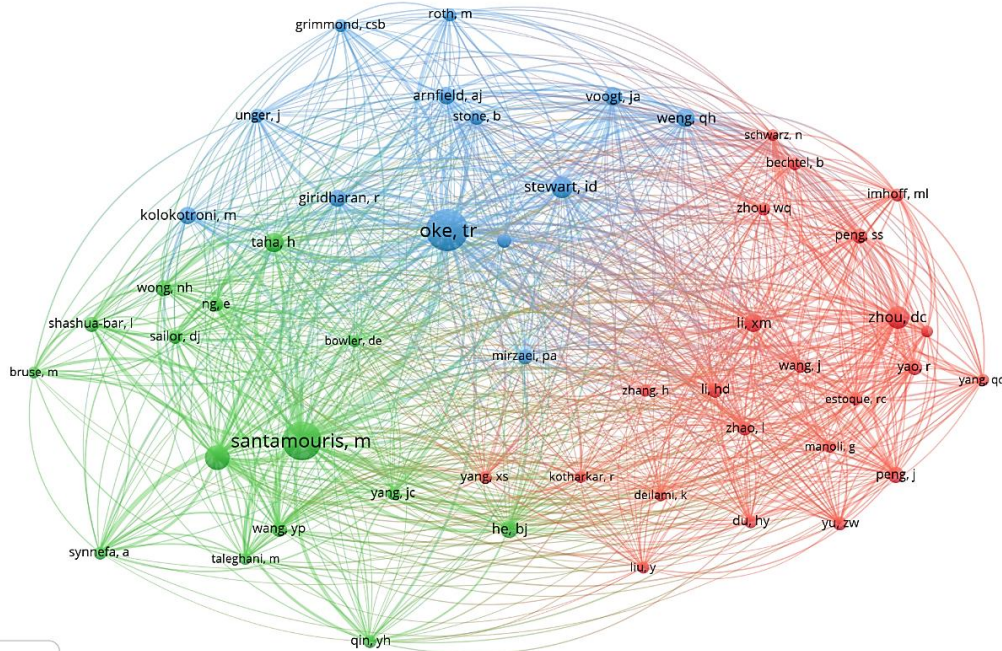


## شکل ۹. قدرت کلی پیوند آیت‌های پیوند کتاب‌شناختی بر اساس سازمان‌ها در مطالعات جزیره گرمایی شهری

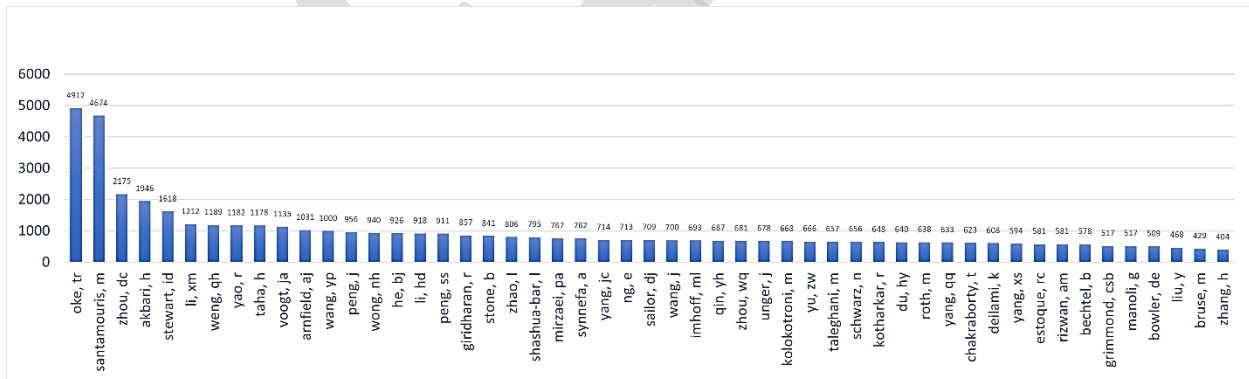
نتایج تحلیل زوج کتاب‌شناختی نشان می‌دهد که ساختار ارجاعی ادبیات جزایر گرمایی شهری دارای تمرکز نهادی قابل توجهی است. برتری سازمان‌هایی مانند Chinese Academy of Sciences, Peking University و Chongqing University بیانگر نقش پررنگ نهادهای علمی چین در شکل‌دهی به بنیان‌های نظری و تجربی این حوزه است. تمرکز 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 هسته‌ی معرفتی غالب است. در مقابل، سازمان‌هایی با قدرت پیوند پایین‌تر در خوشه‌های کوچک‌تر قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده‌ی 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. به‌طور 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.

## ۵.۶. 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 حوزه‌ی خاص کمک می‌کند و نقش مهمی در ترسیم ساختار علمی آن حوزه ایفاء می‌نماید. با توجه به شکل ۱۰ هر گره نشان‌دهنده‌ی یک نویسنده است، و از میان ۱۱۰۹۵ نویسنده در حوزه‌ی جزایر گرمایی، ۵۴ نویسنده دارای حداقل ۴۰ سند علمی می‌باشند. لازم به ذکر است بعد از غربالگری داده‌ها از میان ۵۴ نویسنده، در نهایت ۵۱ نویسنده انتخاب شد و ۳ نویسنده به دلیل تشابه اسمی حذف گردید. با توجه به شکل ۱۰ هر رنگ نشان‌دهنده‌ی نویسندگانی است که در موضوع مشابهی علاقه‌مند بوده‌اند و اغلب در یک زمینه‌ی مشابه فعالیت می‌کنند. هر چه اندازه‌ی دایره بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی تعداد استنادات بیشتر است. دایره‌های کوچک‌تر دارای استنادات کمتر هستند و نویسندگان تازه‌کار در این دایره قرار می‌گیرند. تحلیل هم‌استنادی بر اساس نویسندگان نشان می‌دهد که Oke با ۵۰۴ و ۴۹۱۲ دارای بیشترین استناد و قدرت پیوند می‌باشد. Santamouris و Akbari به ترتیب با ۴۲۹ و ۱۷۹ در رده‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. Zhou و Santamouris به ترتیب با ۴۶۷۴ و ۲۱۷۵ در رده‌ی دوم و سوم بالاترین قدرت پیوند قرار می‌گیرند. ۵۱ آیت‌م در ۳ خوشه تقسیم شده‌اند به طوری که خوشه‌ی اول شامل ۲۳ آیت‌م و به رنگ قرمز در رده‌ی اول، خوشه‌ی دوم دارای ۱۵ آیت‌م به رنگ سبز و خوشه‌ی سوم دارای ۱۳ آیت‌م و به رنگ آبی در رده‌ی آخر می‌باشد. شکل ۱۰ و شکل ۱۱ نمای گرافیکی این تحلیل را نمایش می‌دهند.



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



شکل ۱۱. قدرت کلی پیوند آیت‌های هم‌استنادی بر اساس استنادهای نویسندگان در مطالعات جزیره گرمایی شهری

تحلیل هم‌استنادی نویسندگان نشان می‌دهد که ساختار فکری حوزه‌ی جزایر گرمایی شهری بر پایه‌ی مجموعه‌ای از پژوهشگران بنیان‌گذار شکل گرفته است. قرارگیری Oke در مرکز شبکه هم‌استنادی و برخورداری از بالاترین میزان استناد و قدرت پیوند، مؤید نقش محوری او در شکل‌دهی به چارچوب‌های نظری اولیه اقلیم شهری است. آثار او به‌عنوان نقطه‌ی مرجع مشترک بسیاری از مطالعات بعدی عمل کرده و ستون فقرات نظری ادبیات را تشکیل می‌دهد. در خوشه‌های دیگر، پژوهشگرانی نظیر Santamouris و Akbari نمایانگر جریان مطالعات انرژی و راهبردهای کاهش اثرات حرارتی در محیط‌های ساخته‌شده هستند، در حالی که حضور نویسندگانی مانند Zhou نشان‌دهنده‌ی تمرکز بر مطالعات سنجش از دور و تحلیل‌های کمی در مقیاس شهری است. این خوشه‌بندی بیانگر 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. به‌طور کلی، ساختار هم‌استنادی نشان می‌دهد که حوزه‌ی جزایر گرمایی شهری

دارای هسته‌ی نظری تثبیت‌شده‌ای است که در طول زمان با جریان‌های کاربردی و فناوری‌محور تکمیل شده است. این الگو بیانگر بلوغ تدریجی دانش از مرحله‌ی نظریه‌پردازی به مرحله‌ی کاربرد و مداخله است.

### ۵.۷. 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-اقتصادی طبقه‌بندی گردیدند. از میان آن‌ها، شاخص‌هایی نظیر دمای سطح زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص ساخت‌وساز (NDBI)، ضریب بازتاب (Albedo) و نوع کاربری زمین (Land use) بیشترین تکرار را داشته‌اند.

در تحلیل هم‌رخدادی واژگان، واژه‌های «جزیره حرارتی شهری»، «تأثیر» و «شهر» پرتکرارترین کلیدواژه‌ها بوده و هسته‌ی مفهومی شبکه را تشکیل می‌دهند. در مقابل، واژگانی مانند «مورفولوژی شهری»، «منطقه‌ی اقلیمی محلی» و «زیرساخت سبز» به‌عنوان موضوعات نوظهور در سال‌های اخیر ظهور یافته‌اند و نشانگر جهت‌گیری جدید مطالعات از تحلیل اثرات به‌سوی راهبردهای سازگاری و کاهش اثرات حرارتی هستند. نمای هم‌پوشانی کلیدواژه‌ها نشان می‌دهد که 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 شبکه‌ی هم‌نویسندگی کشورها، مشخص شد که چین، ایالات متحده و استرالیا بیشترین حجم همکاری‌های علمی را به خود اختصاص داده‌اند و در مقابل، کشورهای 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 در حال توسعه 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 به‌عنوان مراکز اصلی تولید دانش در این حوزه شناخته می‌شوند. همچنین، تحلیل هم‌استنادی نویسندگان حاکی از آن است که پژوهشگرانی چون Oke، Santamouris و Akbari از اثرگذارترین چهره‌ها در شکل‌دهی مبانی نظری و روش‌شناختی مطالعات جزایر حرارتی شهری بوده‌اند. هرچند بدنه‌ی اصلی دانش این حوزه بر پایه‌ی 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.

به‌طور کلی، تلفیق نتایج شش تحلیل علم‌سنجی نشان می‌دهد که ساختار دانش جزایر گرمایی شهری دارای سه لایه‌ی اصلی است: هسته‌ی تجربی مبتنی بر سنجش و مدل‌سازی حرارتی، لایه‌ی میانی شامل پیامدهای اقلیمی و سلامت‌محور، و لایه‌ی 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 که 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 شبکه‌ی هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها نشان داد که مفهیمی نظیر «جزیره حرارتی شهری»، «تأثیر»، «اقلیم» و «دمای سطح زمین» از بالاترین فراوانی و قدرت پیوند برخوردارند و به‌عنوان هسته‌ی 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 مفهیمی نظیر «زیرساخت سبز»، «راهبردهای کاهش اثرات»، «عملکرد حرارتی» و «تاب‌آوری شهری» در سال‌های اخیر، که در خوشه‌های نسبتاً متمایز اما در تعامل با هسته‌ی مرکزی قرار گرفته‌اند، نشان‌دهنده‌ی گسترش دامنه‌ی 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 که شاخص‌های مرتبط با سطح زمین و مورفولوژی شهری از جمله پوشش گیاهی، نسبت سطوح نفوذناپذیر، آلودگی 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 برجسته‌ی آن‌ها در چارچوب‌های تحلیلی موجود است. لازم به تأکید است که این نتیجه مبتنی بر تحلیل ساختار مفهومی ادبیات است و نه استنتاج علی مستقیم از داده‌های تجربی؛ با این حال، تمرکز شبکه‌ای بر این متغیرها نشان می‌دهد که آن‌ها به‌طور گسترده به‌عنوان عوامل کلیدی در تبیین تغییرات حرارتی شهری مورد توجه قرار گرفته‌اند. در سطح همکاری‌های علمی، تحلیل شبکه‌ی هم‌نویسندگی کشورها نشان داد که تولید دانش در این حوزه، ساختاری خوشه‌ای و تا حدی منطقه‌محور دارد. بیشترین تراکم همکاری‌ها در میان کشورهای نظیر چین، ایالات متحده و استرالیا مشاهده شد که از قدرت پیوند و حجم تولید علمی بالاتری برخوردارند. در عین حال، حضور کشورهایمانند ایران، هند و مالزی در خوشه‌های فعال شبکه، بیانگر گسترش تدریجی مشارکت علمی در مناطق در حال توسعه است. آرایش خوشه‌ها نشان می‌دهد که 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 نشان‌دهنده‌ی 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 مطالعه‌ی 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 دهه‌ی اخیر به‌طور 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 پدیده‌ی جزایر گرمایی در ساختار مفهومی حوزه سهم کمتری دارند. پیوندهای نسبتاً ضعیف میان

مفاهیم عدالت حرارتی، آسیب‌پذیری اجتماعی و نابرابری فضایی با هسته‌ی اصلی شبکه، بیانگر ظرفیت توسعه‌ی 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 گسترده‌ی 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 این حال، بررسی الگوهای استنادی نشان می‌دهد که چالش‌هایی نظیر بیش‌برازش مدل‌ها، وابستگی به کیفیت داده‌های ورودی و محدودیت در تفسیرپذیری نتایج، همچنان موضوع بحث در ادبیات هستند. بنابراین، توسعه‌ی چارچوب‌های ترکیبی که داده‌های ماهواره‌ای، اندازه‌گیری‌های میدانی و شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی را به‌صورت یکپارچه تلفیق کنند، می‌تواند یکی از مسیرهای تقویت‌کننده‌ی 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 توسعه‌ی رویکردهای میان‌رشته‌ای؛ و سوم، در سطح سیاست‌گذاری، از طریق همسوسازی برنامه‌های شهری با روندهای علمی غالب، به‌ویژه در حوزه‌ی زیرساخت‌های سبز، مدیریت کاربری زمین و سازگاری اقلیمی. با این حال، باید تأکید شود که این مطالعه نقشه‌ای از ساختار دانش ارائه می‌دهد و نه ارزیابی تجربی مستقیم از اثربخشی راهبردهای مداخله‌ای.

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

در نهایت، تحلیل روند ۲۵ ساله‌ی ادبیات نشان می‌دهد که حوزه‌ی 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 توسعه‌ی پایدار شهری است. نتایج این پژوهش با ترسیم ساختار شبکه‌ای دانش موجود، چارچوبی برای جهت‌دهی به تحقیقات آینده و شناسایی مسیرهای توسعه‌ی علمی در مواجهه با چالش‌های گرمایش شهری فراهم می‌آورد.

## مشارکت نویسندگان

در این مقاله نویسندگان به سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

## تشکر و قدردانی

مقاله‌ی حاضر، حامی مادی و معنوی نداشته است.

## تعارض منافع

## 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 geospatial data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 11-16. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W13-2025-11-2025>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review 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 Heat in Urban Areas*. London, Earthscan. <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 temperature, 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 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). City size and urban heat island. In *Bulletin of the American Meteorological Society* 53(7), p. 713.
- 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](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](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](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 Sao 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>