

## Original Article

### Journal of Drought and Climate Change Research (JDCR)

DOI: [10.22077/jdcr.2024.7450.1064](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7450.1064)

## Urban Heat Island Mitigation Strategies: Solutions and Challenges in Improving the Urban Environment

Hossein Mansourian<sup>\*1</sup>, Raziye Askarzadeh Torghabeh<sup>2</sup>

1- Department of Human Geography and Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

2 -PhD Student in Spatial Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

\*Corresponding Author: [h.mansourian59@ut.ac.ir](mailto:h.mansourian59@ut.ac.ir)

### Extended abstract

#### Introduction:

The phenomenon of the Urban Heat Island (UHI) exerts significant influences on urban climate and the environment, particularly during summer periods, causing elevated temperatures in urban areas compared to their surroundings. This phenomenon can lead to public health concerns, increased energy consumption, and air pollution. This research investigates strategies to mitigate these effects using a bibliometric approach.

#### Materials and Methods:

For data analysis, VOSviewer software, an advanced analytical tool in the field of bibliometrics, was employed. Data were extracted from scientific articles published between 2000 and 2024, and subsequent analysis identified distinct clusters related to urban heat island mitigation strategies.

#### Results and Discussion:

Findings indicate that a variety of strategies exist to reduce the Urban Heat Island effect. These encompass the utilization of vegetation cover, reflective materials, and innovative technologies such as green roofs and cool pavements. Furthermore, optimizing urban design and implementing policies related to stormwater management are also considered effective approaches for mitigating this phenomenon. The results of the bibliometric analyses reveal that extensive research is underway within four main clusters: green infrastructure, reflective materials, climate modeling, and urban policy. These investigations not only emphasize the improvement of air quality and reduction of energy consumption, but also address mitigating the negative impacts of UHI on urban health and well-being. Successful implementation of these strategies necessitates coordination among policymakers, experts, and citizens to contribute to the enhancement of the urban environment. This research is particularly relevant for countries facing severe Urban Heat Island challenges, as it can offer effective mitigation strategies.

#### Conclusion

The bibliometric analysis revealed that urban heat island mitigation strategies are concentrated around four main thematic clusters: green infrastructure, reflective materials, spatial-climatic modeling, and urban policy. Among these, vegetation coverage, cool roofs, reflective pavements, and climate-responsive urban planning emerged as the most prominent approaches. The findings also highlight the growing research interest in emerging technologies and

integrated strategies. Coordinated efforts between researchers, policymakers, and urban planners are essential for the effective implementation of these solutions, especially in regions experiencing intense urban heat effects.

مقاله مروری

مجله پژوهش‌های خشک‌سالی و تغییر اقلیم

DOI: 10.22077/jdcr.2024.7450.1064

استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری: راهکارها و چالش‌ها در بهبود محیط زیست

شهری

حسین منصوریان<sup>۱\*</sup>، راضیه عسکرزاده طرقلیه<sup>۲</sup>

۱- گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\*نویسنده مسئول: h.mansourian59@ut.ac.ir

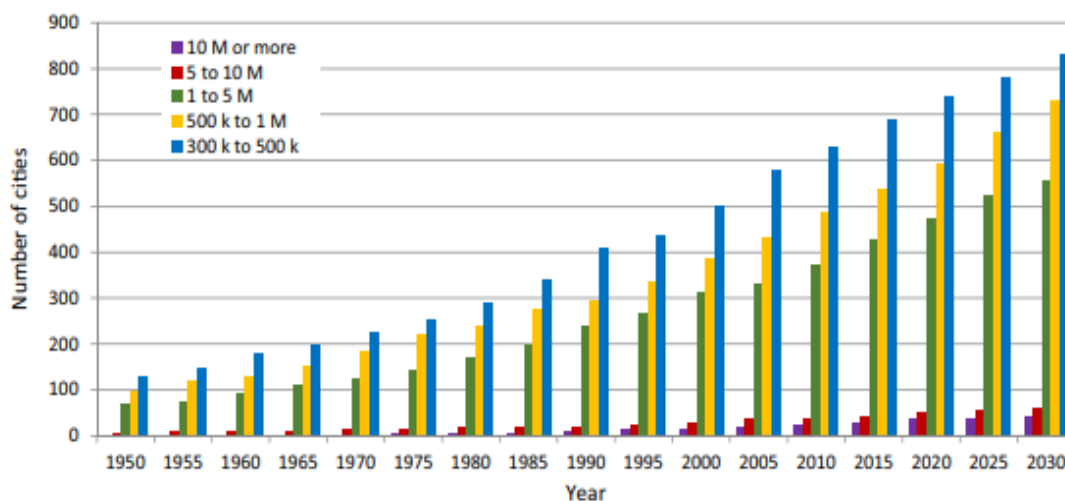
چکیده

اگرچه پدیده جزیره گرمایی شهری بیش از یک قرن پیش ثبت شده است، اما تأثیر آن بر اقلیم و محیط شهری، به‌ویژه در طول تابستان، تنها در سه دهه گذشته مورد توجه جدی محققان قرار گرفته است. شهرها به دلیل فعالیت‌هایی مانند گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها، حمل‌ونقل شهری، فعالیت‌های تجاری و صنعتی، نسبت به مناطق روستایی انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. این سطح بالای مصرف انرژی، تحت تأثیر جزیره گرمایی شهری قرار دارد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی راهبردهای کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری است. در این راستا، پژوهش حاضر یک مطالعه مروری کتاب‌سنجی در نرم‌افزار VOSviewer از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ است تا شکاف‌های پژوهشی و پیشرفت‌های علمی در این زمینه را شناسایی کند. راهکارهای مختلفی برای کاهش اثرات این پدیده پیشنهاد شده است که شامل استفاده از پوشش گیاهی، بام‌های سبز و توسعه فضاهای سبز شهری، بهبود زیرساخت‌های شهری مانند روسازی‌های خنک و سیاست‌های مدیریت رواناب، توسعه سیاست‌ها و مقررات مرتبط با مصالح ساختمانی بازتابنده، و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین برای کاهش اثرات گرمایش جهانی می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که موضوعات مربوط به جزایر گرمایی شهری را می‌توان در چهار خوشه اصلی طبقه‌بندی کرد. خوشه نخست به زیرساخت‌های سبز، مصالح بازتابنده، و تحلیل‌های اقلیمی و فضایی جزیره گرمایی شهری می‌پردازد. خوشه دوم بر فناوری‌های ساختمانی، بهینه‌سازی انرژی، و مدل‌سازی ریز اقلیم تمرکز دارد. خوشه سوم بر تحلیل‌های فضایی، داده‌های اقلیمی، و تأثیرات رشد شهری بر جزیره گرمایی شهری تأکید دارد. خوشه چهارم دربرگیرنده سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی شهری، و مدیریت جزیره گرمایی شهری است. این دسته‌بندی می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری در توسعه راهبردهای مؤثر و پایدار برای کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری کمک کند.

واژگان کلیدی: جزیره گرمایی شهری، محیط زیست شهری، برنامه‌ریزی شهری، VOSviewer.

## مقدمه

جذابیت شهرها و تنوع فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی موجود در آن، محرک‌های اصلی افزایش پیوسته نرخ رشد مناطق شهری در قرن‌های اخیر بوده است. پیش‌بینی‌های کنونی نشان می‌دهد که شهرنشینی ممکن است تا سال ۲۰۵۰ به ۶۶ درصد افزایش یابد (Leal Filho et al., 2017). در شکل شماره ۱، در سال‌های اخیر افزایش شدیدی در جمعیت جهان مشاهده شده است؛ کلان‌شهرهای جدید متولد می‌شوند و کلان‌شهرهای موجود پرجمعیت‌تر می‌شوند (Mirzaei, 2015). شهرها با اشغال تنها ۳ درصد از مساحت سطح زمین، ۶۰ تا ۸۰ درصد از کل مصرف انرژی و ۷۵ درصد از انتشار کربن را تشکیل می‌دهند. علاوه بر تأثیر مستقیم و قابل توجه شهرها بر تغییرات آب و هوای جهانی، به دلیل انتشار گاز CO<sub>2</sub>، اثرات غیر مستقیم دیگری نیز به دلیل مصرف ناپایدار، آلودگی و تولید زباله وجود دارد (Leal Filho et al., 2017).



شکل ۱. نرخ رشد در تعداد شهرهای با جمعیت‌های مختلف در طول سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۳۰ (Mirzaei, 2015).

**Fig 1. Rate of growth in the number of cities with different population sizes from 1950 to 2030**

جزیره گرمایی شهری، پدیده‌ای است که ارتباط تنگاتنگی با توسعه شهرها و گسترش شهری دارد (Aflaki et al., 2017). در اکثر شهرهای بزرگ، درجه حرارت در قلب یا مرکز شهر بالاتر از محیط اطراف یا حومه شهر است. این پدیده، اثر جزیره گرمایی شهری نامیده می‌شود. شهرها دمای بیشتری را در مرکز خود نسبت به مناطق روستایی اطراف نشان می‌دهند؛ هنگامی که حجم عظیمی از زمین طبیعی با سطح ساخته‌شده مصنوعی جایگزین می‌شود که تابش خورشیدی را جذب می‌کند و در شب دوباره آن را تابش می‌کند. عوامل متعددی از جمله انتشار گرمای انسانی، پوشش سطح، شرایط آب و هوایی، آلاینده‌های هوا و غیره مسئول شناخته می‌شوند (Nuruzzaman, 2015). درجه حرارت بالا باعث بیماری‌های مرتبط با گرما و مرگ و میرهای زودرس در شهرها می‌شود (Mirzaei, 2015). افزایش شدت جزیره گرمایی شهری می‌تواند به طرق مختلف بر رفاه شهروندان تأثیر منفی بگذارد، از جمله آسیب‌های سیستم تنظیم کننده حرارت ناشی از استرس گرمایی که به شکل استرس قلبی و عروقی، خستگی حرارتی، سکت قلبی و بیماری‌های قلبی تنفسی ظاهر می‌شود. امواج گرمای شدید، اغلب همراه با جزیره گرمایی شهری شدید، می‌تواند تقاضا برای تهویه مطبوع در ساختمان‌ها را افزایش دهد، به‌ویژه در میان افرادی که به گرما حساس‌تر هستند (یعنی سالمندان و کودکان). بنابراین، افزایش مصرف انرژی در نتیجه استفاده بیش از حد از سیستم‌های تهویه مطبوع مکانیکی، یک نگرانی عمده است. تغییر اقلیم‌های خرد و کلان محلی (مانند الگوهای باد، تغییرات رطوبت، طوفان، سیل، و تغییر در اکوسیستم‌های محلی) را نیز در برمی‌گیرد (Aflaki

(et al., 2017). جزیره گرمایی شهری مصرف انرژی خنک کننده و اوج تقاضای برق را در طول دوره تابستان افزایش می‌دهد، غلظت آلاینده‌های مضر مانند ازن تروپوسفر و VOC ها را افزایش می‌دهد، انتشار CO<sub>2</sub> را به اتمسفر بیشتر می‌کند، آسایش حرارتی داخلی و خارجی را در طول دوره‌های گرم بدتر می‌کند و بر شرایط سلامتی تأثیر می‌گذارد و مرگ و میر را افزایش می‌دهد (Picari & Dervishi, 2019). در مقیاس جهانی، شواهد تغییرات آب و هوایی در حال حاضر بسیار آشکار است. در طول قرن بیستم، جهان شاهد افزایش متوسط دما به میزان ۰٫۷۴ درجه سانتیگراد، کاهش ۴۰ درصدی پوشش یخ و افزایش ۱۷ سانتی متری سطح طبیعی دریاها بود. تغییر اقلیم، نتیجه اجتناب‌ناپذیر افزایش گازهای گلخانه‌ای طولانی مدت در جو است. گازهای گلخانه‌ای تابش خورشیدی را که از زمین منعکس می‌شود به دام می‌اندازد و آن را به سمت سطح باز می‌گرداند. در نتیجه، تغییرات آب و هوایی به یکی از مبرم‌ترین مسائل جهانی زمان ما تبدیل شده است. بر این اساس، کنترل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به یک تقاضای مهم برای رسیدگی به این موضوع تبدیل شده است. در عین حال، بسیاری از شهرهای جهان از پدیده "جزیره گرمایی شهری" رنج می‌برند. به طور کلی، فرآیندهای شهرنشینی منجر به تغییر اقلیم در سطح شهرها و شکل‌گیری آن چیزی می‌شود که اقلیم شهری نامیده می‌شود (Abdulateef & Al-Alwan, 2022).

یکی از دلایل حیاتی برای تشکیل جزیره گرمایی شهری، حجم زیاد سطوح ساخته‌شده مانند بتن و آسفالت است که ظرفیت گرمایی بالایی دارد. مواد آلدوی پایین به بدتر شدن این پدیده کمک می‌کند. یکی دیگر از دلایل تشدید اثر جزیره گرمایی شهری، برنامه‌ریزی نادرست شهرها است (Nuruzzaman, 2015). تعدادی از عوامل وجود دارد که به شکل‌گیری جزیره گرمایی شهری کمک می‌کند از جمله مواد آلدوی کم، تجمع انسان‌ها، تخریب درختان، افزایش استفاده از تهویه‌کننده‌های هوا، سایبان شهری، انسداد باد و آلاینده‌های هوا (Nuruzzaman, 2015). این پدیده با عوامل مختلفی همراه است که از جمله آنها می‌توان به تغییرات رواناب، تغییرات در آلودگی و ذرات معلق در هوا و غیره اشاره کرد (Leal Filho et al., 2017).

شهرها به دلیل فعالیت‌هایی مانند گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها، حمل و نقل شهری، فعالیت‌های تجاری و صنعتی و غیره نسبت به مناطق روستایی انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. این سطح بالای مصرف تحت تأثیر اثر جزیره گرمایی شهری است. می‌توان استراتژی‌هایی را برای کاهش اثرات جزیره گرمایی در مراحل طراحی و برنامه‌ریزی شهری اعمال کرد (Gago et al., 2013: 756). در عصر تأثیرات ویرانگر تغییرات آب و هوایی، بسیاری از شهرهای جهان تلاش‌های جدی برای یافتن راهبردهای سازگاری مناسب و پایدار برای مقابله با خطرات اقلیمی انجام می‌دهند (Abdulateef & Al-Alwan, 2022). اثربخشی استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری تا حد زیادی به شرایط محیطی از جمله اقلیم محلی، جغرافیا و توپولوژی سطح بستگی دارد. قابل توجه است که بسیاری از استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری وابسته به مقیاس هستند (Aflaki et al., 2017). توجه به راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری، مانند افزایش پوشش گیاهی و استفاده از مصالح بازتابنده، می‌تواند با کاهش دمای محیط، بهبود کیفیت هوا و کاهش مصرف انرژی، اثرات گرمایی و خطرات بهداشتی را کاهش دهد (Solecki et al., 2005). مسئله کاهش اثر جزیره گرمایی شهری با توجه به افزایش شهرنشینی و تغییرات آب و هوایی، به طور فزاینده‌ای ضروری شده است.

محققان به بررسی راهکارهای گوناگونی برای کاهش اثر جزیره حرارتی شهری پرداخته‌اند که شامل بهینه‌سازی طراحی شهری، استفاده از مصالح با قابلیت بازتابش بالا، و گسترش فضای سبز شهری می‌شود. تیم برنامه اقلیم و سلامت نیویورک از مدل‌سازی رشد شهری مبتنی بر سلول‌های شبکه‌ای (SLEUTH) برای ارزیابی تأثیرات جزیره گرمایی شهری بر تغییرات محیط زیستی و آب‌وهوایی جهانی استفاده کرده است. پژوهش‌های نوین در این حوزه عمدتاً بر بررسی تعاملات دمایی میان مناطق مرکزی و حومه‌ای شهرها

در فرآیند گسترش شهری متمرکز شده‌اند. پیشرفت فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، از جمله استفاده از اتوماتای فرا سلولی و شبکه‌های عصبی، موجب افزایش دقت تحلیل‌ها در مطالعات مرتبط با جزیره گرمایی شهری شده است. یافته‌ها حاکی از آن هستند که تغییرات کاربری اراضی و میزان پوشش گیاهی تأثیر مستقیمی بر شدت این پدیده دارند و از عوامل کلیدی در شکل‌گیری آن محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر، بررسی هم‌بستگی بین پوشش زمین و دمای سطح شهری با لحاظ پارامترهای بیوفیزیکی متنوع، به درک عمیق‌تر از روند تغییرات اثر جزیره گرمایی شهری کمک کرده است (Liu et al., 2024).

بیبلیومتریک به عنوان یک روش تحلیلی قدرتمند، امکان بررسی کمی و نظام‌مند رشد و توسعه حوزه‌های تحقیقاتی مختلف را فراهم می‌کند. این روش با بهره‌گیری از تکنیک‌های ریاضی و آماری، ویژگی‌های گوناگون آثار علمی نظیر مقالات، کتاب‌ها و ارائه‌های کنفرانسی را مورد تحلیل قرار می‌دهد. از طریق بررسی الگوهای توزیع و تغییرات این آثار، بیبلیومتریک نه تنها تصویری از وضعیت فعلی علوم و فناوری ارائه می‌دهد، بلکه قادر به پیش‌بینی روندها و موضوعات آینده نیز هست. امروزه، بیبلیومتریک به عنوان یکی از پرکاربردترین و قابل اعتمادترین ابزارهای تحلیلی در محیط‌های دانشگاهی و پژوهشی شناخته می‌شود (Hatami et al., 2022). تحلیل کتاب‌سنجی در ثبت حجم زیادی از ادبیات و ارائه توضیحات قابل اعتماد از تکامل حوزه‌های دانشگاهی از سایر روش‌های مروری (به عنوان مثال، مرور روایتی، مرور سیستماتیک و فرا تحلیل) عملکرد بهتری دارد. این نوع مرور، می‌تواند یک دوره طولانی، ابعاد فضایی گسترده و دامنه وسیعی از موضوعات را فراهم کند (He et al., 2023). کتاب‌سنجی یک روش مؤثر برای ارزیابی تولید علمی و روندهای تحقیقاتی در یک زمینه خاص است و به‌طور گسترده در بسیاری از رشته‌ها استفاده شده است. کتاب‌سنجی بر استناد و تحلیل محتوای تحقیق متمرکز است، که می‌تواند روندهای جهانی یا پیش‌بینی‌های آینده را برای یک حوزه تحقیقاتی خاص روشن کند (Huang & Lu, 2018).

سولکی و همکاران (Solecki et al., 2005) در مقاله "کاهش اثر جزیره حرارتی در مناطق شهری نیوجرسی" با استفاده از مدل‌سازی CITYgreen مبتنی بر GIS، تأثیر افزایش پوشش گیاهی و مواد بازتابنده را در نیوارک و کمدن بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی دما و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد و کیفیت هوا را بهبود می‌بخشد، در حالی که سقف‌های بازتابنده اثر کمتری دارند. این مطالعه بر ضرورت سیاست‌گذاری برای افزایش فضای سبز در مناطق کم‌درآمد تأکید دارد.

باتیستی و همکاران (Battisti et al., 2018) در مقاله "استراتژی‌های کاهش و سازگاری اقلیمی برای سقف‌ها و روسازی‌ها" با مدل ENVI-met، اثر پوشش‌های خنک و فضای سبز را در پردیس ساپینزا رم شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که پوشش‌های خنک و سقف‌های سبز دمای سطح را تا ۲,۵ درجه کاهش می‌دهند، اما تأثیر پیاده‌روهای نفوذپذیر در مناطق سایه‌دار بیشتر است. این پژوهش طراحی ترکیبی پایدار را پیشنهاد می‌کند.

شیونگ و هی (Xiong & He, 2022) در مقاله "چارچوب تحلیلی برای تجزیه و تحلیل هم‌افزایی‌ها، تضادها و موازنه‌های راهبردهای کاهش گرمای شهری" با رویکرد تحلیلی، چهار دسته استراتژی (زیرساخت‌های سبز، آبی، سفید / خاکستری و طراحی شهری) را ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد که زیرساخت‌های سبز بیشترین مزایا را دارند، اما تضادهای ماند هزینه‌نگهداری آبی و اثر منفی مواد بازتابنده بر عابران وجود دارد.

گاگو و همکاران (Gago et al., 2013) در مقاله‌ای درباره استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری، با تحلیل برنامه‌ریزی شهری، اثر پارک‌ها و بهینه‌سازی طراحی را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که فضاهای سبز و طراحی بهینه تا ۳۰ درصد مصرف انرژی را کاهش می‌دهند و شرایط محیطی را بهبود می‌بخشند.

ایرفی و همکاران (Irfeey et al., 2023) در پژوهشی با عنوان استراتژی‌های کاهش پایدار برای اثرات جزیره گرمایی شهری در مناطق شهری به نتایجی رسیدند که موادی مانند سنگ فرش‌های بازتابنده خیابان‌ها، مواد پوشش‌دهنده شامل رنگ روشن، مواد تغییر فاز دهنده، مواد تغییر رنگ‌پذیر<sup>۱</sup>، رنگ فلورسانس و وسایل کم مصرف به عنوان مواد پایدار در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که زیرساخت‌های سبز مانند بام‌های سبز، دیوارهای سبز، پارکینگ سبز و سنگ فرش‌ها و خیابان‌های سایه‌دار برای کاهش اثر جزیره گرمایی شهری در نظر گرفته می‌شوند. موانع پذیرش گسترده چنین شیوه‌هایی عبارتند از فقدان قوانین دولتی، توسعه فناوری ناکافی، برآورد اشتباه سود اقتصادی و عدم تمایل طرف‌های تحت تأثیر را شامل می‌شود.

اکبری و کولوکوتسا (Akbari & Kolokotsa, 2017) در مقاله "سه دهه تحقیقات جزایر گرمایی شهری" با مرور ۳۰ سال پژوهش، سقف‌ها و روسازی‌های خنک و پوشش گیاهی را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که این راهکارها دما را کاهش داده و مصرف انرژی را بهبود می‌بخشند.

لیل فیلهو و همکاران (Leal Filho et al., 2017) در مقاله‌ای درباره استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری، با تحلیل چند مقیاسی، راهکارهایی در سطح ساختمان، شهر و منطقه پیشنهاد کردند. در مقیاس ساختمان، اقداماتی نظیر انتخاب مواد با بازتابش بالا برای سقف، استفاده از بام‌های سبز جهت کاهش جذب حرارت و کاهش انتشار حرارت انسانی از تجهیزات و سیستم‌های سرمایشی پیشنهاد می‌شود. در مقیاس شهری، افزایش پوشش گیاهی در فضاهای عمومی، انتخاب مصالح روسازی با خاصیت بازتابش بالا، طراحی بهینه ساختار شهری برای بهبود جریان هوای طبیعی، افزایش دسترسی به فضاهای خنک‌کننده، توسعه زیرساخت‌های مدیریت رواناب برای کاهش اثرات گرمایی و کاهش تولید گرمای انسانی از فعالیت‌های شهری مورد توجه قرار می‌گیرد. در مقیاس منطقه‌ای، گسترش پوشش گیاهی در پیرامون شهرها، ایجاد و حفظ مسیرهای جریان باد، بهره‌گیری از قابلیت‌های اکولوژیکی بدنه‌های آبی برای تعدیل دما و در نظر گرفتن اصول کاربری زمین با تأکید بر کاهش اثرات جزیره حرارتی و بهبود آسایش اقلیمی، از جمله راهکارهای کلیدی محسوب می‌شوند.

پینهیرو و همکاران (Pinheiro et al., 2023) در مقاله "پیشرفت‌ها در مواد تغییر فاز در روسازی‌های آسفالت" با تحلیل کتاب‌سنجی و بررسی سیستماتیک، اثر PCM‌ها را ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد که PEG2000 و PEG4000 گرما را کاهش می‌دهند، اما چالش‌هایی مانند نشت و حفظ خواص مکانیکی وجود دارد.

لیو و همکاران (Liu et al., 2024) در بررسی جامع تحقیقات جزیره گرمایی شهری با تحلیل کتاب‌سنجی ۸۲۶۰ مقاله و مدل‌سازی محاسباتی، تأثیر کاربری اراضی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی و مواد با آلبدوی بالا شدت جزیره گرمایی شهری را کاهش می‌دهند و شکاف‌های دانش را شناسایی کردند.

عابدینی و همکاران در مقاله "کاهش اثرات جزایر گرمایشی شهر از طریق مصالح روسازی خنک" با تصاویر لندست ۸ و داده‌های میدانی در تبریز، اثر مصالح را تحلیل کردند. یافته‌ها نشان داد که مصالح بازتابنده و بام‌های سبز دما را کاهش می‌دهند و تهویه شهری را بهبود می‌بخشند.

توفیقی و همکاران در مقاله "شناخت پدیده مخرب جزایر گرمایش شهری" با روش‌های پیمایشی و آزمایشات میدانی، روسازی‌های خنک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مصالح روشن و نفوذپذیر دما را تا ۱۳ درجه کاهش می‌دهند و مدیریت حرارتی را بهبود می‌بخشند.

<sup>1</sup> Chromatic Materials

سیلور در مطالعه‌ای با عنوان "کاهش اثر جزیره گرمایی شهری" با رویکرد تحلیلی، دو روش اصلی شامل افزایش آلودگی و تبخیر و تعرق را بررسی کرد. یافته‌ها نشان داد که این استراتژی‌ها می‌توانند دمای شهری را کاهش دهند و اثرات جزیره گرمایی شهری را تعدیل کنند. این پژوهش بر اهمیت انتخاب روش‌های مناسب کاهش گرما تأکید دارد (Nuruzzaman, 2015).

او و همکاران در مطالعه سیاست "شهرهای اسفنجی" (۲۰۱۹) با تحلیل چندبعدی، مزایای مشترک روسازی‌های خنک و زیرساخت سبز را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که این رویکرد فنی، اثرات جزیره گرمایی شهری را کاهش داده و مدیریت رواناب را بهبود می‌بخشد (Degirmenci et al., 2021).

تحقیقات ارائه‌شده بر استراتژی‌های کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری تمرکز دارند و به‌طور کلی نشان‌دهنده تنوع روش‌ها و راهکارهای مورد استفاده در این حوزه هستند. این مطالعات از رویکردهای متنوعی از قبیل مدل‌سازی مانند ENVI-CITYgreen و met، تحلیل تجربی، بررسی کتاب‌سنجی، و مرور ادبیات استفاده کرده‌اند تا اثربخشی راهکارهایی نظیر افزایش پوشش گیاهی، استفاده از مصالح بازتابنده (با آلودگی بالا)، بام‌ها و روسازی‌های خنک، زیرساخت‌های سبز و آبی، و طراحی شهری بهینه را ارزیابی کنند. نتایج کلی این تحقیقات حاکی از آن است:

- پوشش گیاهی و زیرساخت‌های سبز: به‌طور مداوم به‌عنوان مؤثرترین راهکار شناخته شده‌اند. مطالعات سولکی، باتیستی، گاکو، لیل فیلهو، و دیگران نشان می‌دهند که کاشت درختان، بام‌های سبز، و فضاهای سبز، دما را کاهش می‌دهند (۲٫۵ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد بسته به شرایط)، مصرف انرژی را بهبود می‌بخشند، و کیفیت هوا را از طریق کاهش آلاینده‌ها و جذب CO2 ارتقا می‌دهند.
- مصالح بازتابنده و آلودگی بالا: استفاده از سقف‌ها و روسازی‌های خنک مانند مواد با آلودگی بالا یا PCMها در مطالعات سیلور، پینه‌یرو، عابدینی، و توفیقی به کاهش دمای سطح و جذب گرما کمک کرده، اما اثرات آن‌ها معمولاً کمتر از پوشش گیاهی است و گاهی با چالش‌هایی مانند تأثیر محدود بر آسایش عابران یا نشت مواد همراه است.
- طراحی شهری و سیاست‌گذاری: تحقیقات یاماموتو، شیونگ و هی، و او و همکاران نشان می‌دهند که چیدمان بهینه ساختمان‌ها، مدیریت رواناب (مانند شهرهای اسفنجی)، و سیاست‌های سبزسازی می‌توانند جریان هوا را بهبود بخشیده و اثرات جزیره گرمایی شهری را کاهش دهند، اما نیازمند هماهنگی چندبعدی و توجه به شرایط محلی هستند.
- مزایا و محدودیت‌ها: در حالی که این استراتژی‌ها به کاهش دما، مصرف انرژی، و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند، چالش‌هایی مانند هزینه‌های نگهداری (درختان و زیرساخت‌های آبی)، کمبود فضا در مناطق متراکم، و موانع اجرایی (قوانین ناکافی یا عدم پذیرش اجتماعی) نیز شناسایی شده‌اند (ایرفی، شیونگ و هی).

به‌طور کلی، این تحقیقات توافق دارند که رویکردهای ترکیبی (مانند ترکیب پوشش گیاهی با مصالح بازتابنده) مؤثرتر از تک‌راهکارها هستند و اجرای موفق آن‌ها به عوامل محلی مانند اقلیم، جغرافیا، و بافت شهری بستگی دارد. همچنین، تأکید بر پایداری و تاب‌آوری شهری در برابر گرما و تغییرات اقلیمی در این مطالعات برجسته است. این پژوهش می‌تواند شکاف روش‌شناختی (عدم استفاده گسترده از تحلیل بیلیومتریکی) و شکاف دانش (شناسایی روندها و شکاف‌های کلان) را پر کند.

مقاله حاضر، با هدف ارائه یک دیدگاه جامع و مبتنی بر شواهد از چشم‌انداز تحقیقاتی حوزه، به انجام یک تحلیل کتاب‌سنجی از ادبیات علمی موجود در این زمینه می‌پردازد. این تحلیل، با بررسی روند انتشار مقالات، شناسایی مجلات و نویسندگان کلیدی، تحلیل شبکه‌های همکاری و بررسی موضوعات و کلیدواژه‌های پرکاربرد، تلاش دارد تا نقشه راهی روشن برای محققان، سیاست‌گذاران و

دست‌اندرکاران حوزه مدیریت شهری در جهت توسعه و اجرای مؤثرتر راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری ترسیم نماید. با توجه به اهمیت این موضوع برای اولین بار در کشور ایران انجام می‌شود.

با توجه به اهمیت روزافزون کاهش اثرات جزایر گرمایی شهری در بهبود محیط زیست شهری، این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به سؤالات کلیدی زیر با استفاده از تحلیل بیلومیتریک و نرم‌افزار VOSviewer است: کدام نویسندگان در حوزه راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری بیشترین تأثیر را از نظر تعداد مقالات و اسنادها داشته‌اند؟ کدام کشورها در تولید دانش مرتبط با استراتژی‌های کاهش جزیره گرمایی شهری پیشرو هستند و الگوهای جغرافیایی انتشارات چیست؟ روند زمانی انتشار مقالات کلیدی در این زمینه چگونه بوده و کدام دوره‌ها اوج تولید دانش را نشان می‌دهند؟ خوشه‌های موضوعی اصلی در این حوزه چیست و کدام زمینه‌ها در حال گسترش یا کم‌رنگ شدن هستند؟

## مواد و روش‌ها

داده‌های موردنیاز برای تحلیل‌های بیلومیتریک را می‌توان از پایگاه‌های داده متنوعی نظیر (Web of Science (WoS, Scopus, Google Scholar و ResearchGate استخراج کرد (Hatami et al., 2022). این مطالعه با رویکرد کتاب‌سنجی انجام شده و هدف آن شناسایی تمامی پژوهش‌های مرتبط با راهبردهای کاهش جزایر گرمایی شهری است. داده‌ها از پایگاه Scopus با فرمت CSV استخراج گردیده‌اند. تحلیل‌ها منجر به شناسایی چهار خوشه شد که هر خوشه نمایانگر مجموعه‌ای از کلیدواژه‌های مرتبط و نزدیک به هم است. در نهایت، این خوشه‌ها برای بررسی و تحلیل استراتژی‌های کاهش جزایر گرمایی شهری مورد ارزیابی قرار گرفتند. عبارت جستجو به صورت زیر تعریف شده است.

(TITLE-ABS-KEY ("Urban Heat Island" OR "UHI") AND TITLE-ABS-KEY ("Mitigation Strategies" OR "Cooling Techniques" OR "Urban Cooling Strategies"))

در ابتدا ۶۹۵ مقاله یافت شد، اما برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، فیلترگذاری و محدودسازی بر اساس معیارهای مختلف انجام گرفت. از نظر حوزه‌های کلیدی، مقالات مرتبط با علوم محیطی و مهندسی که بیشترین هم‌خوانی را با موضوع تحقیق داشتند، انتخاب شدند. همچنین، بازه زمانی به ۲۴ سال گذشته محدود شد تا پیشرفت‌های مدرن را منعکس کند و از غرق شدن در مطالعات قدیمی جلوگیری شود. در نهایت، تنها مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ بررسی شدند که تعداد اسناد را به ۶۷۷ کاهش داد. پس از اعمال فیلتر بر اساس حوزه موضوعی، تعداد مقالات به ۶۵۳ رسید و با محدودسازی بر اساس نوع سند، این تعداد به ۶۴۴ کاهش یافت. سپس، با در نظر گرفتن زبان مقالات، تعداد آن‌ها به ۶۳۳ رسید و در نهایت، با اعمال فیلتر بر اساس مرحله انتشار، تعداد اسناد نهایی به ۶۲۹ مقاله محدود شد.

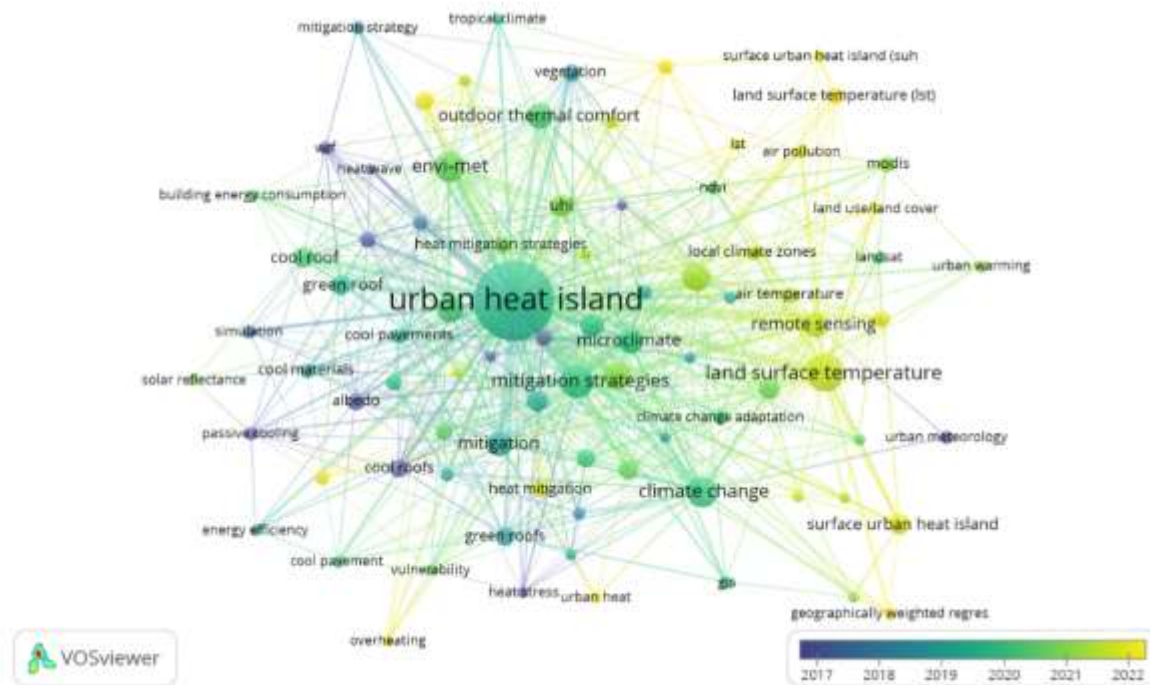
VOSviewer یکی از نرم‌افزارهای پیشرفته در حوزه تحلیل‌های بیلومیتریک است که توسط Van Eck و Waltman از دانشگاه لیدن هلند توسعه یافته است. این نرم‌افزار با قابلیت‌های گرافیکی بالا و ساختار منظم، امکان نمایش نقشه‌های علمی را به شکلی واضح و کاربرپسند فراهم می‌کند. یکی از مزایای برجسته‌ی آن توانایی در پردازش و نمایش نقشه‌های مبتنی بر داده‌های حجیم است، ویژگی که بسیاری از نرم‌افزارهای مشابه فاقد آن هستند. این ابزار به محققان اجازه می‌دهد تا با ایجاد نقشه‌های شبکه‌ای، ارتباطات پیچیده میان استنادات، انتشارات علمی، نویسندگان، مؤسسات و کشورها را کشف و تجسم کنند، که این امر درک جامع‌تری از ساختار و روندهای حوزه‌های تحقیقاتی مختلف ارائه می‌دهد (Hatami et al., 2022). این داده‌ها برای به‌کارگیری در نرم‌افزار VOSviewer و نرم‌افزار اکسل استفاده شده است. ارزیابی این داده‌ها با تحلیل‌های ریاضی و آماری و نقشه‌های تجسم شبکه انجام شده است.



## نتایج و بحث

### تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها

تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها کمک می‌کند تا خوشه‌های موضوعی و روندهای جدید شناسایی شوند، به‌ویژه با تمرکز بر کلیدواژه‌هایی که در سال‌های اخیر بیشتر ظاهر شده‌اند. گره‌ها نشان‌دهنده‌ی مؤلفه‌های مورد تحلیل هستند و اندازه‌ی آنها نشان‌دهنده‌ی اهمیت یا فراوانی آن مؤلفه است. پیوندها نشان‌دهنده‌ی ارتباط بین مؤلفه‌ها هستند و ضخامت آنها نشان‌دهنده‌ی شدت ارتباط است. رنگ‌های مختلف نیز برای تفکیک خوشه‌ها استفاده می‌شوند که نشان‌دهنده‌ی گروه‌های موضوعی یا ارتباطی هستند. نوار رنگی در پایین تصویر (از آبی تیره در ۲۰۱۷ تا زرد روشن در ۲۰۲۲) نشان‌دهنده تکامل زمانی موضوعات است. کلیدواژه‌هایی با رنگ روشن‌تر مثلاً "surface urban heat island (SUHI)" یا "land surface temperature (LST)" موضوعات نوظهور یا پر رشد در سال‌های اخیر هستند. تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها، به‌ویژه با تمرکز بر کلیدواژه‌های نوظهور، امکان شناسایی روندهای جدید و شکاف‌های پژوهشی را فراهم می‌کند. مثلاً کاهش توجه به برخی کلیدواژه‌ها مانند "albedo" در مقایسه با "climate change adaptation" می‌تواند نشان‌دهنده تغییر اولویت‌های تحقیقاتی باشد.



شکل ۲. تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها: شناسایی خوشه‌های موضوعی و روندهای نوظهور

Fig2. Co-occurrence analysis. Keywords: Identifying thematic clusters and emerging trends

بر اساس جدول ارائه‌شده که چهار خوشه موضوعی از تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در نرم‌افزار VOSviewer را نشان می‌دهد، در ادامه هر خوشه به‌صورت تفصیلی توضیح داده شده و حیطه موضوعی آن مشخص می‌شود.

جدول ۱. خوشه‌های موضوعی چهارگانه حاصل از تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها

**Table 1. Four thematic clusters resulting from co-occurrence analysis of keywords**

نام خوشه Cluster Name	کلیدواژه‌ها Keywords
خوشه ۱ Cluster 1	air pollution, climate change, climate change adaptation, cool pavements, cool roofs, green infrastructure, green roofs, heat island, heat mitigation, land cover, land surface temperature, land use, microclimate, remote sensing, surface temperature, surface urban heat island, thermal comfort, urban cooling, urban heat island, heat island effect, urban heat island mitigation, urban meteorology, urban morphology, urban resilience, weather research and forecasting model
خوشه ۲ Cluster 2	albedo, anthropogenic heat, building energy consumption, cool materials, cool pavement, cool roof, energy consumption, energy efficiency, Envi-met, green roof, heat wave, human thermal comfort, mitigation strategies, mitigation strategy, outdoor thermal comfort, passive cooling, solar reflectance, tropical climate, mitigation, canopy model, urban heat island, urban microclimate, urban vegetation, UTCI, vegetation, WRF
خوشه ۳ Cluster 3	Air temperature, geographically weighted regression, GIS, heat waves, land surface temperature, land use/land cover, Landsat, local climate zone, local climate zones, LST, Modis, NDVI, surface urban heat island, thermal remote sensing, urban climate, urban form, urban heat island intensity, urban thermal environment, urbanization, urban warming
خوشه ۴ Cluster 4	climate adaptation, heat mitigation strategies, heat stress, mitigation, overheating, simulation, urban heat islands, urban overheating, urban planning, vulnerability

خوشه ۱، شامل کلیدواژه‌هایی است که بر راهکارهای کاهش جزیره گرمایی شهری از طریق زیرساخت‌های سبز، مصالح بازتابنده، و تحلیل‌های اقلیمی و فضایی تمرکز دارد. حیطه آن شامل پایداری محیطی، مدیریت دمای سطح، و انطباق با تغییرات اقلیمی در شهرها است.

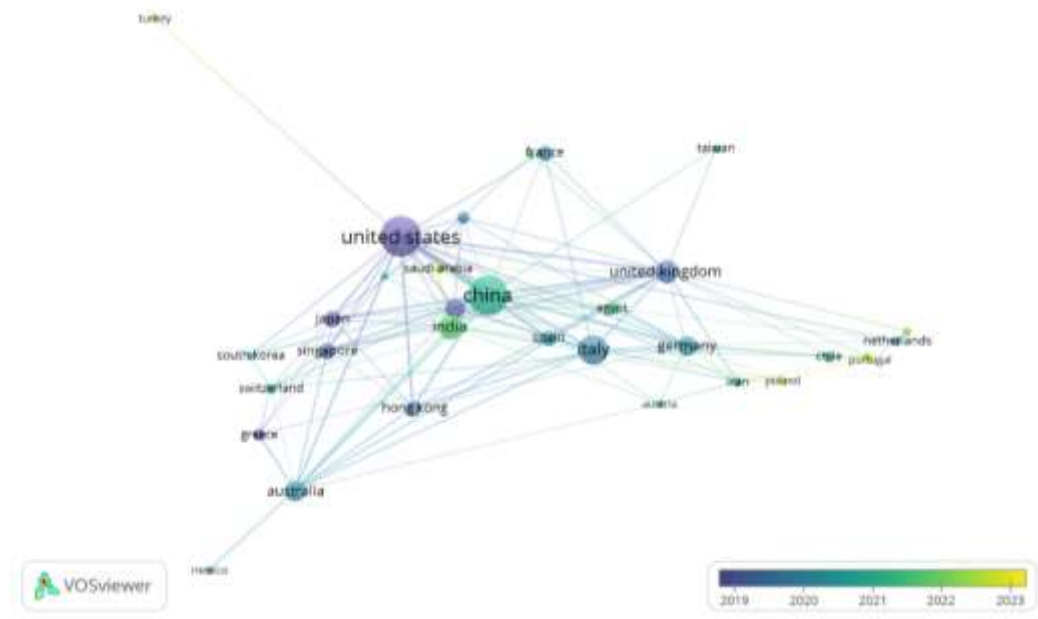
خوشه ۲ به‌طور خاص بر راهکارهای کاهش مبتنی بر مصالح ساختمانی، بهینه‌سازی انرژی، و مدل‌سازی ریز اقلیمی تمرکز دارد. حیطه آن شامل فناوری‌های خنک‌کننده، مدیریت انرژی شهری، و آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف مثلاً "Tropical Climate" است.

در خوشه ۳، بر تحلیل‌های فضایی و اقلیمی جزیره گرمایی شهری، تأثیرات رشد شهری، و استفاده از فناوری‌های سنجش از راه دور و جغرافیایی تمرکز دارد. حیطه آن شامل پایش دمای سطح، مدل‌سازی اقلیمی، و بررسی اثرات توسعه شهری بر گرمایش است.

خوشه ۴ به‌طور خاص بر سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی شهری، و مدیریت اثرات اجتماعی-اقلیمی جزیره گرمایی شهری تمرکز دارد. حیطه آن شامل انطباق با تغییرات اقلیمی، کاهش آسیب‌پذیری، و طراحی شهری پایدار است.

### همکاری نویسندگان براساس کشورها

این تحلیل به شناسایی و ترسیم شبکه همکاری بین نویسندگان مقالات علمی بر اساس کشورهای آن‌ها می‌پردازد. ایالات متحده، چین، ایتالیا و بریتانیا به دلیل اندازه گره‌ها و پیوندهای متعدد، پیشروترین کشورها در تحقیقات جزیره گرمایی شهری هستند. همکاری‌های قوی بین ایالات متحده و چین، و همچنین بین کشورهای اروپایی می‌باشد. نبود گره‌های بزرگ یا پیوندهای قوی برای کشورهای آفریقایی، آمریکای لاتین، یا برخی کشورهای آسیایی نشان‌دهنده کمبود تحقیقات یا همکاری در این مناطق است.



شکل ۳. تحلیل شبکه همکاری نویسندگان بر اساس کشور

Figure 3. Author collaboration network analysis based on country

بر اساس جدول شماره ۲، این خروجی بر اساس سه شاخص مهم است: تعداد اسناد منتشر شده، تعداد ارجاعات دریافتی، و مجموع شدت پیوندها می باشد که نشان دهنده میزان همکاری های بین المللی کشورها است.

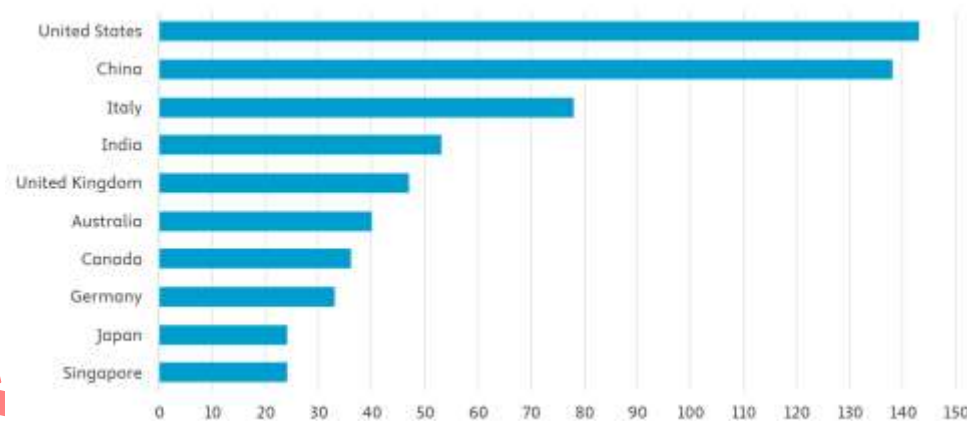
جدول ۲. ارزیابی عملکرد علمی کشورها: شاخص های کلیدی (اسناد، ارجاعات، قدرت ارتباطات). جدول ۲

Table 2. Evaluation of countries' scientific performance: Key indicators (Documents, Citations, Link Strength)

مجموع شدت پیوندها	استنادات	اسناد	کشور
Total Link Strength	Citations	Documents	Country
64	8770	142	United States
62	5782	138	China
20	2889	78	Italy
18	2869	36	Canada
23	2844	40	Australia
31	2213	47	United Kingdom
16	1668	21	Hong Kong
5	1556	13	Greece
14	1446	24	Singapore
12	1129	24	Japan
15	1026	53	India
21	888	33	Germany
11	847	21	Spain
9	703	13	Malaysia
5	524	21	France
4	427	9	Netherlands
7	352	9	Switzerland

7	277	10	Iran
4	277	8	South Korea
7	271	14	Egypt
2	260	7	Taiwan
6	205	7	Saudi Arabia
4	186	5	Bangladesh
5	170	11	Chile
3	154	5	Philippines
3	82	5	Austria
2	80	5	Mexico
3	75	5	Poland
1	64	6	Turkey
2	58	7	Indonesia
3	48	5	Brazil
3	43	5	Portugal

همچنین براساس نمودار زیر، تعداد اسناد براساس ۱۰ کشور برتر آورده شده است. این نمودار نشان‌دهنده توزیع جغرافیایی تولید دانش در حوزه جزیره گرمایی شهری است. ایالات متحده و چین به‌عنوان پیشروترین کشورها با بیشترین اسناد شناخته می‌شوند.

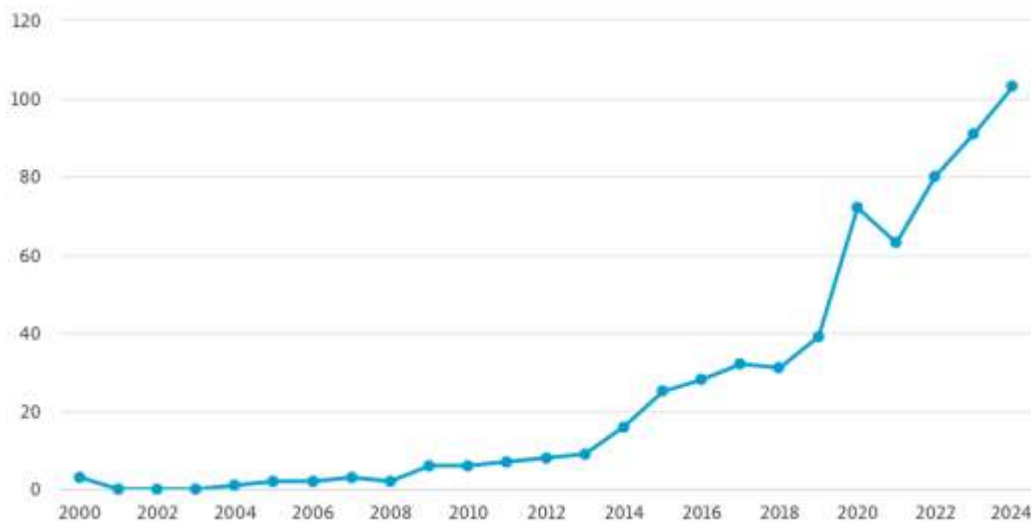


شکل ۴. توزیع جغرافیایی اسناد جزیره گرمایی شهری ده کشور برتر تولیدکننده

Fig 4. Geographical distribution of urban heat island documents for the top 10 producing countries

### تکامل مطالعات در طول زمان

اسناد بر اساس سال در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در نمودار زیر آورده شده است. در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۰، تعداد اسناد علمی بسیار پایین و تقریباً بدون تغییر می‌باشد. در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، رشد تدریجی در تعداد مقالات مشاهده می‌شود. در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴، افزایش چشمگیر و ناگهانی در انتشار مقالات، بیشترین جهش در حدود سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۱ اتفاق افتاده، کاهش جزئی پس از ۲۰۲۱، اما روند کلی همچنان صعودی است.



شکل ۵. روند انتشار اسناد علمی در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۰

Fig5. Trend of scientific document publication in the time period 2000-2024

### شبکه همکار نویسندگان

جدول ارائه شده اطلاعاتی درباره نویسندگان فعال در حوزه راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری بر اساس سه معیار کلیدی نشان می‌دهد: تعداد اسناد، تعداد استنادات و مجموع شدت پیوندها. نویسندگان تأثیرگذار از جمله "Pisello, Anna Laura" (۱۲ سند، ۶۲۴ استناد)، "Wang, Zhi-Hua" (۹ سند، ۱۱۸۲ استناد) و "Akbari, Hashem" (۹ سند، ۱۱۲۵ استناد) به‌عنوان تأثیرگذارترین نویسندگان از نظر تعداد اسناد و استنادات شناخته می‌شوند. همچنین "Bou-Zeid, Elie" با ۱۶۰۷ استناد، علی‌رغم تعداد اسناد کمتر، از نظر تأثیرگذاری علمی، برجسته است. برخی نویسندگان از جمله "Santamouris, M." با ۶ سند و ۱۱۲۳ استناد تأثیرگذاری بالایی دارند، اما تعداد اسناد کمتری تولید کرده‌اند، در حالی که "Pisello, Anna Laura" با ۱۲ سند فعالیت بیشتری دارد اما استنادات کمتری (۶۲۴) دریافت کرده است. این نشان‌دهنده تفاوت بین کمیت و کیفیت مقالات است.

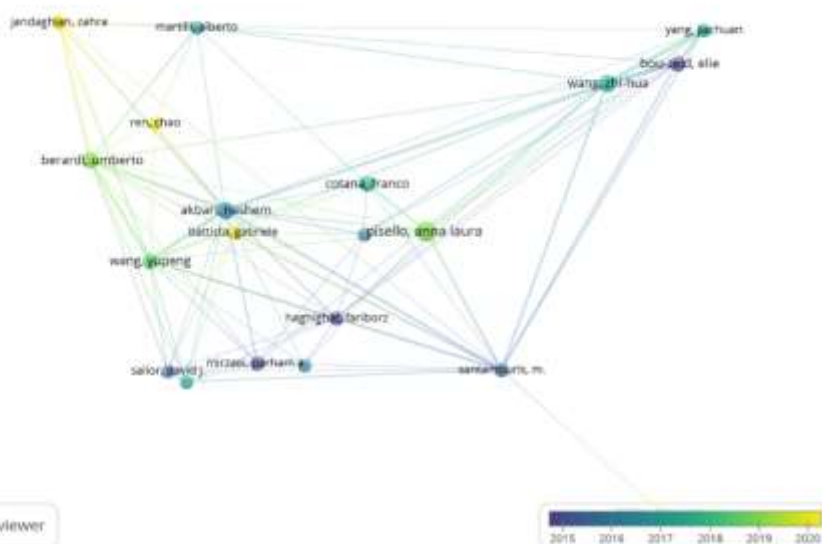
جدول ۳. نویسندگان فعال در حوزه راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری: رتبه‌بندی بر اساس اسناد، استنادات و شدت پیوندها

Table 3. Active authors in the field of urban heat island mitigation: Ranking by documents, citations, and link strength

نویسنده	اسناد	استنادات	مجموع شدت پیوندها
Author	Documents	Citations	Total Link Strength
Bou-Zeid, Elie	7	1607	38
Wang, Zhi-Hua	9	1182	62
Akbari, Hashem	9	1125	65
Santamouris, m.	6	1123	48
Berardi, Umberto	8	849	49
Haghighat, Fariborz	6	832	15
Mirzaei, Parham a.	6	829	12
Wang, Yupeng	7	695	53
Pisello, Anna Laura	12	624	24
Wong, Nyuk Hien	5	623	10

15	511	5	Taleghani, Mohammad
32	511	5	Yang, Jiachuan
11	471	7	Cotana, Franco
14	443	5	Martilli, Alberto
5	254	5	Ren, Chao
13	201	5	Sailor, David J.
23	195	6	Jandaghian, Zahra
9	166	5	Battista, Gabriele
5	80	5	Noro, Marco
1	44	6	Palme, Massimo

شکل شماره ۶، نشان‌دهنده شدت همکاری‌های هر نویسنده با سایر نویسندگان است که در VOSviewer محاسبه شده است. این معیار نشان‌دهنده جایگاه نویسنده در شبکه همکاری‌های علمی است. نویسندگانی چون "Akbari, Hashem" و "Wang, Zhi-Hua" با شدت پیوند بالا (به ترتیب ۶۵ و ۶۲)، نقش محوری در شبکه همکاری‌ها دارند. این نشان‌دهنده پروژه‌های مشترک گسترده با نویسندگان دیگر است.

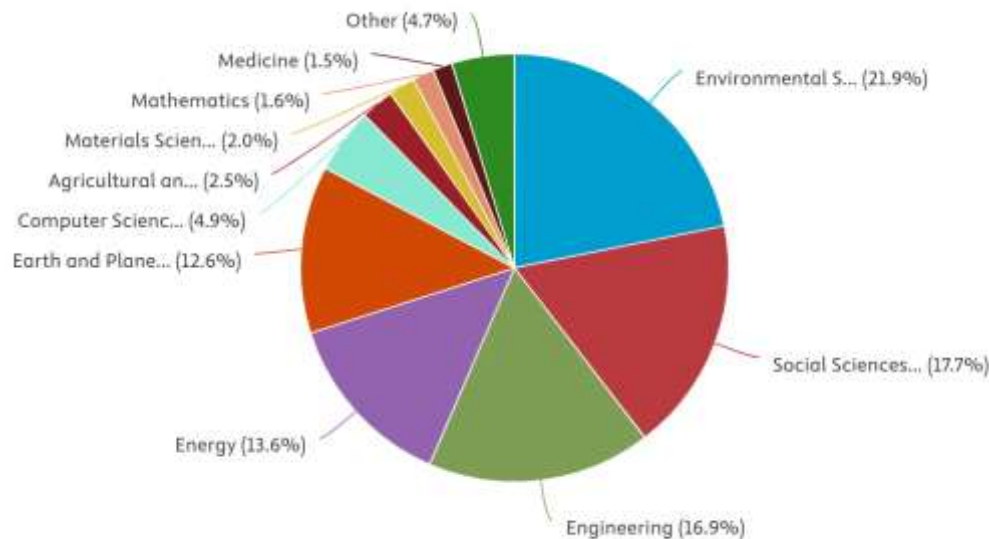


شکل ۶. تحلیل شبکه همکاری نویسندگان بر اساس شدت پیوند

Fig6. Analysis of author collaboration network based on the strength of ties

### حیطه حوزه مطالعاتی

براساس حوزه مطالعاتی این موضوع، در نمودار زیر فراوانی آن آورده شده است. بیشترین فراوانی آن مربوط به علوم محیط زیستی می‌باشد. بیشترین تمرکز مقالات در حوزه علوم محیط زیستی، علوم اجتماعی، مهندسی، و انرژی است، که نشان‌دهنده چندبُعدی بودن موضوع است. ابعاد محیط زیستی و اجتماعی بیشترین سهم را دارند، که بیانگر اهمیت راهبردهای پایدار و سیاست‌گذاری‌های شهری برای کاهش گرمای شهری است. استفاده از علوم مهندسی و انرژی در کنار مدل‌سازی‌های زمین‌شناسی و علوم کامپیوتر نشان می‌دهد که مقابله با جزایر گرمایی شهری نیازمند یک رویکرد بین رشته‌ای است.



شکل ۷. حوزه‌های مطالعاتی پیشرو در تحقیقات جزایر گرمایی شهری

Fig7. Leading study areas in urban heat island research

### پراستنادترین مقالات

جدول شماره ۴، نشان‌دهنده پراستنادترین مقالات در حوزه جزیره گرمایی شهری است، که تمرکز آن‌ها بر راهکارهای سبزسازی، مصالح خنک‌کننده و غیره می‌باشد.

جدول ۴. پراستنادترین مقالات در زمینه راهکارهای نوین کاهش جزایر گرمایی شهری

Table 4. Highly cited articles in the field of innovative solutions for urban heat island mitigation

تعداد استنادات Number of Citations	نام مقاله Article Title	سال Year	نام نویسنده Author(s)
745	A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong	2012	Ng et al
716	The urban heat island effect, its causes, and mitigation, concerning the thermal properties of asphalt concrete	2017	Mohajerani et al
684	Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments	2013	Santamouris
662	Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts	2013	Li & Bou-Zeid
589	Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations	2010	Mirzaei & Haghghat

### شبکه همکار مجلات

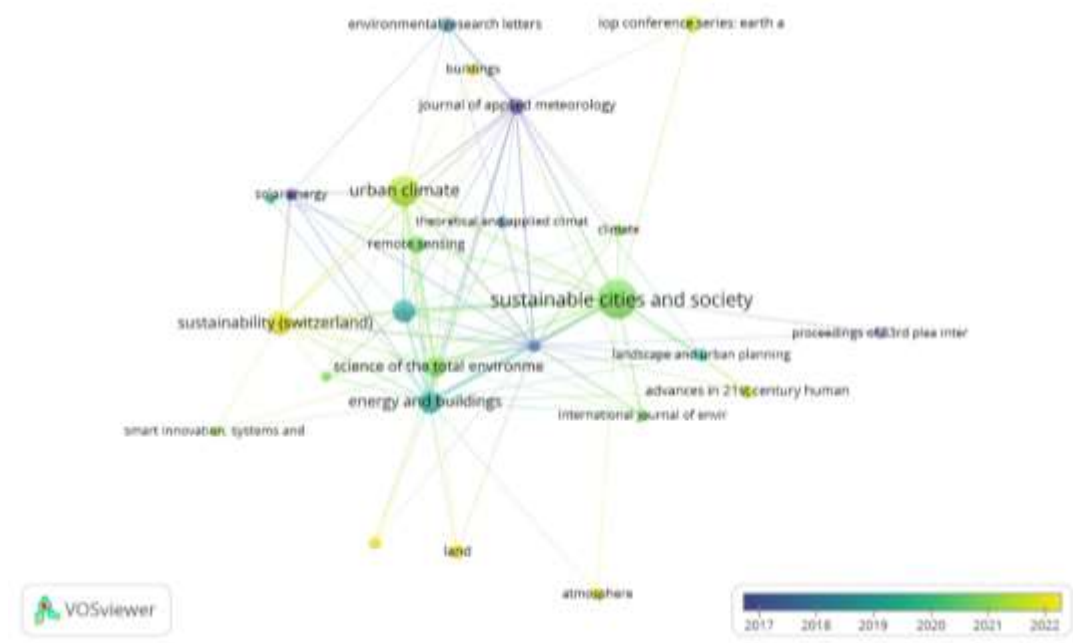
در اینجا هدف شناسایی مجلاتی که بیشترین استناد را در حوزه تحقیقاتی موردنظر دریافت کرده‌اند، می‌باشد. این جدول نشان‌دهنده توزیع استنادات و انتشارات در مجلات مرتبط با جزیره گرمایی شهری است. به ترتیب "Building", "Sustainable Cities and Society", "Science of the Total Environment" and "Environment" به‌عنوان تأثیرگذارترین مجلات شناخته می‌شوند.

**Table 5. Highly cited journals in the field of urban heat island research**

تعداد استنادات Number of Citations	تعداد اسناد Number of Documents	نام مجلات Journal Name
3197	66	Sustainable cities and society
2233	22	building and environment
2032	19	science of the total environment
1821	7	renewable and sustainable energy reviews
1696	23	energy and buildings
1525	11	journal of applied meteorology and climatology
1112	41	urban climate
1087	10	Environmental Research Letters
602	7	solar energy
489	25	sustainability (Switzerland)
405	7	landscape and urban planning
376	13	remote sensing
312	5	Urban Forestry and Urban Greening
160	6	Theoretical and applied climatology

شکل ارائه شده یک نقشه شبکه همکاری میان مجلات علمی است که با استفاده از نرم افزار VOSviewer ترسیم شده است. این نقشه، ارتباطات و همکاری‌های میان مجلات مختلف را نشان می‌دهد. در این نقشه، هر دایره نمایانگر یک مجله علمی است، و اندازه دایره معمولاً نشان‌دهنده تعداد مقالات منتشر شده و اهمیت آن مجله در این حوزه است. رنگ دایره‌ها بر اساس سال انتشار مقالات متغیر است؛ طیف رنگی از آبی تیره (سال ۲۰۱۷) تا زرد روشن (سال ۲۰۲۲) نشان می‌دهد که فعالیت‌های پژوهشی هر مجله در چه بازه زمانی متمرکز بوده‌اند. خطوط متصل‌کننده بین دایره‌ها نمایانگر ارتباطات یا همکاری‌های میان مجلات است.





شکل ۸. تجسم شبکه همکاری بین مجلات علمی

Fig8. Visualization of scientific journal collaboration network

## نتیجه گیری

برای نظم و پیش‌بینی، مدل‌سازی هم‌چنان روش تحقیق پیشرو خواهد بود و انتظار می‌رود مدل‌های مقیاس خرد و میانی به‌طور مؤثرتری با هم ترکیب شوند. سنجش از دور، اندازه‌گیری‌های سنتی نقطه‌ای را به تحقیقات سطحی گسترش می‌دهد و دستیابی به داده‌ها را به‌طور کارآمدتر و جامع‌تر با کیفیت بالاتر محقق می‌کند؛ بنابراین، این تکنیک قابل توجه، به‌طور گسترده‌تری استفاده خواهد شد. علاوه بر این، انتظار می‌رود ترکیبی نزدیک‌تر از سنجش از دور و اندازه‌گیری‌های میدانی همراه با مدل‌ها ایجاد شود. ترتیبات پوشش گیاهی، تحقیقات در مورد مواد روسازی و ساختمانی، طراحی خنک‌کننده سقف و برنامه‌ریزی شهری به‌طور فعال مورد مطالعه قرار می‌گیرند (Huang & Lu, 2018). از سوی دیگر ساختمان‌های جدید و موجود باید شامل زیرساخت‌هایی با بام‌های سبز، دیوارها، نماها، پارکینگ‌های سبز، پیاده‌روهای نگهدارنده آب و راه‌های سایه‌دار باشند که مزایای ثابت شده‌ای در کاهش جزیره گرمایی شهری دارند. ادغام مواد پایدار و سازگار با محیط زیست در محیط ساخته‌شده، مانند سیستم‌های نوآورانه خیابان‌ها و روسازی‌ها، انواع مواد پوشش‌دهنده، و استفاده از وسایل کارآمد انرژی، مزایای متعددی را در کاهش جزیره گرمایی شهری را به‌همراه داشته است و بسیار مؤثر بودن آنها ثابت شده است (Irfeey et al., 2023). درختان و پوشش گیاهی، بام سبز، پیاده‌رو و آلبیدو در نواحی شهری همه اقداماتی هستند که به کاهش اثر جزیره گرمایی شهری کمک می‌کنند (Gago et al., 2013). به‌طور کلی راهکارهای مختلفی برای مدیریت جزیره گرمایی شهری پیشنهاد شده است، از جمله استفاده از پوشش گیاهی، بام‌های سبز و افزودن فضاهای سبز در شهرها، بهبود زیرساخت‌های شهری مانند روسازی‌های خنک و سیاست‌های مدیریت رواناب، توسعه سیاست‌ها و مقررات مرتبط با استفاده از مصالح ساختمانی با خاصیت بازتابندگی بالا و استفاده از فناوری‌های کاهنده اثرات گرمایش جهانی و در نهایت مهم است تمامی این اقدامات تحت پوشش سیاست‌های هماهنگ و تعاملی قرار گیرند و با مشارکت افراد، سازمان‌ها و دولت‌ها به‌اجرای شدن بپردازند.

- این پژوهش با استفاده از تحلیل بیبلیومتریک و نرم‌افزار VOSviewer، به بررسی جامع راهکارهای کاهش جزایر گرمایی شهری پرداخته و یافته‌های مهمی را در بخش‌های مختلف ارائه کرده است. بر اساس خوشه‌های موضوعی، راهبردهای اصلی کاهش جزیره گرمایی شهری شامل زیرساخت‌های سبز، مصالح بازتابنده و خنک‌کننده، تحلیل‌های فضایی و اقلیمی، و سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری است. این راهبردها در مقالات پراستناد و کلیدواژه‌های نوظهور برجسته هستند و نشان‌دهنده رویکرد ترکیبی برای کاهش دما، مصرف انرژی، و بهبود کیفیت هوا است. نویسندگان تأثیرگذار از جمله "Pisello, Anna Laura" (۱۲ سند، ۶۲۴ استناد)، "Wang, Zhi-Hua" (۹ سند، ۱۱۸۲ استناد) و "Akbari, Hashem" (۹ سند، ۱۱۲۵ استناد) به‌عنوان تأثیرگذارترین نویسندگان از نظر تعداد اسناد و استنادات شناخته می‌شوند. همچنین "Bou-Zeid, Elie" (۱۶۰۷ سند، ۱۶۰۷ استناد)، علی‌رغم تعداد اسناد کمتر، از نظر تأثیرگذاری علمی برجسته است. تحلیل co-author by country نشان می‌دهد که ایالات متحده (۱۴۲ سند، ۸۷۷۰ استناد)، چین (۱۳۸ سند، ۵۷۸۲ استناد)، و ایتالیا (۷۸ سند، ۲۸۸۹ استناد) پیشروترین کشورها هستند. همکاری‌های قوی بین ایالات متحده و چین، و همچنین بین کشورهای اروپایی (مثل بریتانیا و آلمان) وجود دارد. الگوی جغرافیایی نشان‌دهنده تمرکز تحقیقات در مناطق توسعه‌یافته (آمریکای شمالی، اروپا، و آسیای شرقی) است. رشد تدریجی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ (کمتر از ۱۰ سند)، رشد شتابان از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ (تا ۸۰ سند)، و اوج‌گیری شدید از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ (تا بیش از ۱۲۰ سند) است. دوره‌های اوج تولید دانش در ۲۰۲۰-۲۰۲۱ و ۲۰۲۳-۲۰۲۴ هستند، که با افزایش توجه به تغییرات اقلیمی و راهکارهای پایدار هم‌راستا است.

## منابع

- Abdulateef, M. F., & Al-Alwan, H. A. (2022). The effectiveness of urban green infrastructure in reducing surface urban heat island. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(1), 101526. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.06.012>
- Abedini, Asghar, Azmoon, Mojtaba, Azarkish, Kiarash, & Moshtaghi, Sina. (2023). Reducing the Effects of Urban Heat Islands through Cool Pavement Materials (Case Study: Region 8 of Tabriz Metropolis). *Urban Sustainable Development*, 4(13), 105-128. <https://doi.org/10.22034/usd.2024.2008122.1092>
- 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>
- Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and buildings*, 133, 834-842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>
- Battisti, A., Laureti, F., Zinzi, M., & Volpicelli, G. (2018). Climate mitigation and adaptation strategies for roofs and pavements: A case study at Sapienza University Campus. *Sustainability*, 10(10), 3788. <https://doi.org/10.3390/su10103788>
- Degirmenci, K., Desouza, K. C., Fieuw, W., Watson, R. T., & Yigitcanlar, T. (2021). Understanding policy and technology responses in mitigating urban heat islands: A literature review and directions for future research. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102873. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102873>
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Guindon, S. M., & Nirupama, N. (2015). Reducing risk from urban heat island effects in cities. *Natural Hazards*, 77, 823-831. DOI: [10.1007/s11069-015-1627-8](https://doi.org/10.1007/s11069-015-1627-8)
- Hatami, M., Sabour, M. R., & Nikrouvan, M. (2022). A bibliometric analysis of research conducted on incineration ash during 2000 to 2020. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 54(8), 3025-3040. <https://doi.org/10.22060/ceej.2022.20084.7339>
- He, B. J., Wang, W., Sharifi, A., & Liu, X. (2023). Progress, knowledge gap and future directions of urban heat mitigation and adaptation research through a bibliometric review of history and evolution. *Energy and Buildings*, 287, 112976. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112976>

- Huang, Q., & Lu, Y. (2018). Urban heat island research from 1991 to 2015: a bibliometric analysis. *Theoretical and applied climatology*, 131, 1055-1067. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2025-1>
- Irfeey, A. M. M., Chau, H. W., Sumaiya, M. M. F., Wai, C. Y., Muttill, N., & Jamei, E. (2023). Sustainable mitigation strategies for urban heat island effects in urban areas. *Sustainability*, 15(14), 10767. <https://doi.org/10.3390/su151410767>
- Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Emanche, V. O., & Quasem Al-Amin, A. (2017). An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1600. DOI: [10.3390/ijerph14121600](https://doi.org/10.3390/ijerph14121600)
- Liu, C., Lu, S., Tian, J., Yin, L., Wang, L., & Zheng, W. (2024). Research Overview on Urban Heat Islands Driven by Computational Intelligence. *Land*, 13(12), 2176. <https://doi.org/10.3390/land13122176>
- Mirzaei, P. A. (2015). Recent challenges in the modeling of urban heat islands. *Sustainable cities and society*, 19, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>
- Nuruzzaman, M. (2015). Urban heat island: causes, effects and mitigation measures review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 67-73. DOI: [10.11648/j.ijema.20150302.15](https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15)
- Picari, V., & Dervishi, S. (2019). Analysis of urban heat Island phenomenon and mitigation strategies for Tirana, Albania. In *Proceedings of the 16th IBPSA Conference* (pp. 2-4). DOI: [10.26868/25222708.2019.211334](https://doi.org/10.26868/25222708.2019.211334)
- Pinheiro, C., Landi Jr, S., Lima Jr, O., Ribas, L., Hammes, N., Segundo, I. R., ... & Carneiro, J. (2023). Advancements in phase change materials in asphalt pavements for mitigation of urban heat island effect: Bibliometric analysis and systematic review. *Sensors*, 23(18), 7741. DOI: [10.3390/s23187741](https://doi.org/10.3390/s23187741)
- Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., & Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.12.002>
- Tofighi, Armin, Tanzadeh, Rashid, & Moghadas Nejad, Fereydoon. (2023). Understanding and Mitigating the Destructive Phenomenon of Urban Heat Islands with an Approach to Investigating Road Pavement. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 55(9), 1733-1752. <https://doi.org/10.22060/ceej.2023.21359.7694>
- Xiong, L., & He, B. J. (2022, September). Analytical framework for the analysis of co-benefits, conflicts, and trade-offs of urban heat mitigation strategies. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1078, No. 1, p. 012133). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012133>