

## بررسی تحولات پژوهش‌های جهانی تاب‌آوری شهری و هم‌پیوندی آن با انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم: یک مطالعه علم‌سنجی (۲۰۰۰-۲۰۲۵)

شهریار رضایی<sup>۱</sup>؛ مریم ترکمن<sup>۲</sup>؛ مصطفی بهزادفر<sup>۳\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲. دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۳. استاد گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

### چکیده

تاب‌آوری شهری در قرن بیست‌ویکم به عنوان پارادایمی کلیدی برای مقابله با تنش‌ها و مخاطرات ناشی از تغییرات اقلیمی مطرح شده است. پیوند آن با انرژی‌های تجدیدپذیر ضرورتی بنیادین دارد، زیرا زیرساخت‌های انرژی پاک فرایند کربن‌زدایی را تسهیل می‌کنند. این پژوهش با هدف ترسیم تحول علمی در پیوند سه‌گانه «تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم» طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ انجام شد. داده‌ها از پایگاه Scopus با جست‌وجوی (TITLE-ABS-KEY) پیرامون «urban resilience، renewable energy و climate change» استخراج و پس از یکپارچه‌سازی هم‌معناها (نظیر PV/photovoltaic و NBS/green infrastructure) و حذف تکراری‌ها پاک‌سازی شدند. مجموعه‌نهایی شامل ۴۶۰ رکورد است؛ توزیع موضوعی نشان می‌دهد علوم محیطی (<400)، علوم اجتماعی (280) و انرژی (150) بیشترین سهم را دارند. روند انتشارات از ۲۰۱۵ بیش از سه برابر رشد یافته و در ۲۰۲۴ به حدود ۸۰ و در ۲۰۲۵ به بیش از ۱۱۰ مقاله رسیده است. از نظر جغرافیایی، چین و ایالات متحده پیش‌تاز هستند و هند و ایران به عنوان بازیگران نوظهور نقش فزاینده‌ای یافته‌اند. تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در VOSviewer سه خوشه غالب را آشکار کرد: (۱) تاب‌آوری تغییر اقلیم و مدیریت ریسک، (۲) حکمرانی، عدالت و سیاست انرژی، (۳) ریزاقلیم شهری، سنجش‌ازدور و ریخت‌شناسی شهری. این حوزه از مباحث مفهومی به کاربردهای اجرایی همچون زیرساخت‌های سبز و اقلیم‌شناسی داده‌محور تغییر جهت داده است. شکاف‌های موجود شامل فقدان شاخص‌های یکپارچه «تاب‌آوری - انرژی - اکوسیستم»، گسست مقیاسی ساختمان شهر و کم‌نمایی عدالت انرژی است. این مطالعه نقشه‌ای کمی و بازتولیدپذیر ارائه کرده و در سطح سیاست‌گذاری، بر ادغام راهکارهای مبتنی بر طبیعت با سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر، استقرار شبکه پایش ریزاقلیم شهری و نهادینه‌سازی عدالت انرژی در برنامه‌ریزی شهری تأکید دارد.



### COPYRIGHTS

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



### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Rezaee Sh. Torkaman M. Behzadfar M. Analyzing global research trends in urban resilience and its nexus with renewable energy and climate change: a bibliometric study (2000-2025). *Urban Economics and Planning* 7(3):44-65.

DOI: [10.22034/uep.2025.551762.1733](https://doi.org/10.22034/uep.2025.551762.1733)

نویسنده مسئول: behzadfar@iust.ac.ir

### کلمات کلیدی

انرژی‌های تجدیدپذیر  
تاب‌آوری شهری  
تغییر اقلیم  
مدیریت ریسک سیلاب  
هم‌رخدادی

## ۱. مقدمه

رشد شتابان شهرنشینی، افزایش تقاضای انرژی و تشدید آثار تغییر اقلیم، تاب‌آوری شهری را به یکی از محورهای اصلی سیاست‌ها و برنامه‌های جهانی تبدیل کرده است (UN, 2019; IPCC, 2022). در قرن‌های اخیر، به‌ویژه در سده بیست و یکم، گسترش جوامع انسانی و روند فزاینده صنعتی شدن به عنوان شاخصی از پیشرفت اقتصادی و اجتماعی در نواحی شهری، پیامدهای زیست‌محیطی و فشارهای قابل توجهی بر منابع طبیعی به جا گذاشته است (Torkaman & Jaliliasdrabad, 2024). هم‌زمان، اندیشه درباره اهمیت و ارزش محیط زیست سابقه‌ای به قدمت تاریخ جوامع انسانی دارد و در عصر حاضر، این اهمیت بیش از پیش برجسته شده است؛ به گونه‌ای که نقش انسان در مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی و ارائه راه‌حل‌های کارآمد برای آن‌ها، کانون توجه فزاینده متخصصان و سیاست‌گذاران قرار گرفته است (Salaripour et al., 2025; Salaripour & Zareh, 2019). در چنین بستری، مفهوم تاب‌آوری شهری از رویکرد سنتی «بازگشت‌پذیری» فراتر رفته و به چارچوبی تحول‌گرا برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، ارتقای عدالت انرژی و دستیابی به پایداری بلندمدت بدل شده است (Elmqvist et al., 2019; McPhearson et al., 2015; Romero & Lankao & Gnatz). هم‌زمان، ادبیات علمی به سمت بررسی پیوندهای میان تاب‌آوری، تغییر اقلیم و گذار انرژی حرکت کرده است. با تثبیت چارچوب‌های طبیعت‌محور و زیرساخت سبز در مقیاس شهری، پژوهش‌های جدید به ترکیب فناوری‌های پاک با راه‌حل‌های زیست‌پایه در سطوح ساختمان و محله پرداخته‌اند (Fleck et al., 2022). با این حال، مرور نظام‌مند مطالعات نشان می‌دهد تنها بخش محدودی از آثار (حدود ۱۱ درصد) به طور مستقیم به بُعد انرژی پرداخته‌اند و این امر، هم‌راستا سازی راهبردهای NBS و حاکمیت شهری با گذار انرژی را محدود می‌کند (Schlör et al., 2018). در مواجهه با سناریوهای تشدید گرما و سیلاب، پیوند میان تاب‌آوری و انرژی در سطح شبکه‌ها و ریزشکبه‌ها بیش از پیش اهمیت یافته است (Rafael et al., 2016; Ottenburger et al., 2024). از منظر سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی سازگار با اقلیم باید تلفیق مؤلفه‌های NBS/GI با فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر شهری (نظیر سامانه‌های PV بامی، بام‌های بایو سولار و تبدیل پسماند به زیست انرژی) را دنبال کند تا تاب‌آوری هم‌زمان اقلیمی و انرژی تقویت شود (Yu et al., 2017; Tablada & Zhao, 2016; Fleck et al., 2022). با وجود این پیشرفت‌ها، چند خلأ اساسی در ادبیات باقی است: کم‌توجهی به پیوند نظام‌مند تاب‌آوری شهری و انرژی (Ahern et al., 2021; Romero-Lankao & Gnatz, 2022), گسست مقیاسی میان سطح ساختمان - محله - شهر (Güneralp et al., 2021; Hsu et al., 2023), فقدان شاخص‌های ترکیبی برای سنجش هم‌زمان تاب‌آوری، کارایی انرژی و خدمات اکوسیستم (Sharifi et al., 2022; Meerow & Stults, 2021) و حکمرانی در انرژی توزیع‌شده (Anguelovski et al., 2023; Rice et al., 2022). و شکاف در ترجمان علم به سیاست با وجود داده‌های کلان و سامانه‌های پایش (McPhearson et al., 2023; Chu et al., 2022). بر این اساس، هدف پژوهش حاضر انجام یک مطالعه علمی-سنجی جامع در بازه زمانی ۲۰۰۰ - ۲۰۲۵ است تا مسیر تحول مفهومی و کاربردی، خوشه‌های موضوعی، بازیگران اثرگذار و شکاف‌های پژوهشی در پیوند «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های

## ۲. پیشینه تحقیق

در دهه اخیر، ادبیات تاب‌آوری شهری از رویکردهای واکنشی به چارچوب‌های تحولی و یکپارچه با سیاست‌های اقلیمی و گذار انرژی حرکت کرده است. جریان راه‌حل‌های طبیعت‌محور به‌ویژه در پیوند با تاب‌آوری سیلابی و مدیریت ریسک، وارد چارچوب‌های ارزیابی و تصمیم‌سازی شده، اما همچنان نیازمند ابزارهای «ترکیب‌گر» برای وصل کردن سنج‌های ریسک، خدمات اکوسیستم و برنامه‌ریزی شهری است. این چرخش مفهومی به‌روشنی نشان می‌دهد تاب‌آوری مؤثر، بدون اتصال به ابزارهای سیاستی و داده‌محور (مشاهده‌پذیری زمین، سنج‌های ریسک و چارچوب سندی) به

نتیجه پایدار نمی‌رسد (de MacEdo et al., 2025; Pirrone et al., 2022). هم‌زمان، ادبیات جدید بر «عدالت» به عنوان مؤلفه‌ی جدایی‌ناپذیر تاب‌آوری تأکید می‌کند. مطالعات ۲۰۲۴ - ۲۰۲۵ نشان می‌دهند نابرابری در معرض گرما و دسترسی به مزایای زیرساخت سبز، پیامدهای فضایی - اجتماعی مهمی دارد و باید با شاخص‌های توزیعی سنجش شود (Zhang et al., 2025; Gallez et al., 2024). مرورهای انتقادی نیز خلأهای نظام‌مند در «عدالت دسترسی» به خدمات اکوسیستم و تفاوت‌های طبقاتی - مکانی را برجسته می‌کنند و هشدار می‌دهند که بدون پیوست عدالت، مداخلات تاب‌آوری می‌توانند ناخواسته نابرابری را تشدید کنند (Haque & Sharifi, 2024). در قلمرو «تاب‌آوری در برابر گرمایش»، ادبیات تازه به پیوند دقیق میان طراحی شهری، ریزاقلیم و تقاضای انرژی نزدیک شده است. پژوهش‌های ۲۰۲۲ - ۲۰۲۵ نشان می‌دهند نگاهت دانهریز جزیره گرمایی و موج گرما، برای برآورد عملکرد حرارتی ساختمان و مدیریت اوج بار برق حیاتی است؛ در غیر این صورت، مدل‌های انرژی شهری دچار خطا و تعمیم‌پذیری محدود می‌شوند (Karimi et al., 2022; Xu et al., 2022). این یافته‌ها بر ضرورت داده‌های محلی، کالیبراسیون مدل‌ها و ادغام «اطلاعات ریز اقلیمی» در ارزیابی‌های تاب‌آوری تأکید دارند (Xu et al., 2022). ادغام فناوری‌های تجدیدپذیر با NBS در مقیاس ساختمان - محله، یکی از مسیرهای نویدبخش است. شواهد تجربی بام‌های «بایو سولار» نشان می‌دهد هم‌نشینی بام سبز و فتوولتائیک می‌تواند بازده الکتریکی را بهبود بخشد و هم‌زمان دمای سطح بام و بار سرمایشی را کاهش دهد؛ البته دامنه اثر به اقلیم، آبیاری و چیدمان وابسته است و طراحی زمینه‌محور را ایجاب می‌کند، این دستاوردها، حلقه اتصال میان کارایی انرژی ساختمان و منافع اکولوژیک را تقویت می‌کند و به شاخص‌های چندبعدی عملکرد نیاز دارد (Fleck et al., 2022). در مقیاس شبکه، موج رخدادهای حادی و آسیب‌پذیری زیرساخت، توجه را به ریزشبکه‌ها و انرژی توزیع‌شده جلب کرده است. چارچوب‌های ۲۰۲۴ در Nature Sustainability نشان می‌دهند طراحی یکپارچه ریزشبکه‌ها می‌تواند تاب‌آوری خدمات حیاتی را افزایش دهد، اما اگر ابعاد عدالت فضایی و حکمرانی مشارکتی لحاظ نشود، خطر «مرزبندی انرژی» و بازتولید نابرابری وجود دارد (Otten burger et al., 2024). در سطح شهر نیز هم‌راستاسازی اهداف «کاهش کربن» و «تاب‌آوری» و شناسایی محرک‌های هم توسعه این دو، به‌ویژه در شهرهای بزرگ، به دستور کار پژوهش تبدیل شده است (Zhou et al., 2025). در سیاست‌گذاری و پیاده‌سازی، دو خط موازی در حال نزدیک شدن‌اند: یکی ادغام NBS در محلات کم‌برخوردار و اقتصاد غیررسمی (مانند مدیریت پسماند الکترونیک)، و دیگری رتبه‌بندی اولویت زیرساخت سبز با معیارهای برابری دسترسی و چند محرکه (Asibey & Cobbinah, 2025; Dong et al., 2024). این رویکردها نشان می‌دهند موفقیت تاب‌آوری، علاوه بر اثربخشی فنی، به تناسب زمینه اجتماعی - نهادی و سنجش‌های عدالت وابسته (Dong et al., 2024; Haque & Sharifi, 2024) با وجود دستاوردهای قابل توجه سال‌های اخیر، همچنان چند چالش بنیادین باقی است. نخست، «انرژی» در بخش بزرگی از پژوهش‌های تاب‌آوری شهری در مقایسه با موضوعات اقلیم و راهکارهای مبتنی بر طبیعت کمتر مورد توجه نظام‌مند قرار گرفته است. دوم، ارزیابی‌ها و مدل‌های موجود هنوز با گسست مقیاسی روبه‌رو هستند و پیوند میان سطوح ساختمان، محله و کل شهر به اندازه کافی یکپارچه نشده است. سوم، شاخص‌هایی که بتوانند هم‌زمان ابعاد تاب‌آوری،

کارایی انرژی و عملکرد اکوسیستم را در یک چارچوب مشترک بسنجند، هنوز استاندارد و تثبیت نشده‌اند و چهارم، عدالت فضایی و اجتماعی در طراحی فناوری‌های توزیع‌شده و مداخلات سبز به اندازه‌ای که برای یک گذار عادلانه ضروری است در نظر گرفته نمی‌شود. مطالعه علم‌سنجی حاضر (۲۰۲۵ - ۲۰۰۰) با پیش‌روندهای علمی، شناسایی خوشه‌های موضوعی و بازیگران کلیدی، می‌تواند این ضعف‌ها را آشکار و مسیر همگرایی مؤثر میان راهکارهای طبیعت‌محور، انرژی‌های تجدیدپذیر و ریزشبکه‌ها و همچنین، عدالت اقلیمی - انرژی را روشن سازد (de MacEdo et al., 2025; Otten burger et al., 2024; Zhang et al., 2025). این پژوهش شکاف معنا‌داری در ادبیات موجود را هدف می‌گیرد. برهم‌کنش سه‌گانه «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» تا کنون عمدتاً به صورت تک‌بعدی یا پراکنده بررسی شده است. در این مطالعه، با اجرای یک علم‌سنجی کمی بازتولیدپذیر بر مجموعه جهانی انتشارات طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵، تحول مفهومی حوزه صورت‌بندی و بعد «انرژی» به طور نظام‌مند در کانون تحلیل قرار گرفته است؛ از استانداردسازی واژگان انرژی‌محور (کارایی انرژی، ریزشبکه‌ها، فتوولتائیک) تا تحلیل هم‌رخدادی در برش‌های زمانی متعدد. نوآوری دوم، رهگیری تکامل مفهومی در مقیاس‌های چندگانه است. از ساختمان و محله تا شهر و شبکه‌های توزیع به منظور رفع گسست‌های مقیاسی رایج. در گام سوم، پیوند مفهومی انرژی با عدالت، حکمرانی و راهکارهای مبتنی بر طبیعت، از طریق تحلیل شبکه هم‌نویسندگی/هم‌استنادی برقرار و «گره‌های میانجی» که خوشه‌های پژوهشی را به هم متصل می‌کنند شناسایی شده است. افزون بر ترسیم نقشه دانش، مجموعه‌ای از شاخص‌های یکپارچه «تاب‌آوری - انرژی - اکوسیستم» پیشنهاد می‌شود که قابلیت سنجش، مقایسه و به‌کارگیری سیاستی دارد و با چارچوب‌های بین‌المللی هم‌راستاست. در نهایت، تبدیل داده‌های کتاب‌سنجی به نقشه‌های کاربردی هم‌رخدادی و همکاری، شکاف علم - سیاست را به نحو عملیاتی کاهش می‌دهد و مسیرهای اولویت‌دهی سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری، حوزه‌های کمترپوشش‌یافته و مسیر همگرایی راهکارهای مبتنی بر طبیعت، انرژی توزیع‌شده و عدالت اقلیمی را آشکار می‌سازد. برآیند آنکه نوآوری این پژوهش هم در سطح موضوعی (ادغام هدفمند ابعاد انرژی و عدالت در قلب تاب‌آوری شهری) و هم در سطح روش و خروجی (رهگیری میان‌مقیاسی تحول مفهومی و ارائه شاخص‌ها و نقشه‌های سیاست‌پذیر) قابل دفاع است.

### ۳. مبانی نظری

#### ۳.۱. چارچوب‌های مفهومی پیوند تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم

ادبیات معاصر به‌روشنی نشان می‌دهد پیوند میان «تاب‌آوری - انرژی - اقلیم» زمانی معنا و کارکرد واقعی می‌یابد که از نگاه‌های بخشی و موضوع‌محور فراتر رود و در چارچوب‌های جامع‌تری برای تحلیل ساختار دانشی، بازیگران کلیدی و جریان‌های فکری تبیین شود. مرور نظام‌مند و پرارجاع مجله Sustainable Cities and Society در حوزه تاب‌آوری شهری، این گذار پارادایمی را از رویکردهای واکنشی و بازگشت‌محور به سمت الگوهای تحولی، سیاست‌پذیر و میان‌بخشی مستند کرده است؛ الگویی که امکان ترسیم نقشه‌های دقیق از کانون‌های داغ پژوهش و حوزه‌های کمتر

مورد توجه را فراهم می‌سازد. در این رویکرد نوین، تاب‌آوری دیگر فقط به ارتقای زیرساخت‌ها یا مدیریت بحران محدود نمی‌شود، بلکه هم‌راستاسازی آن با اهداف کاهش کربن، ارتقای کارایی انرژی و تحقق عدالت فضایی - اجتماعی ضرورتی بنیادین تلقی می‌شود. از منظر سازوکار مفهومی، دو چارچوب اصلی به عنوان ریل‌های مکمل برای پیوند میان سیاست‌های اقلیمی و گذار انرژی در شهرها شناخته می‌شوند: «چارچوب‌های مبتنی بر پیامد خسارت و ریسک» و «چارچوب‌های هم توسعه سیاست» (Büyükközkcan et al., 2022). نمونه نخست، مدل‌های سیستم‌محور مبتنی بر آسیب هستند که با سنجش تاب‌آوری شهری در مواجهه با بارش‌های حدی، مسیر تبدیل مخاطره اقلیمی به شاخص آسیب و در نهایت به گزینه‌های کاهش ریسک را نظام‌مند می‌کنند (Zhang et al., 2023). در مقابل، رویکرد دوم یعنی «چارچوب هم‌تولید بازتابی» بر تعامل میان ذی‌نفعان - از جمله مدیریت شهری، جوامع محلی و نهادهای دانشگاهی - تأکید دارد و از رهگذر این تعامل، به کاهش شکاف علم و سیاست و ترجمان دانش به راه‌حل‌های اجرایی یاری می‌رساند (Bixler et al., 2022). هر دو الگو، بستر مفهومی مشترکی برای هم‌پیوندی گذار انرژی با تاب‌آوری اقلیمی و توسعه سازوکارهای سیاست‌گذاری یکپارچه فراهم می‌آورند. افزون بر این، جایگاه زیرساخت‌های انرژی توزیع‌شده و ریزشبکه‌ها در ادبیات اخیر به طور فزاینده‌ای برجسته شده است. پژوهش منتشرشده در Nature Sustainability با تمرکز بر «طراحی‌های یکپارچه ریزشبکه‌های شهری» نشان می‌دهد می‌توان شاخص‌های فنی تداوم خدمات انرژی را با مؤلفه‌های عدالت اجتماعی، حکمرانی مشارکتی و تاب‌آوری زیرساختی در یک مدل مفهومی واحد تلفیق کرد؛ با این حال هشدار می‌دهد که بی‌توجهی به ابعاد عدالت فضایی می‌تواند به شکل‌گیری «مرزبندی انرژی» و بازتولید نابرابری‌های شهری بینجامد (Ottenburger et al., 2024). برآیند این یافته‌ها نشان می‌دهد چارچوب‌های یادشده، نقطه عزیمت مناسبی برای تحلیل علم‌سنجی حوزه «تاب‌آوری - انرژی - اقلیم» به شمار می‌آیند. نقشه‌برداری از خوشه‌های مفهومی، شناسایی بازیگران میانجی و ردیابی مسیرهای ادغام واقعی میان تاب‌آوری، انرژی و اقلیم، می‌تواند تصویری نظام‌مند از پویایی‌های دانشی این حوزه ارائه دهد و بنیانی تجربی برای توسعه سیاست‌های شهری یکپارچه و آینده‌نگر فراهم سازد.

### ۲.۳. رهیافت‌های نظری در تبیین همگرایی NBS، گذار انرژی و تاب‌آوری اقلیمی

راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) طی سال‌های اخیر از سطح «اقدام‌های سبز» فراتر رفته و به چارچوبی نظری - کاربردی برای همگرایی با مدیریت ریسک اقلیمی و گذار انرژی تبدیل شده‌اند. مرور چارچوب‌پردازی Journal of Environmental Management نشان می‌دهد توانمندسازی NBS مستلزم سه پیشران است: شواهد کمی از کارایی اقلیمی - انرژی، طراحی و مالی‌سازی زمینه‌محور، و سازوکارهای هم‌تولید سیاستی با ذی‌نفعان (Adu Boateng et al., 2023). از سوی دیگر، مطالعات موردی نشان داده‌اند محرک‌ها/بازدارنده‌های استقرار NBS به بافت نهادی - اجتماعی و ظرفیت‌های اجرایی شهر وابسته‌اند. پژوهش Land درباره «مرزها و محرک‌های اجرا» در سوئیا، لزوم توجه به هم‌ترازی NBS با برنامه‌ریزی کاربری زمین، ابزارهای حقوقی و اجماع محلی را برجسته می‌کند (Hidalgo-García et al., 2022). هم‌زمان، ادبیات عدالت توزیعی نشان داده که

منافع NBS در فضاهای شهری به طور یکنواخت توزیع نمی‌شود؛ بنابراین سنجش‌های عدالت باید در کنار سنجش‌های اقلیمی - زیست‌بومی در ارزیابی‌ها وارد شوند (Gallez et al., 2024). مطالعه تمام‌مقیاس «بایو سولار» نشان می‌دهد تلفیق بام سبز و فتوولتائیک می‌تواند با سردسازی ریزاقلیم بام، بازده الکتریکی پنل‌ها را افزایش دهد و بار سرمایشی را کاهش دهد؛ با این حال دامنه اثر به اقلیم، نگهداشت و آرایش بستگی دارد و طراحی زمینه‌محور را ایجاب می‌کند (Fleck et al., 2022).

### ۳.۳. سامانه اجتماعی - بوم‌شناختی - فنی (SETS) در سنجش تاب‌آوری انرژی‌محور

رویکرد SETS تأکید می‌کند که تاب‌آوری شهری برآیند برهم‌کنش سه بخش است: ساختارهای اجتماعی - حکمرانی، فرایندهای بوم‌شناختی/ریزاقلیمی و زیرساخت‌های فنی - انرژی. در بعد فنی - اقلیمی، مدل‌سازی دانه‌ریز جزیره گرمایی شهری و خطر گرما نشان داده که الگوهای ریسک ناهمگن‌اند و سیاست‌های یک نسخه‌ای کفایت ندارند (Pappalardo et al., 2023). در مقیاس کلان‌تر، مقایسه مدل‌های آماری و یادگیری ماشین در Science of the Total Environment نشان داده که برای برآورد دقیق UHI، داده‌های محلی و متغیرهای زمینه‌ای باید به طور صریح وارد شوند (Oukawa et al., 2022). پیوند SETS با انرژی زمانی کامل می‌شود که ریزاقلیم و انرژی ساختمان/شبکه به طور هم‌زمان سنجیده شوند. مطالعه Sustainable Cities and Society نشان می‌دهد وارد کردن اطلاعات ریزاقلیمی محلی در مدل‌های انرژی ساختمان می‌تواند خطای برآورد تقاضا به‌ویژه در اوج‌های گرمایی را کاهش دهد و برای مدیریت اوج بار در شبکه حیاتی است (Xu et al., 2022). در سطح شاخص‌گذاری، چارچوب «نمایه جامع تاب‌آوری» در Ecological Indicators، ادغام سنجش‌های کالبدی - اجتماعی - زیست‌بومی را برای ارزیابی تاب‌آوری منطقه مادرید ارائه می‌کند و قابل بومی‌سازی برای سنجش‌های انرژی‌محور است (Suárez et al., 2024). در نهایت SETS با «زیرساخت‌های انرژی توزیع‌شده» کامل می‌شود: ریزشبکه‌های شهری به‌منابه سازوکار فنی ارتقای تداوم خدمات حیاتی در رخدادهای حدی، زمانی واقعاً تاب‌آور تلقی می‌شوند که شاخص‌های حکمرانی مشارکتی و عدالت فضایی در طراحی لحاظ شوند (Ottenburger et al., 2024). از منظر علم‌سنجی، به این معناست که در نقشه‌های هم‌رخدادی و هم‌استنادی، باید انتظار ظهور خوشه‌های پیونددهنده «UHI ریزاقلیم - انرژی ساختمان/شبکه - حکمرانی/عدالت» را داشته باشیم و نویسندگان/نهادهای میانجی با مرکزیت بین‌بخشی بالا را شناسایی کنیم.

### ۴. روش تحقیق

پژوهش حاضر با رویکرد علم‌سنجی و با هدف ترسیم تصویری جامع از روند تحول جهانی در پیوند سه‌گانه «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» انجام شده است. انتخاب رویکرد علم‌سنجی به دلیل ماهیت میان‌رشته‌ای و سیاست‌محور موضوع و نیز به منظور شناسایی الگوهای علمی، روندهای موضوعی و شبکه‌های همکاری بین‌المللی صورت گرفت. طراحی روش پژوهش بر مبنای اصول شفافیت، بازتولیدپذیری و دقت تحلیلی انجام شد تا تمامی مراحل از جست‌وجو تا تحلیل شبکه‌ای قابل‌ارزیابی و تکرار توسط پژوهشگران دیگر باشد. منبع داده‌های

این پژوهش پایگاه Scopus است که به دلیل پوشش گسترده مجلات بین‌المللی، ساختار استاندارد داده‌ها و سازگاری بالا با نرم‌افزارهای تحلیل علم‌سنجی VOSviewer انتخاب شد. داده‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ با هدف پوشش سه مرحله اصلی تحول در این حوزه انجام گرفت: شکل‌گیری مفهوم تاب‌آوری شهری در دهه ۲۰۰۰، گسترش فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه ۲۰۱۰، و شتاب‌گیری سیاست‌های جهانی اقلیمی پس از توافق پاریس. در مجموع، این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های معتبر پایگاه Scopus، فرایند پاک‌سازی نظام‌مند، و تحلیل‌های شبکه‌ای مبتنی بر نرم‌افزار VOSviewer، تصویری جامع و قابل اتکا از پویایی‌های علمی و سیاستی در تقاطع تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم ارائه می‌کند. این رویکرد، ضمن تلفیق تحلیل‌های کمی و کیفی، بستری علمی برای تبیین روندهای پژوهشی، شناسایی شکاف‌های دانشی و جهت‌گیری‌های آینده در راستای توسعه شهرهای تاب‌آور، کم‌کربن و عدالت‌محور فراهم می‌سازد.

#### ۱.۴. شاخص‌های پایه‌ای

اطلاعات کلی بازبایی شده شامل شاخص‌هایی همچون وابستگی سازمانی، نویسندگان، کشور، منبع انتشار، موضوع و سال انتشار بود که مستقیماً از خود پایگاه اسکوپوس استخراج و به صورت توصیفی ارائه شد تا نمایی از توزیع جغرافیایی، نهادی و زمانی حوزه به دست آید. این بخش، تصویر پایه‌ای از رشد تولیدات علمی، منابع فعال و پراکنش مکانی و موضوعی پژوهش‌ها فراهم ساخت.

#### ۲.۴. تحلیل شبکه‌ای

برای کشف ساختارهای دانشی و روابط مفهومی، از ابزار VOS viewer استفاده شد. دو نوع تحلیل اصلی بر اساس داده‌های آماده‌شده انجام شد:

- تحلیل هم‌نویسندگی (Co-authorship): در سطح نویسندگان و کشورها به منظور شناسایی شبکه‌های همکاری علمی و تعیین قدرت پیوندها خروجی این تحلیل به صورت سه نقشه مجزا ارائه شد که شبکه همکاری، خوشه‌بندی پژوهشگران و ارتباطات میان کشورها را نشان می‌دهد.
- تحلیل هم‌رخداد (Co-occurrence): برای آشکارسازی خوشه‌های موضوعی و تحول مفهومی حوزه، کلیدواژه‌های نویسندگان، کلیدواژه‌های نمایه‌ای و واژگان عنوان، چکیده در سه خروجی مجزا بررسی شد. برای هر لایه آستانه وقوع متناسب تعیین شد و پس از نرمال‌سازی با معیار Association Strength، خوشه‌بندی با الگوریتم داخلی VOS viewer انجام گرفت. نقشه‌های Overlay نیز برای نمایش روند تحول زمانی مفاهیم اصلی ترسیم شد.

#### ۳.۴. کنترل کیفیت و ملاحظات

تمامی مراحل پاک‌سازی داده‌ها، تنظیم آستانه‌ها و نسخه نرم‌افزار مستندسازی شد تا قابلیت بازتولید نتایج تضمین شود. محدودیت‌های احتمالی همچون سوگیری پوشش Scopus، ناهمگونی برچسب‌گذاری کلیدواژه‌ها و اتکا به متاداده در بخش بحث منعکس شد. این رویکرد روش‌شناختی، ترکیبی از آمار توصیفی اولیه و تحلیل‌های شبکه‌ای است که امکان ارائه تصویری مستند و بازتولیدپذیر از روندها، شبکه‌های علمی و تحولات مفهومی در حوزه «تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم» را فراهم می‌کند.

این پژوهش پایگاه Scopus است که به دلیل پوشش گسترده مجلات بین‌المللی، ساختار استاندارد داده‌ها و سازگاری بالا با نرم‌افزارهای تحلیل علم‌سنجی VOSviewer انتخاب شد. داده‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ استخراج شد تا تحولات علمی در دو دهه اخیر و هم‌زمان با شکل‌گیری و گسترش گفتمان تاب‌آوری شهری و سیاست‌های اقلیمی جهانی مورد بررسی قرار گیرد. راهبرد جست‌وجو به صورت نظام‌مند و بازتولیدپذیر طراحی شد. عبارت‌های جست‌وجوی کلیدی به گونه‌ای تنظیم شدند که سه محور اصلی پژوهش را به صورت هم‌زمان پوشش دهند، شامل: «تاب‌آوری شهری (urban resilience)» «انرژی‌های تجدیدپذیر (renewable energy)» و «تغییر اقلیم (climate change)» برای اطمینان از شمول کامل مطالعات مرتبط، از ترکیب منطقی عملگرهای AND و OR استفاده شد تا مقالاتی انتخاب شوند که یا به طور مستقیم به ارتباط تاب‌آوری شهری و انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته باشند، یا در بستر تغییر اقلیم به بررسی تاب‌آوری شهری بپردازند. عبارت جست‌وجوی اصلی به صورت زیر تعریف شد:

“(urban resilience” AND “renewable energy” OR “climate change”)

پس از جست‌وجو، فیلترهای تکمیلی به منظور افزایش دقت نتایج اعمال شد. بر این اساس، تنها مقالات پژوهشی و مروری با زبان انگلیسی و در حوزه‌های موضوعی مرتبط با علوم محیطی، انرژی، زمین‌شناسی و علوم اجتماعی انتخاب شدند. مقالات کنفرانسی، گزارش‌های فنی، فصل‌های کتاب و اسناد غیرانگلیسی از مجموعه حذف شدند تا یکپارچگی داده‌ها حفظ شود. در مرحله بعد، داده‌های استخراج‌شده طی یک فرایند چندمرحله‌ای پاک‌سازی و آماده‌سازی شدند. در این مرحله، رکوردهای تکراری حذف و نام نویسندگان و مؤسسه‌های پژوهشی با هدف رفع ناهماهنگی‌های نوشتاری و وابستگی نهادی، استانداردسازی شد. سپس، کلیدواژه‌ها با استفاده از فایل واژگان کنترل‌شده (Thesaurus File) در نرم‌افزار VOSviewer یکسان‌سازی شد تا از پراکندگی اصطلاحات مترادف جلوگیری شود. در این راستا، واژه‌های هم‌معنا و شکل‌های نوشتاری مختلف به صورت واحد در نظر گرفته شدند، مانند: photovoltaic / PV، green infrastructure / GI، nature-based solutions / NBS. همچنین، واژه‌های توقف (Stop Words) و اصطلاحات فاقد ارزش تحلیلی حذف شدند و عبارت‌های چندواژه‌ای مانند urban heat island و renewable energy system به صورت یکنواخت‌سازی شده وارد تحلیل شدند تا سوگیری واژگانی کاهش یابد. در پایان این مرحله، مجموعه نهایی داده‌ها شامل ۴۶۰ رکورد معتبر بود که نمایانگر تولید علمی جهانی در پیوند سه‌گانه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم است. تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار VOSviewer (نسخه ۱.۶.۲۰) انجام گرفت. این نرم‌افزار امکان ترسیم و تحلیل شبکه‌های هم‌رخدادی و هم‌نویسندگی را فراهم می‌کند. در این پژوهش، سه محور اصلی تحلیل مورد توجه قرار گرفت:

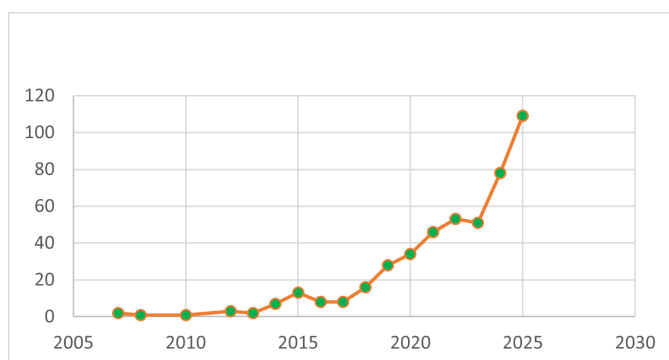
- تحلیل شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها به منظور شناسایی خوشه‌های مفهومی و روندهای موضوعی؛
  - تحلیل شبکه هم‌نویسندگی کشورها برای شناسایی الگوهای همکاری علمی و مراکز اصلی تولید دانش؛
  - بررسی روند زمانی انتشار مقالات برای تحلیل تحول کمی و کیفی در بازه مورد بررسی.
- برای تضمین اعتبار علمی و قابلیت بازتولید نتایج پژوهش، تمامی مراحل جست‌وجو، معیارهای ورود و خروج داده‌ها، فایل واژگان و

## ۵. یافته‌ها

### ۱.۵. روند رشد تولیدات علمی در حوزه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم (۲۰۰۷ - ۲۰۲۵)

گفتمان جهانی پیرامون تغییر اقلیم به‌ویژه پس از توافق پاریس ۲۰۱۵ و گزارش‌های جدید IPCC و گسترش سیاست‌های شهری مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت داد. دوره ۲۰۲۲ - ۲۰۲۳ نوعی تثبیت نسبی را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که تعداد مقالات حدود ۵۰ تا ۵۵ باقی مانده است. این مرحله ممکن است به عنوان دوران بلوغ اولیه حوزه تعبیر شود که طی آن مفاهیم اصلی تثبیت شده‌اند اما جهش تازه‌ای رخ نداده است. اوج‌گیری دوم از سال ۲۰۲۴ آغاز می‌شود. در این سال تعداد مقالات به حدود ۸۰ افزایش یافته و در ۲۰۲۵ به بیش از ۱۱۰ مقاله می‌رسد. این رشد شتابان را می‌توان بازتاب‌دهنده ادغام روزافزون سیاست‌های کربن‌کاهی در سطح شهری، گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در زیرساخت‌های توزیع‌شده و افزایش توجه به عدالت اقلیمی دانست. به این ترتیب، سال ۲۰۲۵ را می‌توان به عنوان نقطه اوج شکوفایی پژوهش در این حوزه شناسایی کرد. به طور کلی، نمودار نشان‌دهنده یک مسیر تحول تدریجی تا سال‌های ۲۰۱۸ و سپس شتاب‌گیری شدید از ۲۰۱۹ به بعد است. این الگو تطابق قابل توجهی با تحولات سیاستی و علمی جهانی دارد و اهمیت روزافزون پیوند سه‌گانه «تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم» را تأیید می‌کند.

نمودار شکل ۱، نشان‌دهنده توزیع سالانه مقالات بازیابی شده از پایگاه Scopus طی دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۵ است. در سال‌های ابتدایی (۲۰۰۷ تا حدود ۲۰۱۲)، حجم تولیدات علمی بسیار محدود بوده و در بیشتر سال‌ها کمتر از ۵ مقاله منتشر شده است. این وضعیت بیانگر آن است که در آن بازه زمانی، موضوع «تاب‌آوری شهری» هنوز به عنوان یک محور اصلی پژوهش با انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم گره نخورده بود و عمدتاً در قالب مطالعات مقدماتی یا پراکنده مطرح می‌شد. از سال ۲۰۱۳ به بعد، یک روند افزایشی تدریجی مشاهده می‌شود و نقطه عطف نخست در سال ۲۰۱۵ با ثبت حدود ۱۵ مقاله رخ داده است. با این حال، در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ کاهش نسبی مشاهده می‌شود که احتمالاً ناشی از تغییر سیاست‌های پژوهشی یا تمرکز موقت بر موضوعات جایگزین بوده است. از سال ۲۰۱۸ به بعد، حوزه مورد مطالعه شتاب بیشتری گرفته است. رشد از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ کاملاً پیوسته و صعودی است، به طوری که از کمتر از ۲۰ مقاله در ۲۰۱۸ به بیش از ۴۵ مقاله در ۲۰۲۱ رسیده است. این افزایش را می‌توان به تقویت



شکل ۱. روند انتشار مقالات مرتبط با «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» در پایگاه Scopus طی دوره ۲۰۰۷ - ۲۰۲۵

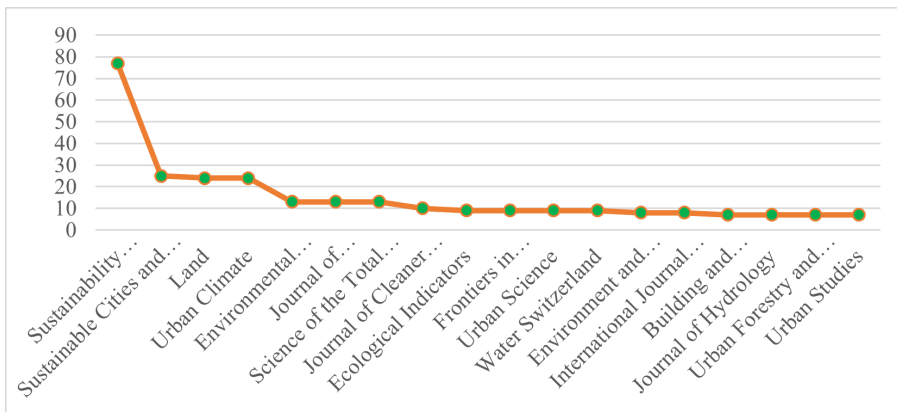
Environmental Science and Policy, Land, Climate, Journal of Science of the Total Environment و Environmental Management Environment هر یک بین ۲۰ تا ۲۵ مقاله را منتشر کرده‌اند. تمرکز این مجلات بیشتر بر ارتباط میان سیاست‌گذاری محیطی، مدیریت منابع و اثرات تغییر اقلیم است. به همین دلیل، حضور آن‌ها در این حوزه نشان می‌دهد پیوند میان تاب‌آوری شهری و سیاست‌های اقلیمی به صورت پررنگ در ادبیات علمی بازتاب یافته است. در بخش میانی و پایینی نمودار، مجلاتی مانند Journal of Cleaner Production, Ecological Indicators, Frontiers in Sustainable Cities و Water Switzerland قرار دارند که هر یک سهمی کمتر (حدود ۱۰ مقاله یا کمتر) داشته‌اند. اگرچه تعداد مقالات در این مجلات پایین‌تر است، اما موضوعات منتشرشده غالباً نوآورانه‌تر و با تأکید بر شاخص‌های ارزیابی، روش‌های کمی و سنجه‌های عملکردی بوده‌اند. این توزیع نشان می‌دهد ادبیات حوزه «تاب‌آوری - انرژی - اقلیم» در یک طیف متنوع از مجلات میان‌رشته‌ای منتشر شده است، اما تمرکز اصلی همچنان بر مجلاتی است که مأموریت آن‌ها معطوف به پایداری شهری و سیاست‌های

### ۲.۵. روند انتشار سالانه مقالات برحسب مجلات برتر در حوزه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵)

نمودار شکل ۲، توزیع مقالات منتخب در مجلات و منابع علمی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مجله Sustainability Switzerland با فاصله قابل توجهی در صدر قرار دارد و نزدیک به ۸۰ مقاله در این حوزه منتشر کرده است. این امر بازتاب‌دهنده سیاست باز و چندرشته‌ای این مجله در پذیرش موضوعات مرتبط با پایداری، انرژی و تاب‌آوری شهری است و نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از مباحث هم‌پیوندی «تاب‌آوری - انرژی - اقلیم» در قالب رویکردهای میان‌رشته‌ای در این مجله منتشر شده‌اند. در رتبه دوم، مجله Sustainable Cities and Society با حدود ۲۵ مقاله قرار دارد که به طور تخصصی به مباحث شهرهای پایدار، زیرساخت‌های تاب‌آور و فناوری‌های مرتبط می‌پردازد. نزدیکی این حوزه به موضوع اصلی مقاله نشان می‌دهد این مجله یکی از بسترهای کلیدی برای توسعه نظری و تجربی مفهوم تاب‌آوری شهری است. پس از آن، گروهی از مجلات شامل

تفسیر نتایج در نظر گرفته شود، چراکه می‌تواند نوعی سوگیری ساختاری در انتشار ادبیات ایجاد کند.

محیطی است. نکته قابل توجه، شکاف زیاد میان Sustainability و سایر منابع است که حاکی از قطبیت انتشار در یک مجله خاص و در عین حال پراکندگی متوسط در سایر منابع است. این الگو باید در

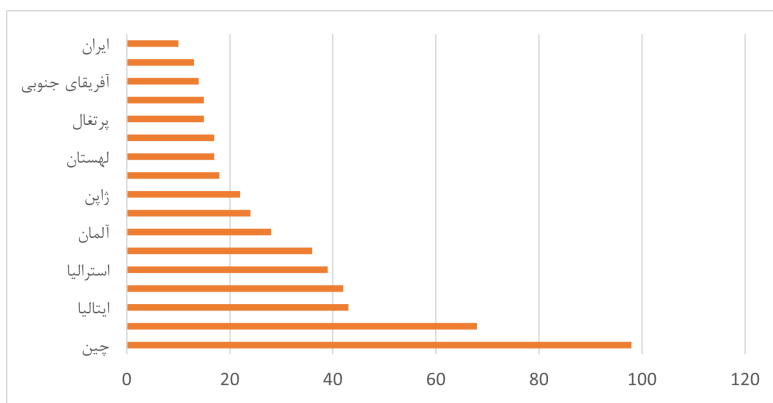


شکل ۲. توزیع مقالات بر اساس مجلات و منابع انتشار در حوزه «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» (۲۰۰۰-۲۰۲۵)

با سیاست‌های انرژی و تغییر اقلیم اروپا رشد کرده است. ژاپن و کانادا نیز در رتبه‌های میانی قرار دارند (حدود ۲۰ مقاله)، که بازتاب‌دهنده توجه این کشورها به رویکردهای فناورانه و سیاست‌های شهری پایدار است. در بخش پایین‌تر نمودار، کشورهایی مانند لهستان، سوئد، پرتغال و کره جنوبی (هریک حدود ۱۵ مقاله) و همچنین، آفریقای جنوبی، برزیل و ایران با کمتر از ۱۵ مقاله حضور دارند. اگرچه سهم این کشورها محدود است، اما حضور آنها نشان‌دهنده گسترش دامنه جغرافیایی پژوهش در سطح جهانی است. به‌ویژه ایران که با وجود محدودیت‌های ساختاری و منابع پژوهشی، در این حوزه مقالاتی منتشر کرده و نشان داده است که موضوع تاب‌آوری شهری - انرژی - اقلیم در ادبیات علمی کشور نیز جایگاه پیدا کرده است. به‌طور کلی، این توزیع جغرافیایی نشان می‌دهد ادبیات علمی حوزه به‌شدت چندقطبی است؛ یک قطب غالب در شرق آسیا (چین)، یک قطب بزرگ در آمریکای شمالی (ایالات متحده) و چندین هسته فعال در اروپا و اقیانوسیه. این الگو بیانگر ضرورت همکاری‌های بین‌المللی گسترده‌تر است تا کشورهایی با سهم کمتر نیز بتوانند در تولید علم و تبادل تجربیات نقشی مؤثرتر ایفا کنند.

۳.۵. توزیع جغرافیایی تولیدات علمی در حوزه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵)

نمودار شکل ۳، توزیع مقالات بر اساس کشورهای منتشرکننده نشان می‌دهد چین با نزدیک به ۱۰۰ مقاله در جایگاه نخست قرار دارد و نقش رهبری در تولید علم این حوزه ایفا می‌کند. این برتری را می‌توان به سرمایه‌گذاری گسترده چین در انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه سیاست‌های شهری پایدار و حضور شبکه‌های علمی بین‌المللی نسبت داد. در رتبه دوم، ایالات متحده آمریکا با حدود ۷۰ مقاله قرار دارد. اگرچه فاصله‌ای محسوس با چین دارد، اما همچنان یکی از قطب‌های اصلی پژوهش است. مطالعات آمریکایی بیشتر بر پیوند سیاست‌های اقلیمی، عدالت انرژی و زیرساخت‌های شهری تمرکز داشته‌اند. ایتالیا، بریتانیا و استرالیا هر یک بین ۳۸ تا ۴۲ مقاله منتشر کرده‌اند و در رتبه‌های سوم تا پنجم جای دارند. حضور پررنگ این کشورها به‌ویژه در پروژه‌های اتحادیه اروپا و همکاری‌های بین‌المللی بیانگر اهمیت روزافزون تاب‌آوری شهری در سیاست‌گذاری‌های محلی و منطقه‌ای است. در میان کشورهای اروپایی، اسپانیا، آلمان و هلند نیز سهم چشمگیری داشته‌اند (بین ۲۵ تا ۳۵ مقاله) و نشان داده‌اند ادبیات علمی در این کشورها همسو

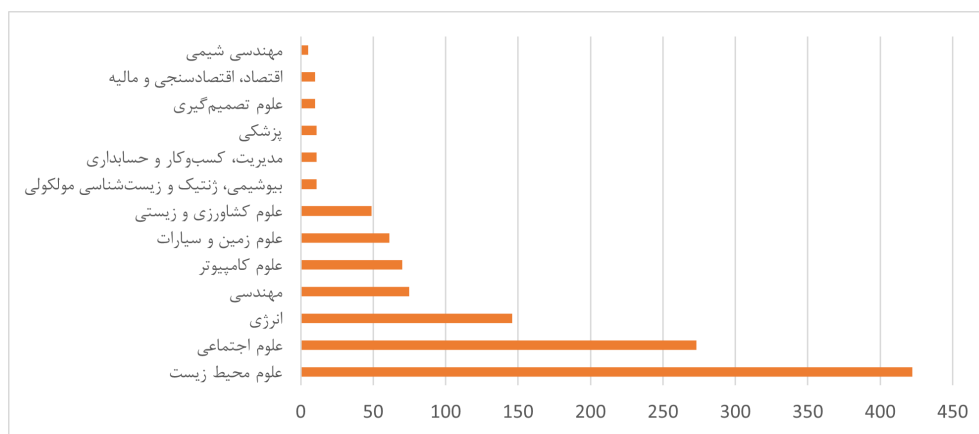


شکل ۳. توزیع مقالات مرتبط با «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» بر اساس کشورها در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۵

#### ۴.۵. توزیع موضوعی تولیدات علمی در حوزه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵)

رشته‌های مهندسی، علوم کامپیوتر و علوم زمین و سیارات سهم متوسطی (حدود ۵۰ تا ۸۰ مقاله) دارند. این موضوع نشان‌دهنده نقش روش‌های فنی - مهندسی، مدل‌سازی عددی و تحلیل‌های زمین‌محور در پشتیبانی از مطالعات تاب‌آوری و انرژی است. در سطح پایین‌تر، حوزه‌های علوم کشاورزی و زیستی، بیوشیمی و ژنتیک، مدیریت و حسابداری، پزشکی، علوم تصمیم‌گیری، اقتصاد و مهندسی شیمی با کمتر از ۵۰ مقاله قرار گرفته‌اند. هرچند سهم آن‌ها اندک است، اما حضورشان اهمیت میان‌رشته‌ای موضوع را برجسته می‌کند؛ برای مثال، کشاورزی و زیست‌شناسی در پیوند با امنیت غذایی و FEW nexus، و علوم اقتصادی - مدیریتی در ارزیابی هزینه - فایده مداخلات تاب‌آوری نقش دارند. این توزیع کلی نشان می‌دهد ادبیات پژوهشی در حوزه «تاب‌آوری شهری - انرژی - اقلیم» یک ماهیت میان‌رشته‌ای دارد، اما همچنان علوم محیط زیست، علوم اجتماعی و انرژی سه قطب اصلی تولیدات علمی به شمار می‌آیند. حضور سایر حوزه‌ها نیز بیانگر گستردگی و تنوع ابعاد نظری و کاربردی این موضوع است.

نمودار شکل ۴، توزیع مقالات بر اساس حوزه‌های موضوعی در پایگاه Scopus را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین سهم مقالات متعلق به علوم محیط زیست است که با بیش از ۴۰۰ رکورد در صدر قرار دارد. این امر منطقی است زیرا «تاب‌آوری شهری» و «تغییر اقلیم» عمدتاً در چارچوب ارزیابی‌های زیست‌محیطی، خدمات اکوسیستم و اثرات اقلیمی مطالعه می‌شوند. در جایگاه دوم، علوم اجتماعی با حدود ۲۸۰ مقاله قرار دارد. حضور پررنگ این حوزه بیانگر آن است که تاب‌آوری شهری نه فقط یک موضوع فنی - مهندسی، بلکه یک مقوله اجتماعی - سیاسی است که نیازمند تحلیل در بستر عدالت، حکمرانی و رفتار انسانی است. رتبه سوم به انرژی اختصاص دارد که نزدیک به ۱۵۰ مقاله را شامل می‌شود. این جایگاه نشان می‌دهد ادبیات علمی به طور فزاینده‌ای به سمت پیوند تاب‌آوری شهری با گذار انرژی و زیرساخت‌های توزیع‌شده سوق پیدا کرده است. پس از این سه حوزه اصلی،

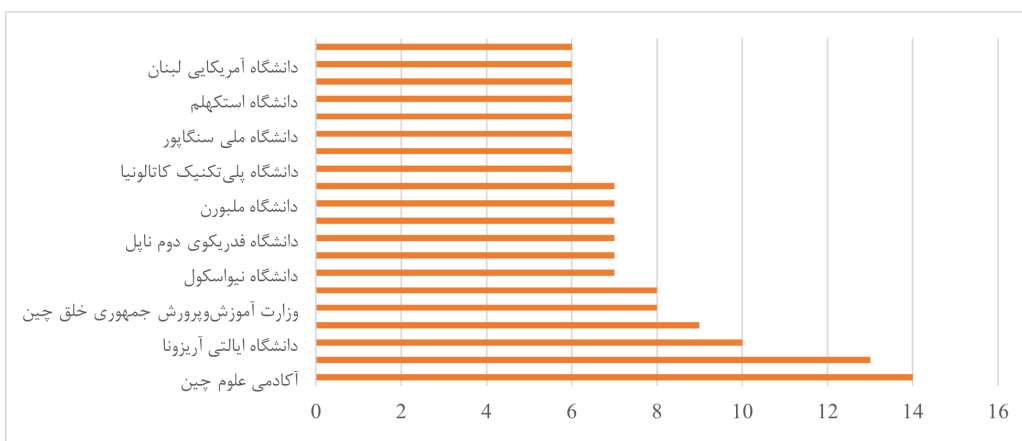


شکل ۴. توزیع مقالات مرتبط با «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» بر اساس حوزه‌های موضوعی در پایگاه Scopus (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵)

#### ۵.۵. مؤسسات و دانشگاه‌های پیشرو در انتشار مقالات مرتبط با تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵)

نمودار شکل ۵، حاضر توزیع تولیدات علمی بر اساس وابستگی سازمانی (Affiliation) پژوهشگران را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، قرار گرفتن آکادمی علوم چین (CAS) در صدر فهرست با ۱۴ مقاله و همچنین، حضور نهادهای دیگری از جمله دانشگاه آکادمی علوم چین و وزارت آموزش و پرورش جمهوری خلق چین بیانگر آن است که چین رویکردی متمرکز و نهادی به این حوزه دارد. این تمرکز حاکی از هم‌راستایی سیاست‌های ملی با فعالیت‌های دانشگاهی است؛ یعنی، پژوهش‌ها نه تنها در مراکز علمی، بلکه در سطح سیاست‌گذاری دولتی نیز حمایت می‌شوند. چنین مدلی باعث شده است چین در سال‌های اخیر به یکی از قطب‌های جهانی تولید دانش در زمینه تاب‌آوری - انرژی - اقلیم تبدیل شود. دانشگاه ایلتی آریزونا با ۱۰ مقاله در جایگاه دوم قرار دارد. این دانشگاه یکی از مراکز شناخته‌شده در مباحث میان‌رشته‌ای مرتبط با «عدالت اقلیمی»، «شهرهای پایدار» و «سیاست‌های انرژی» است. حضور پررنگ آن نشان می‌دهد ایالات متحده آمریکا به جای تکیه صرف بر نهادهای دولتی، بر دانشگاه‌های نوآور و بین‌المللی تکیه کرده است. این موضوع تنوع رویکردها و تأکید بر

نوآوری مفهومی را در ایالات متحده برجسته می‌کند. دانشگاه‌های اروپایی از جمله پلی‌تکنیک میلان، ساپینزا رم، فدریکوی دوم ناپل، پلی‌تکنیک تورین و پلی‌تکنیک کاتالونیا همگی در میان نهادهای برتر قرار گرفته‌اند. این پراکندگی جغرافیایی در اروپا بازتابی از تمرکز اتحادیه اروپا بر برنامه‌های شهرهای پایدار و انرژی‌های پاک است. اروپا به خلاف چین، شبکه‌ای چندمرکزی و پراکنده دارد که بر همکاری‌های فراملی و پروژه‌های مشترک مانند (Horizon Europe) استوار است. حضور دانشگاه ملبورن در استرالیا، دانشگاه ملی سن‌گاپور در آسیا و دانشگاه آمریکایی لبنان در خاورمیانه نشان می‌دهد این حوزه به صورت جهانی در حال گسترش است. این کشورها اگرچه سهم کمی نسبت به چین یا آمریکا دارند، اما حضور آن‌ها نشان می‌دهد مفاهیم تاب‌آوری و انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق مختلف جهان، متناسب با شرایط اقلیمی و شهری بومی، جایگاه یافته است. یافته‌های بخش وابستگی سازمانی نشان می‌دهد پژوهش در این حوزه نه محدود به یک منطقه خاص، بلکه نتیجه همگرایی چندین قطب علمی در جهان است. چین از نظر کمی در صدر قرار دارد، آمریکا از نظر نوآوری میان‌رشته‌ای پیش‌تاز است و اروپا نیز با شبکه‌ای چندمرکزی، پایداری و تنوع مفهومی را تقویت می‌کند.



شکل ۵. توزیع تولیدات علمی بر اساس وابستگی سازمانی (Affiliation) پژوهشگران در حوزه (تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم) (۲۰۰۰-۲۰۲۵)

خوشه عدالت، حکمرانی و تاب‌آوری شهری (راست - میانی): Sara (A. Meerow) در مرکز خوشه‌ای قرار دارد که با نام‌های (Nancy B. Grimm et al.) و همکاران مرتبط شده است. تمرکز این خوشه عمدتاً بر حکمرانی، عدالت و سیاست‌های شهری در زمینه تاب‌آوری و اقلیم است. ارتباط این گروه با هسته مرکزی و نیز با خوشه فنی - کاربردی سمت راست (بند بعد) نشان می‌دهد پژوهش‌های عدالت‌محور در سال‌های اخیر به گره‌های پیوندی تبدیل شده‌اند.

خوشه فنی - کاربردی و ریسک‌های اقلیمی (راست): Robert Hobbins به عنوان یک گره اتصال (Bridging Node) میان خوشه سیاست/عدالت (Meerow/Grimm) و خوشه مرکزی (Chang/Kim) دیده می‌شود. این الگو معمولاً در پژوهش‌هایی ظاهر می‌شود که روی شاخص‌گذاری ریسک گرما، خدمات حیاتی، یا پیوند ریزاقلیم - تقاضای انرژی کار می‌کنند؛ یعنی محوری که نظریه و سیاست را به روش‌های سنجش‌پذیر وصل می‌کند.

خوشه‌های کوچک نوظهور (چپ - پایین): خوشه‌های کوچک پیرامونی مانند (Angela Lausch, Runjia Yang, Xinyu Dong) بیانگر تیم‌های نسبتاً جدید/تخصصی‌اند. اغلب مرتبط با داده‌محور/سنجش‌زودور/مدل‌سازی ریزاقلیم که با افزایش تولیدات، به تدریج به شبکه اصلی نزدیک شده‌اند. موقعیت پیرامونی، ولی متصل این گره‌ها نشان می‌دهد این مسیرها ظرفیت رشد و ادغام با متن اصلی حوزه را دارند.

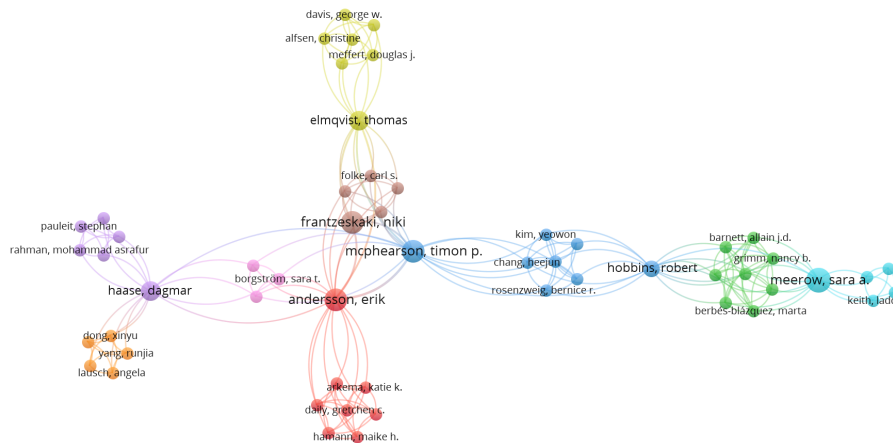
شکل ۶ یک بستر چندخوشه‌ای و به هم پیوسته را نشان می‌دهد: خوشه اکولوژی و NBS در سمت چپ، خوشه عدالت/حکمرانی در سمت راست، و هسته پیونددهنده فرامرزی در مرکز، حضور چند گره با شاخص واسطه‌گری بالا، به معنای انباشت ظرفیت هم‌افزایی است؛ یعنی انتقال دانش از اکولوژی شهری و NBS به سوی سیاست‌گذاری تاب‌آوری، سنجش‌های ریسک و حتی انرژی شهری با سرعت بیشتری امکان‌پذیر شده است. در عین حال، وجود خوشه‌های کوچک داده‌محور در پیرامون شبکه، از نوظهور بودن مسیرهای فناورانه (ریزاقلیم، سنجش دما/گرما، داده‌های شهری) خبر می‌دهد که می‌توانند پیوندهای آینده با انرژی‌های توزیع‌شده و مدیریت اوج بار را تقویت کنند.

۶.۵ نقش هم‌نویسندگی نویسندگان اثرگذار در پیوند (تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم)

نقشه شکل ۶، هم‌نویسندگی (co-authorship) با نرم‌افزار VOS viewer ساختار همکاری میان نویسندگان اثرگذار را در قالب چند خوشه متمایز و به هم پیوسته نشان می‌دهد. اندازه هر گره بیانگر وزن انتشارات/پیوند و ضخامت یال‌ها نشان‌دهنده قدرت پیوند میان نویسندگان است. رنگ‌ها جوامع همکاری را از هم تفکیک می‌کنند و موقعیت مرکزی/شاخص واسطه‌گری بازیگران میانجی را برجسته می‌سازد. هسته میانجی و پیونددهنده حوزه‌ها: در مرکز نقشه، (Erik Andersson و Niki Frantzeskaki, Timon P. McPhearson) قرار دارند که به واسطه همکاری‌های پرتکرار با پژوهشگران دو سوی اقیانوس (اروپا - آمریکا) نقش پل ارتباطی بین خوشه‌های مفهومی «اکوسیستم/زیرساخت سبز»، «تاب‌آوری شهری» و «سیاست/حکمرانی» را ایفا می‌کنند. مجاورت این سه نام و اتصال‌های چندگانه‌شان به دو سوی نقشه نشان می‌دهد آن‌ها گره‌های با شاخص واسطه‌گری بالا هستند و جریان ایده از خوشه‌های زیست‌بوم‌شناختی به خوشه‌های سیاستی - کاربردی را تسهیل می‌کنند.

خوشه اکولوژی شهری - نظریه سامانه‌های اجتماعی - بوم‌شناختی (چپ - بالا): نام‌هایی همچون Carlil Folke و Thomas Elmqvist در کنار هم دیده می‌شوند؛ این خوشه به طور کلاسیک با «اکولوژی شهری/خدمات اکوسیستم» و چارچوب‌های سامانه اجتماعی - بوم‌شناختی پیوند دارد. حضور این گروه در نزدیکی هسته مرکزی، نشان می‌دهد مبانی نظری اکولوژیک همچنان یکی از ستون‌های مفهومی ادبیات است و با سایر خوشه‌ها تعامل فعال دارد.

خوشه GI/NBS و برنامه‌ریزی منظر شهری (چپ): Dagmar Haase و Stephan Pauleit در خوشه‌ای همبسته قرار گرفته‌اند که نماینده جریان زیرساخت سبز/راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) و برنامه‌ریزی منظر است. پیوند این خوشه با هسته مرکزی (Frantzeskaki-Andersson-McPhearson) نشان می‌دهد ادبیات NBS به صورت ساختاری با ادبیات تاب‌آوری شهری و سیاست‌گذاری یکپارچه شده است.

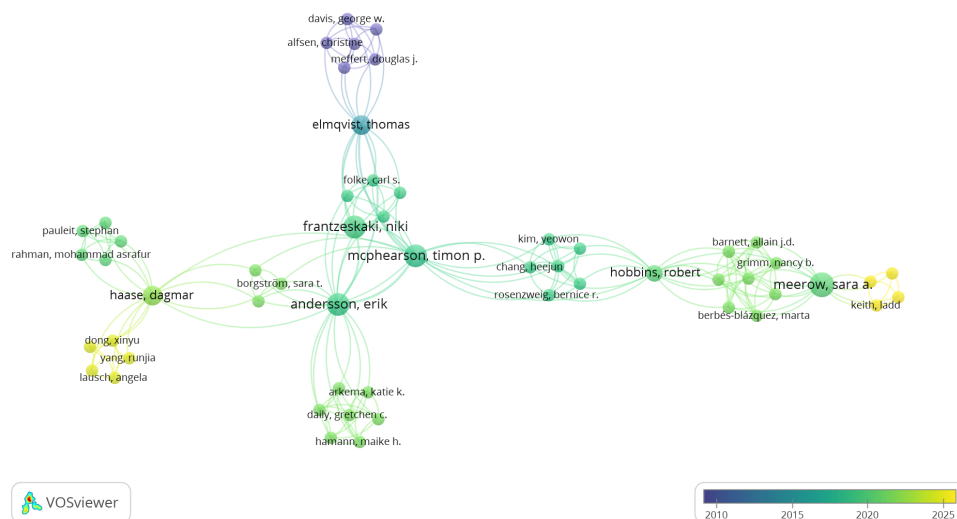


شکل ۶. نقشه هم‌نویسندگی نویسندگان اثرگذار در حوزه تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم

۷.۵. نقشه هم‌نویسندگی با لایه زمانی (Overlay): تکامل شبکه نویسندگان اثرگذار در پیوند تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم (۲۰۱۰ - ۲۰۲۵)

نقشه شکل ۷، شبکه هم‌نویسندگی را با نمایش زمانی (رنگ‌گذاری برحسب میانگین سال انتشار هر نویسنده) نشان می‌دهد؛ طیف رنگ از بنفش/آبی تیره (قدیمی‌تر: ۲۰۱۰ - ۲۰۱۵) تا زرد (جدیدتر: ۲۰۲۳ - ۲۰۲۵) تغییر می‌کند. اندازه گره‌ها با وزن همکاری/تولیدات مرتبط است و ضخامت یال‌ها قدرت پیوند (link strength) را با زتاب می‌دهد. مرحله بنیان‌گذاری (۲۰۱۰ - ۲۰۱۵، آبی/بنفش): در نیمه بالایی - مرکزی نقشه، گره‌هایی مانند George W. Davis، Christine Alfsen و Douglas J. Meffert با رنگ‌های تیره‌تر دیده می‌شوند که نشان‌دهنده نقش پیش‌گام در شکل‌گیری شبکه‌های اولیه تاب‌آوری شهری است. این هسته اولیه بیشتر بر اکولوژی شهری، خدمات اکوسیستم و دستور کارهای آغازین تاب‌آوری شهری متمرکز است و شالوده مفهومی همکاری‌های بعدی را بنا کرده است. مرحله هم‌گرایی و تثبیت (۲۰۱۶ - ۲۰۲۰، سبز): در مرکز شبکه، (Timon P. McPhearson، Niki Frantzeskaki و Erik Andersson) با رنگ‌های سبز و اندازه نسبتاً بزرگ، نقش میانجی و پیونددهنده میان زیرخوشه‌ها را به عهده دارند. پیوندهای پرشمار این گره‌ها با دو سوی نقشه از یک‌سو به Thomas Elmqvist و Carl Folke (اکولوژی

SES-) و از سوی دیگر، به خوشه‌های سیاستی و سنجه‌محور - بیانگر شاخص واسطه‌گری (betweenness) بالای آن‌هاست؛ به بیان دیگر، این نویسندگان کانال انتقال ایده بین اکولوژی NBS و سیاست/برنامه‌ریزی تاب‌آوری بوده‌اند و دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ را به دوره تثبیت مفهومی و نهادی بدل کرده‌اند. مرحله گسترش و نوظهوری (۲۰۲۱ - ۲۰۲۵، سبز روشن تا زرد): در سمت راست نقشه، خوشه‌ای با محوریت Sara A. Meerow و پیوند به Nancy B. Grimm با رنگ‌های روشن‌تر دیده می‌شود؛ این ناحیه نشان‌دهنده موج جدید پژوهش‌ها در حکمرانی، عدالت انرژی و سیاست‌های شهری است که از ۲۰۲۱ به بعد شدت گرفته است. حضور Robert Hobbins به عنوان گره رابط میان این خوشه و هسته مرکزی، بیانگر ترجمه مفاهیم به سنجه‌ها/شاخص‌ها و اتصال گفتمان عدالت/حکمرانی به ابزارهای ارزیابی خطر و تاب‌آوری است. در لبه چپ، زیرخوشه کوچک Xinyu Dong - Runjia Yang - Angela Lausch با رنگ زرد نشان می‌دهد مسیرهای داده‌محور (ریزاقلیم، سنجش‌ازدور نقشه‌برداری خطر گرما) در سال‌های اخیر به شبکه افزوده شده و پتانسیل ادغام با مباحث انرژی شهری و مدیریت اوج بار را دارند. خوشه Dagmar Haase - Stephan Pauleit نیز با سبز روشن، گسترش NBS-زیرساخت سبز را در تعامل با هسته مرکزی تأیید می‌کند.



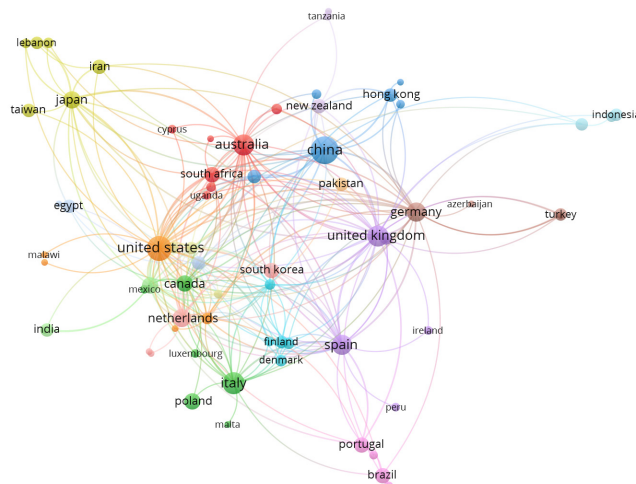
شکل ۷. نقشه هم‌نویسندگی با لایه زمانی (Overlay) در حوزه تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم. طیف رنگ میانگین سال انتشار (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵)

عاهده دارند (ایتالیا، اسپانیا، هلند، پرتغال)، یک خوشه اروپایی پرپیوند می‌سازند که از طریق (بریتانیا و دانمارک) به شبکه فرامرزی متصل است؛ فنلاند و دانمارک نیز در لبه این خوشه قرار گرفته و به هر دو سوی آتلانتیک متصل‌اند. هاب‌های اقیانوسیه و آسیا که شامل؛ استرالیا که فراتر از پیوند با (چین و اوکراین و آمریکا)، اتصالات آشکاری با نیوزیلند، آفریقای جنوبی و قبرس دارد و در محور حوزه اقیانوس آرام تا اقیانوس هند، آفریقا به عنوان حلقه واسط عمل می‌کند. در شرق آسیا، ژاپن و کره جنوبی در پیوند با آمریکا و چین دیده می‌شوند؛ هنگ‌کنگ به طور خاص پلی بین چین و آسیای جنوب شرقی (اندونزی) است. خاورمیانه، آفریقا و آمریکای لاتین؛ پیوندهای پیرامونی اما روبه‌رشد مانند (لبنان و ایران) با اتصالاتی به ژاپن و آمریکا و چند گره منطقه‌ای در لبه چپ شبکه دیده می‌شوند؛ این الگو از حضور روبه‌رشد اما هنوز محدود حکایت دارد. در آفریقای جنوبی (پربوند) و کشورهایمانند اوگاندا، مالاوی، مصر با پیوندهای کمتر حاضرند. در آمریکای لاتین، برزیل و مکزیک درون خوشه‌های اروپا/آمریکا جای گرفته‌اند؛ اما هنوز فاصله ساختاری آن‌ها با هاب‌های اصلی محسوس است.

#### ۸.۵. شبکه هم‌نویسندگی کشورها در حوزه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم

نقشه شکل ۸، هم‌نویسندگی کشورها معماری همکاری‌های بین‌المللی را به صورت یک شبکه چندقطبی اما به هم پیوسته نشان می‌دهد. اندازه نام هر کشور نشانه وزن همکاری (تعداد هم‌نویسی‌ها) و ضخامت یال‌ها بیانگر قدرت پیوند میان کشورهاست؛ رنگ‌ها نیز جوامع همکاری را تفکیک می‌کنند. ابرگره‌ها و مرکزیت شبکه شامل آمریکا با یال‌های پرشمار به اروپا (بریتانیا، آلمان، هلند، ایتالیا، اسپانیا)، اقیانوسیه (استرالیا) و آسیا (ژاپن، کره جنوبی، هند) نقش هاب جهانی و انتقال‌دهنده ایده بین خوشه‌ها را ایفا می‌کند.

چین به عنوان هاب دوم، با پیوندهای قوی به بریتانیا، آلمان، استرالیا و گره‌های آسیایی (هنگ‌کنگ، پاکستان، اندونزی) ظاهر شده است. این الگو نشان می‌دهد همکاری‌های چین هم‌زمان در محورهای اروپا - اقیانوسیه - آسیا گسترده شده و جهت‌گیری‌های سیاستی - فناورانه را پشتیبانی می‌کند. میانجی‌های بین قاره‌ای اروپا که شامل؛ بریتانیا و آلمان با پیوندهای متراکم به هر دو هاب (آمریکا - چین) و به سایر کشورهای اروپایی، نقش میانجی را به

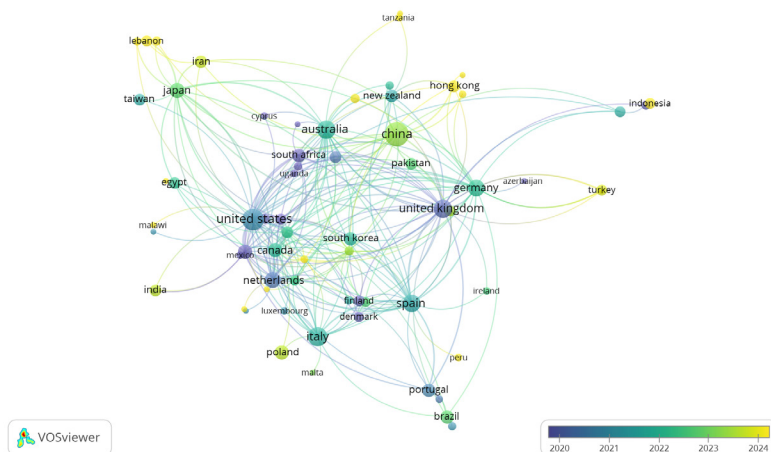


شکل ۸. شبکه هم‌نویسندگی کشورها در حوزه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم

۹.۵. شبکه هم‌نویسندگی کشورها با لایه زمانی (Overlay) پویایی همکاری‌های بین‌المللی در تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم (۲۰۲۰ - ۲۰۲۴)

نقشه شکل ۹، حاصل از نرم‌افزار شبکه هم‌نویسندگی کشورها را در قالب یک لایه زمانی ترسیم می‌کند. طیف رنگی از آبی/بنفش تا سبز و زرد نشان‌دهنده میانگین سال انتشار آثار هر کشور است؛ به این معنا که رنگ‌های تیره‌تر بیانگر فعالیت‌های پژوهشی زودتر (قدیمی‌تر) و رنگ‌های روشن‌تر نشان‌دهنده همکاری‌های جدیدتر تا سال ۲۰۲۴ هستند. اندازه هر گره نمایانگر وزن مشارکت علمی (تعداد هم‌نویسی‌ها) و ضخامت پیوندها قدرت همکاری و شدت تعاملات علمی میان کشورها را منعکس می‌کند. هسته تاریخی و پیش‌ران‌های پایدار (۲۰۲۰ - ۲۰۲۱، آبی/بنفش): ایالات متحده، بریتانیا، هلند و کانادا با رنگ‌های تیره‌تر در مرکز توپولوژی شبکه جا گرفته‌اند. تراکم بالای یال‌ها پیرامون این کشورها نشان می‌دهد آن‌ها از ابتدای دوره مطالعه، نقش «هاب» را داشته‌اند و همچنان زیرساخت اصلی گردش ایده و داده را فراهم می‌کنند. اتصال‌های پرتعداد آن‌ها به اروپا، اقیانوسیه و شرق آسیا، الگوی همکاری چندقاره‌ای را تثبیت کرده است. موج همگرایی آسیایی - اروپایی

(۲۰۲۱ - ۲۰۲۲، سبز): چین، آلمان، ایتالیا، اسپانیا و فنلاند عمدتاً با سبز دیده می‌شوند؛ یعنی میانگین زمان همکاری آن‌ها کمی جدیدتر از هسته آتلانتیکی است. چین علاوه بر پیوندهای سنتی با آلمان و بریتانیا، با استرالیا، پاکستان و هنگ‌کنگ نیز یال‌های پرقدرت دارد؛ الگویی که از تثبیت محور همکاری آسیا - اروپا/ اقیانوسیه حکایت می‌کند. در اروپا، خوشه جنوبی (اسپانیا - ایتالیا - پرتغال) از طریق بریتانیا/آلمان به هاب‌های جهانی متصل است و با آمریکای لاتین (برزیل/پرو) نیز پیوندهای قابل توجهی دارد. ورودی‌های نوظهور و گسترش پیرامونی (۲۰۲۳ - ۲۰۲۴، سبز روشن تا زرد): کشورهایی مانند لبنان، ایران، ترکیه، تانزانیا و هنگ‌کنگ با رنگ‌های متمایل به زرد، به عنوان ورودی‌های تازه‌نفس دیده می‌شوند. قرارگیری آن‌ها در لبه شبکه ولی با چند یال به هاب‌ها (مثلاً لبنان/ایران به ژاپن و آمریکا؛ ترکیه به آلمان/آذربایجان؛ تانزانیا به نیوزیلند/چین) نشان می‌دهد دامنه جغرافیایی پژوهش در حال گسترش از مرکز به پیرامون است. اندونزی نیز با رنگ سبز - فیروزه‌ای و یال‌های کشیده به هنگ‌کنگ/چین، ورود پرشتابی را در محور شرق و جنوب شرق آسیا ثبت کرده است.



شکل ۹. شبکه هم‌نویسندگی کشورها با لایه زمانی (Overlay) در حوزه «تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم» (۲۰۲۰ - ۲۰۲۴)

۱۰.۵. نقشه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها: ساختار مفهومی حوزه تاب‌آوری شهری - تغییر اقلیم - انرژی‌های تجدیدپذیر

نقشه شکل ۱۰، شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها را نشان می‌دهد؛ اندازه گره‌ها فراوانی استفاده، و ضخامت یال‌ها شدت هم‌رخدادی را بازنمایی می‌کند. در مرکز شبکه، دو گره تاب‌آوری شهری و تغییر اقلیم به‌مثابه هسته‌های مفهومی قرار دارند و بیشترین پیوند را با سایر واژگان برقرار کرده‌اند؛ این آرایش، دوگانه «اقلیم - تاب‌آوری» را به عنوان ستون اصلی ادبیات تأیید می‌کند.

**خوشه سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری (آبی) واژگانی:** برنامه‌ریزی شهری، پایداری، سازگاری با تغییر اقلیم، سیاست‌گذاری، حکمرانی شهری، گروه‌ها یا نهادهای دخیل و تأثیرگذار در این خوشه گرد آمده‌اند. تراکم پیوندها نشان می‌دهد مباحث تاب‌آوری شهری به‌شدت با برنامه‌ریزی، حکمرانی و فرایندهای سیاست‌گذاری درگیر است و «سازگاری اقلیمی» بیشتر در قالب ابزارهای برنامه‌ریزی و سیاست عمومی صورت‌بندی می‌شود. پیوند مستقیم این خوشه با

تاب‌آوری شهری، تغییر اقلیم بیانگر نقش میانجی‌گری سیاستی در اتصال دانش اقلیم به اقدام شهری است.

**خوشه مدیریت ریسک هیدرولوژیک (سبز):** واژگان سیلاب، سیلاب شهری، کنترل سیلاب، روان، سطحی، ارزیابی ریسک، مدیریت بحران یک خوشه منسجم را می‌سازند. هم‌رخدادی‌های پرتعداد میان تغییر اقلیم و واژگان سیلاب/بارش شدید دلالت بر غلبه مخاطرات آب‌محور در ادبیات تاب‌آوری دارد. اتصالات این خوشه با مدیریت آب و مدیریت ریسک نیز نشان می‌دهد خط‌مشی‌ها و ابزارهای سنجش ریسک، محور اصلی کاربست شهری تاب‌آوری‌اند.

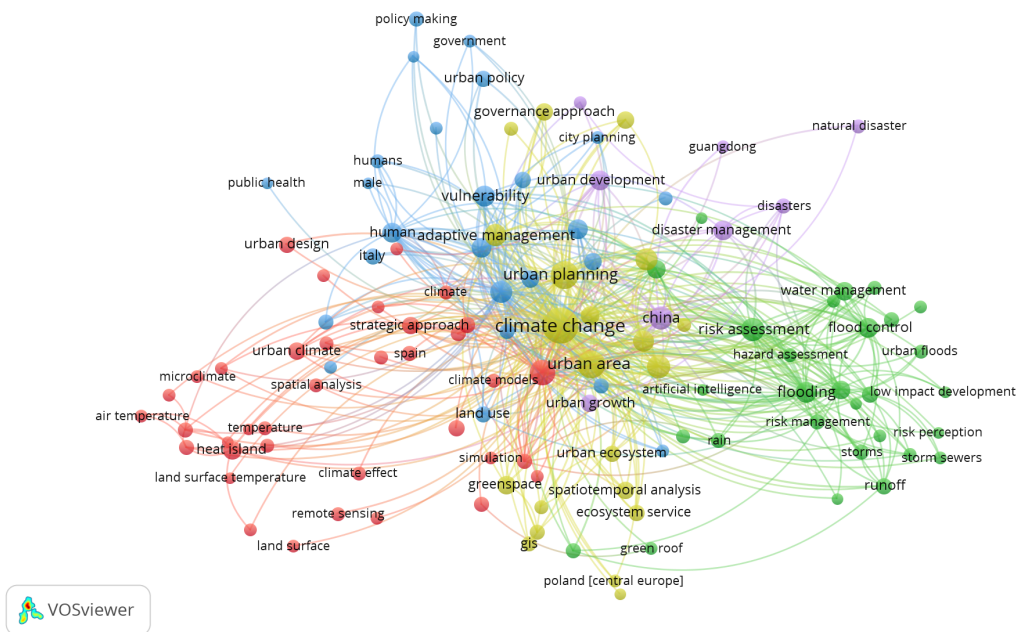
**خوشه ریزاقلیم کاربری زمین و سنجش (قرمز):** عبارت‌های جزیره گرمایی شهری، دمای هوا، سنجش‌ازدور، تحلیل فضایی، کاربری زمین، یافت ساختمانی در این بخش قرار گرفته‌اند. نزدیکی این خوشه به هسته اقلیم - تاب‌آوری بیانگر اهمیت ریزاقلیم و ابزارهای داده‌محور (به‌ویژه سنجش‌ازدور) در تبیین سازوکارهای









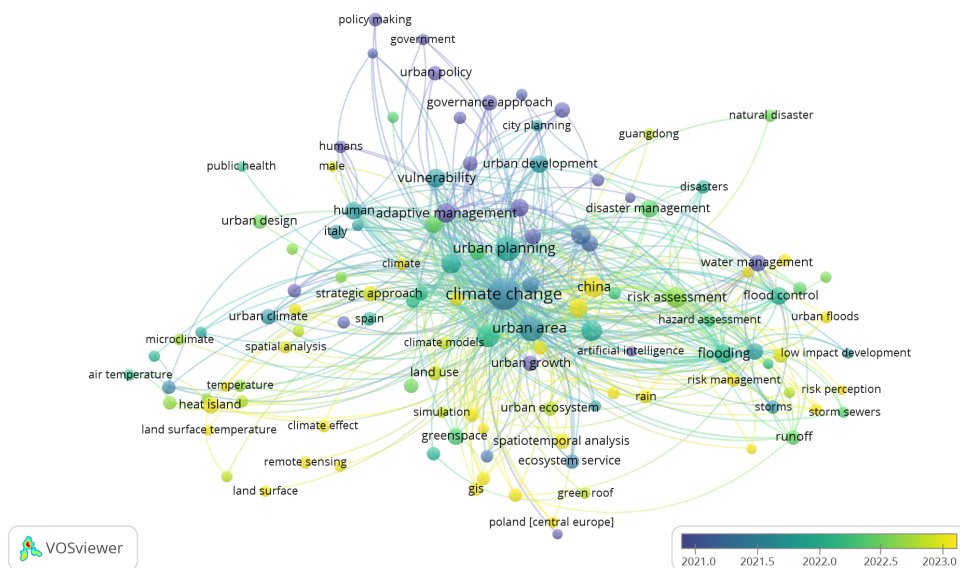


شکل ۱۴. نقشه هم‌رخدادی کلیدواژه‌های نمایه‌ای (Indexed Keywords) در حوزه تاب‌آوری شهری و تغییر اقلیم و انرژی‌های تجدیدپذیر

توفانی»، «توفان»، «رواناب»، «ارزیابی ریسک»، «مدیریت ریسک» و «خطر سیلاب» در کنار مفاهیمی همچون «مدیریت منابع آب» و «توسعه با اثر کم» از فراوانی بالاتری برخوردار شده‌اند. این تحول معنایی و واژگانی نشان می‌دهد چارچوب‌های سیاستی تبیین‌شده در مراحل پیشین، در این دوره به سطح عملیاتی و اجرایی رسیده‌اند؛ به گونه‌ای که رویکردهای کلی سیاست‌گذاری در قالب بسته‌های مداخله‌ای مشخص - همچون طراحی و بازآفرینی شبکه‌های زهکشی، کنترل رواناب شهری و ارزیابی کمی ریسک - نهادینه شده‌اند. افزوده شدن واژه «ادراک ریسک» در کنار شاخص‌های فنی نیز بیانگر توجه روزافزون به ابعاد اجتماعی و رفتاری مدیریت ریسک و لحاظ کردن درک و واکنش شهروندان و ذی‌نفعان در فرایند تصمیم‌سازی است. در بخش پایین و چپ نقشه (که با رنگ‌های جدیدتر مشخص شده است)، تمرکز پژوهش‌ها به صورت فزاینده‌ای بر حوزه «اقلیم شهری» معطوف شده است. واژگانی مانند «ریزاقلم» «جزیره حرارتی شهری»، «دمای هوا»، «دمای سطح زمین»، «سنجش از دور»، «تحلیل مکانی»، «شبه‌سازی»، «مدل‌های اقلیمی»، «سامانه اطلاعات جغرافیایی» و «تحلیل مکانی - زمانی» در این خوشه برجسته‌اند. این تمرکز نوین نشان‌دهنده تقویت زیرساخت‌های پایش و مدل‌سازی اقلیمی در سطح شهری است؛ به طوری که مطالعات از نقشه‌برداری دمای سطح زمین و تحلیل‌های مکانی - زمانی تا توسعه مدل‌های چندمقیاسی گسترش یافته‌اند. پیوند میان «کاربری زمین» و «مدل‌های اقلیمی» در این دوره، دلالت بر آن دارد که ساختار کالبدی و الگوی کاربری اراضی به متغیری کلیدی در تبیین سازوکارهای گرمایش شهری و ارزیابی کارایی سیاست‌های سازگاری اقلیمی تبدیل شده است.

#### ۱۶.۵. نقشه هم‌رخدادی واژگان نمایه‌ای (Indexed Keywords) در بستر زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳

نقشه شکل ۱۵، هم‌واژگانی نمایه‌ای (Keyword Index) در بستر زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ ترسیم شده و با طیف رنگی از آبی و بنفش (قدیمی‌تر) تا سبز و زرد (جدیدتر) زمان‌بندی ظهور مفاهیم را آشکار می‌کند. اندازه گره‌ها نمایانگر فراوانی به‌کارگیری هر واژه و ضخامت پیوندها شدت هم‌رخدادی را نشان می‌دهد. در سال‌های آغازین بازه مورد بررسی (نواحی با رنگ‌های آبی و بنفش در نقشه هم‌رخدادی واژگان)، خوشه‌ای مفهومی پیرامون «سیاست‌گذاری» و «حکمرانی» شکل گرفته است. واژگانی همچون «سیاست‌گذاری»، «حکومت»، «سیاست شهری» و «رویکرد حکمرانی» در پیوند مستقیم با مفهوم «برنامه‌ریزی شهری» قرار دارند. این الگو نشان می‌دهد در مراحل اولیه تحول ادبیات، تمرکز اصلی پژوهش‌ها بر تبیین ساختارهای نهادی، سازوکارهای تصمیم‌گیری و الگوهای مشارکتی بوده است؛ به بیانی، پژوهش‌های آغازین بیشتر بر این محور متمرکز بوده‌اند که چه نهادهایی تصمیم می‌گیرند، فرایند تصمیم‌سازی چگونه صورت می‌گیرد، و این تصمیمات به چه نحوی در سیاست‌ها و برنامه‌ریزی شهری بازتاب می‌یابند. هم‌جواری مفاهیمی همچون «آسیب‌پذیری» و «مدیریت تطبیقی» در این مرحله، گویای آن است که گفتمان سیاستی به‌سرعت به سمت مفاهیم «مدیریت سازگاران» و «کاهش آسیب‌پذیری» ترجمه شده است. از سال ۲۰۲۲ به بعد (نمایان شده با رنگ‌های سبز تا زرد)، تمرکز مفهومی ادبیات به طور محسوسی به سوی ریسک‌های مرتبط با منابع آب تغییر جهت یافته است. واژگانی نظیر «سیلاب»، «سیلاب شهری»، «کنترل سیلاب»، «شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های



شکل ۱۵. نقشه هم‌واژگانی نمایه‌ای در حوزه «تاب‌آوری شهری - تغییر اقلیم و انرژی‌های تجدیدپذیر» در بستر زمانی ۲۰۲۱-۲۰۲۳

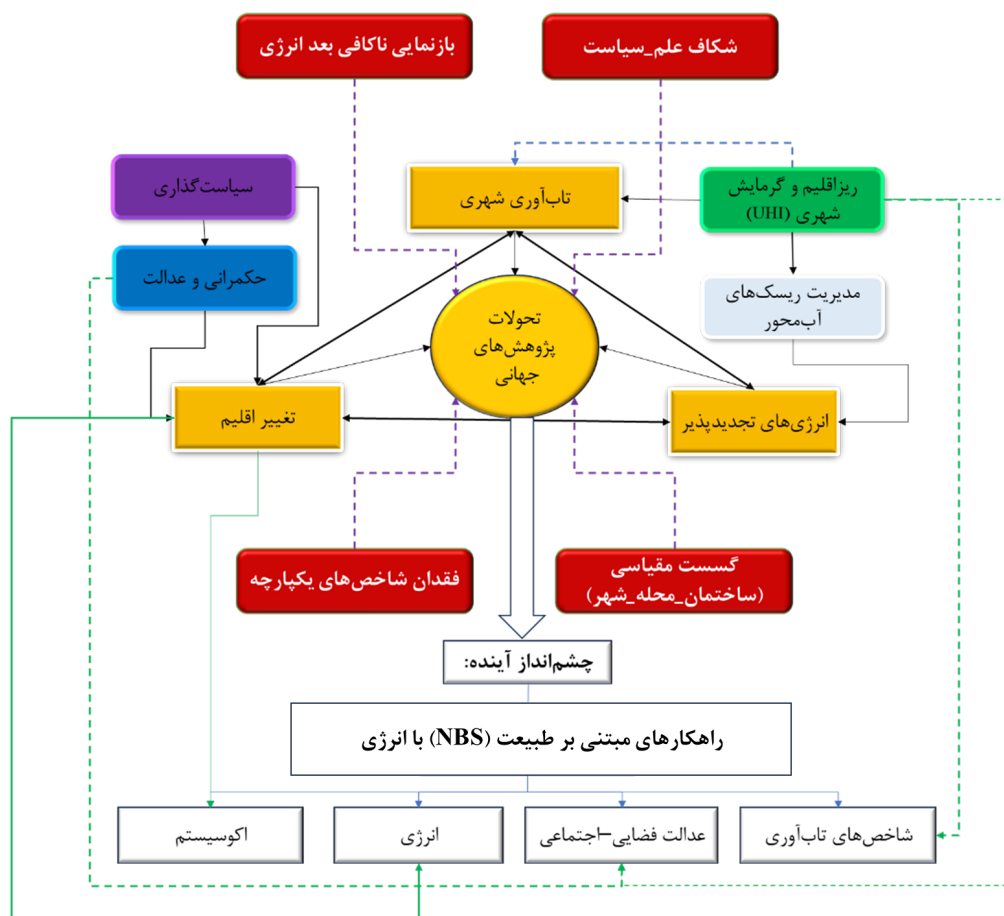
## ۶. بحث

بررسی شبکه‌های هم‌واژگانی و روندهای کمی نشان داد ادبیات تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر، تغییر اقلیم در دوره پس از ۲۰۲۰ از چارچوب‌گذاری نهادی و سیاستی به سمت بسته‌های مداخله‌ای سنجش‌پذیر و ترکیب روش‌های داده‌محور حرکت کرده است. در هسته معنایی، «تاب‌آوری شهری/تغییر اقلیم» همراه با «سیاست‌گذاری، حکمرانی و برنامه‌ریزی شهری» قرار دارد؛ چیدمانی که با رهنمودهای حکمرانی تحولی و مسیرهای تطبیقی پویا در برنامه‌ریزی هم‌جهت است و بر بازبینی تدریجی تصمیم‌ها در مواجهه با عدم قطعیت اقلیمی تأکید می‌کند (Chu et al., 2022; Meerow & Stults, 2021). در سطح مداخله، جای‌جایی کانون از ۲۰۲۲ به بعد به سوی «ریسک‌های آب‌محور» به‌وضوح دیده می‌شود: سیلاب/سیلاب شهری، رواناب، ارزیابی/مدیریت ریسک و توسعه کم‌اثر در کنار «مدیریت آب» به عنوان خوشه‌ای غالب ظاهر شده‌اند؛ الگویی که نشان می‌دهد دستور کارهای سیاستی به استانداردهای اجرایی و بسته‌های زیرساختی ترجمه شده است (de MacEdo et al., 2025; Dong et al., 2024). این همگرایی با موج جدید ادبیات که (NBS/GI) را در تحلیل ریسک سیلاب و چارچوب سنجش تاب‌آوری از جمله (Sendai/bowtie) ادغام می‌کند سازگار است و از عبور از نگاه صرفاً کالبدی به سمت طراحی مبتنی بر خدمات اکوسیستمی خبر می‌دهد (de Ahern et al., 2021; de MacEdo et al., 2025). وجه روش‌شناختی ادبیات نیز متحول شده است. خوشه ریز اقلیمی «جزیره حرارتی، دمای هوا/سطح زمین، سنجش‌ازدور، تحلیل مکانی - زمانی، شبیه‌سازی و مدل‌های اقلیمی» به‌سرعت تقویت شده و پیوند تنگاتنگی با «کاربری/سطح زمین» برقرار کرده است؛ امری که نشان می‌دهد مورفولوژی و الگوی کاربری زمین، متغیر واسط اصلی برای تبیین گرمایش شهری و پیامدهای آن بر عملکرد انرژی ساختمان/محله است (Xu et al., 2022; Oukawa et al., 2022). این تغییر پارادایم، مسیر حرکت از نقشه‌برداری‌های پایه (UHI) به سمت مدل‌سازی‌های چندمقیاسی داده‌محور و تلفیق یادگیری ماشین را برجسته می‌کند و برای طراحی راهکارهای یکپارچه «کاهش دما - کاهش بار انرژی - کاهش

ریسک» بنیان می‌گذارد (Karimi et al., 2025; Hsu et al., 2023). در کنار این پویایی فنی - فضایی، «عدالت» از حاشیه به متن آمده است. مطالعات تازه، نابرابری در دسترسی به منافع زیرساخت سبز/خدمات اکوسیستمی و تناقض‌های «دموکراسی انرژی» را برجسته می‌کنند و هشدار می‌دهند که بدون سنجش‌های توزیعی و رویه‌ای، مداخلات سبز/تجدیدپذیر ممکن است شکاف‌ها را بازتولید کند (Haque & Sharifi, 2024; Rice et al., 2022). از منظر گذار انرژی، پرسش‌محوری، ادغام چندمقیاسی سازگاری اقلیمی و سیستم‌های انرژی شهری (از ساختمان تا شبکه) است؛ چالشی که همچنان به عنوان گلوگاه نهادی و سرمایه‌گذاری گزارش می‌شود (Romero-Lankao & Gnatz, 2022; Hsu et al., 2023). یافته‌های هم‌نویسندگی و سرزمینی (affiliation/country) نیز تصویری از جغرافیای تولید دانش ارائه می‌کند. سهم بالای چین در کنار ایالات متحده و گسترش نقش اروپا و برخی شهرهای آسیای شرقی، نمونه‌های موردی همچون (Guangdong) به همراه رشد همکاری‌های بین‌قاره‌ای، از انتقال سریع تجربه‌های سیاستی (شهر اسفنجی) به بدنه علمی حکایت دارد؛ روندی که می‌تواند به توسعه «استانداردهای قابل‌انتقال» برای ارزیابی ریسک و طراحی NBS کمک کند (Zhou et al., 2025; de MacEdo et al., 2025). با این حال، چند شکاف بنیادین استمرار دارد. نخست «کم‌نمایی نظام‌مند بعد انرژی» در بخشی از ادبیات تاب‌آوری: سهم تحقیقاتی که به طور مستقیم به فتوولتائیک، ریزش‌بکه و کارایی انرژی در کنار NBS می‌پردازند هنوز نسبت به خوشه سیلاب و اقلیم کمتر است؛ در حالی که ادغام زیرساخت‌های توزیع‌شده با مداخلات سبز می‌تواند هم‌زمان ریسک را کاهش و تاب‌آوری انرژی را ارتقا دهد (Otten burger et al., 2024; Fleck et al., 2022). دوم، «گسست مقیاسی» بین ساختمان - محله - شهر در سنجش/مدل‌سازی پابرجاست و تعمیم‌های یک نسخه‌ای قابل اتکا نیستند؛ آثار ریزاقلیم و مورفولوژی به‌شدت زمینه‌مند است و به کالیبراسیون محلی نیاز دارد (Xu et al., 2022; Pappalardo et al., 2023). سوم، شاخص‌های یکپارچه «تاب‌آوری - انرژی - اکوسیستم» هنوز به مرحله استانداردسازی نرسیده‌اند؛ مرورهای اخیر بر ضرورت چارچوب‌های

محدودیت‌ها در خوانش نتایج لحاظ شده و پیشنهاد‌های آینده پژوهانه با توجه به آن‌ها صورت‌بندی شده‌اند. در شکل ۱۶ مدل مفهومی پژوهش نشان داده شده است. این مدل مفهومی یکپارچه، تحولات پژوهش‌های جهانی در زمینه تاب‌آوری شهری را در کانون توجه قرار می‌دهد و به طور تحلیلی، هم‌پیوندی حیاتی آن با انرژی‌های تجدیدپذیر و چالش‌های ناشی از تغییر اقلیم را ترسیم می‌کند. هسته مدل نشان می‌دهد دستیابی به تاب‌آوری شهری مستلزم غلبه بر موانع ساختاری عمیقی است که در سیستم‌های بالادستی ریشه دارند؛ از جمله شکاف علم - سیاست که مانع تبدیل یافته‌های تحقیقاتی به سیاست‌های عملی می‌شود، و بازنمایی ناکافی بعد انرژی در تحلیل‌های اقلیمی که تاب‌آوری را ناقص می‌سازد. همچنین، پژوهش‌ها با چالش‌هایی مانند فقدان شاخص‌های یکپارچه و گسست مقیاسی (از سطح ساختمان تا شهر) مواجه‌اند که مانع اجرای مؤثر راهکارهای جامع برای مقابله با پدیده‌هایی نظیر جزایر حرارتی شهری و مدیریت ریسک‌های آب‌محور می‌شوند. چشم‌انداز آینده و راه‌حل نهایی مدل بر محور راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) با انرژی متمرکز است که به عنوان یک رویکرد سیستمی و یکپارچه، به طور هم‌زمان بر بهبود اکوسیستم، ارتقای سیستم انرژی و تضمین عدالت فضایی - اجتماعی تأکید می‌کند تا در نهایت، به تعریف و ارتقای شاخص‌های تاب‌آوری منجر شود و چرخه پژوهش و عمل را به سمت یک شهر پایدار و مقاوم سوق دهد.

شاخص محور و قابل مقایسه برای پیش ترکیبی عدالت، کارایی و ریسک تأکید کرده‌اند (Suárez et al., 2024; Sharifi et al., 2022). چهارم، شکاف «علم - سیاست» در ترجمه داده‌های سنجش‌ازدور/رصد زمین به ابزارهای تصمیم یار شهری همچنان محسوس است و نیاز به سازوکارهای واسط برای تبدیل شواهد به اقدام باقی است (Pirrone et al., 2022). از ترکیب این شواهد، دلالت‌های عملی روشن می‌شود: (الف) طراحی خانواده‌ای از مداخلات هم‌زمان که کاهش دمای میکرواقلیم، کاهش رواناب و کاهش بار انرژی را یکجا هدف بگیرد (مثلاً بام‌های بایو سولار، سایه‌انداز سبز - خورشیدی و شبکه‌های زهکشی نفوذپذیر)؛ (ب) حرکت از «پایلوت» به «برنامه» مقیاس‌پذیر» با معیارهای هم‌سنج عدالت توزیعی و بهره‌وری انرژی؛ (ج) استقرار مسیرهای تطبیقی در سیاست‌گذاری شهری ضروری است تا سناریوهای اقلیمی (IPCC AR6) و اهداف توسعه پایدار (SDGs) به شاخص‌های شهری قابل پایش و ارزیابی تبدیل شوند (IPCC2022; UN, 2019). افزون بر این، نتایج پژوهش با بدنه ادبیات مربوط به گذار انرژی و تاب‌آوری زیرساخت‌ها هم‌راستا است؛ ادبیاتی که بر «پیوند متقابل میان شبکه‌های انرژی، آب و اکوسیستم» در مواجهه با شوک‌های محیطی تأکید دارد (Parker & Simpson, 2020; Otten burger et al., 2024). در نهایت، باید توجه داشت که تکیه این مطالعه بر پوشش Scopus و کلیدواژه‌های نمایه‌ای می‌تواند موجب سوگیری پوشش شود؛ هرچند به‌کارگیری لایه‌های مکمل (کلیدواژه نویسندگان و واژگان عنوان - چکیده) و تحلیل‌های حساسیت تا حدی این ریسک را کنترل کرده است. این



شکل ۱۶. مدل مفهومی پژوهش

## ۷. نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل تحولات جهانی در پیوند «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ انجام شد. یافته‌ها نشان دادند این حوزه طی دو دهه اخیر از مرحله‌ای پراکنده و مفهومی به سوی بلوغ نسبی و شتاب‌گیری قابل توجه حرکت کرده است. پس از توافق پاریس در سال ۲۰۱۵ و انتشار گزارش‌های جدید IPCC، تولیدات علمی بیش از سه برابر افزایش یافته و تمرکز از مباحث نظری به رویکردهای کاربردی همچون زیرساخت‌های سبز، مدیریت رواناب و مدل‌سازی داده‌محور اقلیم شهری تغییر یافته است. تحلیل خوشه‌های مفهومی سه جریان عمده را آشکار کرد:

- سیاست‌گذاری، حکمرانی و عدالت اقلیمی که در دهه نخست بر چارچوب‌سازی نهادی تمرکز داشته است؛

- ریسک‌های هیدرولوژیک و زیرساخت سبز که از دهه ۲۰۲۰ به رویکردهای کم‌اثر (LID) گرایش یافته؛

- ریزاقلیم و کاربری زمین که با پیشرفت سنجش‌ازدور و مدل‌سازی مکانی - زمانی، بنیان روش‌شناختی تازه‌ای ایجاد کرده است.

این الگو نشان می‌دهد تحول علمی از سطح حکمرانی کلان به سوی ابزارهای داده‌محور برای مدیریت هم‌زمان مخاطرات اقلیمی و نیاز انرژی پیش می‌رود. در بعد جغرافیایی و نهادی، کشورهای همچون چین، ایالات متحده، و در سال‌های اخیر هند، آلمان و ایران نقش پیشرو یافته‌اند. این الگو بیانگر گذار از تمرکز تک‌مرکزی غرب به چندمرکزی شدن تولید دانش و افزایش نقش نهادهای پژوهشی آسیایی است. همچنین، تحلیل هم‌نویسندگی نشان داد شبکه‌های همکاری بین‌المللی به تدریج متراکم‌تر شده و نقش کشورهای درحال توسعه در میان‌گیری همکاری‌های علمی در حال افزایش است؛ موضوعی که می‌تواند بستر تقویت عدالت اقلیمی در سیاست‌های انرژی و تاب‌آوری را فراهم آورد. نتایج پژوهش همچنین شکاف‌های دانشی پیشین را بازتاب داد: کم‌توجهی نظام‌مند به بعد انرژی و پیوند آن با تاب‌آوری شهری، گسست مقیاسی میان سطوح ساختمان، محله و شهر، فقدان شاخص‌های یکپارچه برای سنجش هم‌زمان تاب‌آوری، انرژی و خدمات اکوسیستم، و کاستی‌های عدالت و حکمرانی در انرژی توزیع‌شده. تحلیل‌های علم‌سنجی نشان داد مؤلفه‌های انرژی و عدالت، با وجود رشد حجم پژوهش‌ها، هنوز جایگاه حاشیه‌ای در شبکه‌های استنادی دارند و نیازمند رویکردهای ادغام محور و سیاست‌پذیر هستند. بر این اساس، چند مسیر سیاستی کلیدی برای رفع شکاف‌های شناسایی شده پیشنهاد می‌شود. نخست، برنامه‌ریزی سازگار با اقلیم باید به صورت عملی با گذار انرژی پیوند یابد؛ به گونه‌ای که مداخلات سبز شهری و راهکارهای مبتنی بر طبیعت (GI/NBS) به طور هم‌زمان با سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر بومی مانند فتوولتائیک‌های بامی، بام‌های بایو سولار و تولید زیست انرژی از پسماند شهری طراحی و اجرا شوند. چنین رویکردی، تاب‌آوری اقلیمی در برابر امواج گرما و سیلاب را در کنار تاب‌آوری انرژی تقویت می‌کند. این اقدامات باید در قالب «بسته‌های مداخله‌ای» در سه سطح ساختمان، محله و شهر تعریف شوند تا از پراکندگی پروژه‌ها و تکرار سیاست‌ها جلوگیری شود. در گام دوم، رفع گسست مقیاسی نیازمند استانداردسازی زنجیره داده و مدل در سطوح مختلف شهری است. ایجاد رصدخانه‌های ریزاقلیم، تلفیق نقشه‌های دمایی و داده‌های سنجش‌ازدور با مدل‌های تقاضای انرژی ساختمان و شبکه‌های توزیع، و کالیبراسیون محلی برای هر شهر، پیش‌نیاز این امر است.

این سامانه‌ها باید با سناریوهای اقلیمی و ارزیابی‌های ریسک پیوند یابند تا نتایج آن‌ها در ضوابط ساخت‌وساز، طراحی فضاهای باز و سیستم‌های زهکشی شهری انعکاس یابد. در گام سوم، توسعه شاخص‌های یکپارچه «تاب‌آوری - انرژی - اکوسیستم» (SETS-informed) ضرورت دارد. این شاخص‌ها باید هم‌زمان بازده انرژی، خدمات اکوسیستم و عدالت اجتماعی را بسنجند و با چارچوب‌های بین‌المللی مانند SDGs و IPCC هم‌راستا باشند. به‌کارگیری این شاخص‌ها در پروژه‌های پایلوت شهری، پیوند ارزیابی عملکرد با بودجه‌ریزی مبتنی بر شواهد را فراهم و از تصمیم‌گیری‌های مقطعی جلوگیری می‌کند. در گام چهارم، سیاست‌گذاری گذار انرژی باید بر مبنای عدالت و شمول اجتماعی تنظیم شود. توسعه ریزشبه‌کها و ایجاد مراکز تاب‌آوری محلی در محله‌های کم‌برخوردار، همراه با یارانه‌های هدفمند و مشارکت اجتماعات انرژی، از شکل‌گیری «زربندی انرژی» جلوگیری و عدالت فضایی - اجتماعی را تقویت می‌کند.

در گام پنجم، کاهش شکاف علم و سیاست نیازمند ایجاد سکوی ترجمان دانش است. داده‌ها و تحلیل‌های علم‌سنجی، شامل نقشه‌های هم‌رخدادی و شبکه‌های همکاری، باید به داشبوردهای سیاست‌پژوهی تبدیل شوند تا مسیر استقرار تدریجی اقدامات، اولویت‌های سرمایه‌گذاری و حوزه‌های کمتر پوشش یافته مشخص شود. هر بسته سیاستی باید مجموعه‌ای از مداخلات مکمل را شامل شود؛ برای نمونه، ترکیب بام‌های بایو سولار سطوح نفوذپذیر و سایه‌اندازی شهری می‌تواند به عنوان یک «خانواده مداخله‌ای منسجم» در برنامه‌های شهری گنجانده شود. در نهایت، هماهنگی مالی و نهادی نیز ضروری است. نتایج شاخص‌های یکپارچه باید مستقیماً به ابزارهای مالی نظیر اوراق سبز شهری، قراردادهای عملکرد انرژی و تعرفه‌های تشویقی ریزشبه‌ک متصل شود. بازنگری در مقررات ساخت‌وساز با تأکید بر آمادگی ریزشبه‌کها، استانداردسازی بام‌های بایو سولار و ترویج خریدهای دولتی کم‌کربن می‌تواند پشتوانه نهادی این گذار باشد. تشکیل کارگروه دائمی «تاب‌آوری - انرژی - اقلیم» با اختیارات جمیع بودجه و پروژه‌ها، به انسجام سیاست‌های زیرساختی، انرژی و عدالت محیطی کمک خواهد کرد. جمع‌بندی آنکه، مطالعه حاضر تصویری نظام‌مند از مسیر تحول علمی حوزه فراهم آورد و نشان داد آینده پژوهش و سیاست باید به سوی ادغام چندمقیاسی NBS با سامانه‌های انرژی پاک، تدوین شاخص‌های یکپارچه تاب‌آوری - انرژی - اکوسیستم، و نهادینه‌سازی عدالت در فرایند گذار انرژی حرکت کند. تحقق شهرهای تاب‌آور و کم‌کربن تنها زمانی ممکن است که برنامه‌ریزی، داده و سرمایه‌گذاری شهری بر پایه شاخص‌های سنجش‌پذیر، چندمقیاسی و عدالت‌محور سازمان یابد. پژوهش حاضر تصویری نظام‌مند از تحول بیست‌وپنج‌ساله ادبیات جهانی در پیوند سه‌گانه «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» ارائه کرد. تحلیل علم‌سنجی نشان داد این حوزه از گفت‌وگو نظری و پراکنده در دهه ۲۰۰۰ به شبکه‌های داده‌محور و میان‌رشته‌ای در دهه ۲۰۲۰ گذار کرده است. این تحول، نتیجه فشار هم‌زمان سیاست‌های اقلیمی بین‌المللی، توسعه فناوری‌های انرژی پاک، و افزایش ریسک‌های اقلیمی در مقیاس شهری است.

با وجود رشد چشمگیر تولیدات علمی، ساختار دانش هنوز از منظر هم‌پیوندی مفهومی و مقیاسی ناپیوسته است. رویکردهای غالب اغلب یا بر جنبه‌های فناورانه انرژی تمرکز دارند یا بر تاب‌آوری اجتماعی و زیرساختی؛ در حالی که پژوهش‌های معدودی توانسته‌اند

Ahern, J., Cilliers, S., & Niemelä, J. (2021). The Concept of Ecosystem Services in Urban Resilience Planning *Landscape and Urban Planning*, 214, 104173. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104173>

Anguelovski, I., Shi, L., Chu, E., & Aylett, A. (2023). Integrating energy justice into urban resilience planning: Emerging lessons. *Urban Studies*, 60(4), 751–769. <https://doi.org/10.1177/00420980221119876>

Asibey, M. O., & Cobbinah, P. B. (2025). Dialogues on Nature-Based Solutions and Informal E-Waste Management. *Journal of Environmental Management*, 392. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126697>

Bixler, R. P., Coudert, M., Shandas, V., Tachet, R., Martins, V., Passalacqua, P., & Niyogi, D. K. (2022). Reflexive co-production for urban resilience: Guiding framework and experiences from Austin, Texas. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 1015630. <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.1015630>

Büyükoçkan, G., Ilıcak, Ö., & Feyzioğlu, O. (2022). A review of urban resilience literature. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103579. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103579>

Chu, E., Hughes, S., & Goh, K. (2022). Toward transformative climate governance in cities. *Nature Climate Change*, 12(9), 785–793. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01413-4>

Cirricione, L., Marvuglia, A., & Scaccianoce, G. (2021). Assessing the effectiveness of green roofs in urban resilience and energy performance: A review. *Building and Environment*, 205, 108198. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108198>

De MacEdo, M. B., Fava, M. C., da Silva, L. B. L., & Alencar, M. H. (2025). Integrating nature-based solutions into urban flood risk and resilience analysis: A bowtie and Sendai framework approach. *Environmental Science and Policy*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104208>

Dong, X., Yang, R., Ye, Y., Yi, S., Haase, D., & Lausch, A. (2024). Planning for green infrastructure by integrating multiple drivers: Ranking priority based on accessibility equity. *Sustainable Cities and Society*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105767>

Elmqvist, T., Andersson, E., Frantzeskaki, N., McPhearson, T. P., & Olsson, P. (2019). Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nature Sustainability*, 2(4), 267–273. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0250-1>

Fleck, R., Gill, R. L., Pettit, T. J., Torpy, F. R., & Irga, P. J. (2022). Bio-solar green roofs increase solar energy output and improve the roof microclimate. *Building and Environment*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109703>

Gallez, E., Canters, F., Gadeyne, S., & Baró, F. (2024). A multi-indicator distributive justice approach to assess school-related green infrastructure benefits in Brussels. *Ecosystem Services*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101677>

Güneralp, B., Seto, K. C., & Ramachandran, M. (2021). Evidence and gaps in research on urban energy use and climate adaptation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 52, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.05.004>

Haque, M. N., & Sharifi, A. (2024). Justice in access to urban ecosystem services: A critical review of the literature. *Ecosystem Services*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101617>

Hidalgo-García, D., Pérez-Albert, Y., Cámara-Pérez, Á., & Castillo, J. M. (2022). Nature-based solutions in Seville (Spain): Barriers and triggers for their implementation. *Land*, 11(6), 868. <https://doi.org/10.3390/land11060868>

Hsu, A., Moffat, A. S., Weinfurter, A., & Schwartz, J. D. (2023). Urban climate adaptation and energy transition: Multi-scale integration challenges. *Environmental Research Letters*, 18(6), 064025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd2e4>

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*

این دو بعد را به صورت یکپارچه در چارچوب‌های تصمیم‌سازی شهری ادغام کنند. از این‌رو، آینده پژوهش باید به سوی توسعه مدل‌های چندسطحی و چندبعدی حرکت کند که بتوانند پیوند میان زیرساخت، اکوسیستم، و عدالت فضایی را به طور کمی و سنجش‌پذیر بازتاب دهند.

برای تقویت بعد تحلیلی این حوزه، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی:

- از تحلیل‌های کتاب‌سنجی فراتر روند و به تلفیق روش‌های علم‌سنجی با تحلیل محتوای متنی و شبکه‌های معنایی بپردازند تا تحولات مفهومی عمیق‌تر شناسایی شود:

- شاخص‌های یکپارچه تاب‌آوری - انرژی - اکوسیستم را با داده‌های تجربی شهرها آزمایش و کالیبره کنند؛

- مطالعات تطبیقی بین منطقه‌ای میان شهرهای شمال و جنوب جهانی را برای تحلیل تفاوت در عدالت انرژی و ظرفیت تاب‌آوری توسعه دهند؛

- پژوهش‌های مبتنی بر سناریو و مدل‌سازی مکانی - زمانی انجام دهند تا تأثیرگذار انرژی بر ریسک‌های اقلیمی شهری در آینده شبیه‌سازی شود؛

- در نهایت، چارچوب‌های ترجمان دانش (knowledge translation) میان جامعه علمی و سیاست‌گذاران شهری را طراحی کنند تا نتایج علم‌سنجی به سیاست‌های اجرایی قابل استفاده تبدیل شود.

در مجموع، مسیر آینده این حوزه در گرو گذار از تحلیل‌های توصیفی به رویکردهای ترکیبی، داده‌محور و عدالت‌محور است. تنها با ادغام چندمقیاسی انرژی‌های تجدیدپذیر، زیرساخت‌های سبز و سیاست‌های اجتماعی می‌توان به الگوی واقعی شهرهای تاب‌آور، کم‌کربن و منصفانه در برابر تغییر اقلیم دست یافت.

## مشارکت نویسندگان

نویسنده اول (۳۵ درصد)، نویسنده دوم (۳۵ درصد) و نویسنده سوم (۳۰ درصد).

## تشکر و قدردانی

هیچ‌گونه حمایت مالی وجود ندارد.

## تعارض منافع

نویسندگان هیچ تضاد منافع را اعلام نکردند.

## یادداشت‌ها

<sup>۱</sup> واژه شاخص واسطه‌گری یا میانیت (Betweenness) در تحلیل شبکه‌ها (network analysis) یک شاخص فنی است که نشان می‌دهد یک گره (مثلاً یک نویسنده یا مفهوم) چقدر نقش واسطه‌گر یا پل ارتباطی بین سایر گره‌ها دارد.

## منابع

Adu Boateng, E., Asibey, M. O., Brandful, K., Adutwum, I. O., & Blija, D. K. (2023). Enabling Nature-Based Solutions: Innovating Urban Climate Resilience. *Journal of Environmental Management*, 344, 117433. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117433>

- ability. *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Karimi, A., Moreno-Rangel, D., & Garcia-Martinez, A. (2025). Granular mapping of UHI and heatwave effects: Implications for building performance and urban resilience. *Building and Environment*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112705>
- Liu, S., Lin, Z. E., & Chiueh, P. (2022). Improving urban sustainability and resilience through FEW nexus strategies. *Science of the Total Environment*, 812, 152559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152559>
- McPhearson, T. P., Andersson, E., Elmqvist, T., & Frantzeskaki, N. (2015). Resilience of and through urban ecosystem services. *Ecosystem Services*, 12, 152–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.012>
- Meerow, S., & Stults, M. (2021). Planning for urban resilience in an age of uncertainty: The case for dynamic adaptive policy pathways. *Cities*, 110, 103084. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103084>
- Otten burger, S. S., Cox, R. W., Chowdhury, B. H., Trybushnyi, D., & others. (2024). Sustainable urban transformations based on integrated infrastructures: Hazards, losses, and energy grids. *Nature Sustainability*, 7(8), 1067–1079. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01395-7>
- Oukawa, G. Y., Kreci, P., & Targino, A. C. (2022). Fine-scale modeling of the urban heat island: A comparison of multiple linear regression and random forest approaches. *Science of the Total Environment*, 815, 152836. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152836>
- Pappalardo, S. E., Zanetti, C., & Todeschi, V. (2023). Mapping urban heat islands and heat-related risk during heat waves: A framework for inclusive adaptation policies in Padua (Italy). *Landscape and Urban Planning*, 239, 104831. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104831>
- Parker, J., & Simpson, G. D. (2020). A theoretical framework for bolstering human–nature resilience via critical infrastructure. *Land*, 9(8), 252. <https://doi.org/10.3390/land9080252>
- Pirone, N. N., Mazzetti, P., Cinnirella, S., Athanasopoulou, E., Masó, J. M., Petäjä, T., & Pokorný, L. (2022). The science-policy interfaces of the European network of the Earth system monitoring via GEOS and Copernicus: From Earth Observation data to policy-oriented decisions. *Environmental Science and Policy*, 137, 359–372. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.09.006>
- Rafael, S. I. M., Martins, H., Sá, E., Carvalho, D., Borrego, C., Lopes, M., Rocha, A., Coelho, S., & Miranda, A. I. (2016). Influence of urban resilience measures in the context of future climate projections under different RCP forcing scenarios. *Science of the Total Environment*, 557–567, 1500–1510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.037>
- Rice, J. L., Cohen, D. A., Long, J., & Jurjevich, J. R. (2022). Contradictions of energy democracy: Justice and community resilience in practice. *Energy Research & Social Science*, 90, 102628. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102628>
- Romero-Lankao, P., & Gnatz, D. M. (2022). Urban resilience and energy transitions in a changing climate. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 383–410. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-111921-051211>
- Salaripour, A., Rezaee, S., & Kavianilima, R. (2025). The Consequence Technique of Cognitive Maps and Space Layout in the Feasibility of Using Clean Transportation with an Emphasis on Bicycles and Electric Scooters on Urban Roads (A Case Study of Rasht). *Urban Structure and Function Studies*, 12(2), 75–30. doi: [10.22080/ufsf.2024.27360.2451](https://doi.org/10.22080/ufsf.2024.27360.2451)
- Schlör, H., Venghaus, S., & Hake, J. F. (2018). The FEW-Nexus city index—Measuring urban resilience to the food-energy-water nexus. *Applied Energy*, 210, 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.026>
- Sharifi, A., Yamagata, Y., & Lehmann, S. (2022). Urban sustainability and resilience: Recent progress and future directions. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103800. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103800>
- Suárez, M., del Álamo, J. B., Gutiérrez-Angonese, J., Gutiérrez, J., Sisto, R., Montes, C., & Sanz-Casado, E. (2024). A holistic index-based framework to assess urban resilience: Application to the Madrid Region, Spain. *Ecological Indicators*, 161, 112293. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112293>
- Suárez, M., del Álamo, J. B., Gutiérrez-Angonese, J., Gutiérrez, J., Sisto, R., Montes, C., & Sanz-Casado, E. (2024). A holistic index-based framework to assess urban resilience: Application to the Madrid Region, Spain. *Ecological Indicators*, 161, 112293. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112293>
- Tablada, A., & Zhao, X. (2016). Sunlight availability and potential food and energy production for green roofs and façades in dense cities. *Solar Energy*, 139, 757–769. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.10.041>
- Torkaman, M., & Jaliladrad, S. (2024). Elucidating the Factors Influencing the Use of Renewable Energy and Enhancing Sustainable Development in Metropolitan Areas Using Content Analysis Method and MAXQDA Software. *Urban Economics and Planning*, 5(3), 214–231. doi: [10.22034/uep.2024.476310.1535](https://doi.org/10.22034/uep.2024.476310.1535)
- United Nations (UN). (2019). *The Sustainable Development Goals Report 2019*. United Nations. <https://unstats.un.org/sdgs-report/2019>
- United Nations. (2019). *The Sustainable Development Goals Report 2019*. United Nations.
- Xu, L., Tong, S., He, W., Zhu, W., Mei, S., Cao, K., & Yuan, C. (2022). Better understanding on impact of microclimate information on building energy modelling performance for urban resilience. *Sustainable Cities and Society*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103775>
- Yu, Z., Guo, X., Jorgensen, G., & Vejre, H. (2017). How can urban green spaces be planned for climate adaptation and mitigation? A review. *Ecological Indicators*, 82, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.002>
- Zhang, T., Sun, Y., Yin, L., Tian, Y., Sun, Y., & Zhang, B. (2025). Examining heat risk inequality from the perspective of urban resilience. *Sustainable Cities and Society*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106743>
- Zhou, X., Chen, X., Wang, T., Huang, J., & Zhou, G. (2025). Towards low-carbon and resilient cities: Coordinated development and its driving factors in 29 Chinese cities. *Sustainable Cities and Society*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106790>
- Zhu, S., Li, D., & Feng, H. (2019). Is smart city resilient? Evidence from China. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101636. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101636>