

چکیده

تاب‌آوری شهری در قرن بیست و یکم 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. مجموعه نهایی شامل ۴۶۰ رکورد است؛ توزیع موضوعی نشان می‌دهد علوم محیطی (<۴۰۰)، علوم اجتماعی (<۲۸۰) و انرژی (<۱۵۰) 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.

نویسنده مسئول: behzadfar@iust.ac.ir

کلمات کلیدی

انرژی‌های تجدیدپذیر
تاب‌آوری شهری
تغییر اقلیم
مدیریت ریسک سیلاب
هم‌رخدادی



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)

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 & Jalilisadrabad, 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-). 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 ریزشک‌ها 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

تجدیدپذیر، تغییر اقلیم» را شناسایی و تحلیل کند. پژوهش حاضر با رویکرد علم‌سنجی و بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ می‌کوشد این خلأها را پر کند و از چند جنبه نوآوری دارد. نخستین مزیت آن، ارائه نقشه‌ای کمی و جامع از تحولات پژوهشی جهانی در پیوند «تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم» است که برای نخستین‌بار به طور هدفمند میزان توجه ناکافی به جنبه انرژی بعد انرژی در ادبیات تاب‌آوری را مستند می‌سازد. دوم، این مطالعه با کدگذاری دقیق واژگان انرژی‌محور و تحلیل هم‌رخدادی در مقاطع زمانی گوناگون، تکامل مفهومی حوزه را در چند مقیاس از ساختمان و محله تا سطح شهر و شبکه‌های توزیع رهگیری می‌کند. سوم، با وارد کردن کلیدواژه‌های عدالت و برابری در کنار انرژی و NBS و تحلیل شبکه هم‌استنادی، بازیگران میانجی که حلقه اتصال حوزه‌ها را تشکیل می‌دهند شناسایی می‌شوند. چهارم، پژوهش مجموعه‌ای پیشنهادی از شاخص‌های یکپارچه تاب‌آوری - انرژی - اکوسیستم را، متکی بر آخرین مرورهای انتقادی، تدوین می‌کند و در نهایت، با نگاشت یافته‌ها به چارچوب‌های سیاستی جهانی همچون اهداف توسعه پایدار و توصیه‌های IPCC، راهبردهایی عملی برای گذار به شهرهای کم‌کربن و مقاوم ارائه می‌دهد؛ بنابراین، یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنای توصیه‌های سیاستی برای گذار به شهرهای کم‌کربن و مقاوم باشد. از نظر روشی نیز بهره‌گیری از ابزارهای علم‌سنجی برای سنجش شبکه‌های همکاری و هم‌استنادی و تحلیل تحول واژگانی، امکان ترسیم دقیق مسیرهای تکامل دانش را فراهم می‌کند. این رهیافت با شناسایی روندهای مفهومی و بازیگران کلیدی، مسیرهای آینده‌پژوهی برای گذار عادلانه انرژی در شهرها و پیوند آن با تاب‌آوری را آشکار می‌سازد و می‌تواند خلأهای پژوهشی و فرصت‌های همکاری میان‌رشته‌ای را برجسته کند. در همین راستا، این پژوهش با تمرکز بر تولیدات علمی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ و با بهره‌گیری از داده‌های اسکوپوس، چند هدف اصلی را دنبال می‌کند. الف: ترسیم روندهای کمی تولیدات علمی، استنادها و شناسایی مجلات و حوزه‌های پژوهشی مرتبط با پیوند تاب‌آوری شهری، انرژی و تغییر اقلیم در این دوره؛ ب: شناسایی و برجسب گذاری خوشه‌های موضوعی و کانون‌های داغ شامل NBS و زیرساخت سبز، نکسوس FEW، کارایی انرژی و میکرو اقلیم، زیرساخت‌های انرژی توزیع‌شده و ریزشک‌ها، حکمرانی و عدالت و بررسی پویایی تحول آن‌ها؛ پ: شناسایی نویسندگان، نهادها و کشورهای اثرگذار و تحلیل الگوهای همکاری علمی در این حوزه؛ ت: صورت‌بندی شکاف‌های دانشی و مسیرهای آتی برای ادغام چندمقیاسی NBS با سامانه‌های تجدیدپذیر، تدوین شاخص‌های یکپارچه تاب‌آوری - انرژی و شناسایی زمینه‌های کمتر پژوهش شده است.

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 مؤلفه 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 نگاشت 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., 2025). 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 هم‌توسعه 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 (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵) با پایش روندهای 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

۱.۳. 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 پارادیمی را از رویکردهای واکنشی و بازگشت‌محور به سمت الگوهای تحولی، سیاست‌پذیر و میان‌بخشی مستند کرده است؛ الگویی که امکان ترسیم نقشه‌ای 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» (Büyükožkan et al., 2022). نمونه نخست، مدل‌های سیستم‌محور مبتنی بر آسیب هستند که با سنجش تاب‌آوری شهری در مواجهه با بارش‌های حادی، 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 باری 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 سنجه‌های عدالت باید در کنار سنجه‌های اقلیمی - زیست‌بومی در ارزیابی‌ها وارد شوند (Gallez et al., 2024). مطالعه تمام‌مقیاس «بایو سولار» نشان می‌دهد تلفیق بام سبز و فتولتائیک 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 سنجه‌های 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 به‌مثابه سازوکار فنی ارتقای تداوم خدمات حیاتی در رخدادهای حادی، 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/تهادای 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 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 یکنواخت‌سازی‌شده 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

تنظیمات نرم‌افزار مستندسازی شد تا در اختیار پژوهشگران آینده قرار گیرد. همچنین، انتخاب 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 بازبایی‌شده شامل شاخص‌هایی همچون وابستگی سازمانی، نویسندگان، کشور، منبع انتشار، موضوع و سال انتشار بود که مستقیم 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.

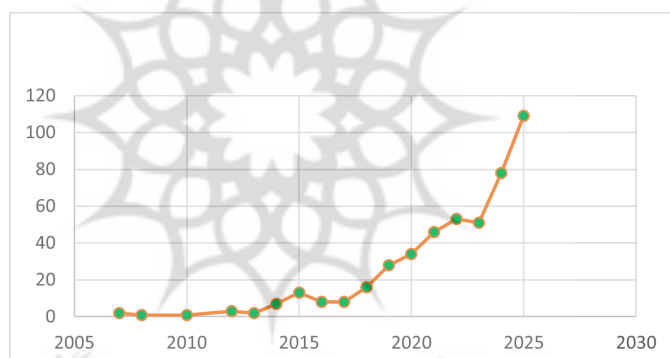
۳.۴. کنترل کیفیت و ملاحظات

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.

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.



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

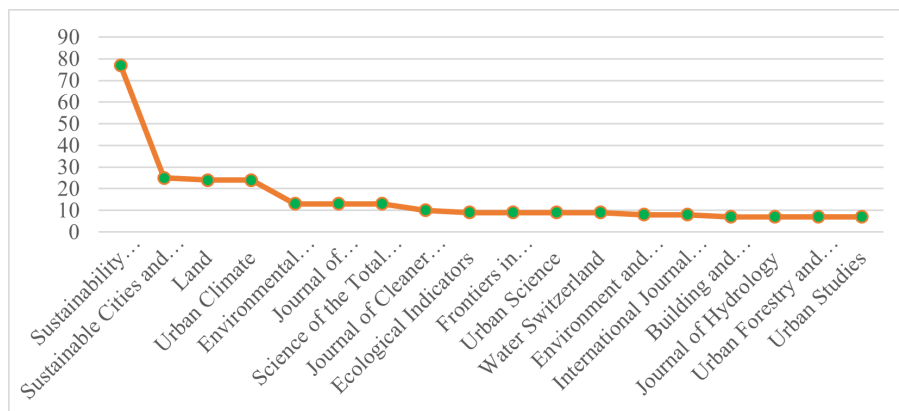
۲.۵. روند انتشار سالانه مقالات برحسب مجلات برتر در حوزه تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵)

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 Environmental Science and Policy, Land, Climate, Journal of Science of the Total Environment و Environmental Management 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 سنجش‌های 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

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

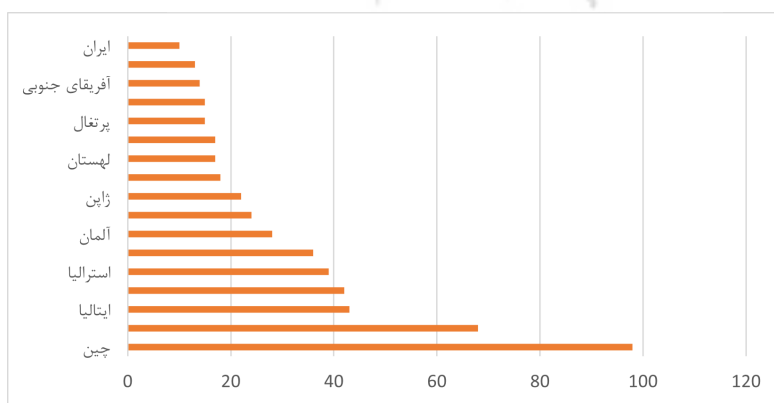


شکل ۲. توزیع مقالات بر اساس مجلات و منابع انتشار در حوزه «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» (۲۰۰۰-۲۰۲۵)

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، پرترغال 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. به طور 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

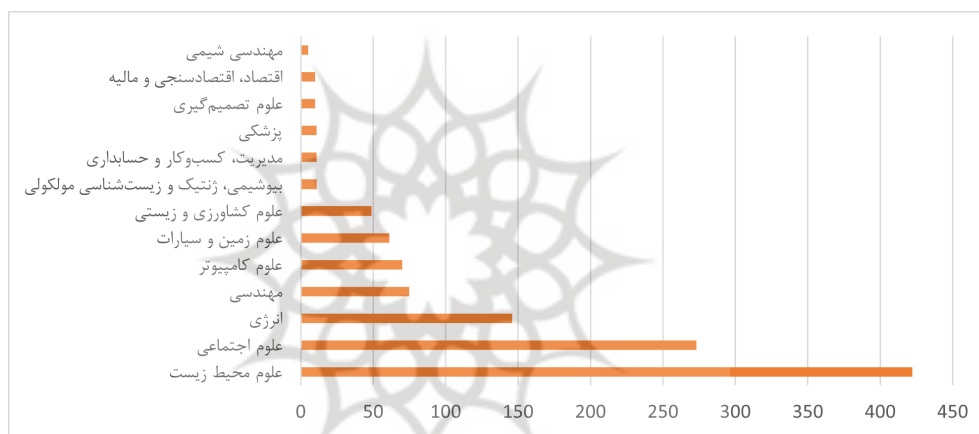


شکل ۳. توزیع مقالات مرتبط با «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» بر اساس کشورها در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۵

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

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،

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.

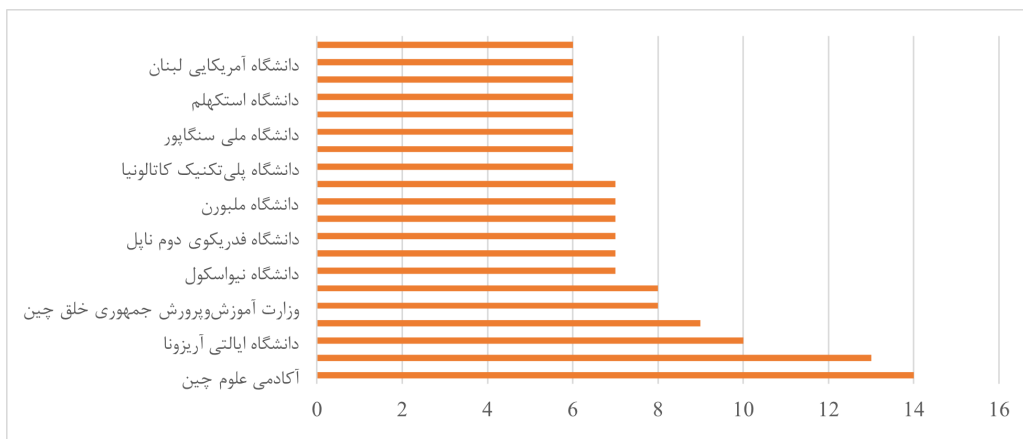


شکل ۴. توزیع مقالات مرتبط با «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» بر اساس حوزه‌های موضوعی در پایگاه Scopus (۲۰۰۰ - ۲۰۲۵)

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 ایالتی 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، فدریکو 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 (McPhearson/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/سنجش‌از‌دور/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.

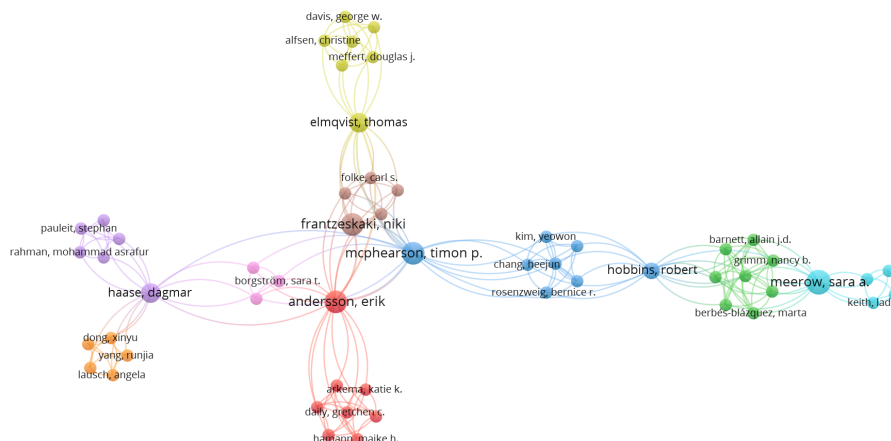
شکل ۶ یک بستر چندخوشه‌ای و به هم پیوسته را نشان می‌دهد: خوشه اکولوژی و NBS در سمت چپ، خوشه عدالت/حکمرانی در سمت راست، و هسته پیونددهنده فرامرزی در مرکز، حضور چند گره با شاخص واسطه‌گری بالا، به معنای انباشت ظرفیت هم‌افزایی است؛ یعنی انتقال دانش از اکولوژی شهری و NBS به سوی سیاست‌گذاری تاب‌آوری، سنجش‌های 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 Thomas Elmqvist و Carl Folke 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.

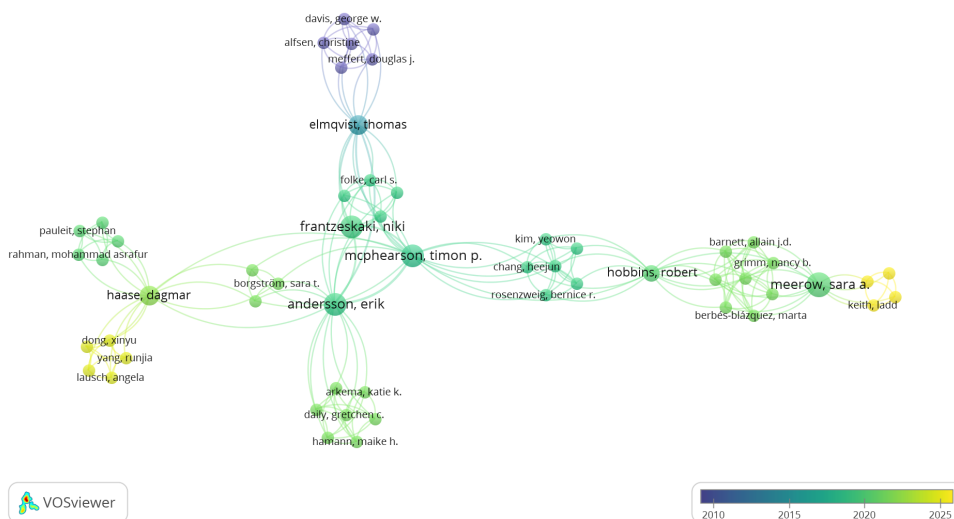


شکل ۶. نقشه هم‌نویسندگی نویسندگان اثرگذار در حوزه تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم

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 Christine، George W. Davis، 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.)، (Erik Andersson و Niki Frantzeskaki، McPhearson) 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.

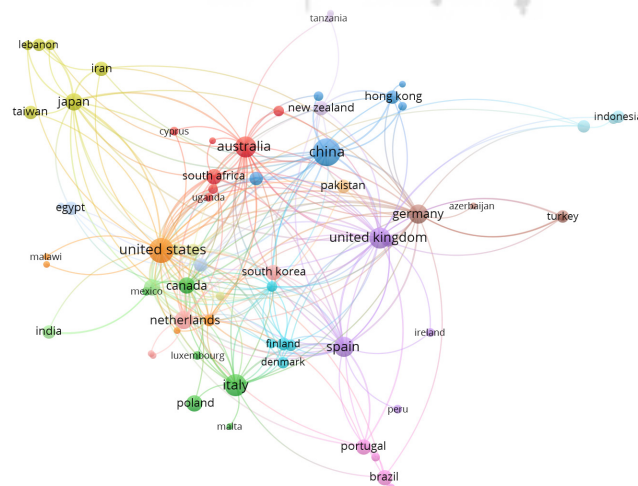


شکل ۷. نقشه هم‌نویسندگی با لایه زمانی (Overlay) در حوزه تاب‌آوری شهری - انرژی‌های تجدیدپذیر - تغییر اقلیم. طیف رنگ میانگین سال انتشار (۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵)

عده دارند (ایتالیا، اسپانیا، هلند، پرتغال)، یک خوشه اروپایی پریپوند 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 (پریپوند) و کشورهای مانند 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

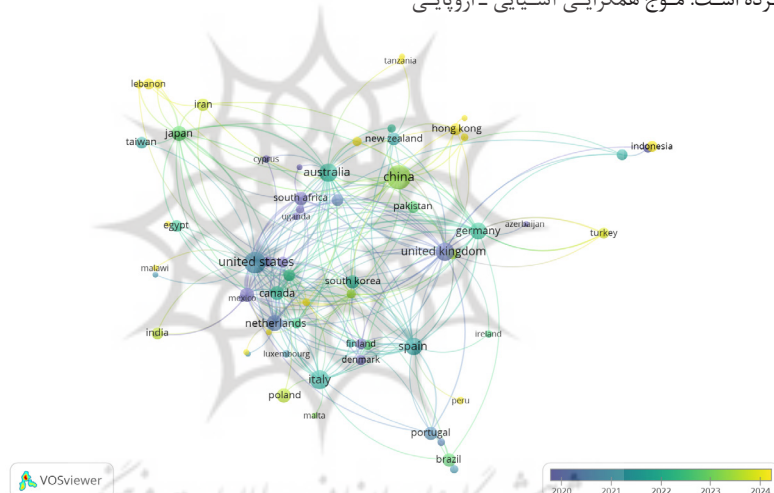
نقشه شکل ۸، هم‌نویسندگی کشورها معماری همکاری‌های بین‌المللی را به صورت یک شبکه چندقطبی اما به هم پیوسته نشان می‌دهد. اندازه نام هر کشور نشانه وزن همکاری (تعداد هم‌نویسی‌ها) و ضخامت یال‌ها بیانگر قدرت پیوند میان کشورهاست؛ رنگ‌ها نیز جوامع همکاری را تفکیک می‌کنند. ابرگره‌ها و مرکزیت شبکه شامل آمریکا با 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



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

(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.

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

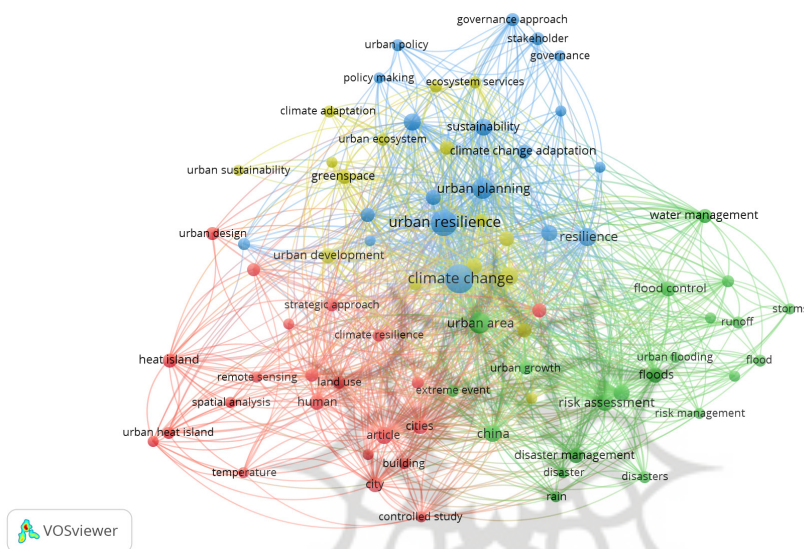
خوشه مدیریت ریسک هیدرولوژیک (سبز): واژگان سیلاب، سیلاب شهری، کنترل سیلاب، روان، سطحی، ارزیابی ریسک، مدیریت بحران یک خوشه منسجم را می‌سازند. هم‌رخدادی‌های پرتعداد میان تغییر اقلیم و واژگان سیلاب/بارش شدید دلالت بر غلبه مخاطرات آب‌محور در ادبیات تاب‌آوری دارد. اتصالات این خوشه با مدیریت آب و مدیریت ریسک 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، بافت ساختمانی در این بخش قرار گرفته‌اند. نزدیکی این خوشه به هسته اقلیم - تاب‌آوری بیانگر اهمیت ریزاقلیم و ابزارهای داده‌محور (به‌ویژه سنجش‌ازدور) در تبیین سازوکارهای

آسیب‌پذیری شهری است. پیوندهای متعدد میان جزایر گرمایی شهری و توسعه برنامه‌ریزی و طراحی شهری نشان می‌دهد طراحی و مورفولوژی شهری در مدیریت ریسک گرما نقش پررنگی دارد.

زیرخوشه‌های پیوندی و گذرگاه‌های مفهومی (زرد/میان‌ی): واژگانی مانند اکوسیستم شهری، خدمات اکوسیستمی شهری، فضاهای سبز شهری، پایداری شهری در حد فاصل خوشه سیاستی و خوشه ریزاقلیم جای گرفته‌اند؛ این موقعیت میانی بیانگر کارکرد میانجی راهکارهای طبیعت‌محور (NBS/GI) در اتصال سنجه‌های اکولوژیک به برنامه‌ریزی و کاهش ریسک است. وجود تاب‌آوری اقلیمی و رهیافت راهبردی در مجاورت هسته نیز نشان می‌دهد

ادبیات به سمت چارچوب‌های تلفیقی و راهبردی‌محور حرکت کرده است. با وجود انسجام سه خوشه یادشده، ترم‌های انرژی و فناوری‌های تجدیدپذیر مانند PV.energy efficiency.microgrid در این لایه هم‌رخدادی کم‌رنگ یا غایب هستند؛ امری که «فاصله مفهومی انرژی با تاب‌آوری - اقلیم» را در پیکره کلیدواژه‌ها تأیید می‌کند و به عنوان شکاف پژوهشی قابل طرح است. از منظر توسعه حوزه، تقویت هم‌رخدادی میان واژگان انرژی توزیع‌شده و سنجه‌های ریزاقلیم/ریسک می‌تواند گذر از تاب‌آوری اقلیمی صرف به تاب‌آوری انرژی‌محور را تسریع کند.

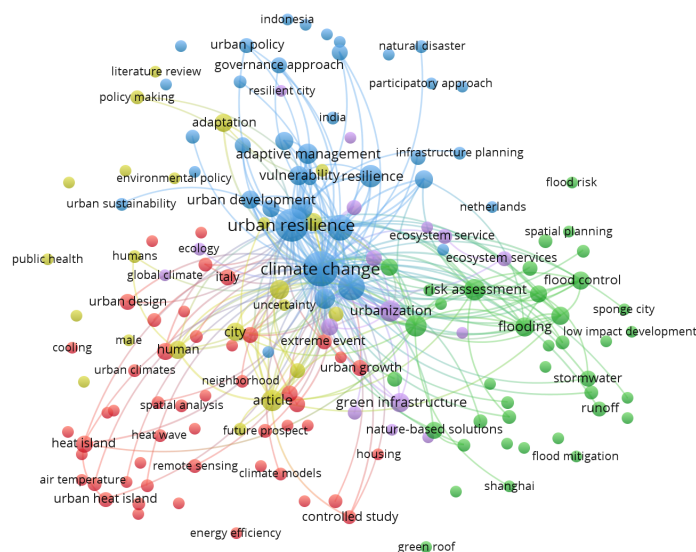


شکل ۱۰. نقشه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها در حوزه (تاب‌آوری شهری، تغییر اقلیم، انرژی تجدیدپذیر)

۱۱.۵. نقشه هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها با لایه زمانی (Overlay): تحول مفهومی «تاب‌آوری شهری - تغییر اقلیم» در بازه (۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳)

نقشه شکل ۱۱، ساختار هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها را همراه با لایه زمانی نمایش می‌دهد؛ طیف رنگ از بنفش/آبی (میانگین سال‌های قدیمی‌تر، حوالی ۲۰۲۱) تا سبز/زرد (جدیدتر، ۲۰۲۲ - ۲۰۲۳) تغییر می‌کند. اندازه گره‌ها بسامد کاربرد واژه و ضخامت یال‌ها شدت هم‌وقوعی را نشان می‌دهد. در مرکز، دو گره محوری تغییر اقلیم و تاب‌آوری با بیشترین پیوندها نقش ستون فقرات شبکه را به عهده دارند و سایر مضامین حول آن‌ها سازمان می‌یابند. خوشه سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی (بالا، رنگ‌های سردتر): کلیدواژه‌هایی همچون سیاست‌گذاری، نظام حکمرانی، ذی‌نفعان، سیاست شهری، برنامه‌ریزی شهری با پیوندهای متراکم به سازگاری با تغییر اقلیم (climate change adaptation) دیده می‌شوند. رنگ‌های تیره‌تر نشان می‌دهد این لایه در ابتدای بازه زمانی تمرکز بیشتری داشته و بنیان هنجاری - نهادی حوزه را شکل داده است؛ به بیان دیگر، ورود تاب‌آوری به دستورکار شهری عمدتاً از مسیر حکمرانی و سیاست‌گذاری صورت گرفته است. خوشه ریسک هیدرولوژیک و

مدیریت بحران (راست، سبز تا زرد): واژگان سیلاب شهری، رواناب سطحی، کنترل سیلاب، توفان‌های شدید جوی، ارزیابی ریسک، مدیریت بحران با رنگ‌های روشن‌تر نمایانگر شتاب گرفتن پژوهش‌های سنجش‌پذیر ریسک از ۲۰۲۲ به بعد است. پیوند نزدیک این مجموعه با مدیریت منابع آب / مدیریت ریسک نشان می‌دهد تمرکز از صرف چارچوب‌های سیاستی، به سمت طراحی ابزارهای ارزیابی و مداخله اجرایی حرکت کرده است. خوشه ریزاقلیم، سنجش از دور و مورفولوژی شهری (چپ، عمدتاً سبز - زرد): این خوشه به مفاهیمی همچون جزیره گرمایی شهری، دما، سنجش از دور، تحلیل فضایی، کاربری زمین و طراحی/توسعه شهری اشاره دارد. نتایج نشان می‌دهد رویکرد داده‌محور و چندمقیاسی، به‌ویژه از طریق بهره‌گیری از سنجش از دور و تحلیل فضایی، در سال‌های اخیر برجسته شده و نقش مهمی در تبیین پیوند میان ساختار کالبدی، ریزاقلیم و آسیب‌پذیری ایفا کرده است. ترم‌های میانجی اکولوژیک (میان‌ی): در حد فاصل خوشه سیاستی و خوشه ریسک/ریزاقلیم جای گرفته‌اند و نقش پل مفهومی راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS/GI) را ایفا می‌کنند؛ یعنی ترجمان اهداف تاب‌آوری به مداخلات مبتنی بر خدمات اکوسیستمی و سبزینه است.



شکل ۱۲. نقشه هم‌رخدادی کلیدواژه‌های نویسندگان در حوزه «تاب‌آوری شهری، تغییر اقلیم و انرژی‌های تجدیدپذیر» (۲۰۲۵ - ۲۰۰۰) (اندازه گره‌ها نشان‌دهنده فراوانی استفاده از کلیدواژه، و ضخامت پیوندها بیانگر شدت هم‌رخدادی آن‌ها است)

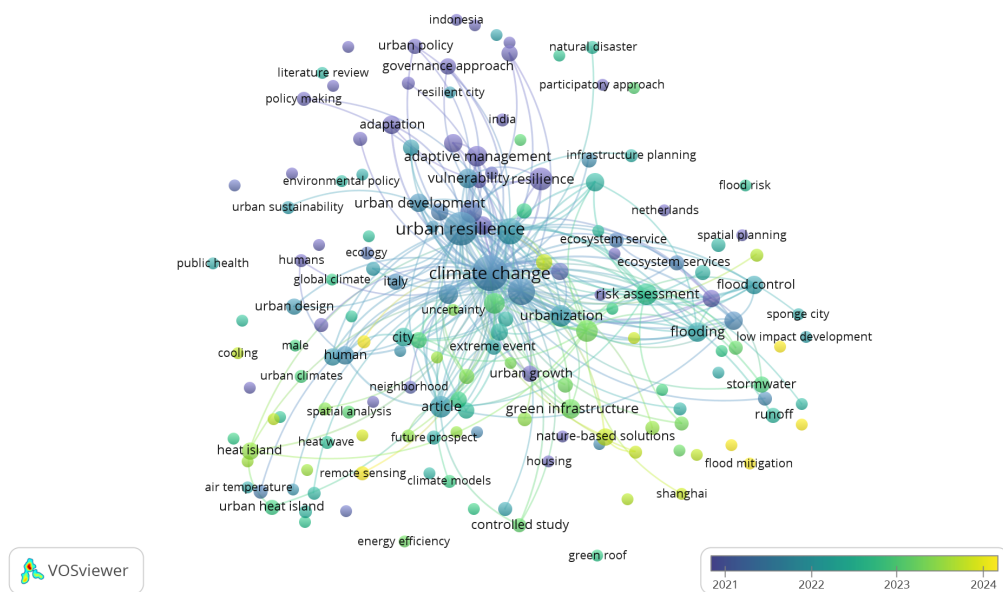
۱۳.۵. نقشه هم‌واژگانی نویسندگان با لایه زمانی (۲۰۲۱ - ۲۰۲۴): تکامل مفهومی تاب‌آوری شهری در پیوند با سیاست، ریسک هیدرولوژیک، و ریزاقلیم

نقشه شکل ۱۳، شبکه هم‌واژگانی کلیدواژه‌های نویسندگان (Author Keywords Co-occurrence) را همراه با لایه زمانی نمایش می‌دهد؛ طیف رنگ از بنفش/آبی (میانگین سال‌های قدیمی‌تر ۲۰۲۱) تا سبز و زرد (جدیدتر ۲۰۲۳ - ۲۰۲۴) تغییر می‌کند. اندازه گره‌ها بسامد به‌کارگیری واژه و ضخامت یال‌ها شدت هم‌وقوعی را نشان می‌دهد. در مرکز، دو هسته تاب‌آوری شهری و تغییر اقلیم با بیشترین پیوندها، «ستون فقرات» ساختار مفهومی را شکل داده‌اند و سایر مضامین حول آن‌ها سازمان یافته‌اند. محور حکمرانی و برنامه‌ریزی بخش نهادی میدان (رنگ‌های سردتر، بالای نقشه): ترم‌هایی مانند رویکرد حکمرانی، سیاست‌گذاری و سیاست شهری، رویکرد مشارکتی، مدیریت تطبیقی با رنگ‌های متمایل به آبی/بنفش دیده می‌شوند؛ یعنی موج اولیه ادبیات (۲۰۲۱ - ۲۰۲۲) بیشتر بر چارچوب‌های حکمرانی چندسطحی، مشارکت ذی‌نفعان و برنامه‌ریزی زیرساختی تمرکز داشته است. هم‌جواری واژگانی مانند آسیب‌پذیری با تاب‌آوری نشان می‌دهد زبان پژوهش از «آسیب‌پذیری» به سوی توان تطبیق و مدیریت تطبیقی حرکت کرده است. پیوند پررنگ این مجموعه با سازگاری تغییر اقلیم، نقش سیاست‌گذاری را در ترجمان اهداف تاب‌آوری به برنامه‌های شهری تأیید می‌کند. محور ریسک‌های هیدرولوژیک و راه‌کارهای مبتنی بر طبیعت، یک جریان کاربردی رو به رشد را نشان می‌دهد. این جریان به صورت خوشه‌ای با هسته‌های اصلی سیلاب شهری، کنترل سیلاب، رواناب، ارزیابی ریسک همراه با خدمات اکوسیستمی، زیرساخت سبز، راه‌کارهای

مبتنی بر طبیعت، شهر اسفنجی، توسعه کم‌اثر زیست‌محیطی مشاهده می‌شود. این هم‌رخدادی قوی غالباً با رنگ‌های سبز تا زرد دیده می‌شود؛ یعنی از ۲۰۲۲ به بعد شدت گرفته است. این مسئله نشان می‌دهد مسیر کاربردی‌سازی تاب‌آوری عمدتاً از کاهش ریسک آب‌محور و راه‌کارهای مبتنی بر طبیعت می‌گذرد. محور ریزاقلیم و مورفولوژی زیرساخت داده‌محور سنجش: ترم‌های جزیره گرمایی شهری، سنجش از دور، تحلیل فضایی، اقلیم‌های شهری، کاربری زمین، طراحی شهری شبکه‌ای فنی - تحلیلی می‌سازند. بسیاری از آن‌ها با رنگ سبز - زرد ظاهر شده‌اند که بیانگر رشد تازه مسیرهای داده‌محور GIS، سنجش از دور، مدل‌های اقلیمی در ۲۰۲۲ - ۲۰۲۴ است. پیوند این گره‌ها با توسعه و طراحی شهری نشان می‌دهد مورفولوژی شهری به طور فزاینده‌ای در تبیین شدت جزیره حرارتی شهری و طراحی مداخلات خنک‌ساز نقش یافته است.

۱۴.۵. روندهای نوظهور و خلاصه

واژگان سلامت عمومی و کارایی انرژی در حاشیه شبکه‌اند؛ این یعنی ادغام نظام‌مند سلامت - عدالت و تاب‌آوری انرژی محور هنوز کامل نشده و فرصت پژوهشی مهمی برای آینده است. از طرفی، تمایز زمانی نشان می‌دهد شبکه پژوهشی از قواعد و نهادها (۲۰۲۱) به سمت ابزارهای سنجش ریسک و مداخله مبتنی بر طبیعت ۲۰۲۳ - ۲۰۲۴ جابه‌جا شده است. فقدان یا کم‌رنگی کلیدواژه‌هایی مانند فناوری فتوولتائیک، ریزشکه برق، تولید پراکنده انرژی تأیید می‌کند که پیوند انرژی‌های تجدیدپذیر با تاب‌آوری شهری در سطح واژگانی نویسندگان هنوز کمتر از حد انتظار بازتاب یافته است.



شکل ۱۳. نقشه هم‌واژگانی کلیدواژه‌های نویسندگان با لایه زمانی در حوزه «تاب‌آوری شهری و تغییر اقلیم: ۲۰۲۱-۲۰۲۴»

۱۵.۵. نقشه هم‌رخدادی «کلیدواژه‌های نمایه‌ای (Indexed Keywords): معماری استانداردشده مفهومی و گذرگاه‌های سیاست، ریسک هیدرولوژیک، و ریزاقلیم

نقشه شکل ۱۴، شبکه هم‌رخدادی کلیدواژه‌های نمایه‌ای را نشان می‌دهد؛ یعنی واژگانی که توسط پایگاه‌ها/نمایه‌سازها به صورت استاندارد به رکوردها تخصیص داده شده‌اند. لذا، نسبت به «کلیدواژه‌های نویسندگان»، تصویر منسجم‌تر و کم‌ابهام‌تری از ساختار مفهومی ارائه می‌کند. اندازه گره‌ها بسامد استفاده و ضخامت یال‌ها شدت هم‌وقوعی را نشان می‌دهد. هسته مرکزی و پیوندهای غالب: سه گره (تغییر اقلیم، برنامه‌ریزی شهری، فضای شهری) در مرکز شبکه به صورت ستون فقرات دیده می‌شوند و به خوشه‌های پیرامونی راه می‌گشایند. هم‌جواری آسیب‌پذیری و مدیریت سازگاری با برنامه‌ریزی شهری دلالت دارد که در اسناد نمایه‌ای، تاب‌آوری بیشتر در قالب مدیریت تطبیقی و کاهش آسیب‌پذیری در برنامه‌ریزی شهری صورت‌بندی شده است. خوشه سیاست، حکمرانی و سیاست‌گذاری شهری (آبی): عبارت‌هایی مانند دولت، سیاست شهری، رویکرد حکمرانی، سیاست‌گذاری در پیوند تنگاتنگ با برنامه‌ریزی شهری قرار دارند. این آرایش نشان می‌دهد در شمای نمایه‌ای، مسیر غالب ترجمان تاب‌آوری، چارچوب‌های سیاستی - نهادی و ابزارهای برنامه‌ریزی شهری است. حضور سلامت عمومی در لبه این خوشه، از پیوند رو به رشد تاب‌آوری با ابعاد سلامت عمومی حکایت دارد، هرچند هنوز در پیرامون شبکه است. خوشه ریسک هیدرولوژیک و ابزارهای مدیریت (سبز): عبارت‌های سیلاب‌های

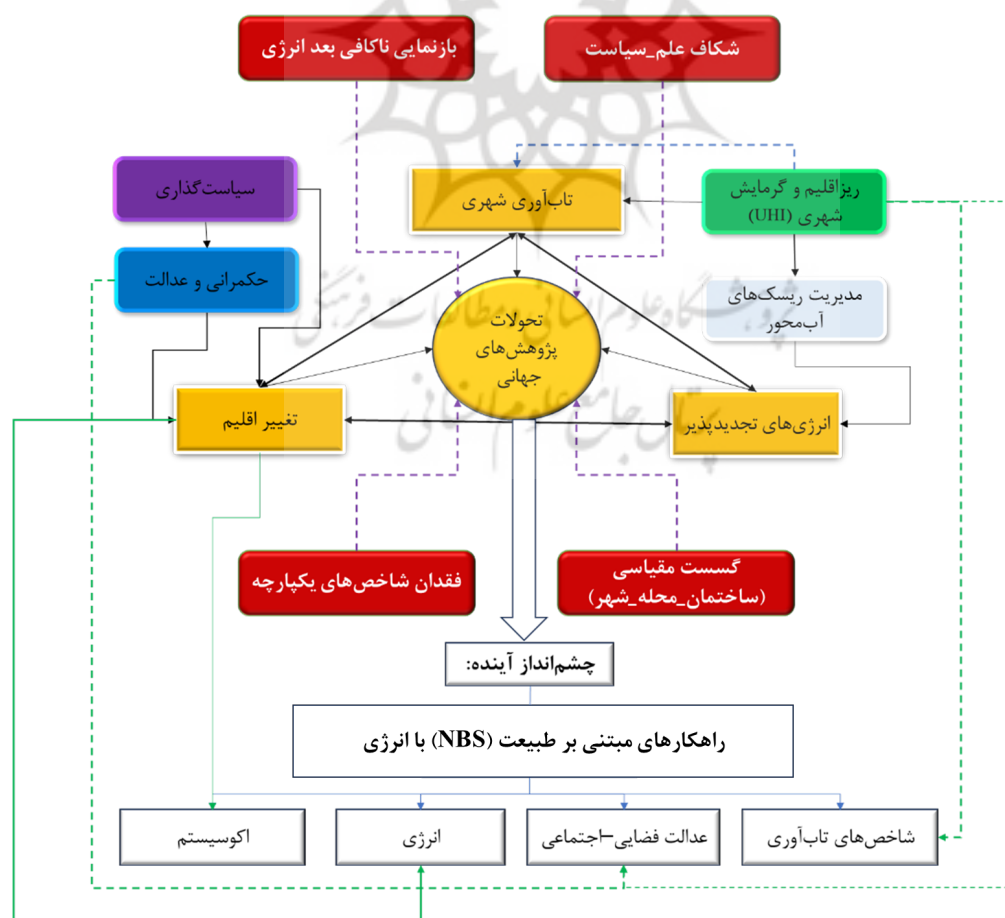
شهری، کنترل سیلاب، شبکه فاضلاب، توفان‌ها، رواناب سطحی، ارزیابی و مدیریت ریسک با ریسک سیلاب، توسعه کم‌اثر زیست‌محیطی، مدیریت منابع آب شهری هم‌رخدادی قوی دارند. جای‌گیری نیز نشان می‌دهد ادبیات نمایه‌ای علاوه بر سنجش‌های فنی، به ابعاد ادراکی/رفتاری ریسک توجه کرده است. حضور هوش مصنوعی کنار ارزیابی بروز سیلاب دلالت بر ورود روش‌های یادگیری ماشین به ارزیابی و پیش‌بینی خطر دارد.

خوشه ریزاقلیم، سنجش و مورفولوژی (قرمز): هسته‌ای متشکل از اقلیم شهری، ریزاقلیم، جزیره حرارتی شهری، دمای هوا/دمای سطح زمین، سنجش‌ازدور و تحلیل فضایی دیده می‌شود. پیوند کاربری زمین/سطح زمین با مدل‌های اقلیمی و شبیه‌سازی نشان می‌دهد مسیر مدل‌سازی چند مقیاسی و داده‌محور (مبتنی بر GIS، سنجش‌ازدور و مدل‌سازی) برای تبیین سازوکارهای گرمایش شهری و نقش کاربری زمین تقویت شده است.

خوشه اکولوژی شهری و NBS زرد/سبز - زرد: عبارت‌هایی همچون خدمات اکوسیستمی، اکوسیستم شهری، فضای سبز، بام سبز و تحلیل مکانی - زمانی در موقعیت میانی قرار دارند و به عنوان پل‌های ترجمانی میان ریزاقلیم (خوشه قرمز) و ریسک/مدیریت (خوشه سبز) عمل می‌کنند. حضور سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل مکانی - زمانی در کنار این مفاهیم نشان می‌دهد ارزیابی خدمات اکوسیستمی و راهکارهای مبتنی بر طبیعت (NBS) عمدتاً با روش‌های تحلیلی مکانی - زمانی پشتیبانی می‌شود.

محدودیت‌ها در خوانش نتایج لحاظ شده و پیشنهاد‌های آینده‌پژوهانه 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.

شاخص‌محور و قابل مقایسه برای پایش 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 تصمیم‌یار 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 به کارگیری 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. نتیجه‌گیری

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، کشوری 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 هم‌پوشاندگی نشان داد شبکه‌های همکاری بین‌المللی به تدریج متمرکزتر شده و نقش کشورهای درحال توسعه در میانجی‌گری 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 توزیع شده. 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. به کارگیری 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 ریزشبکه‌ها و ایجاد مراکز تاب‌آوری محلی در محله‌های کم‌برخوردار، همراه با یارانه‌های هدفمند و مشارکت اجتماعات انرژی، از شکل‌گیری «مرزبندی انرژی» جلوگیری و عدالت فضایی - اجتماعی را تقویت می‌کند.

در گام پنجم، کاهش شکاف علم و سیاست نیازمند ایجاد سکوهایی 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 مستقیم به ابزارهای مالی نظیر اوراق سبز شهری، قراردادهای عملکرد انرژی و تعرفه‌های تشویقی ریزشبکه متصل شود. بازنگری در مقررات ساخت‌وساز با تأکید بر آمادگی ریزشبکه‌ها، استانداردسازی بام‌های بایو سولار و ترویج خریدهای دولتی کم‌کربن می‌تواند پشتوانه نهادی این گذار باشد. تشکیل کارگروه دائمی «تاب‌آوری - انرژی - اقلیم» با اختیارات جمع‌بده 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 بیست و پنج ساله ادبیات جهانی در پیوند سه گانه «تاب‌آوری شهری، انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر اقلیم» ارائه کرد. تحلیل علم‌سنجی نشان داد این حوزه از گفت‌وگو نظری و پراکنده در دهه ۲۰۰۰ به شبکه‌ای 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>
- Cirincione, 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؛

- و 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

^۱ 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>
- Ottensmeyer, 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., & Gnat, 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.solar.2016.10.041>
- Torkaman, M., & Jalilabad, 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>