

Identification of Strategies and Mechanisms for Achieving Zero-Carbon Cities: A Qualitative Meta-Analysis

Hafez Mahdnejad ¹ , Mansour Rezali² 

¹Assistant professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Seyyed Jamaluddin Asadabadi University, Asadabad, Iran.

²PhD in geography and urban planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.



Received:
24 November 2025

Accepted:
25 January 2026

Keywords:

Low-carbon development, Low-carbon economy, Low-carbon society, Low-carbon city, Post-carbon city

Abstract

By identifying key strategies and mechanisms, this research aims to provide a systematic analysis and a comprehensive theoretical framework for the realization of a zero-carbon city. The present study utilizes a meta-analytical approach to examine patterns, trends, and mechanisms of achieving zero-carbon cities. In this research, the PRISMA standard framework was employed for transparency and reproducibility, including stages such as identification, screening, eligibility assessment, and sources. A systematic search was conducted in reputable scientific databases like Elsevier, Springer and ResearchGate with precise inclusion and exclusion criteria. Finally, 37 sources were selected for analysis. The data analysis revealed that the majority of sources were concentrated in the years 2022 and 2023 (46%), with most being qualitative studies (60%). A total of 128 open codes, eight selective codes, and 39 axial codes were extracted, indicating the importance of factors such as energy consumption reduction, waste management, urban forestry, and science and technology in achieving zero-carbon cities. A temporal analysis showed that the focus of research has shifted from general concepts toward more specific ones, such as low-carbon smart cities and circular economies. Based on the findings, the realization of zero-carbon cities requires cooperation across various social, economic, and environmental dimensions. In this regard, a theoretical model has been developed, emphasizing endogenous drivers (science and technology, resources and environment, economy and industry) and exogenous drivers (facilities, capital, and institutional conditions). This model provides a comprehensive framework for planning and operationalizing zero-carbon cities. The present study suggests that policymakers and planners should develop tailored and adaptive strategies, particularly addressing identified gaps in local and regional domains. It utilizes the proposed theoretical framework as a practical guide to design and implement sustainable zero-carbon cities.



Introduction

In recent decades, climate change and the increase in greenhouse gas emissions have emerged as one of the greatest global challenges. Cities, as the largest consumers of energy and resources, play a key role in either exacerbating or mitigating this phenomenon. Despite numerous efforts to achieve low-carbon and even carbon-free cities, the central question that remains is what strategies and mechanisms can effectively lead to the realization of these goals? The importance of this issue becomes more apparent when considering that cities account for approximately 70% of global greenhouse gas emissions. This research aims to identify the patterns, trends, and key mechanisms involved in achieving carbon-free cities through a systematic review of the existing literature. The necessity of this study lies in the fact that, despite a significant volume of research on sustainable cities, there are still gaps in understanding and operationalizing the strategies of achieving carbon-free cities. This paper uses a meta-analysis approach to answer the question 'which factors (technical, managerial, social, and structural) serve as the main drivers in realizing carbon-free cities'. The present study also provides a comprehensive theoretical framework to guide planners and policymakers in designing and implementing sustainable carbon-free cities.

Research methodology

This research employs a meta-analysis approach to systematically review and evaluate the existing studies on carbon-free cities. The PRISMA framework was used to ensure transparency and reproducibility, consisting of four main stages: identification, screening, eligibility assessment, and inclusion of sources. In the identification stage, a systematic search was conducted in reputable scientific databases such as Elsevier, Springer, Emerald, Wiley, Sage, and ResearchGate. A set of keywords, including "decarbonization", "post-carbon city", "low-carbon economy", and "low-carbon transition", was used, initially identifying 412 sources. After removing duplicates and irrelevant sources, 37 sources were selected for final analysis. The inclusion criteria consisted of the sources directly addressing carbon-free cities and published in reputable journals or publications. The exclusion criteria included lack of access to full texts, lack of scientific credibility of authors, or high overlap with the research topic. In the data extraction stage, the information regarding the type of research, data collection methods, and key findings was extracted from each source. Subsequently, open coding was used to identify 128 open codes, which were then categorized into eight selective codes and 39 axial codes. Finally, content analysis and comparisons were performed to identify the patterns and trends.

Results and discussion

The data analysis revealed that the majority of sources were published in 2022 and 2023 (46%), with qualitative studies comprising 60% of the total. A total of 128 open codes, eight selective codes, and 39 axial codes were extracted, highlighting the importance of factors such as energy consumption reduction, waste management, urban forestry, and science and technology in achieving carbon-free cities. The temporal analysis showed a shift in research focus from general concepts like decarbonization to more specific ones such as smart low-carbon cities and circular economies. In terms of code frequency, the codes related to buildings, energy, and urban transportation had the highest number of open codes, underscoring their significance. The pattern analysis indicated that the majority of the open codes focused on reducing energy consumption, waste management, and urban forestry. The axial codes emphasized the critical role of science and technology, resources and environment, and economy and industry. The analysis of the trend from 1990 to 2003 revealed a shift from general concepts like decarbonization to more specific ones such as carbon-free cities and circular economies. Based on the comparative analysis of countries, developed nations focused more on advanced technologies and R&D investment, while developing countries emphasized waste management and climate adaptation. These findings provide a comprehensive understanding of the mechanisms driving carbon-free cities.

Conclusion

The findings indicate that achieving carbon-free cities requires the integration of social, economic, and environmental dimensions. The key strategies include reducing carbon emissions, improving energy efficiency, developing

sustainable infrastructure, and promoting low-carbon lifestyles. These findings address the main research question by identifying the strategies and mechanisms for achieving carbon-free cities. To this end, a theoretical model was developed, emphasizing the internal drivers (science and technology, resources and environment, economy and industry) and the external drivers (facilities, capital, and institutional conditions). This model offers a comprehensive framework for planning and operationalizing carbon-free cities. The theoretical implications include filling the existing gaps in the literature and providing a holistic framework for understanding the mechanisms of carbon-free city realization. Practically, these findings can guide policymakers and planners in designing and implementing sustainable carbon-free cities. The recommendations of this study include developing context-specific strategies for different regions, strengthening institutional and technological capacities, and promoting community participation in carbon reduction efforts. Additionally, future research is encouraged to explore the local and regional factors influencing carbon-free city achievement and conduct comparative analyses between developed and developing countries.



مقاله پژوهشی

شناسایی استراتژی‌ها و سازوکارهای تحقق شهر بدون کربن: یک فراتحلیل کیفی

حافظ مهدنژاد^{۱*}، منصور رضا علی^۲

^۱ دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران
^۲ دانش‌آموخته دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

doi 10.22034/GRD.2026.22556.1643

چکیده

این پژوهش با شناسایی استراتژی‌ها و سازوکارهای کلیدی، به دنبال تحلیل نظام‌مند و ارائه چارچوب نظری جامع برای تحقق شهر بدون کربن است. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش فراتحلیل، به بررسی الگوها، روندها و سازوکارهای تحقق شهر بدون کربن پرداخته است. در این پژوهش، از چارچوب استاندارد پریزما برای شفافیت و قابلیت تکرارپذیری استفاده شده که شامل مراحل شناسایی، غربالگری، ارزیابی واجد شرایط بودن و شمولیت منابع است. جست‌وجوی نظام‌مند در پایگاه‌های علمی معتبر نظیر الزویر، اشپینگر و ریسرچ گیت صورت گرفت و با استفاده از معیارهای دقیق ورود و خروج، ۳۷ منبع برای تحلیل نهایی انتخاب شدند. تحلیل داده‌ها نشان داد که بیشترین تمرکز منابع در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ (۴۶ درصد) بوده و غالب آن‌ها از نوع کیفی (۶۰ درصد) هستند. ۱۲۸ کد باز، هشت کد انتخابی و ۳۹ کد محوری استخراج شدند که نشان‌دهنده اهمیت عواملی نظیر کاهش مصرف انرژی، مدیریت پسماند، جنگلداری شهری و علم و فناوری در تحقق شهر بدون کربن است. تحلیل زمانی نشان داد که تمرکز تحقیقات از مفاهیم عمومی به سمت مفاهیم خاص‌تری نظیر شهر هوشمند کم‌کربن و اقتصاد دایره‌ای تغییر یافته است. بر اساس یافته‌ها، تحقق شهر بدون کربن مستلزم همبازی ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی است. در این راستا، مدل‌سازی نظری انجام شده که بر پیشران‌های درون‌زا (علم و فناوری، منابع و محیط‌زیست، اقتصاد و صنعت) و برون‌زا (امکانات، سرمایه و شرایط نهادی) تأکید دارد. این مدل، چارچوبی جامع برای برنامه‌ریزی و عملیاتی کردن شهرهای بدون کربن ارائه می‌دهد. پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان با توجه به شکاف‌های شناسایی شده، به‌ویژه در حوزه‌های محلی و منطقه‌ای، اقدام به تدوین استراتژی‌های سازگار و اختصاصی نمایند و از چارچوب نظری ارائه شده به‌عنوان راهنمای عملی در طراحی و اجرای شهرهای پایدار بدون کربن استفاده نمایند.

تاریخ دریافت:

۰۱ دی ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۰۴ بهمن ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

توسعه کم‌کربن،
اقتصاد کم‌کربن،
جامعه کم‌کربن،
شهر کم‌کربن،
شهر پساکربن

۱ مقدمه

شهرها به‌عنوان مکان‌های تخصیص سرمایه و تمرکز منابع، مکان‌ها و حوزه‌های کلیدی تولید ثروت، گره‌های تعاملی کاربرد فناوری و تجمیع دانش، مراکز نوآوری فرهنگی و پیشروان توسعه اجتماعی، سیاسی و اقتصادی، توسعه بی‌سابقه‌ای کسب کرده‌اند.

Email: h.mahdnejad@siau.ac.ir

* نویسنده مسئول: حافظ مهدنژاد

آدرس: دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی.

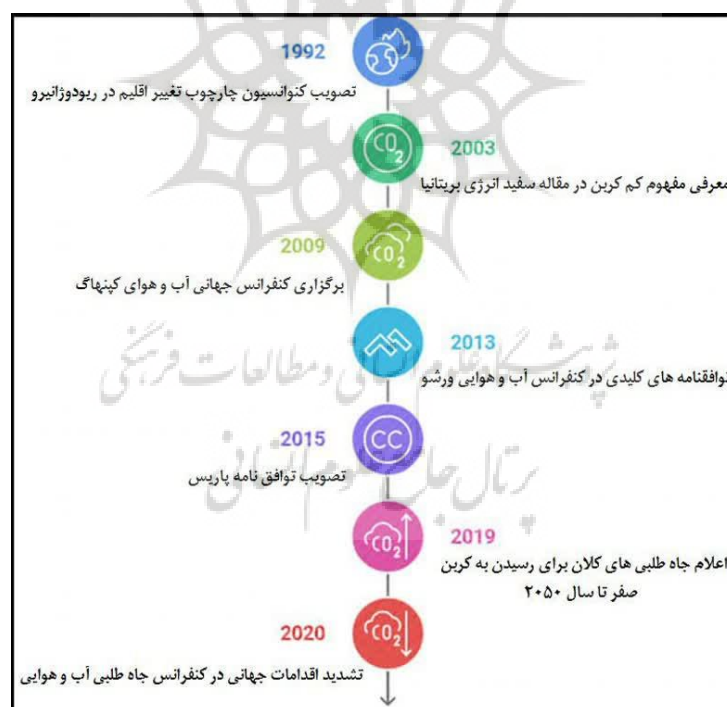
درعین حال، بهره‌برداری بیش‌ازحد از انرژی و منابع، تخریب گسترده اکوسیستم‌های طبیعی، بدتر شدن آلودگی در انواع مختلف، تغییرات بزرگ محیطی و آب‌وهوایی و مجموعه‌ای از بیماری‌های شهری ظاهر شده است (Fang et al., 2016). در کنار این تحولات، افزایش دما تا سال ۲۰۱۷ به ۱ درجه سانتی‌گراد رسیده و پیش‌بینی می‌شود که با ادامه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر، بین سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۲ با مسیر فعلی به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد برسد. این امر موجب وقوع رویدادهای و تغییرات شدید آب‌وهوایی در چند دهه اخیر، شده است (Wimbadi, & Djalante, 2020). در این میان، انتشار کربن به یک موضوع جهانی تبدیل شده است که پیامدهای زیادی نظیر تأثیر بیش‌ازحد بر محیط طبیعی و سلامت انسان، تهدید توسعه پایدار، به دنبال دارد. در طول چند دهه گذشته، فعالیت‌های انسانی، منجر به افزایش مداوم در تولید گازهای گلخانه‌ای شد که ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی است. گازهای گلخانه‌ای تشعشعات مادون قرمز ساطع شده از سطح زمین را هنگام جذب نور خورشید به دام می‌اندازند، از تابش آن به فضا جلوگیری و باعث افزایش مداوم دمای سطح جهانی و اقیانوس‌ها و گرم شدن کره زمین می‌شود. گرمایش زمین به نوبه خود به تغییرات آب‌وهوایی کمک نموده است که با افزایش فراوانی و شدت خشک‌سالی‌ها و امواج گرما همراه است. همچنین، انتشار گازهای گلخانه‌ای نه تنها به تغییرات آب‌وهوایی کمک می‌کند، بلکه بر کیفیت هوا و سیستم آب شهری تأثیر منفی می‌گذارد (Wang et al., 2023; Yao et al., 2022; Zandalinas et al., 2021; Pour et al., 2020; Zhao et al., 2020).

شهرهایی با غلظت بالای جمعیت، ساختمان‌ها، حمل‌ونقل، صنعت و لجستیک دارای سطوح بالایی از انتشار کربن هستند (Wang et al., 2023). افزون بر این، فرآیندهای گسترش شهری به از بین رفتن پوشش گیاهی، تسریع انتشار کربن و افزایش دمای سطح زمین کمک می‌کند (Kafy et al., 2022)، در نتیجه بر چرخه کربن و انعطاف‌پذیری اکوسیستم در سطح شهری تأثیر می‌گذارد (Rahaman et al., 2022). افزایش دمای سطح زمین به دلیل گسترش بیش‌ازحد شهری نیز به اثر جزیره گرمایی شهری، با اثرات منفی زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی کمک می‌نماید (Saha et al., 2022). بر این اساس، در دهه‌های اخیر، تغییرات آب‌وهوایی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی مطرح شده‌اند که شهرها به عنوان عمده‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و منابع، نقش کلیدی در تشدید یا کاهش این پدیده ایفا می‌نمایند. باوجود تلاش‌های متعدد برای دستیابی به شهرهای کم‌کربن و حتی بدون کربن، سؤال اصلی، این است که چه استراتژی‌ها و سازوکارهایی بر تحقق شهرهای بدون کربن، تأثیرگذار هستند؟ بر همین مبنا، هدف این پژوهش، شناسایی الگوها، روندها و مکانیزم‌های کلیدی در تحقق شهر بدون کربن، است. ضرورت پژوهش حاضر در این نکته نهفته است که علی‌رغم حجم چشمگیری از تحقیقات در حوزه شهرهای پایدار، هنوز شکاف‌هایی در ادراک دقیق و عملیاتی‌سازی استراتژی‌های تحقق شهر بدون کربن به خصوص در زمینه یکپارچه‌سازی ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی وجود دارد. این مقاله با استفاده از روش فراتحلیل، به دنبال پاسخ به این سؤال است که چه عواملی (فنی، مدیریتی، اجتماعی و ساختاری) به عنوان پیش‌ران‌های اصلی تحقق شهر بدون کربن عمل می‌کنند؟ درنهایت، پژوهش حاضر با ارائه یک چارچوب نظری جامع، مسیری برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران فراهم می‌آورد تا بتوانند از آن به عنوان راهنمای عملی در طراحی و پیاده‌سازی شهرهای پایدار بدون کربن استفاده نمایند. ساختار کلی مقاله حاضر متشکل از تحلیل روش‌شناسی، ارائه یافته‌ها و نتایج و درنهایت ارائه بحث و نتیجه‌گیری است.

۲ پیشینه و مبانی نظری

تحول شهر بدون کربن از دهه ۱۹۹۰ آغاز گردید (شکل ۱) و با مجموعه‌ای از اقدامات در دهه‌های بعدی بسط و توسعه یافت که از آن جمله می‌توان به تصویب کنوانسیون چارچوب تغییر اقلیم، معرفی مفهوم کم‌کربن و

توافق‌نامه‌های بین‌المللی اشاره نمود. این فرآیند در دهه ۲۰۲۰ به اوج خود رسید چراکه هدف مشترک جهانی برای دستیابی به "کربن صفر" تا سال ۲۰۵۰ شکل گرفت. انتشار کربن شهری که بخش عمده‌ای از انتشار جهانی را شکل می‌دهد، مبنای اصلی این تحولات قرار گرفته است (Yuan et al., 2011; Wang et al., 2023). اولین بحث کربن‌زدایی در مورد تغییرات آب‌وهوایی در مقاله‌ای به قلم اوسوبل^۱ (۱۹۹۵) مطرح شد که آن را به‌عنوان فرآیند کاهش شدت کربن انرژی اولیه تعریف نمود. حدود یک دهه بعد، اصطلاح توسعه کم‌کربن معرفی شد. باوجوداین، هنوز توافق واحدی در خصوص این اصطلاح وجود ندارد. بحث توسعه کم‌کربن حول محور کاهش شدت انرژی مبتنی بر سوخت فسیلی در تولید و مصرف در بخش‌های مختلف اقتصادی است (Wimbadi, & Djalante, 2020). سایر محققان برای توصیف فرآیند تکاملی تولید انتشار کمتر دی‌اکسید کربن، از اصطلاح انتقال کم‌کربن استفاده نموده‌اند. مندر و همکاران^۲ (۲۰۰۷) از این عبارت برای بیان نیاز به انتقال به سیستم انرژی کم‌کربن استفاده نمودند (Mander et al., 2007). سیاست‌گذاران به‌تدریج اصطلاح خالص صفر را در برنامه‌های توسعه و اسناد سیاستی، مانند انگلستان (بریتانیا)، چین و اندونزی درک کرده‌اند (Wimbadi, & Djalante, 2020). مفهوم کربن‌کم برای اولین بار در زمینه توسعه اقتصادی توسعه یافت. در اواخر دهه ۱۹۹۰، کینزیگ و کامن^۳ (۱۹۹۸) اصطلاح اقتصاد کم‌کربن را در مقاله خود با عنوان "مسیرهای ملی انتشار کربن" مطرح کردند. در سال ۲۰۰۳، این اصطلاح از مباحث دانشگاهی به اسناد رسمی راه یافت. اقتصاد کم‌کربن که با انرژی کم‌کربن، انرژی صفر کربن یا فناوری بدون کربن مشخص می‌شود، بخشی جدایی‌ناپذیر از یک جامعه صرفه‌جو در منابع و دوستدار محیط‌زیست است. بحث از تولید کم‌کربن به سبک زندگی کم‌کربن یا جامعه کم‌کربن به ساخت شهرهای کم‌کربن گسترش یافته است (Wei & Wenmei, 2019).



شکل ۱. تحول زمانی شهر بدون کربن (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۴)

¹ Ausubel

² Mander

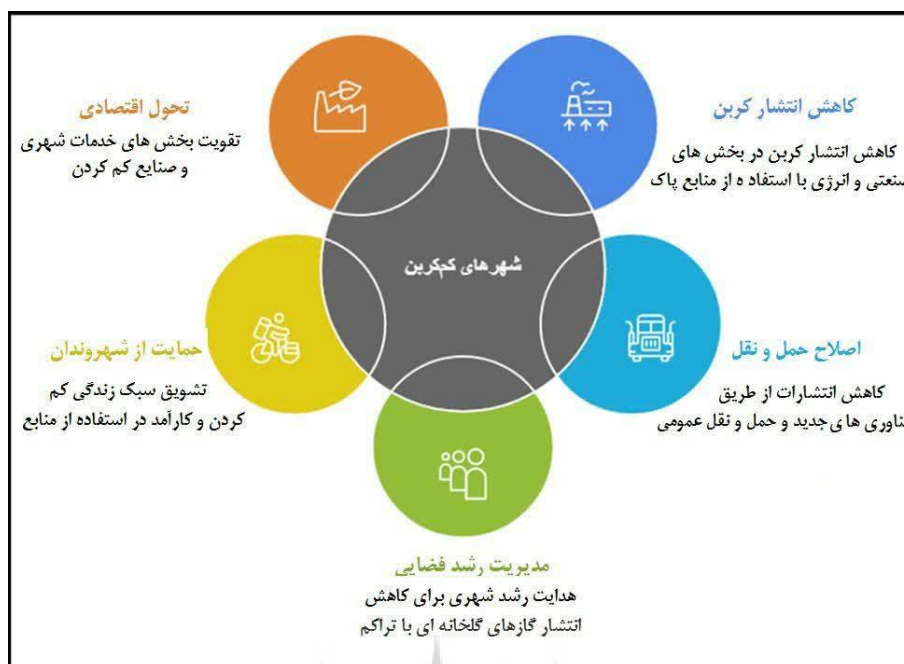
³ Kinzig and Kammen

عوامل کلیدی شکل‌دهنده انتشار کربن شهری عبارت‌اند از: ۱) تاریخچه و سطوح قفل شدن زیرساخت‌های موجود؛ ۲) جغرافیا، آب‌وهوا، اقلیم و وقف منابع؛ ۳) سطوح، نرخ‌ها و شکل‌های فعالیت و رشد اجتماعی و اقتصادی؛ ۴) ظرفیت‌ها و توانایی‌های حکمروایی شهری برای تأثیرگذاری بر الگوهای توسعه؛ ۵) سطوح فشار و یا حمایت از سیاست بین‌المللی و ملی؛ ۶) سطوح دسترسی به منابع مالی و توانایی سرمایه‌گذاری در زیرساخت؛ ۷) شدت کربن عرضه برق و قیمت انرژی؛ ۸) فرم شهری، ترکیب کاربری اراضی و میزان توسعه فشرده و به‌هم‌پیوسته؛ ۹) سطوح و شکل‌های تقاضای حمل‌ونقل و سهولت دسترسی به حمل‌ونقل عمومی؛ ۱۰) راندمان ساختمان‌ها و سطوح تقاضا برای گرمایش و سرمایش و ۱۱) سطوح درآمد، شکل‌های سبک زندگی و الگوهای مصرف (Gouldson et al., 2015). از دیدگاه بانک جهانی (۲۰۱۲)، هدف کلی یک شهر کم‌کربن، کاهش قابل‌توجه ردپای کربن آن به روش‌هایی است که پتانسیل توسعه اقتصادی یک شهر را به خطر نیندازد (Baeumler et al., 2012). یک مدل توسعه مبتنی بر انرژی کم‌کربن، سازگار با آب‌وهوا است و از اصول توسعه پایدار پیروی نموده، به جلوگیری از تغییرات خطرناک آب‌وهوا کمک و الگوهای مصرف و تولید کم‌کربن را اتخاذ می‌نماید (Ohshita et al., 2016). شهر کم‌کربن شهری است که به‌طور فعال و قابل‌توجهی انتشار کربن را کاهش می‌دهد، حتی زمانی که اقتصاد آن در حال بلوغ است (Zhou et al., 2011). شهر کم‌کربن رویکردی برای تبدیل از تمدن صنعتی به تمدن اکولوژیکی است که چالش‌های شهرنشینی را با توجه به شیوه‌های کربن کم پوشش می‌دهد. یکی از اهداف اصلی شهر کم‌کربن، کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن است. از این‌رو، شهر کم‌کربن یک مدل توسعه شهری است که شروع و توسعه نوع جدیدی از اقتصاد شهری را برای کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن تحریک می‌کند. شهر کربن‌خنی^۱، شهری است که انتشار کربن آن صفر است. شهر بدون کربن^۲، شهری است که به‌طور خاص گازهای گلخانه‌ای تولید نمی‌کند و منحصراً با انرژی از منابع تجدیدپذیر اداره می‌شود (Sarker et al., 2018).

برای کمک به شکل‌گیری شهرهای کم‌کربن، پنج جزء به‌عنوان نقشه راه باید در اولویت قرار گیرد که عبارت‌اند از: ۱) شهرها باید تلاش مستمری برای کاهش انتشار کربن با حفظ اقدامات بهره‌وری انرژی در سمت تقاضا، به‌ویژه در بخش‌های صنعتی، برق، گرمایش و ساختمان انجام دهند. این باید با تمرکز بر افزایش استفاده از منابع پاک و تجدیدپذیر انرژی ترکیب شود. ۲) شهرها باید انتشارات ناشی از بخش حمل‌ونقل را از راه پذیرش فناوری‌های جدید و ارائه حمل‌ونقل عمومی و غیرموتوری با کیفیت بالا به حداقل برسانند. ۳) شهرها باید رشد فضایی و شکل شهری خود را با دقت هدایت کنند. شهرهای با تراکم بالاتر گازهای گلخانه‌ای کمتری منتشر می‌کنند. شهرها نه‌تنها باید از راه شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی و شکل‌های شهری فشرده‌تر، بلکه هوشمندتر نیز رشد کنند. ۴) شهرها باید به دنبال حمایت شهروندان خود باشند و یک اجماع در خصوص سبک زندگی با منابع کارآمد و کم‌کربن ایجاد نمایند. با افزایش درآمد و قدرت خرید و تقاضای فردی بالاتر، سبک زندگی کم‌کربن کلیدی برای کاهش تقاضای انرژی در آینده خواهد بود. ۵) شهرها باید به ساختار اقتصادی خود بپردازند، زیرا رشد تولید ناخالص داخلی آینده به‌طور فزاینده‌ای توسط خدمات شهری و صنایع کربن پایین‌تر هدایت می‌شود که هر دو عامل تعیین‌کننده برای کاهش شدت کربن در بسیاری از شهرهای امروزی هستند (Xiaodong et al., 2012)؛ بنابراین، برای شکل‌گیری شهرهای کم‌کربن، پنج جزء کلیدی باید در اولویت قرار گیرد که متشکل از کاهش انتشار کربن و بهره‌وری انرژی، اصلاح بخش حمل‌ونقل، مدیریت رشد فضایی و شکل شهری، حمایت از شهروندان برای تغییر سبک زندگی و تحول در ساختار اقتصادی شهرها هستند. این اجزا به‌صورت هماهنگ می‌توانند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارتقای پایداری شهری کمک نمایند. بر این اساس، چارچوب مفهومی شهر کم‌کربن در شکل ۲، ارائه شده است.

¹ Carbon neutral city

² Zero carbon city



شکل ۱. چارچوب مفهومی شکل‌گیری شهرهای کم‌کربن (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۴)

۳ روش پژوهش

در پژوهش حاضر، از روش فراتحلیل، به‌عنوان یک روش نظام‌مند جهت جمع‌بندی و ارزیابی پژوهش‌های موجود در حوزه شهر بدون کربن استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش، مشتمل بر شناسایی الگوها، روندها و سازوکارهای تحقق شهر بدون کربن از راه تلفیق داده‌های کیفی و کمی موجود در منابع علمی است. از چارچوب استاندارد پریزما^۱ جهت حصول اطمینان از شفافیت و قابلیت تکرارپذیری، استفاده گردیده که متشکل از چهار مرحله اصلی شناسایی، غربالگری، ارزیابی واجد شرایط بودن و شمولیت منابع است. مراحل اجرای فراتحلیل در پژوهش حاضر عبارت‌اند از: نخست، شناسایی منابع؛ در این مرحله، جست‌وجوی نظام‌مند در پایگاه‌های علمی معتبر نظیر الزویر، اشپینگر، امرالد، وایلی، سیج، ریسرچ‌گیت، ام‌دی‌پی‌ای^۲، صورت پذیرفت. از مجموعه‌ای از کلمات کلیدی نظیر کربن‌زدایی، توسعه کم‌کربن و انتقال کم‌کربن^۳، شهرهای پساکربن، جامعه پساکربن، ساختمان پساکربن^۴، اجتماع کم‌کربن^۵، شهر کم‌کربن^۶، شهرهای خنثی کربن^۷ استفاده شده است. این واژگان به‌صورت ترکیبی و با استفاده از عملگرهای بولی (AND, OR, NOT) در جست‌وجوی منابع به‌کار رفتند. در ابتدا، ۴۱۲ منبع شناسایی شد. دوم، غربالگری: پس از حذف موارد تکراری، ۲۹۴ منبع باقی ماند. در این مرحله، عنوان و چکیده منابع موردبررسی قرار گرفت و ۲۰۵ منبع به دلیل نامرتب بودن موضوع یا عدم انطباق با هدف‌های پژوهش حذف گردیدند. سوم، ارزیابی واجد شرایط بودن: در این مرحله، ۸۹ منبع برای بررسی متن کامل انتخاب

¹ PRISMA

² Elsevier, Springer, Emerald, Wiley, SAGE, ResearchGate, MDPI,

³ Decarbonization, Low carbon development (LCD), and Low carbon transition (LCT)

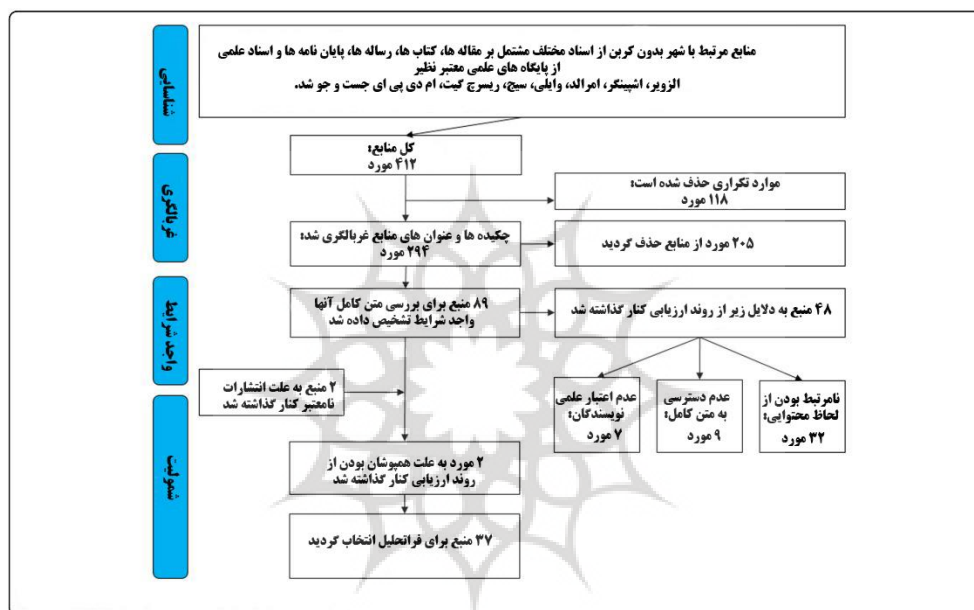
⁴ Post-Carbon city, Post-carbon society, Post-Carbon building

⁵ Low carbon community,

⁶ low carbon city

⁷ Carbon Neutral Cities

شدند. همچنین، در این مرحله، معیارهای دقیقی برای انتخاب منابع تعیین گردید که شامل معیارهای ورود و معیارهای خروج بود. معیارهای ورود عبارت‌اند از: منابعی که به‌طور مستقیم به موضوع شهر بدون کربن پرداخته‌اند؛ منابع منتشرشده در مجلات یا نشریات معتبر علمی؛ منابع دارای رویکرد تحقیقاتی مشخص (کیفی، کمی یا آمیخته)؛ و منابع منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴. معیارهای خروج عبارت‌اند از: منابعی که امکان دسترسی به متن کامل آن‌ها، وجود نداشت؛ منابعی که نویسندگان آن‌ها اعتبار علمی کافی نداشتند؛ منابع منتشرشده در نشریات یا انتشارات نامعتبر؛ منابعی که دارای همپوشانی بالایی با موضوع پژوهش بودند. بر اساس این معیارها، ۴۸ منبع از روند پژوهش، حذف شدند. چهارم، شمولیت: درنهایت، ۳۷ منبع برای تحلیل نهایی انتخاب شدند که شامل مقاله‌ها (۹۲ درصد) و کتاب‌ها (۸ درصد) بودند. این منابع در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ منتشرشده و پوشش جغرافیایی آن‌ها مشتمل بر کشورهای مختلفی از قبیل چین، بریتانیا، کره جنوبی، هند، برزیل، کانادا، سوئد و دیگر کشورها بود (شکل ۳).



شکل ۳. فرآیند انتخاب منابع پژوهش

جامعه آماری پژوهش حاضر مشتمل بر منابع علمی حوزه شهر بدون کربن اعم از مقاله‌ها، کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها می‌باشند. روش نمونه‌گیری در این پژوهش، نمونه‌گیری هدفمند است که بر اساس معیارهای ورود و خروج مشخص شده، منابع مرتبط انتخاب گردیدند. این معیارها به‌گونه‌ای طراحی شدند که از این امر اطمینان حاصل شود منابع انتخابی، مرتبط‌ترین و قابل‌اعتمادترین منابع موجود در حوزه شهر بدون کربن هستند. در پژوهش حاضر، از رویکرد فراتحلیل کیفی استفاده شده که از مراحل بدین قرار تشکیل شده است: نخست، استخراج داده‌ها: از هر منبع، اطلاعات مرتبط با موضوع پژوهش ازجمله نوع پژوهش (کیفی، کمی یا آمیخته)، روش گردآوری داده‌ها، رویکرد پژوهشی و یافته‌های اصلی استخراج شد و اطلاعات آن‌ها به‌صورت نظام‌مند در جدول ۱، ثبت شده است. دوم، کدگذاری داده‌ها: در این مرحله، از روش کدگذاری باز استفاده گردید که ۱۲۸ کد باز، شناسایی شد. سپس، این کدهای باز به هشت کد انتخابی طبقه‌بندی شدند. این کدهای انتخابی دارای ۳۹ کد محوری هستند (جدول ۳). سوم، تحلیل داده‌ها: پس از طبقه‌بندی کدها، از روش تحلیل محتوا جهت شناسایی الگوها و روندها استفاده شد. این تحلیل به شناسایی عوامل کلیدی مؤثر در تحقق شهر بدون کربن کمک نمود. همچنین، از روش تحلیل مقایسه‌ای برای مقایسه یافته‌های مختلف منابع استفاده شد. چهارم،

مدل‌سازی نظری: درنهایت، از رویکرد مدل‌سازی نظری برای ارائه یک چارچوب کلی در حوزه شهر بدون کربن استفاده گردید. این مدل شامل مراحل مختلف تحقق شهر بدون کربن و راهبردهای مرتبط با آن است.

جدول ۱. روش گردآوری داده‌ها، رویکرد، نوع پژوهش، پایگاه داده و حوزه جغرافیایی

مأخذ	سال	روش گردآوری داده	رویکرد پژوهش	نوع پژوهش	پایگاه داده	حوزه جغرافیایی
Yuan et al	۲۰۱۱	کتابخانه‌ای و اسنادی	توصیفی - تحلیلی	کیفی	الزویر	چین
Baeumler et al	۲۰۱۲	داده‌های آماری	توصیفی - تحلیلی	کیفی	امرالند	چین
Chatterton	۲۰۱۳	کتابخانه‌ای و اسنادی	توصیفی - تحلیلی	کیفی	وایلی	بریتانیا
Yang	۲۰۱۳	کتابخانه‌ای و اسنادی	توصیفی - تحلیلی	کیفی	الزویر	کره جنوبی
Dhar et al	۲۰۱۳	داده‌های آماری	توصیفی - تحلیلی	کیفی	ریسرچ‌گیت	هند
Tan et al	۲۰۱۵	داده‌های آماری	تحلیل آماری	کمی	الزویر	چندین کشور
Gouldson et al	۲۰۱۵	داده‌های آماری	تحلیل تطبیقی	کمی	الزویر	چندین کشور
Ohshita et al	۲۰۱۵	داده‌های شهرداری‌ها	توصیفی - تحلیلی	کیفی	وایلی	آمریکا
Beveridge et al	۲۰۱۵	داده‌های آماری	توصیفی - تحلیلی	کیفی	ریسرچ‌گیت	چندین کشور
Sudmant et al	۲۰۱۶	داده‌های آماری	آینده‌پژوهی	کیفی	اشپینگر	-
Fang et al	۲۰۱۶	داده‌های شهرداری‌ها	تحلیل فضایی	کمی	ام‌دی‌پی‌ای	چین
Liu & Qin	۲۰۱۶	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	الزویر	چین
Kenis & Lievens	۲۰۱۷	کتابخانه‌ای و اسنادی	تحلیل گفتمان	کیفی	سیج	بلژیک
Tozer & Klenk	۲۰۱۸	کتابخانه‌ای و اسنادی	تحلیل گفتمان	کیفی	سیج	ائتلاف شهرهای خنثی کربن
Wei & Wenmei	۲۰۱۹	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	ریسرچ‌گیت	چین
Wayne Hunter et al	۲۰۱۹	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	ریسرچ‌گیت	چین
Wimbadi, & Djalante	۲۰۲۰	کتابخانه‌ای و اسنادی	علم‌سنجی و مرور سیستماتیک ادبیات	آمیخته	الزویر	-
Gao & Zhang	۲۰۲۰	کتابخانه‌ای و اسنادی	آینده‌پژوهی	کیفی	الزویر	-
Bottero et al	۲۰۲۱	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	ریسرچ‌گیت	-
Too et al	۲۰۲۲	کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های عمیق نیمه ساختاریافته	مرور سیستماتیک ادبیات و دلفی	آمیخته	الزویر	چندین کشور
Zeng et al	۲۰۲۲	داده‌های آماری	تحلیل تطبیقی	کمی	ام‌دی‌پی‌ای	چین
Du et al	۲۰۲۲	داده‌های شهرداری‌ها	تحلیل فضایی	کمی	الزویر	چین
Huovila et al	۲۰۲۲	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	الزویر	فنلاند
Martes & Köhl	۲۰۲۲	داده‌های آماری	آینده‌پژوهی	کیفی	ریسرچ‌گیت	آلمان
Liu et al	۲۰۲۲	داده‌های شهرداری‌ها	تحلیل فضایی	کمی	ریسرچ‌گیت	چین

Wang et al	۲۰۲۳	کتابخانه‌ای و اسنادی	علم‌سنجی و بررسی سیستماتیک	آمیخته	الزویبر	-
Zhang et al	۲۰۲۳	داده‌های آماری	تحلیل آماری	کمی	ام‌دی‌پی‌ای	چین
Mazumdar et al	۲۰۲۳	مصاحبه نیمه ساختاریافته	تجزیه و تحلیل موضوعی	کیفی	الزویبر	بریتانیا
Duan & Kim	۲۰۲۳	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	ام‌دی‌پی‌ای	-
Chen et al	۲۰۲۳	داده‌های شهرداری‌ها	تحلیل فضایی	کمی	ام‌دی‌پی‌ای	چین
Shaw et al	۲۰۲۳	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	ریسرچ‌گیت	-
Chen et al	۲۰۲۳	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	اشپینگر	ژاپن
Sun et al	۲۰۲۳	داده‌های شهرداری‌ها	مدل تفاوت پیش‌رونده	کمی	ریسرچ‌گیت	چین
Wang et al	۲۰۲۳	داده‌های شهرداری‌ها	تجزیه و تحلیل ناهمگونی	کمی	الزویبر	چین
Wang et al	۲۰۲۳	داده‌های شهرداری‌ها	تجزیه و تحلیل ناهمگونی	کمی	الزویبر	چین
Zeng et al	۲۰۲۳	داده‌های شهرداری‌ها	تحلیل فضایی	کمی	الزویبر	چین
Falana et al	۲۰۲۴	کتابخانه‌ای و اسنادی	مرور سیستماتیک ادبیات	کیفی	الزویبر	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

۴ یافته‌های پژوهش

تحلیل زمانی منابع پژوهش بیانگر آن است که بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ است. بیشترین منابع مربوط به سال‌های ۲۰۲۳ (۳۰ درصد) و ۲۰۲۲ (۱۶ درصد) است. همان‌طور که منحنی نشان می‌دهد نمودار در سال ۲۰۲۳ به اوج می‌رسد. از لحاظ نوع پژوهش، ۶۰ درصد منابع از نوع کیفی، ۳۲ درصد کمی و ۸ درصد آمیخته هستند (شکل ۴ و جدول ۱).



شکل ۴. تحلیل زمانی و نوع پژوهش (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

تحلیل منابع پژوهش نشانگر آن است که روش‌های گردآوری داده‌ها، رویکردها و نوع منابع پژوهش در حوزه شهرهای کم‌کربن به صورت دقیق و هدفمند انتخاب گردیده‌اند تا بتوانند به طور جامع به بررسی این موضوع

بپردازند. آمار داده‌های کتابخانه‌ای و اسنادی (۴۶ درصد)، بیانگر آن است که پژوهش بر پایه اطلاعات موجود و مستند شکل گرفته است و این امر اعتبار و قابلیت اعتماد یافته‌ها را افزایش می‌دهد. افزون براین، بهره‌گیری از داده‌های آماری و داده‌های شهرداری‌ها (هرکدام ۲۴ درصد) نشان‌دهنده توجه به شواهد کمی و عملی است که در طراحی سیاست‌های محلی و منطقه‌ای حائز اهمیت فراوانی است. ازلحاظ رویکردی، غالب بودن پژوهش‌های مرور سیستماتیک ادبیات (۲۴ درصد) و رویکردهای توصیفی-تحلیلی (۱۹ درصد) نشان‌دهنده آن است که پژوهش بر پایه مرور دقیق مطالعات قبلی و تحلیل نظام‌مند داده‌ها شکل پذیرفته است. از سوی دیگر، سهم اندک رویکردهای نوین ازجمله سناریوسازی و آینده‌پژوهی (۸ درصد) بیانگر چالش‌های موجود در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی بلندمدت است. درنهایت، غالب بودن مقالات (۹۲ درصد) به‌عنوان منبع اصلی پژوهش و استفاده از پایگاه‌های معتبری مانند الزویر (۴۳ درصد) و ریسرچ‌گیت (۲۴ درصد) نمایانگر توجه به دانش علمی به‌روز و استانداردهای بین‌المللی است که می‌تواند به توسعه راهکارهای عملی برای شهرهای کم‌کربن کمک نماید.

جدول ۲. درصد روش گردآوری داده‌ها، رویکرد و نوع پژوهش

عنوان	جزئیات	درصد
روش گردآوری داده‌ها	کتابخانه‌ای و اسنادی	۴۶ درصد
	داده‌های آماری	۲۴ درصد
	داده‌های شهرداری‌ها	۲۴ درصد
	مصاحبه‌های عمیق نیمه ساختاریافته	۶ درصد
رویکرد پژوهش	مرور سیستماتیک ادبیات	۲۴ درصد
	توصیفی-تحلیلی	۱۹ درصد
	تحلیل فضایی	۱۴ درصد
	سناریوسازی و آینده‌پژوهی	۸ درصد
	تحلیل تطبیقی، تجزیه و تحلیل ناهمگونی، تحلیل گفتمان، تجزیه و تحلیل کتاب‌سنجی	هرکدام ۵ درصد
	سایر رویکردها (تجزیه و تحلیل آماری، دلفی، مدل اختلاف چند فاز، تجزیه و تحلیل موضوعی و غیره)	هرکدام ۳ درصد
پایگاه‌های داده	الزویر	۴۳ درصد
	ریسرچ‌گیت	۲۴ درصد
	ام‌دی‌پی‌ای	۱۴ درصد
	وایلی	۶ درصد
	اشپینگر و سیج	هرکدام ۵ درصد
	امرالدا	۳ درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

افزون بر این توجه به شهر بدون کربن در شهرهای کشورهایی نظیر چین، بریتانیا، کره جنوبی، هند، برزیل، کانادا، سوئد، آفریقای جنوبی، آمریکا، ژاپن، مکزیک، استرالیا، مالزی، پرو، اندونزی، آلمان، اسپانیا، اسلوانی، بلژیک، فیلیپین، نروژ، هلند، فنلاند، چین، عربستان و عراق مورد توجه قرار گرفته است. معیارهای انتخاب کشورها عبارت‌اند از: نخست، سطح توسعه اقتصادی: حضور کشورهای توسعه‌یافته از قبیل سوئد، آلمان، نروژ و درحال توسعه ازجمله هند و اندونزی، بیانگر توجه به شهرهای بدون کربن در شرایط اقتصادی متفاوت است. دوم، تنوع جغرافیایی و آب‌وهوایی: وجود کشورهای مربوط به مناطق مختلف جغرافیایی (آسیا، اروپا، آمریکا، آفریقا و اقیانوسیه) و در شرایط آب‌وهوایی متفاوت (مانند مناطق سردسیر، گرمسیر و مدیترانه‌ای)، به درک بهتر

تأثیر شرایط محیطی بر طراحی شهرهای کم‌کربن کمک می‌نماید. سوم، دسترسی به داده‌ها و منابع علمی: داده‌های مرتبط با شهرهای کم‌کربن در کشورهایی انتخاب‌شده، قابل دسترسی است. از لحاظ قابلیت تعمیم نتایج می‌توان بیان داشت راهکارهای ارائه‌شده مشتمل بر استفاده از فناوری‌های پیشرفته، توسعه حمل‌ونقل عمومی هوشمند و بهره‌وری انرژی، برای کشورهای توسعه‌یافته، قابل اجرا و کاربردی است، چراکه این کشورها ظرفیت اقتصادی، فناوری و نهادی لازم را دارند. درعین حال، بسیاری از راهکارها به علت محدودیت‌های اقتصادی، زیرساختی و نهادی، برای کشورهای در حال توسعه، قابل اجرا نمی‌باشد. در نتیجه، نمی‌توان یافته‌های پژوهش را به صورت کلی و بدون توجه به شرایط خاص هر منطقه تعمیم داد. در مقابل، لازم است چارچوبی سازگار منطبق بر ویژگی‌های هر منطقه (از قبیل سطح توسعه، آب‌وهوای منطقه‌ای و ظرفیت نهادی) طراحی گردد و راهکارهای سیاستی را بر اساس آن شرایط تنظیم نماید.

نتایج حاصل از فراتحلیل بیانگر آن است که ۱۲۸ کد باز، هشت کد انتخابی مشتمل بر تحول فناوری و برنامه‌ریزی، پیش‌زمینه‌های ساختاری و محیطی، چارچوب‌های نظری توسعه پایدار، مکانیزم‌های تسهیل‌کننده تحقق شهر بدون کربن، شاخص‌ها و معیارهای عملکرد شهری، عامل‌های محرک و مکانیزم‌های اجرایی، استراتژی‌های کاهش کربن شهری و فرآیندهای تحول شهری به سمت کم‌کربن شدن و ۳۹ کد محوری برای شهر بدون کربن استخراج‌شده است. از لحاظ توزیع فراوانی کدها، کدهای مربوط به ساختمان‌ها و انرژی و حمل‌ونقل شهری، دارای بیشترین تعداد کدهای باز هستند که بیانگر اهمیت آن‌ها در تحقق شهر بدون کربن است. تحلیل تحول زمانی نشانگر تمرکز تحقیقات به سمت مفاهیم نوین از جمله شهر هوشمند کم‌کربن و انتقال انرژی، است. بر مبنای تحلیل الگوها، بیشترین تمرکز کدهای باز بر کاهش مصرف انرژی، مدیریت پسماند و جنگل‌داری شهری است. از لحاظ کدهای محوری نیز، عواملی از جمله علم و فناوری، منابع و محیط‌زیست و اقتصاد و صنعت نقش کلیدی در تحقق شهر بدون کربن دارند. از لحاظ روند تغییرات، از دوره ۱۹۹۰-۲۰۰۳ تا امروز، تمرکز از مفاهیم عمومی از جمله کربن‌زدایی به سمت مفاهیم خاص‌تر از قبیل شهر بدون کربن و اقتصاد دایره‌ای تغییر نموده که بیانگر تحولات علمی و سیاست‌گذاری در این حوزه است. از لحاظ تحلیل مقایسه‌ای میان کدها در حوزه‌های مختلف می‌توان گفت، کدهای مربوط به محیط‌زیست شهری نسبت به کدهای مرتبط با اقتصاد و صنعت فراوانی بیشتری دارند این موضوع نمایانگر توجه بیشتری به جنبه‌های محیط‌زیستی است. کدهای مربوط به حمل‌ونقل شهری، نیز فراوانی بالایی دارند که نشان از اهمیت این حوزه دارد. از لحاظ مقایسه کشورها، کشورهای توسعه‌یافته بیشتر روی کدهای مربوط به فناوری‌های پیشرفته و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه تمرکز داشته‌اند، درعین حال، کشورهای در حال توسعه بیشتر روی کدهای مربوط به مدیریت پسماند و آماده‌سازی برای تغییرات اقلیمی تأکید نموده‌اند. تحلیل آماری کمی مربوط به فراوانی کدهای باز و محوری بیانگر آن است که کاهش مصرف انرژی، مدیریت پسماند و جنگل‌داری شهری بیشترین فراوانی را دارند. همچنین، کدهای مرتبط با علم و فناوری و منابع و محیط‌زیست نیز از فراوانی بالایی برخوردار هستند. نسبت کدهای مرتبط با محیط‌زیست شهری به کدهای مرتبط با اقتصاد و صنعت حدود ۲:۱ است. این نسبت بیانگر آن است که توجه بیشتری به جنبه‌های محیط‌زیستی شده است. بر مبنای تفسیر نتایج، تحقق شهر بدون کربن به عوامل زیادی از جمله کاهش مصرف انرژی، مدیریت پسماند، جنگل‌داری شهری، علم و فناوری و مشارکت اجتماعی متکی است و بیشترین تمرکز بر مفاهیمی از جمله کاهش مصرف انرژی و مدیریت پسماند است. شایان ذکر است کدهای استخراج‌شده (۱۲۸ کد باز، هشت کد انتخابی و ۳۹ کد محوری) از ۳۷ منبع علمی انتخاب‌شده در حوزه شهر بدون کربن (جدول ۱) استخراج شدند. این منابع با استفاده از روش فراتحلیل و بر اساس چارچوب پریزما از پایگاه‌های معتبر علمی نظیر الزویر، اسپینگر و ریسرچ گیت جمع‌آوری گردیدند. استخراج کدها با بهره‌گیری از روش کدگذاری باز و طی فرآیندی نظام‌مند مشتمل بر مراحل شناسایی، غربالگری و ارزیابی واجد شرایط بودن صورت پذیرفت.

جدول ۳. کدهای منحصربه‌فرد شهرهای بدون کربن

کد گزینشی	کد محوری	کد باز
تحول فناوری و برنامه‌ریزی	کرن‌زدایی و اقتصاد کم‌کربن	تأکید بر کاهش انتشار کربن و گسترش اقتصاد کم‌کربن در دوره ۱۹۹۰-۲۰۰۳
	برنامه‌ریزی فضایی کم‌کربن	تمرکز بر طراحی و برنامه‌ریزی شهری کم‌کربن در دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۶
	شهر هوشمند کم‌کربن	تلفیق فناوری هوشمند و رویکردهای کم‌کربن در دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۹
	شهر بدون کربن	حرکت به سمت حذف کامل انتشار کربن از سال ۲۰۱۹ به بعد
پیش‌زمینه‌های ساختاری و محیطی	چالش‌های معاصر مرتبط با عوامل محیطی، ساختاری، رفتاری	تحولات محیطی مربوط به تغییرات آب‌وهوایی و بحران انرژی، فشار زیست‌محیطی پیش‌زمینه‌های ساختاری مربوط به سیاست جهانی و شهرنشینی، شکل‌دهنده چالش‌ها رفتارهای مصرفی مرتبط با مصرف انرژی، تهدید پایداری محیط
	تحولات اجتماعی-زیست‌محیطی	ویژگی‌های جمعیتی و رفتاری نظیر ترکیب دموگرافیک، نگرش‌ها، سبک زندگی کم‌کربن و ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی و فناوری نظیر درآمد، فناوری، دسترسی انرژی، سیاست‌های حمل‌ونقل
	تحولات اقتصادی پایدار	شهرنشینی و بهره‌وری با محوریت نقش شهرنشینی و کارایی کربن در توسعه اقتصادی بهینه‌سازی صنعتی مبتنی بر جایگزینی فناوری‌های ناکارآمد و گسترش صنایع نوین اقتصاد دایره‌ای بر مبنای سیستم‌های بازیافت و استفاده مجدد منابع برای حفظ محیط‌زیست مشوق‌های اقتصادی مبتنی بر حمایت‌های مالی و معافیت‌های دولتی برای فعالیت‌های پاک
مکانیزم‌های تسهیل‌کننده تحقق شهر بدون کربن	راهبردهای اجرایی برای توسعه پایدار	فعالیت‌های کم‌کربن با محوریت تولید مواد غذایی پاک گردشگری سبز و بنادر کم‌کربن حکمروایی و برنامه‌ریزی شهری مبتنی بر چارچوب‌های اجرایی و نهادینه‌سازی الزامات کربن پایین
	سبک زندگی مبتنی بر کربن پایین در زیست‌روزمره	مشارکت و داده‌محوری مبتنی بر مدیریت عملکرد کربن ظرفیت‌سازی و زیرساخت‌ها با محوریت تأمین بودجه، سرمایه‌گذاری و تقویت محیط کالبدی برای توسعه پایدار
	پایداری محیط‌زیست شهری	مصرف انرژی و منابع بر مبنای سرانه مصرف برق، آب خانگی و کل برق جامعه وابستگی به خودرو بر اساس تعداد خودروهای شخصی به ازای هر صد خانوار
		انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس محاسبه سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن و دی‌اکسید نیتروژن
شاخص‌ها و معیارهای عملکرد شهری		کیفیت هوا بر مبنای سطح ذرات معلق و دی‌اکسید گوگرد روزانه
		فضای سبز بر اساس درصد پوشش جنگلی و فضای سبز شهری به ازای هر سرانه
		مدیریت زباله بر مبنای نرخ تصفیه بی‌ضرر زباله‌های خانگی و استفاده از پسماند جامد
		توسعه با محوریت و در چارچوب چاپای شهری و بازتوسعه زمین‌های قهوه‌ای
		آلودگی صنعتی با محاسبه کل انتشار گازهای پسماند صنعتی
		شبکه حمل‌ونقل سبز با اولویت شبکه پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری جامع
		اثرات حرارتی بر مبنای شدت جزیره گرمای شهری
		حفاظت اکولوژیکی با اولویت دادن به حفظ تنوع زیستی، آب و اکوسیستم‌های طبیعی
		مصرف انرژی با محاسبه دی‌اکسید کربن تولیدشده به ازای هر کیلووات ساعت انرژی

کد گزینشی	کد محوری	کد باز
زیرساخت‌های پایدار شهری	زیرساخت‌های پایدار شهری	سرانه زباله بر اساس حجم زباله‌های دفع شده به ازای هر فرد
		تعداد درختان شهری و نقش آن‌ها در بهبود محیط‌زیست
		زمین و مدیریت خاک از طریق زمین‌های اختصاص‌یافته به زیرساخت‌ها و مدیریت عملیات خاکی
		مدیریت پسماندها از راه دفع و بازیافت پسماندهای ساختمانی، صنعتی و خانگی
		انرژی و منابع با محوریت مصرف انرژی، توسعه انرژی تجدیدپذیر و سیستم‌های خنک‌کننده
		مدیریت آب و سیلاب از طریق استفاده کارآمد از آب و کنترل سیلاب‌های شهری
		فضای سبز و خدمات از راه تخصیص زمین برای فضاهای سبز و خدمات شهری
		بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها از راه مدیریت، مقاوم‌سازی و مصالح صرفه‌جو
		الزام به ساخت و ترویج ساختمان‌های سبز و پایدار با انرژی تجدیدپذیر و کربن خالص صفر
		اجرای برچسب‌گذاری انرژی جهت تشویق فناوری‌های کم‌مصرف
بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها	بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها	اعطای مشوق‌های بازاری برای سرمایه‌گذاری در ساختمان‌های کم‌کربن
		تدوین استانداردهای ساختمانی و قوانین حفاظتی جهت عملکرد انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی
		مقاوم‌سازی و نوسازی ساختمان‌های قدیمی برای کاهش ۳۰-۴۰ درصدی مصرف انرژی
		تحول به انرژی‌های تجدیدپذیر از راه جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های پاک نظیر خورشیدی و پمپ‌های حرارتی
		احیای ساختمان‌های موجود با تغییر کاربری و بهینه‌سازی مصرف انرژی
		توسعه حمل‌ونقل عمومی از راه افزایش کارایی شبکه‌های ریلی و اتوبوسی
		حمل‌ونقل سبز و پایدار با محوریت استفاده از خودروهای الکتریکی و کارآمد
		تسهیلات غیر موتوری مبتنی بر توسعه زیرساخت پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری
		شارژ وسایل نقلیه با محوریت گسترش ایستگاه‌های شارژ الکتریکی
		شاخص‌های عملکرد شبکه از طریق ارزیابی سرعت، ترافیک و عملکرد تقاطع‌ها
تحول پایدار در سیستم‌های حمل‌ونقل	تحول پایدار در سیستم‌های حمل‌ونقل	تعادل مدال‌های حمل‌ونقل از راه تنظیم سهم حمل‌ونقل خصوصی، عمومی و غیر موتوری
		انرژی‌های تجدیدپذیر با محوریت افزایش سهم برق تجدیدپذیر و ذخیره‌سازی
		فناوری‌های کارآمد انرژی مبتنی بر تولید هم‌زمان حرارت و برق، شبکه هوشمند
		مدیریت بهینه انرژی از راه کاهش مصرف، جایگزینی سوخت، استفاده هوشمند
		توسعه فشرده و کاربری مختلف مبتنی بر کنترل پراکندگی، افزایش تراکم، یکپارچگی اشتغال و مسکن
		احیای شهری و حفاظت از منابع از راه باززنده‌سازی قهوه‌ای، خاکستری، حفظ گرین‌فیلد
		طراحی انرژی کارآمد ساختمان‌ها با محوریت جهت‌گیری خورشیدی، عایق‌بندی، نور طبیعی
		فضاهای اکولوژیکی و زیرساخت سبز با محوریت بام سبز، درختکاری بومی و مدیریت آب
		حفاظت از میراث فرهنگی از راه بازآفرینی و حفظ هویت شهری و مرمت میراث تاریخی
فرم شهری پایدار و کم‌کربن	فرم شهری پایدار و کم‌کربن	

کد گزینشی	کد محوری	کد باز
عامل‌های محرک و مکانیزم‌های اجرایی	مدیریت پایدار پسماند و فاضلاب	بازیافت و مدیریت جامدات با محوریت نسبت بازیافت و دفع زباله
		تصفیه و مدیریت فاضلاب با محوریت نسبت تصفیه فاضلاب
		کاهش سرانه تولید پسماند از راه کاهش سرانه زباله و فاضلاب
	سازگاری هوشمند و تاب‌آوری اقلیمی	مدیریت ریسک و سازگاری اقلیمی از راه کاهش خطرات و افزایش سازگاری
		حفاظت از منابع طبیعی و خطوط ساحلی بر اساس بهبود جنگل‌داری، آب و سواحل
	نوآوری علمی و فناورانه	تأکید بر آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی پیشرفته
		تمرکز بر آموزش عالی و کارآفرینی فناورانه
		توجه به صنایع نوآور و زیرساخت‌های فناوری
		جذب سرمایه‌گذاری پایدار و مدیریت آلودگی
	پایداری منابع و اکوسیستم‌ها	تمرکز بر بهره‌وری انرژی و آب
		توجه به کیفیت هوا و آلودگی صوتی
		توجه به پوشش سبز و تنوع زیستی
		توجه به اثرات اقتصادی بلایای طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی
	رشد اقتصادی و نوآوری صنعتی	تأکید بر بهره‌وری اقتصادی و سرمایه‌گذاری
		تمرکز بر توسعه صنعتی و فناوری پیشرفته
		تأکید بر تراکم اقتصادی و مشارکت کاری
استراتژی‌های کاهش کربن شهری	زیرساخت‌های هوشمند و پایدار شهری	دسترسی دیجیتال و ارتباطات هوشمند از راه ساخت پایگاه داده‌پایه شهر هوشمند
		کم‌کربن، ساخت پلتفرم رایانش ابری و سامانه هوشمند خدمات معیشت
		مدیریت پایدار منابع و پسماند از راه آلودگی‌زدایی پسماندهای شهری
		زیرساخت‌های سبز و خدمات هوشمند از راه بهره‌برداری و مدیریت هوشمند کم‌کربن
	سرمایه انسانی و توسعه علمی	توجه به مشارکت اقتصادی و آموزش عالی
		تأکید بر سرمایه‌گذاری در علم، فناوری و آموزش
		تمرکز بر جریان سرمایه داخلی و خارجی
	حکمرانی و تحول فرهنگی پایدار	حکمرانی شهر هوشمندی و اصلاحات نهادی
		فرهنگ شهری و سبک زندگی هوشمند مبتنی بر کربن پایین
		شفافیت، امنیت و ایمنی، اعتماد و اعتبار شهری
		محوریت استانداردهای توسعه کم‌کربن
		زیست‌پذیری و گشودگی
	بهینه‌سازی انرژی و پایداری ساختمان‌ها	کاهش ۲۵ درصدی مصرف انرژی ساختمان‌های قدیمی در ۵ سال
		تمرکز بر صفر خالص انتشار گازهای گلخانه‌ای در ساختمان‌های جدید
		تأکید بر تولید ۱۰ درصدی انرژی از محل منابع تجدیدپذیر محلی
		تمرکز بر تطابق ساختمان‌های جدید با تغییرات اقلیمی
	توسعه پایدار فضای شهری و تحرک	توسعه محله‌های فعال و زندگی مبتنی بر پیاده‌محور
		کاهش ۲۰-۳۰ درصدی انتشار کربن و کاهش سفرهای خودرویی
		محوریت گسترش حمل‌ونقل عمومی هوشمند و پایدار
		جایگزینی با وسایل نقلیه کم‌کربن و گسترش زیرساخت‌های شارژ

کد گزینشی	کد محوری	کد باز
		مدیریت تقاضای تحرک با محوریت سیاست‌های اقتصادی و اشتراکی
		بهینه‌سازی فضای شهری مبتنی بر رویکرد ترانزیت‌محور
	مدیریت پایدار مصرف و پسماند	کاهش ۲۵ درصدی تولید پسماند و بهبود بازیابی به ۹۰ درصد
		کاهش ۴۰ درصدی اثرات کربنی مربوط به جمع‌آوری پسماند
	احیای جنگل‌های شهری و طبیعت‌محوری	گسترش تاج جنگل شهری به پوشش یک‌سوم شهر
		احیای ۵۰ درصدی بسترهای رودخانه‌ای از راه پوشش گیاهی
	تغذیه پایدار و کشاورزی محلی	کاهش مصرف غذاهای پرکربن
		افزایش سهم مصرف غذاهای محلی
	مشارکت جامعه در کاهش کربن	تحریک ساکنان به سمت تغییر مبتنی بر رفتار کم‌کربن
		الگوسازی کسب‌وکارها در راستای عملکرد پایدار
	تطبیق و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی	سازگاری مؤثر با تغییرات اقلیمی
		تمرکز بر کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای
		کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و افزایش استقلال انرژی
		تقویت توان مقابله با تغییرات آب‌وهوایی
	حکمرانی محلی پایدار مبتنی بر کاهش اثرات زیست‌محیطی	کاهش ۵۰ درصدی انتشار کربن شهری نسبت به ۲۵ سال پیش
		تمرکز بر توسعه زیرساخت‌های سبز و احیای منابع طبیعی
		گسترش فرهنگ زندگی سبز در زیست‌روزمه شهروندان
	موتورهای رشد اقتصاد سبز	توسعه فناوری‌های پایدار مبتنی بر کربن پایین
		ترویج صنایع سبز و بخش‌های سبز مربوط به آن‌ها
		مهندسی بنیادین با محوریت تحول اقتصاد سبز
	زیرساخت مبتنی بر کربن کم	مدیریت هوشمند و دیجیتال‌مبنای منابع آب و انرژی
		تصفیه فاضلاب و بازیافت آب با کمترین انتشار کربن
		راهکارهای طبیعت‌محور برای توسعه مبتنی بر کربن کم
		مدیریت پسماند هوشمند مبتنی بر اقتصاد دایره‌ای
فرآیندهای تحول شهری به سمت کم‌کربن شدن	توسعه کم‌کربن	ترویج و توسعه روشنایی کم‌مصرف و هوشمند
		جایگزین نمودن سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر و کم‌کربن
		افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش ردپای کربن از راه نوآوری
	اقتصاد کم‌کربن	سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و منابع انسانی با محوریت اقتصاد کم‌کربن
		کاهش انتشار کربن و تغییر به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر
		توازن رشد جمعیت، اقتصاد و حفاظت از محیط‌زیست
		نوآوری در فناوری و سیستم‌ها باهدف کاهش کربن و افزایش رشد اقتصادی
		بهبود صنعت، فناوری و زندگی کم‌کربن
	جامعه کم‌کربن	افزایش بهره‌وری انرژی و توسعه پاک و کم‌کربن منطقه‌ای
		به حداقل رساندن انتشار کربن و ترویج سبک زندگی پایدار
		ارتقای توسعه اقتصادی، فرهنگی و زیست‌محور مبتنی بر رویکرد کم‌کربن

کد گزینشی	کد محوری	کد باز
	اجتماع کم‌کربن	تحول شهروندان به سمت ایفای نقش فعالانه در بهینه‌سازی انرژی و زیرساخت‌های محلی
		ارتقای شهرها از راه توسعه اجتماعات کم‌کربن و استانداردسازی سیستم‌ها
	شهر کم‌کربن	اقتصاد پایدار و زندگی سبز با راهبری دولت
		تولید و مصرف پایدار بر اساس بهره‌وری منابع
زندگی کم‌کربن		توجه به کاهش تقاضای انرژی در فعالیت‌های روزمره
		کاهش انتشار کربن در سبک زندگی شخصی و خانگی

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

بر اساس تحلیل آماری کدهای شهر بدون کربن، شاخص‌ها و معیارهای عملکرد شهری بیشترین سهم را در کدهای باز (۳۰/۵ درصد) به خود اختصاص داده‌اند که نشانگر اهمیت بالای آن‌ها در طراحی، ارزیابی و پیاده‌سازی شهرهای کم‌کربن است. دومین حوزه مهم از نظر تعداد کدها، متعلق به استراتژی‌های کاهش کربن شهری با ۲۶/۳ درصد کدهای محوری و ۲۵/۰ درصد کدهای باز است که بیانگر نقش استراتژی‌های مدیریتی و عملیاتی به‌عنوان هسته اصلی تحولات شهری به سمت کم‌کربن‌شدن است. این حوزه بر راهکارهایی مربوط به کاهش انتشار کربن، بهبود بهره‌وری انرژی و ارتقای زیرساخت‌های پایدار، تمرکز دارد. از سوی دیگر، کمترین کدها مربوط به پیش‌زمینه‌های ساختاری و محیطی (با ۲/۶ درصد)، چارچوب‌های نظری توسعه پایدار و مکانیزم‌های تسهیل‌کننده تحقق شهر بدون کربن (۵/۱ درصد) و تحول فناوری و برنامه‌ریزی (۱۰/۳ درصد) است. این موضوع بیانگر آن است که این حوزه‌ها به‌عنوان پیش‌نیازهای بنیادی، نقش غیرمستقیم‌تری در مراحل اجرایی یا ارزیابی دارند و بیشتر به‌عنوان زیرساخت‌های پشتیبان عمل می‌نمایند. از این رو، موفقیت در تحقق‌پذیری شهرهای کم‌کربن، نیازمند توازن بین تمامی این حوزه‌ها و تأکید بر جنبه‌های اجرایی و عملیاتی است (جدول ۴).

جدول ۴. درصد کدهای باز و محوری مربوط به کدهای گزینشی پژوهشی

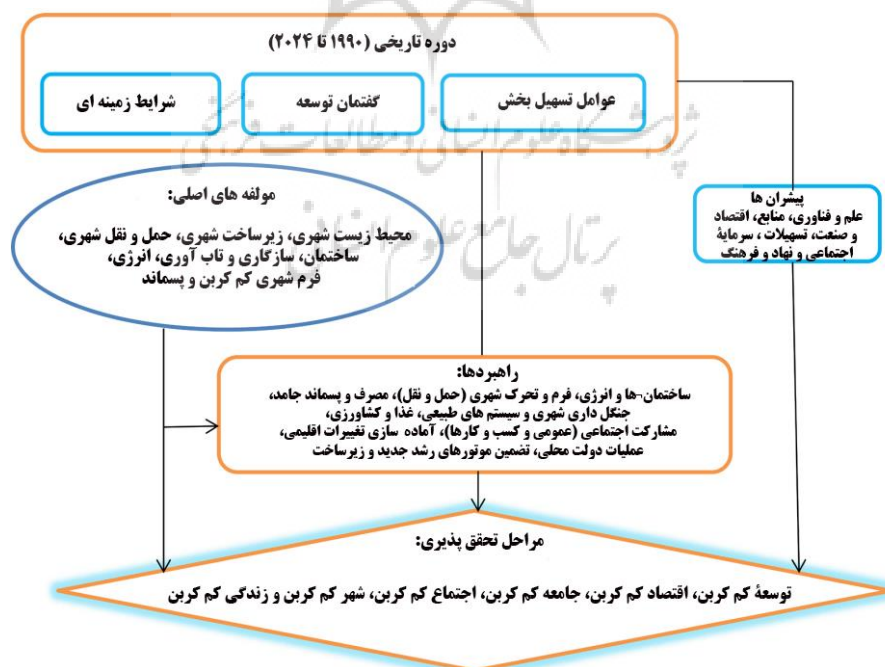
کد گزینشی	درصد کد محوری	درصد کد باز
تحول فناوری و برنامه‌ریزی	۱۰/۳ درصد	۳/۱ درصد
پیش‌زمینه‌های ساختاری و محیطی	۲/۶ درصد	۲/۳ درصد
چارچوب‌های نظری توسعه پایدار	۵/۱ درصد	۵/۵ درصد
مکانیزم‌های تسهیل‌کننده تحقق شهر بدون کربن	۵/۱ درصد	۳/۹ درصد
شاخص‌ها و معیارهای عملکرد شهری	۲۰/۵ درصد	۳۰/۵ درصد
عامل‌های محرک و مکانیزم‌های اجرایی	۱۵/۴ درصد	۱۷/۲ درصد
استراتژی‌های کاهش کربن شهری	۲۵/۶ درصد	۲۵/۰ درصد
فرآیندهای تحول شهری به سمت کم‌کربن‌شدن	۱۵/۴ درصد	۱۲/۵ درصد
جمع کل	۱۰۰ درصد	۱۰۰ درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

۵ بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های پژوهش، تحقق شهر بدون کربن به عوامل متعددی از قبیل کاهش مصرف انرژی، مدیریت پسماند، جنگل‌داری شهری، علم و فناوری و مشارکت اجتماعی بستگی دارد. این یافته‌ها در راستای پاسخ‌گویی

به مسئله تحقیق، یعنی شناسایی استراتژی‌ها و سازوکارهای تحقق شهر بدون کربن، است. به‌عنوان مثال، یافته‌هایی از جمله کاهش مصرف انرژی، از راهبردهای کلیدی جهت کاهش انتشار کربن در شهرها، بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها و حمل‌ونقل شهری است. همچنین، مدیریت پسماند از راه رویکرد مدیریت زباله به انرژی و اجرای اقتصاد دایره‌ای (کاهش، استفاده مجدد، بازیافت)، نقشی کلیدی دارد. همین‌طور جنگل‌داری شهری از راه توسعه فضاهای سبز شهری و سینک‌های کربن (مانند بام‌های سبز و گونه‌های گیاهی بومی) به‌عنوان عاملی مؤثر در جذب کربن، عمل می‌نماید. بر اساس این یافته‌ها، تحقق شهر بدون کربن به همیاری ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی بستگی دارد. یافته‌های پژوهش حاضر با پژوهش‌هایی از جمله (Baeumler et al., 2012; Yuan et al., 2011) همخوانی دارد چراکه آن‌ها نیز بر نقش کاهش مصرف انرژی و توسعه فناوری‌های سبز صحنه گذارده‌اند. باوجوداین، نتایج پژوهش حاضر، تفاوت‌های مهمی با تحقیقات پیشین نیز دارد، به‌گونه‌ای که پژوهش حاضر با تأکید بر تحولات زمانی و تحلیل نظام‌مند، به شناسایی دقیق‌تر استراتژی‌ها و مکانیزم‌های عملیاتی منجر شده است. در این راستا تأکید بر مفهوم شهر هوشمند کم‌کربن، به‌طور ویژه موردتوجه قرارگرفته است. همچنین، با استفاده از رویکرد مدل‌سازی نظری، چارچوب کلی برای تحقق شهر بدون کربن به‌عنوان یک راهنمای جامع برای برنامه‌ریزی و عملیاتی کردن شهرهای بدون کربن در آینده ارائه شده است (شکل ۵). این مدل بر مبنای دو دسته پیشران درون‌زا و برون‌زا شکل گرفته است که پیشران‌های درون‌زا متشکل از علم و فناوری، منابع و محیط‌زیست و اقتصاد و صنعت به‌عنوان نیروهای محرکه داخلی و پیشران‌های برون‌زا مشتمل بر امکانات و کارکردها، سرمایه و شرایط نهادی و فرهنگی به‌عنوان پشتوانه‌های خارجی هستند. همین‌طور این مدل، تأکید ویژه‌ای بر حوزه‌های کلیدی ازجمله ساختمان و انرژی، فرم و حمل‌ونقل، مدیریت پسماند، ذخایر طبیعی شهری، مشارکت اجتماعی، آمادگی در برابر تغییرات اقلیمی و توسعه زیرساخت‌ها و عوامل تسهیل‌کننده نظیر حکمروایی، برنامه‌ریزی شهری، مشارکت اجتماعی و ترویج سبک زندگی کم‌کربن دارد. این چارچوب نظری عمل می‌کند. افزون بر این، عمده‌ترین محدودیت‌های پژوهش حاضر عبارت‌اند از: محدودیت در دسترسی به متن کامل برخی منابع؛ عدم توجه به برخی از عوامل محلی و منطقه‌ای تأثیرگذار بر تحقق شهر بدون کربن؛ در تحلیل داده‌های کمی به دلیل ناهمگونی در روش‌های گردآوری داده‌ها.



شکل ۵. فرآیند تحقق‌پذیری شهر پساکربن (مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

درمجموع، پژوهش حاضر با استفاده از روش فراتحلیل، به بررسی الگوها، روندها و سازوکارهای تحقق شهر بدون کربن پرداخته است. نتایج پژوهش بیانگر آن است که عواملی ازجمله کاهش مصرف انرژی، مدیریت پسماند، جنگلداری شهری، علم و فناوری و مشارکت اجتماعی نقش کلیدی در تحقق این هدف ایفا می‌نمایند. همین‌طور، تمرکز تحقیقات از مفاهیم عمومی به سمت مفاهیم خاص‌تری ازجمله شهر هوشمند کم‌کربن و اقتصاد دایره‌ای تغییر یافته است. پاسخ به سؤال اصلی پژوهش نشان داده است که تحقق شهر بدون کربن مستلزم همیاری و همکاری ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است و استراتژی‌های کلیدی متشکل از کاهش انتشار کربن، بهبود بهره‌وری انرژی، توسعه زیرساخت‌های پایدار و ترویج سبک زندگی کم‌کربن است. از لحاظ نظری، یافته‌های این پژوهش، چارچوبی جامع برای درک بهتر سازوکارهای تحقق شهر بدون کربن ارائه نموده و شکاف‌های موجود در ادبیات موضوعی را پوشش می‌دهد. از لحاظ عملی، این یافته‌ها می‌توانند به عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در طراحی و اجرای شهرهای پایدار بدون کربن مورد استفاده قرار گیرند. از این رو، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به بررسی عوامل محلی و منطقه‌ای تأثیرگذار بر تحقق شهر بدون کربن توجه نموده و همچنین به تحلیل مقایسه‌ای بین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بپردازند. همچنین، لازم است سیاست‌گذاران شهری با توجه به شکاف‌های شناسایی شده، به ویژه در حوزه‌های محلی و منطقه‌ای، اقدام به تدوین استراتژی‌های سازگار و اختصاصی نموده و از چارچوب نظری ارائه شده در این پژوهش به عنوان راهنمای عملی در طراحی و اجرای سیاست‌های شهری استفاده نمایند. همین‌طور، تأکید بر مشارکت جامعه و تقویت ظرفیت‌های نهادی و فناورانه می‌تواند به تسهیل این فرآیند کمک نماید.

References

- Baeumler, A., Ijjasz-Vasquez, E., & Mehndiratta, S. (2012). *Sustainable Low-Carbon City Development in China*. World Bank: Washington, DC.
- Beveridge, R., Ridgway, M., Kern, K., Stroia, C., Fujiwara, N., Dupas, S., & Sterzel, T. (2015). Leading mid-sized EU cities in post-carbon transitions: towards a preliminary typology. *Sustainability*, 7(2015), 1-27.
- Bottero, M., Dell'Anna, F., Morgese, V. (2021). Evaluating the Transition Towards Post-Carbon Cities: A Literature Review. *Sustainability*, 13(2021), 567.
- Chatterton, P. (2013). Towards an agenda for post-carbon cities: Lessons from LILAC, the UK's first ecological, affordable, cohousing community. *International Journal of Urban and Regional Research*, 37 (5), 1654-1674.
- Chen, L., Huang, H., Hua, J., Chen, Z., Wei, L., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., Dong, L., & Yap, P. (2023). Green construction for low-carbon cities: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21 (2023), 1627-1657.
- Chen, W., Liu, J., Ning, X., Du, L., Zhang, Y., & Wu, C. (2023). LowCarbon City Building and Green Development: New Evidence from Quasi Natural Experiments from 277 Cities in China. *Sustainability*, 15(2023), 11609.
- Dhar, S., Pathak, M., & Shukla, P. R. (2013). *Low carbon city: A guidebook for city planners and practitioners: Promoting low carbon transport in India*. UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development. Department of Management Engineering. Technical University of Denmark (DTU).
- Du, X., Shen, L., Ren, Y., & Meng, C. (2022). A dimensional perspective-based analysis on the practice of low carbon city in China. *Environmental Impact Assessment Review*, 95(2022), 106768.

- Duan, Z., & Kim, S. (2023). Progress in Research on Net-Zero-Carbon Cities: A Literature Review and Knowledge Framework. *Energies*, 16(2023), 6279.
- Falana, J., Osei-Kyei, R., & Tam, V. (2024). Towards achieving a net zero carbon building: A review of key stakeholders and their roles in net zero carbon building whole life cycle. *Journal of Building Engineering*, 82(2024), 108223.
- Fang, C., Pang, B., Liu, H. (2016). Quantitative Study on the Dynamic Mechanism of Smart Low-Carbon City Development in China. *Sustainability journal*, 8(2016), 507.
- Gao, S., & Zhang, H. (2020). Urban Planning for Low-Carbon Sustainable Development. *Sustainable Computing Informatics and Systems*, 28(6), 100398.
- Gouldson, A., Colenbrander, S., Sudmant, A., McAnulla, F., Kerr, N., Sakai, P., Hall, S., Papargyropoulou, E., & Kuylenstierna, J. (2015). Exploring the economic case for climate action in cities. *Global Environmental Change*, 35(2015), 93-105
- Huovila, A., Siikavirta, H., Rozado, C. A., Rökman, J., Tuominen, P., Paiho, S., Hedman, A., & Ylén, P. (2022). Carbon-neutral cities: Critical review of theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, 341(2022), 130912.
- Kafy, A. Al, Faisal, A. Al, Al Rakib, A., Fattah, M. A., Rahaman, Z. A., & Sattar, G. S. (۲۰۲۲). Impact of vegetation cover loss on surface temperature and carbon emission in a fastest-growing city, Cumilla, Bangladesh. *Building and Environment*, 208(1), 108573.
- Kenis, A., Lievens, M. (2017). Imagining the carbon neutral city: the (post)politics of time and space. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 49 (8), 1762-1778,
- Liu, W., & Qin, B. (2016). Low-carbon city initiatives in China: A review from the policy paradigm perspective. *Cities*, 51(2016), 131-138.
- Liu, J., Feng, H., Wang, K. (2022). The Low-Carbon City Pilot Policy and Urban Land Use Efficiency: A Policy Assessment from China. *Land*, 11(2022), 604.
- Mander, S., Bows, A., Anderson, K., Shackley, S., Agnolucci, P., & P. Ekins. (2007). Uncertainty and the Tyndall decarbonisation scenarios. *Global Environmental Change*, 17 (1):25-36.
- Martes, L., & Köhl, M. (2022). Improving the Contribution of Forests to Carbon Neutrality under Different Policies—A Case Study from the Hamburg Metropolitan Area. *Sustainability*, 14(2022), 2088.
- Mazumdar, S., Thakker, D., Hayes, J., Matos, N., Bate, P. (2023). Towards achieving net zero by 2050 in the UK – Stakeholder perspectives in integrated urban planning. *Futures*, 152(2023), 103197.
- Ohshita, S.B., Zhou, N., Price, L., Fridley, D., Khanna, N., Hong, L.X., Lu, H.Y., Fino-Chen, C., He, G. (2015). Low Carbon Development for Cities: Methods and Measures. In J.Y. Yan (Ed.), *Handbook of Clean Energy Systems* (3565-3587). London: Wiley
- Pour, S. H., Wahab, A. K. A., Shahid, S., Asaduzzaman, M., & Dewan, A. (2020). Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: Current trends, issues and challenges. *Sustainable Cities and Society*, 62(1), 102373.
- Rahaman, Z. A., Kafy, A. Al, Saha, M., Rahim, A. A., Almulhim, A. I., Rahaman, S. N., Kalaivani, S., Al- Faisal, A., & Al Rakib, A. (2022). Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. *Building and Environment*, 222(1), 109335.

- Saha, M., Kafy, A. Al, Bakshi, A., Faisal, A. Al, Almulhim, A. I., Rahaman, Z. A., Al Rakib, A., Abdul Fattah, M., Shaleha Akter, K., Rahman, M. T., Zhang, M., Rath, R. (2022). Modelling microscale impacts assessment of urban expansion on seasonal surface urban heat island intensity using neural network algorithms. *Energy and Buildings*, 275(1), 112452.
- Sarker, Md.N.I., Hossin, Md.A., Hua, Y.X., Anusara, J., Warunyu, S., Chanthamith, B., Sarkar, Md.K., Kumar, N. and Shah, S. (2018) Low Carbon City Development in China in the Context of New Type of Urbanization. *Low Carbon Economy*, 9(2018), 45-61.
- Shaw, A., Mander, S., Parkes, B., & Wood, R. (2023). Zero carbon transitions: a systematic review of the research landscape and climate mitigation potential. *Frontiers in Energy Research*. 11(2013),1268270.
- Sudmant, A., Millward-Hopkins, J., Colenbrander, S., & Gouldson, A. (2016). Low carbon cities: is ambitious action affordable?. *Climatic Change*, 138 (2016), 681–688.
- Sun, Y., Zhang, R., Du, X., Zhao, K., Qie, X., Zhang, X. (2023). Does Low-Carbon City Construction Promote Integrated Economic, Energy, and Environmental Development? An Empirical Study Based on the LowCarbon City Pilot Policy in China. *Sustainability*, 15(2023), 16241.
- Tan, S., Yang, J., & Yan, J. (2015). Development of the Low-carbon City Indicator (LCCI) Framework. *Energy Procedia* 75 (2015) 2516 – 2522.
- Too, J., Ejohwomu, O. A., Hui, F. K.P., Duffield, C., Bukoye, O. T., Edwards, D. J. (2022). Framework for standardising carbon neutrality in building projects. *Journal of Cleaner Production*, 373(2022), 133858.
- Tozer, L., Klenk, N. (2018). Urban configurations of carbon neutrality: Insights from the Carbon Neutral Cities Alliance. *Environment and Planning C: Politics and Space*. 37(3), 1-22.
- Xiaodong, W., Noureddine, B., Ximing, P., Lorraine, S. & Hua, D.L. (2012). Carbon cities in China: Characteristics, roadmap, and indicators. In Axel, B., Ede. I., and Shomik, M. (eds.), *Sustainable Low-Carbon City Development in China*. The World Bank: Washington: 63-95.
- Wang, Z., Liang, F., Li, C., Xiong, W., Chen, Y., Xie, F. (2023). Does China's low-carbon city pilot policy promote green development? Evidence from the digital industry. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(2023), 100339.
- Wang, L., Shao, J., & Ma, Y. (2023). Does China's low-carbon city pilot policy improve energy efficiency?. *Energy*, 283(2023), 129048.
- Wang, X., Wang, G., Chen, T., Zeng, Z., & Heng, C. K. (2023). Low-carbon city and its future research trends: A bibliometric analysis and systematic review. *Sustainable Cities and Society*, 90(1), 104381.
- Wayne Hunter, G., Sagoe, G., Vettorato, D., & Jiayu, D. (2019). Sustainability of Low Carbon City Initiatives in China: A Comprehensive Literature Review. *Sustainability*, 11(2019), 4342.
- Wei, J., & Wenmei, K. (2019). A Review on the Low-Carbon City Study: Development and Trends. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, 7. (2), 1950006
- Wimbadi, R., & Djalante, R. (2020). From decarbonization to low carbon development and transition: A systematic literature review of the conceptualization of moving toward net-zero carbon dioxide emission (1995–2019). *Journal of Cleaner Production*, 256(2020), 120307.
- Yao, L., Li, X., Zheng, R., & Zhang, Y. (2022). The impact of air pollution perception on urban settlement intentions of young talent in China. *International journal of environmental research and public health*, 19(3), 1080.

- Yuan, H., Zhou, P., & Zhou, D. (2011). What is Low-Carbon Development? A Conceptual Analysis. *Energy Procedia*, 5 (2011) 1706–1712.
- Zandalinas, S. I., Fritsch, F. B., & Mittler, R. (2021). Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster Trends in Plant Science. *Trends in Plant Science*, 26(6), 588–599.
- Zeng, S., Chu, Y., Yang, Y., Li, P., & Liu, H. (2022). Comprehensive Evaluation of Low-Carbon City Competitiveness under the “Dual-Carbon” Target: A Cross-Sectional Comparison between Huzhou City and Neighboring Cities in China. *Systems*, 10(2022), 235.
- Zeng, S., Jin, G., & Tan, K., & Liu, X. (2023). Can low-carbon city construction reduce carbon intensity? Empirical evidence from low-carbon city pilot policy in China. *Journal of Environmental Management*, 332(2023), 117363.
- Zhang, H., Ding, X., & Liu, Y. (2023). The Impact of Low-Carbon Pilot Cities on the Development of Digital Economy: Empirical Evidence from 284 Cities in China. *Sustainability*, 15(2023), 10392
- Zhao, M., Zhou, Y., Li, X., Cheng, W., Zhou, C., & Ma, T. (2020). Remote Sensing of Environment Mapping urban dynamics (1992 –2018) in Southeast Asia using consistent nighttime light data from DMSP and VIIRS. *Remote Sensing of Environment*, 248(1), 111980.
- Zhou, N., Price, L., Ohshita, S., Zheng, N., & Min, H., (2011). *A Guidebook for Low-Carbon Development at the Local Level*. Berkeley Lab: Berkeley.

