



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Analysis of Scientific Research Trends on Prefabricated Construction in the Building Industry

Shadi Norouzi ⁽¹⁾ , Behnod Barmayehvar^{(2)*} , Mohammad Hossein Mahmoudi Sari ⁽³⁾ 

1. PhD Student, Architectural Technology Department (Project Management and Construction), Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran. (<https://orcid.org/0009-0001-9179-2386>)

2. Associate Professor, Architectural Technology Department (Project Management and Construction), Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran. (<https://orcid.org/0000-0001-8805-0915>)

3. Associate Professor, Architectural Technology Department (Project Management and Construction), Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran. (<https://orcid.org/0000-0002-5141-6300>)

Publisher: Iran University of Art

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received:2023/00/00 Revised:2023/00/00 Accepted:2023/00/00 PP. 58-78 Keywords: <i>Prefabricated construction, Bibliometric analysis, Building industry, Industrial construction, Research Trends.</i>	Introduction: The construction industry is one of the most critical sectors in economic and infrastructural development and plays a decisive role in meeting the growing demands of urban populations. However, this industry is also recognized as one of the largest consumers of natural resources and contributors to environmental degradation. Estimates indicate that construction activities account for approximately 40% of global energy consumption and 33% of carbon dioxide emissions. Rapid urbanization, population growth, and the increasing demand for housing have highlighted the necessity of adopting innovative and sustainable construction approaches. In this context, prefabricated construction has emerged as a transformative alternative to conventional construction methods, relying on the off-site manufacturing of building components or modules in controlled factory environments, followed by on-site assembly. Prefabrication offers numerous advantages, including enhanced product quality, reduction of material waste, decreased construction time and cost, improved occupational safety, and the potential for recycling or reusing building components at the end of the building lifecycle. Moreover, prefabricated construction aligns with circular economy principles and sustainable development objectives. Despite these advantages, several challenges persist, including logistical complexities, transportation constraints, and higher initial implementation costs. A review of the existing literature reveals that most studies have primarily focused on specific aspects of prefabrication, such as supply chain management, energy performance, or structural design. Comprehensive investigations examining global research trends in prefabricated construction remain limited. The Purpose of the Research: The primary objective of this study is to conduct a bibliometric analysis of research related to prefabricated construction within the building sector, aiming to identify scientific trends, major research contributors, and future research directions up to 2024. Methodology: This study employs a bibliometric approach within the framework of a systematic literature review. To ensure methodological rigor, transparency, and replicability, the PRISMA guidelines were adopted during the article identification and screening process. Research data were extracted from the Scopus database, which is widely recognized as one of the most comprehensive and reliable scientific databases in the fields of engineering and construction management. In the initial stage, a comprehensive set of keywords associated with prefabricated construction and its internationally recognized terminologies was developed and applied to article titles, resulting in the identification of 2,099 scientific documents. A multi-stage screening process was subsequently conducted. In the first stage, only English-language, peer-reviewed journal articles and review papers were retained. In the second stage, subject areas unrelated to the research scope were excluded, reducing the dataset to 821 documents. In the third stage, the study focused on publications between 2010 and 2024 and limited the selection to high-impact journals



Use your device to scan and read the article online

ARTICLE INFO	ABSTRACT
	classified as Q1 and Q2, further narrowing the dataset to 544 articles. Finally, by incorporating additional keywords related to residential buildings, the final dataset consisted of 300 articles. Data analysis was conducted across four main dimensions, including source analysis, geographical distribution of scientific output, highly cited article analysis, and thematic trend analysis. These analytical approaches facilitated the identification of knowledge structures, evolutionary research trajectories, and emerging directions in prefabricated construction research. Findings and Discussion: The findings reveal that scientific output in prefabricated construction has experienced significant growth since 2010. This upward trend reflects a paradigm shift in the construction industry from traditional construction practices toward industrialized, technology-driven, and sustainability-oriented approaches. Source analysis indicates that knowledge production in this field is predominantly concentrated in three leading journals: <i>Journal of Cleaner Production</i>, <i>Automation in Construction</i>, and <i>Journal of Building Engineering</i>. The thematic scope of these journals suggests that research in prefabricated construction has evolved along three primary dimensions: environmental sustainability and circular economy, digitalization and automation of construction processes, and engineering optimization and structural performance of prefabricated systems. From a geographical perspective, the results demonstrate that Asian countries, particularly China, dominate scientific production in this field, followed by Malaysia and Australia. This geographical concentration can be attributed to proactive governmental policies, substantial investment in research and development, and the urgent need to address housing demands in rapidly urbanizing regions. Furthermore, international collaboration network analysis indicates that despite high research productivity, cross-border collaborations remain relatively limited, with a substantial proportion of studies conducted within national research ecosystems. The analysis of highly cited publications reveals that research development in this domain has progressed through three evolutionary phases. The first phase focused on conceptualization and justification of prefabrication, emphasizing the identification of advantages and barriers to adoption. The second phase shifted toward quantitative performance evaluation and risk management, particularly within prefabrication supply chains. The third phase reflects the transition toward integrated frameworks, the adoption of digital technologies, and the development of intelligent decision-support systems throughout the project lifecycle. Thematic analysis further indicates that supply chain management, carbon emission reduction, lifecycle assessment, and circular economy constitute the dominant research themes. These findings highlight a transition from purely technical and structural perspectives toward systemic and sustainability-oriented approaches. Additionally, the results underscore the critical role of interactions among governmental policy-making, academic research, and industrial innovation in advancing prefabricated construction technologies. Conclusion: The results of this study demonstrate that prefabricated construction has evolved over the past two decades from an emerging construction technique into a mature, multidimensional paradigm within the construction industry. The evolution of research indicates a clear shift from descriptive and conceptual studies toward quantitative analyses, decision-making frameworks, and the integration of digital technologies. The consolidation of themes such as circular economy, lifecycle management, and carbon emission mitigation highlights the central role of sustainability in shaping the future of the construction sector. From a geographical and institutional perspective, the emergence of knowledge hubs in Asia, particularly China, illustrates the significance of strategic policy frameworks and sustained investment in research and development in promoting prefabrication technologies. However, the limited level of international research collaboration suggests considerable potential for strengthening global scientific partnerships. Several limitations are associated with this study, including reliance solely on the Scopus database and the exclusive focus on journal publications. Future studies are encouraged to integrate multiple bibliographic databases and incorporate additional sources such as patents, technical standards, and industrial reports to provide a more comprehensive understanding of innovation trajectories in prefabricated construction. Overall, the advancement of prefabricated construction requires the establishment of an integrated knowledge ecosystem that combines interdisciplinary research, evidence-based policy-

ARTICLE INFO	ABSTRACT
	making, and agile industrial innovation. Such an ecosystem is essential for enabling sustainable transformation and long-term resilience within the construction industry. Funding: There is no funding support. Authors' Contribution: Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work. Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest. AI Usage Declaration: The authors declare that artificial intelligence (AI) tools, specifically ChatGPT, were utilized solely for proofreading, grammatical and stylistic editing, and improving the clarity and flow of the text. These tools played no role in the generation of scientific content, data analysis, interpretation of findings, or drawing conclusions. All scientific content, analyses, results, and final responsibility for the manuscript rest solely with the authors. Acknowledgments: We are grateful to all the persons for scientific consulting in this paper.

Highlight:

- The research has progressed from the technology introduction phase to the stage of integration, systematic evaluation, and responding to major industry challenges.
- The polarization of scientific knowledge production in Asia results from the interplay of supportive government policies, investment in research, development and market demand pressures.
- The research has progressed from the technology introduction phase to the stage of integration, systematic evaluation, and responding to major industry challenges.

 This paper is an open access and licensed under the Creative Commons CC BY-NC 4.0 license ©2024, AGM. All rights reserved.	Cite This Article: Norouzi, S., Barmayehvar, B. & Mahmoudi Sari, M.H. (2024). Analysis of Scientific Research Trends on Prefabricated Construction in the Building Industry. The Art of Green Management, 2(3), 58-78. 10.30480/agm.2026.6245.1053  http://doi.org/10.30480/agm.2026.6245.1053  http://agm.journal.art.ac.ir/article_1510.html 
*. Corresponding Author (Email: b.barmayehvar@art.ac.ir) / (Phone: +989123939200)	



تحلیل روند علمی پژوهش‌های پیش‌ساخته‌سازی در صنعت ساختمان

شادی نوروزی^(۱)، بهنود برمایه‌ور^(۲)، محمد حسین محمودی ساری^(۳)

۱- پژوهشگر دکتری، گروه فناوری معماری (مدیریت پروژه و ساخت)، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران.

(<https://orcid.org/0009-0001-9179-2386>)

۲- دانشیار، گروه فناوری معماری (مدیریت پروژه و ساخت)، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران. (<https://orcid.org/0000-0001-8805-0915>)

۳- دانشیار، گروه فناوری معماری (مدیریت پروژه و ساخت)، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران. (<https://orcid.org/0000-0002-5141-6300>)

ناشر: دانشگاه هنر ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۵ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰ صص. ۷۸-۵۸	مقدمه: صنعت ساختمان به‌عنوان یکی از مصرف‌کنندگان عمده منابع و منتشرکنندگان گازهای گلخانه‌ای، همواره با چالش‌های پایداری مواجه بوده است. در این راستا، ساخت‌وساز پیش‌ساخته به‌عنوان راهبردی کلیدی برای افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات محیط‌زیستی مطرح شده است. با وجود رشد چشمگیر پژوهش‌ها در این حوزه، تحلیل جامع و به‌روز از روندهای پژوهش‌های جهانی محدود بود.
واژگان کلیدی: ساخت‌وساز پیش‌ساخته، تجزیه و تحلیل کتابسنجی، صنعت ساختمان، ساخت‌وساز صنعتی، روندهای پژوهشی.	هدف پژوهش: این مطالعه با هدف ترسیم نقشه دانش و شناسایی سیر تکامل پژوهش‌های جهانی در حوزه ساخت‌وساز پیش‌ساخته انجام شد.
	روش‌شناسی: برای دستیابی به این هدف، یک مرور سیستماتیک کتابسنجی مبتنی بر دستورالعمل‌های پریزما انجام شد. داده‌های کتاب‌شناختی از پایگاه اسکوپوس استخراج و پس از یک فرآیند غربالگری چهارمرحله‌ای دقیق، ۳۰۰ مقاله منتشرشده در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ برای تحلیل نهایی انتخاب شدند. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار بیبلمتریکس در محیط کتابخانه‌ی آر انجام شد.
	یافته‌ها و بحث: یافته‌ها نشان داد که خروجی پژوهشی این حوزه از سال ۲۰۱۰ رشدی نمایی داشته است. سه گفتمان کلان که در آن تثبیت شده است: پایداری و اقتصاد دایره‌ای، دیجیتال‌سازی و اتوماسیون، و مهندسی و عملکرد سازه‌ای. از نظر جغرافیایی چین، مالزی و استرالیا به‌عنوان قطب‌های اصلی تولید دانش شناخته شدند که بازتابی از سیاست‌گذاری ملی مؤثر و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه بود. با این حال، الگوی همکاری بین‌المللی در این کشورها محدود بود. نقشه‌ی مضامین، گذار پژوهش‌ها را از موضوعات فنی اولیه به‌سوی مضامین مانند مدیریت زنجیره تأمین، انتشار کربن و چرخه عمر تأیید کرد.
	نتیجه‌گیری: پیش‌ساخته‌سازی در آسانه‌ی تحقق وعده‌ی خود به‌عنوان ستون فقرات یک صنعت ساخت‌وساز کارا، کم‌پسماند و مقاوم قرار دارد. تحقق این چشم‌انداز نه تنها به تداوم نوآوری فنی، که به شکل‌گیری یک اکوسیستم دانشی باز، مرتبط و عمل‌گرا وابسته است. این اکوسیستم باید سه حلقه پژوهش بین‌رشته‌ای پیش‌رو، سیاست‌گذاری آگاه از شواهد و نوآوری صنعتی چابک را در یک چرخه تقویت‌کننده به‌هم پیوند زند.
	نکات برجسته: - عبور پژوهش‌ها از مرحله معرفی فناوری به مرحله یکپارچه‌سازی، ارزیابی سیستماتیک و پاسخ به چالش‌های کلان صنعت دارد. - قطب‌شدن تولید علم در آسیا نتیجه تعامل سیاست حمایتی دولت، سرمایه‌گذاری در تحقیق، توسعه و فشار تقاضای بازار است. - انتقال تمرکز پژوهش‌ها از جنبه‌های صرفاً فنی و سازه‌ای به سوی مدیریت زنجیره تأمین، اقتصاد دایره‌ای و کاهش انتشار کربن.
	ارجاع به این مقاله: نوروزی، شادی. برمایه‌ور، بهنود و محمودی ساری، محمدحسین (۱۴۰۳). تحلیل روند علمی پژوهش‌های پیش‌ساخته‌سازی در صنعت ساختمان. هنر مدیریت سبز، ۳(۳)، ۷۸-۵۸. 10.30480/agm.2026.6245.1053
	 این مقاله به صورت دسترسی باز و با



<http://doi.org/10.30480/agm.2026.6245.1053>



مجوز Creative Commons CC BY-NC

[4.0](#) قابل استفاده است.

©2024, UST. All rights reserved.



http://agm.journal.art.ac.ir/article_1510.html

*. نویسنده مسئول (رایانامه: b.barmayehvar@art.ac.ir) / (تلفن: 09123939200)

صنعت ساخت‌وساز برای ایجاد تعادل در توسعه پایدار و ساخت ساختمان‌های جدید با چالش مواجه است (Luo et al., 2019a). زباله‌های انبوه، انتشار کربن و مصرف انرژی توسط فعالیت‌های ساختمانی تولید می‌شود. براساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری، صنعت ساخت‌وساز ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهانی و ۳۳ درصد از انتشار کربن دی اکسید را به خود اختصاص می‌دهد (Pan et al., 2012a). همراه با افزایش تقاضای مسکن به دلیل شهرنشینی سریع (Tam et al., 2007)، ساخت‌وساز پیش‌ساخته^۱ به‌عنوان یک جایگزین در حال ظهور است.

ساخت‌وساز پیش‌ساخته را می‌توان به‌عنوان مجموعه‌ای از فرآیندهای ساخت‌وساز در ساخت اجزا و مدول‌های ساختمانی در کارخانه‌ها، انتقال قطعات و ماژول‌ها به سایت‌های ساخت‌وساز و در نهایت مونتاژ آن‌ها به محصولات نهایی در محل تعریف کرد (Goodier & Gibb, 2007). هونگ^۲ و همکاران (۲۰۱۸) ساخت‌وساز پیش‌ساخته را به‌عنوان محصولات ساختمانی، شامل اجزای ساختمانی یا ماژول‌های تولیدشده در یک کارخانه تولیدی و محصول نهایی مونتاژ شده در محل پس از حمل‌ونقل تعریف می‌کنند. درحالی‌که تام^۳ و همکاران (۲۰۰۷) در نظر گرفتند که ساخت‌وساز پیش‌ساخته به‌عنوان یک فناوری تولید در نظر گرفته می‌شود که قابل پیش‌بینی بودن و تکرار بودن همراه با سفارشی‌سازی انبوه منجر به افزایش بهره‌وری، کارایی و کیفیت محصول می‌شود. با توجه به تعریف گسترده‌ی ساخت‌وساز پیش‌ساخته، بسیاری از اصطلاحات قابل‌جایگزینی با ساخت‌وساز پیش‌ساخته مرتبط هستند. چندین محقق فهرستی از این اصطلاحات را ارائه کرده‌اند (Hosseini et al., 2018; Cao et al., 2015; Lopes et al., 2018).

از جمله ساخت‌وساز خارج از سایت^۴، ساخت مدولار^۵ (Hosseini et al., 2018)، پیش‌ساخته^۶، پیش مونتاژ^۷، مدولارسازی^۸ (Song et al., 2005)، و همچنین ساخت‌وساز صنعتی^۹ (Zabihi et al., 2013). همه‌ی این اصطلاحات به‌طور کلی دارای یک حالت ساخت‌وساز مشترک برای ساخت‌وساز خارج از محل و مونتاژ مدولار پس از حمل‌ونقل هستند که تکنیک‌های ساخت‌وساز مرسوم در سایت را نوآوری می‌کند (Mao et al., 2015).

پیش‌ساخته‌سازی می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای ساخت‌وسازهای مرسوم برای ساختمان‌های مسکونی استفاده شود (Steinhardt & Manley, 2016). مزایای کلیدی پیش‌ساخته عبارتند از استفاده از مصالح و کاهش ضایعات، کاهش هزینه و زمان ساخت‌وساز، افزایش ایمنی و کیفیت محصول، رشد بهره‌وری و بهبود عملکرد ساختمان (Chen et al., 2010; Kamali & Hewage, 2016; Wang & Duarte, 2002; Shahpari et al., 2020). ساختمان‌های پیش‌ساخته با داشتن سیستم ساخت‌وساز خشک می‌توانند تا حدی در طول مرحله استفاده از هم جدا شوند و امکان تعمیر و نگهداری یا پیکربندی مجدد فضای داخلی فراهم شود و امکان استفاده‌های مختلف با حداقل تولید زباله فراهم شود. در پایان چرخه‌ی عمر، ساختمان‌ها را می‌توان به‌طور کامل جدا کرد، و امکان جداسازی موادی را که می‌توان دوباره استفاده کرد یا بازیافت کرد (Eberhardt et al., 2021)، استفاده مجدد از ماژول‌ها یا اجزاء (Navarro-Rubio et al., 2019)، یا حتی جابجایی کل ساختمان را ممکن می‌سازد (Lopez & Froese, 2016). با این حال، پیش‌ساخته ممکن است چالش‌هایی مانند محدودیت‌های لجستیکی و حمل‌ونقل پیچیده‌تر، بارهای مرتبط با بسته‌بندی و حمل‌ونقل و هزینه‌های اجرایی بالاتر را نیز به همراه داشته باشد.

با وجود مزایا و چالش‌های مطرح‌شده، تحقیقاتی جامع که به بررسی و تحلیل روندهای تحقیقات در زمینه ساخت‌وساز پیش‌ساخته بپردازد، به‌ویژه در سطح بین‌المللی، کمتر انجام شده است. این موضوع شکاف مهمی را در دانش کنونی ایجاد کرده که نیازمند تحلیل دقیق و جامع‌تر است. در این راستا، تجزیه و تحلیل کتاب‌سنجی^{۱۰} به‌عنوان یک روش کمی برای مرور پژوهش‌ها و شناسایی روندهای نوظهور در این حوزه، می‌تواند ابزاری مؤثر برای پر کردن این شکاف باشد. علی‌رغم بررسی‌های انجام‌شده در مورد پیش‌ساخته‌ها، همه‌ی بررسی‌های موجود تنها بر دیدگاه خاصی از پیش‌ساخته‌ها مانند مدیریت زنجیره تأمین، عملکرد انرژی، یا طراحی و عملکرد سازه متمرکز شده‌اند. کمبود بررسی وجود دارد که نمای کلی سطح بالایی از روندهای تحقیقاتی جهانی در مورد ساختمان‌های پیش‌ساخته را ارائه دهد. لازم به‌ذکر است که برخی مطالعات اخیر به بررسی روندهای تحقیقات جهانی پرداخته‌اند، اما این مقالات عمدتاً بر روی مقالات قبل از سال ۲۰۱۹ متمرکز بوده‌اند (Huang et al., 2020; Liu et al., 2021). با این حال، مطالعات در این زمینه به‌سرعت در حال توسعه است. نیاز به انجام آخرین بررسی و تحلیل ادبیات مرتبط برای ارائه جدیدترین روندهای مطالعاتی است.



هدف از این مطالعه، تحلیل کتاب‌سنجی مقالات منتشرشده در حوزه ساخت‌وساز پیش‌ساخته در صنعت ساختمان است. این مطالعه با استفاده از پایگاه داده اسکوپوس، مقالات مرتبط با پیش‌ساخته‌سازی را تا سال ۲۰۲۴ بررسی می‌کند تا نمای کلی از خروجی‌های جهانی مربوط به این فناوری را به تصویر کشیده و مسیرهای تحقیقاتی آینده را مشخص سازد.

۲- مبانی نظری

تحول ساخت‌وساز از روش‌های سنتی به رویکردهای صنعتی و پیش‌ساخته، به‌عنوان راهبردی کلیدی برای پاسخ‌گویی به نیازهای فزاینده‌ی کیفیت، سرعت و پایداری مطرح شده است. در این بخش، تعاریف پایه، مفاهیم رایج جهانی و تأثیر سیاست‌گذاری کلان بر توسعه‌ی این صنعت، به‌منظور تدوین چارچوب نظری پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- تعریف ساخت‌وساز صنعتی

در دهه‌های اخیر، صنعت ساخت‌وساز به‌تدریج از روش‌های سنتی مبتنی بر کار در محل به سمت سیستم‌های صنعتی و تکنیک‌های تولید خارج از محل تکامل‌یافته است (Pan et al., 2012b). این تحول با هدف افزایش بهره‌وری، بهبود کیفیت، و کاهش هزینه‌ها و ضایعات صورت گرفته است. صنعتی شدن ساخت‌وساز به‌عنوان یک مفهوم چندوجهی در ادبیات تحقیقاتی به‌گونه‌ای گسترده مورد بحث قرار گرفته تعاریف مختلفی از آن ارائه‌شده است. این تنوع تعاریف به‌دلیل تفاوت‌های فرهنگی، جغرافیایی و تجربی از کشوری به کشور دیگر متفاوت است. بااین‌حال، می‌توان صنعتی شدن ساخت‌وساز را به‌طور کلی به‌عنوان استفاده از تجهیزات مکانیکی، سیستم‌های کنترل کامپیوتری، تولید مستمر، استانداردسازی محصولات، مدولاسازی، و تولید انبوه تعریف کرد. صنعتی‌سازی ساخت‌وساز می‌تواند به دو صورت در محل و خارج از محل انجام شود. در صنعتی‌سازی خارج از محل، اجزای ساختمانی در کارخانه‌ها و با استفاده از مکانیزاسیون پیشرفته تولیدشده و سپس به محل ساخت‌وساز منتقل و مونتاژ می‌شوند. این فرآیند شامل پیش‌ساخته‌سازی و پیش‌مونتاژ اجزاء در مراکز تولیدی است. در مقابل، صنعتی سازی در محل شامل استفاده از روش‌های نوین مدیریت، سازمان‌دهی، و فناوری‌های پیشرفته در سایت‌های ساختمانی است. به‌عنوان نمونه‌هایی از این فناوری‌ها می‌توان به سیستم‌های موقعیت‌یابی زمینی^{۱۱}، مونتاژ واحدهای بزرگ پیش‌ساخته، شناسایی فرکانس رادیویی^{۱۲}، و قالب‌های خود صعود اشاره کرد.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تعاریف مختلفی از صنعتی شدن ساخت‌وساز ارائه‌شده است که هر کدام بر جنبه‌های خاصی از این فرآیند تمرکز دارند. این تعاریف نشان می‌دهند که صنعتی شدن ساخت‌وساز نه‌تنها به بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند، بلکه از نظر پایداری نیز قابلیت‌هایی قابل‌توجه دارد.

جدول ۱- تعاریف منتخب در سیستم‌های ساختمانی صنعتی

ردیف	تعریف	منبع
۱	فرآیند صنعتی شدن سرمایه‌گذاری در تجهیزات، امکانات و فناوری برای اهداف به حداکثر رساندن بازده تولید، به حداقل رساندن منابع نیروی کار و بهبود کیفیت است.	(Thanoon et al., 2003)
۲	صنعتی شدن ظرفیت بالایی برای کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت و در دسترس قراردادن محصولات پیچیده برای اکثریت مردم نشان داده است.	(Richard, 2005)
۳	سیستم ساختمانی صنعتی فرآیندی است که در آن اجزاء به‌عنوان یک سازه با حداقل کار اضافی در خارج از سایت و در محل مونتاژ می‌شوند.	(Abdullah et al., 2009)
۴	پیش‌ساخته یک فرآیند تولیدی است که عموماً در یک مرکز تخصصی انجام می‌شود و در آن مواد مختلف به هم متصل می‌شوند تا قسمتی از نصب نهایی را تشکیل دهند.	(Jaillon & Poon, 2009)
۵	یک تکنیک ساخت‌وساز که در آن اجزاء در یک محیط کنترل‌شده (در یا خارج از سایت) تولید می‌شوند، حمل‌ونقل، قرار می‌گیرند و در یک سازه با حداقل کار اضافی در سایت مونتاژ می‌شوند.	(Kamar et al., 2010)

۲-۲- اصطلاحات مختلف صنعتی‌سازی ساخت‌وساز در جهان

صنعتی‌سازی ساخت‌وساز در کشورهای مختلف با نام‌های گوناگونی شناخته می‌شود که هر یک به‌نوعی به ماهیت و ویژگی‌های خاص این روش‌ها اشاره دارد. در انگلستان، این فرآیند به‌عنوان روش‌های مدرن ساخت‌وساز^{۱۳} شناخته می‌شود (Pan et al., 2008)، در مالزی به‌عنوان سیستم‌های ساختمانی صنعتی^{۱۴} معرفی می‌شود (Kamar et al., 2010) و در ایالات متحده به‌عنوان پیش‌ساخته مدولار خارج از سایت^{۱۵} نام‌گذاری شده است (Song et al., 2005). جدول ۲، فهرستی از اصطلاحات مختلف مورد استفاده در کشورهای مختلف را ارائه می‌دهد.

جدول ۲- اصطلاحات مختلف مورد استفاده برای صنعتی سازی ساخت و ساز در جهان (Attouri et al., 2022)

کشور	اصطلاحات استفاده شده
ایالات متحده آمریکا	Prefabricated Preassembled Modular Offsite Fabrication (PPMOF)
کانادا	Modular construction
انگلستان	Modern method of construction (MMC)
سوئد	Industrialized construction
آلمان	Off-Site Production (OSP)
چین	Industrialized construction
ژاپن	Prefabricated Housing
مالزی	Industrialized building system (IBS)
سنگاپور	Prefabricated prefinished volumetric construction (PPVC)
استرالیا	Off-Site Manufacturing (OSM)
هنگ کنگ	Modular Integrated Construction (MIC)

۲-۳ نقش سیاست گذاری ملی در توسعه پیش ساخته سازی

توسعه و پذیرش فناوری پیش ساخته سازی در سطح جهانی، صرفاً یک تحول فنی نبوده، بلکه به طور مستقیم تحت تأثیر سیاست های کلان و مداخلات هدفمند دولتی قرار داشته است. تجربه در این حوزه نشان می دهد که سیاست گذاری موفق معمولاً در پاسخ به یک بحران یا نیاز ملی فوری شکل گرفته و به تدریج از مرحله اولیه حمایت و ترغیب به سمت تنظیم گری و الزام تکامل یافته است (Barlow et al., 2003; Rod, 2015; Xu et al., 2020; Zhang et al., 2019). الگوی مشترک سیاست گذاری در این کشورها عموماً شامل ترکیبی از ابزارهای زیر بوده است:

- **مشوق های مالی و حمایتی:** مانند اعطای وام های کم بهره، یارانه های دولتی و معافیت های مالیاتی به تولیدکنندگان و مصرف کنندگان.
- **تدوین استانداردها و راهنمای فنی:** برای تضمین کیفیت، ایمنی و قابلیت تعمیرپذیری اجزا و سیستم ها.
- **ایجاد چارچوب های قانونی و مقرراتی:** برای رسمیت بخشی، نظارت و در برخی موارد الزام به استفاده.

جدول ۳- مقایسه نظام سیاست گذاری توسعه پیش ساخته سازی

کشور	محرك اصلی سیاست گذاری	ابزارها و سیاست های کلیدی	نقطه عطف / نتایج مهم
ایالات متحده آمریکا	کمبود مسکن کم درآمد و نیاز پس از جنگ جهانی دوم	حمایت از خانه های متحرک، قوانین فدرال مسکن، برنامه های انبوه سازی مسکن	تصویب قانون ملی ساخت و ساز مسکن و ایمنی (۱۹۷۶) و تدوین استانداردهای فدرال
انگلستان	کمبود شدید مسکن پس از دو جنگ جهانی	تشکیل نهادهای استاندارد سازی، برنامه های مسکن اجتماعی پیش ساخته، استراتژی روش های مدرن ساخت و ساز	نهادینه شدن استراتژی روش های مدرن ساخت و ساز به عنوان راهبرد ملی ساخت و ساز
سوئد	برنامه ی ملی توسعه ی مسکن و صنعتی سازی ساخت و ساز	استاندارد سازی سیستماتیک اجزا و همکاری دولت با نهادهای تحقیقاتی و استاندارد	تدوین مجموعه جامع استانداردهای ملی و پایه گذاری تولید صنعتی با کیفیت
ژاپن	همکاری دولت و شرکت های بزرگ ساختمانی برای صنعتی سازی مسکن	راهنما های ساخت و ساز، گواهی کیفیت، تعریف رسمی صنعتی سازی مسکن	ایجاد چارچوب شفاف برای سرمایه گذاری خصوصی و نوآوری فناورانه
سنگاپور	سیاست گذاری قاطع دولت برای افزایش بهره وری ساخت و ساز	سهیمه ی اجباری استفاده از پیش ساخته، مشوق های مالی و فنی	رشد سریع و گسترده پیش ساخته سازی در پروژه های مسکونی



۳- روش پژوهش

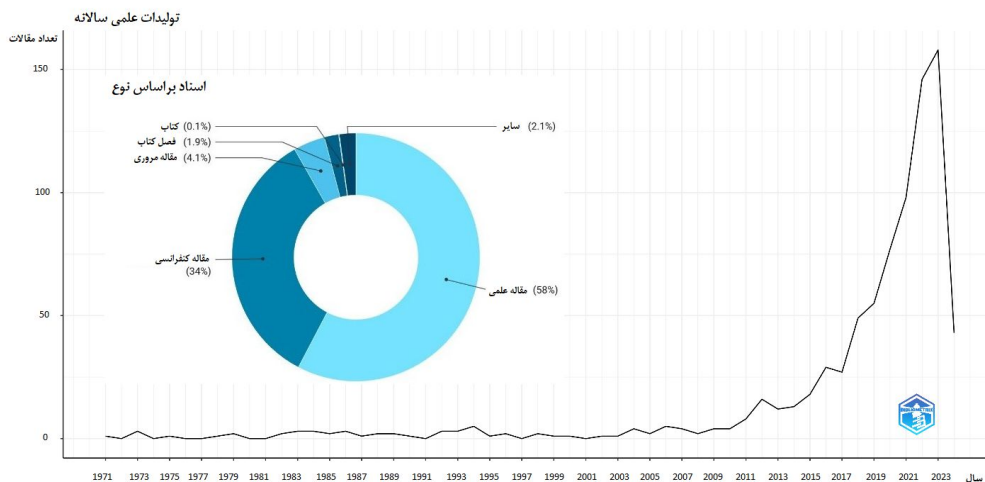
این مطالعه با هدف شناسایی روندهای علمی پژوهش‌های جهانی در حوزه ساخت‌وساز پیش‌ساخته، از رویکرد تحلیل کتاب‌سنجی در چارچوب یک مرور سیستماتیک بهره می‌برد. به‌منظور تضمین شفافیت، جامعیت و قابلیت تکرار فرآیند شناسایی و انتخاب مدارک، دستورالعمل‌های گزارش‌دهی پروتکل پریزما در مراحل جستجو و غربالگری رعایت شده است (Page et al., 2021). مراحل اصلی پژوهش در چهار گام کلی صورت پذیرفته است: (۱) طراحی سؤال و استراتژی جستجو؛ (۲) شناسایی مقالات؛ (۳) غربالگری و انتخاب نهایی؛ و (۴) استخراج و تحلیل کتاب‌سنجی داده‌ها.

۳-۱- جمع‌آوری داده

پرسش کلیدی این مرور سیستماتیک عبارت است از: «نقشه دانش و سیر تکامل پژوهش‌های جهانی در حوزه ساخت‌وساز پیش‌ساخته در صنعت ساختمان: چه تصویری را نمایان می‌سازد؟». برای پاسخ به این پرسش، استراتژی جستجو در پایگاه داده اسکوپوس اجرا شد اسکوپوس یکی از پایگاه‌های داده کتاب‌شناختی معتبر و جهانی است که توسط بسیاری از محققان توصیه می‌شود. برای انجام این مطالعه کتاب‌سنجی، واژگان کلیدی به‌دقت انتخاب شده‌اند تا پوشش جامعی از مفاهیم پیش‌ساخته‌سازی و صنعتی‌سازی ساختمان فراهم کنند. این واژگان شامل اصطلاحات رایج و مرتبط با موضوع تحقیق هستند که در جدول ۲ پیش‌تر بیان شده‌اند.

واژگان کلیدی که به‌عنوان اساس استراتژی جستجو در عناوین مقالات در پایگاه داده Scopus مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به شرح زیر هستند. در نتیجه‌ی جستجوی اولیه تعداد ۲۰۹۹ سند یافت شد (شکل ۱). این اسناد شامل ۱۲۱۱ مجموعه‌ی مقالات کنفرانس (۴۷٪)، ۸۶۰ مقاله‌ی علمی (۵۷٫۷٪)، ۷۱۵ مقاله‌ی کنفرانسی، ۸۷ مقاله‌ی مروری (۴٫۱٪)، ۳۹ فصل کتاب (۱٫۹٪)، ۲ کتاب (۰٫۱٪) است، و ۴۵ سایر (>۲٪) است. جستجوی اولیه در ۷ اردیبهشت ۱۴۰۳ انجام شد.

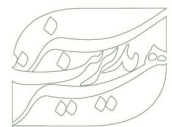
TITLE ("Pre-assembly building" OR "Prefabricated building" OR "offsite building" OR "Modular building" OR "Modular Integrated Construction" OR "Off-Site Manufacturing" OR "Prefabricated prefinished volumetric construction" OR "Industrialized building system" OR "Prefabricated Housing" OR "Industrialized construction" OR "Off-Site Production" OR "Modern method of construction" OR "Modular construction" OR "Prefabricated Preamsembled Modular Offsite Fabrication")



شکل ۱- نتیجه‌ی جستجوی اولیه در پهنه‌ی زمانی و اسناد براساس نوع

اولین فرآیند غربالگری مبتنی بر چهار معیار ورودی محدود شد (همان‌طور که در شکل ۲ مشخص شده است). فقط مقالاتی که به زبان انگلیسی نوشته شده‌اند، در مرحله انتشار نهایی قرار گرفته باشند، نوع منبع مجله باشد و انتخاب محدود به اسناد با دوری نهایی، از جمله مقالات علمی و مروری در نظر گرفته شد.

در مرحله‌ی دوم غربالگری، حوزه‌های موضوعی تمامی مقالات مورد بررسی قرار گرفت و حوزه‌های غیرمرتبط از جستجو حذف شدند. همچنین در این مرحله، کلیدواژه‌های استخراج شده از مقالات بررسی و موارد غیرمرتبط حذف شدند. نتیجه‌ی این



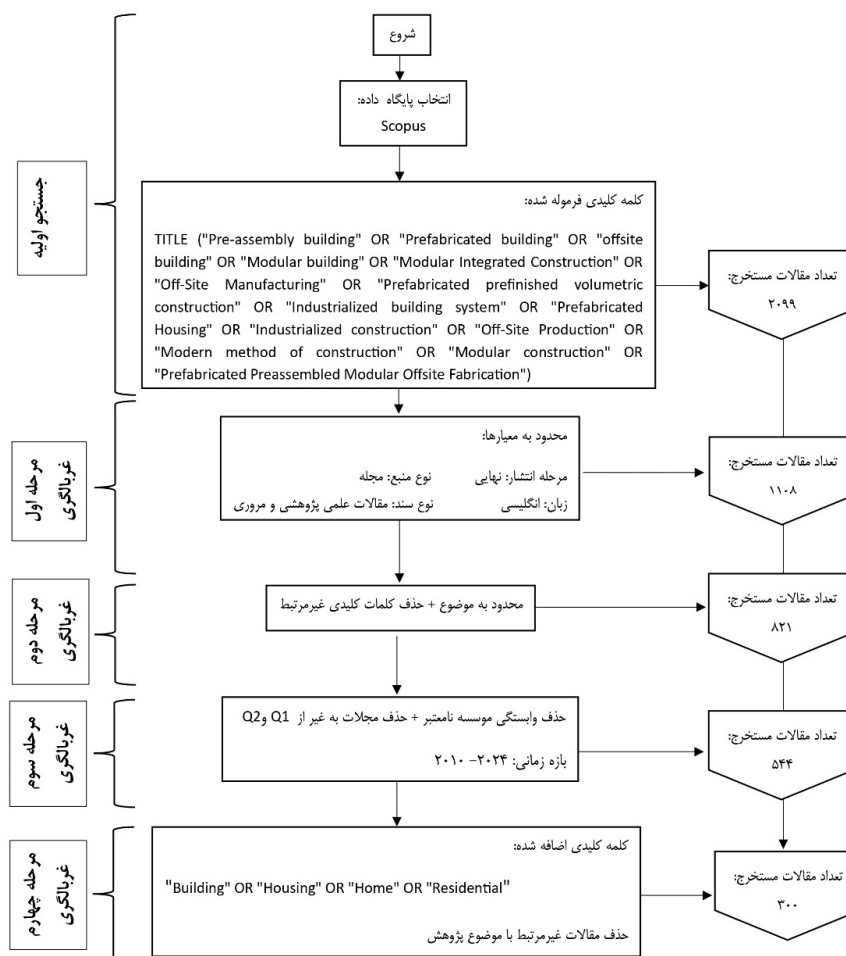
مرحله منجر به کاهش اسناد به ۸۲۱ مقاله شد که شامل ۷۶۲ مقاله علمی و ۵۹ مقاله مروری بود، در بازه‌ی زمانی ۵۳ ساله از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۲۴، زیرا هیچ مقاله مرتبطی قبل از این تاریخ در پایگاه داده یافت نشد (تصویر ۱). همان‌طور که در تصویر ۱ مشاهده می‌شود، توجه به موضوع پیش‌ساخته‌سازی از سال ۲۰۱۰ به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است.

در مرحله‌ی سوم غربالگری، با هدف دستیابی به متمرکزترین، معتبرترین، و جدیدترین مطالعات، محدودیت زمانی تحقیق به بازه‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ اعمال شد. در این مرحله، مقالات منتشرشده در مجلات کیو ۱ و کیو ۲ انتخاب شدند، چراکه این مجلات به‌دلیل تأثیرگذاری بالا و استانداردهای داوری دقیق‌شان، به‌عنوان معتبرترین منابع علمی شناخته می‌شوند. این انتخاب به تضمین کیفیت و تأثیر نتایج تحقیق کمک می‌کند. همچنین، مقالات با وابستگی سازمانی غیرمعتبر حذف شدند. نتیجه این مرحله ۵۴۴ سند بود.

در مرحله چهارم غربالگری، برای تمرکز بیشتر بر ساختمان‌ها در پیش‌ساخته‌سازی، چندین کلیدواژه با عملگر OR به سایر کلمات در جستجوی اولیه اضافه شد. این کلیدواژه‌ها به شرح زیر هستند:

"Building" OR "Housing" OR "Home" OR "Residential"

در نتیجه از بین ۵۴۴ سند به‌دست‌آمده از مرحله قبل، با اضافه کردن کلیدواژه‌های فوق، تعداد مقالات به ۳۰۰ رسید که به تمرکز بر مطالعات مرتبط‌تر کمک کرده است. تصویر ۲ نشانگر تمامی فرآیند جمع‌آوری داده است. این فرآیند جمع‌آوری داده‌ها و غربالگری‌ها به‌طور دقیق و سیستماتیک انجام‌شده است تا تنها معتبرترین و مرتبط‌ترین مقالات برای تحلیل نهایی انتخاب شوند، که به تقویت اعتبار نتایج تحقیق کمک می‌کند.



شکل ۲- مراحل فرآیند جمع‌آوری داده

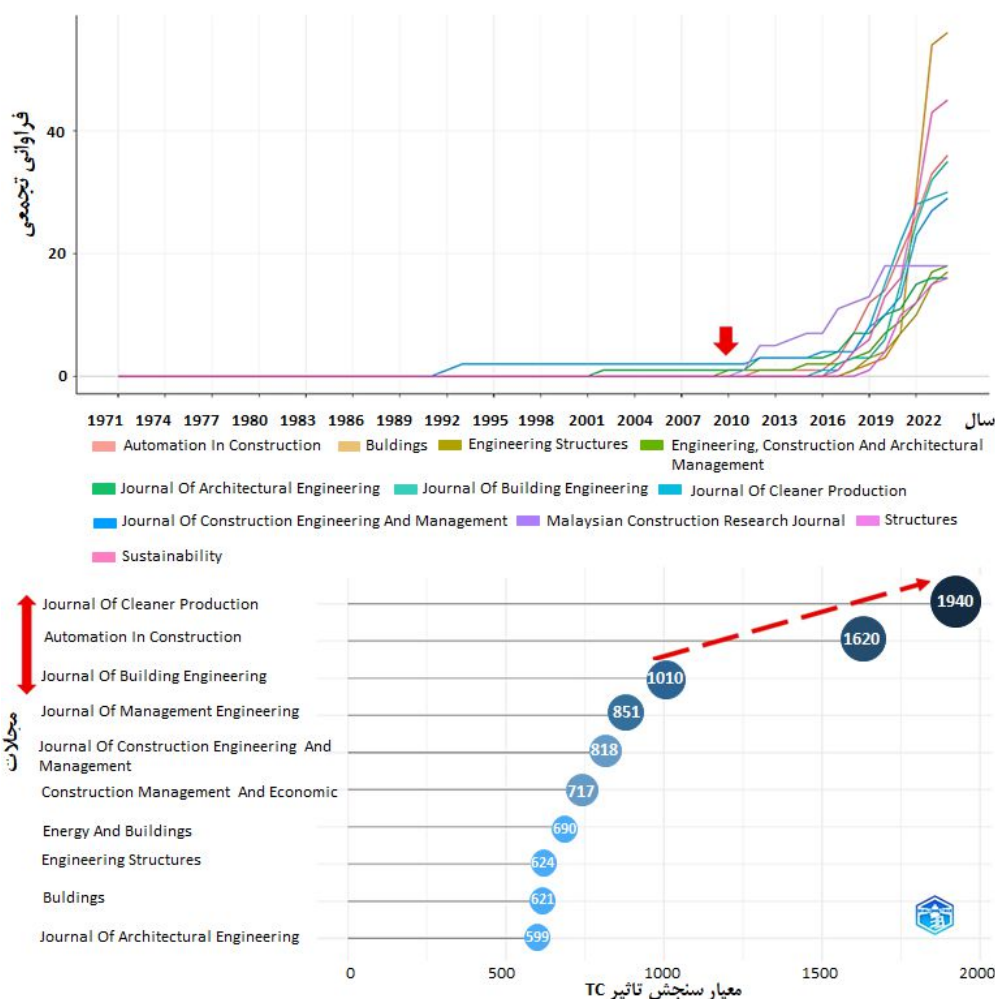
۴- تحلیل داده و یافته‌ها

در ادامه، یافته‌های حاصل از تحلیل داده‌ها ارائه می‌شود. این تحلیل‌ها در چهار بخش اصلی شامل تحلیل منابع، کشورهای منتشرکننده، مقالات پراستناد و روند تحقیقات، ساختار دانش حوزه پیش‌ساخته‌سازی را واکاوی می‌کند و نقشه جامعی از بازیگران، سیر تکامل و جهت‌گیری‌های آتی این حوزه ترسیم می‌نماید.

۴-۱- تحلیل منابع (مرحله دوم غربالگری)

پس از اجرای مرحله دوم غربالگری، ۲۶۴ مجله از مجموع ۸۲۱ مقاله مورد تحلیل قرار گرفتند. تحلیل خروجی‌های علمی (تصویر ۳-الف) نشان می‌دهد که انتشار مقالات در حوزه پیش‌ساخته‌سازی از روندی پویا و فزاینده، به‌ویژه از ابتدای دهه‌ی ۲۰۱۰، پیروی کرده است. این رشد، هم‌زمان با تمرکز فزاینده انتشار دانش در نشریات شاخص این حوزه بوده است. بررسی مجلات پیش‌رو از منظر کیفی (تعداد استنادات، تصویر ۳-ب) نشان می‌دهد که هسته اصلی تولید دانش حول سه مجله با بیشترین میزان استناد شکل گرفته است: "Journal of Cleaner Production"، "Automation in Construction" و "Journal of Building Engineering" دارای بیش از ۱۰۰۰ استناد هستند.

نکته‌ی کلیدی در این تحلیل آن است که پر استناد بودن این مجلات صرفاً یک پدیده‌ی تصادفی نیست؛ بلکه دامنه‌ی موضوعی و جهت‌گیری علمی هر یک از این نشریات، بازتاب‌دهنده جهت‌گیری‌های محتوایی غالب در تحقیقات پیش‌ساخته‌سازی است. بر این اساس، می‌توان استنباط کرد که پژوهش‌های این حوزه عمدتاً تحت تأثیر سه محور کلان توسعه یافته‌اند: (۱) محور پایداری و اقتصاد دایره‌ای؛ (۲) محور فناوری و دیجیتال‌سازی فرآیندهای ساخت؛ و (۳) محور مهندسی و عملکرد سازه‌های سیستم‌های پیش‌ساخته. بنابراین، غلبه این سه مجله از منظر شاخص استناد کل^{۱۶} (تی.سی.) یا همان تأثیر علمی، صرفاً یک رده‌بندی کمی نیست، بلکه نشانه‌ای از جهت‌گیری و تثبیت محتوایی پژوهش‌ها به سوی رویکردهای پایدار، فناورانه و مهندسی یکپارچه در حوزه پیش‌ساخته‌سازی است.



تصویر ۳- الف) ده مجله علمی پیشرو در زمینه انتشار مقالات مرتبط با موضوع پیش‌ساخته‌سازی در طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۲۴؛ **ب)** ده مجله با بالاترین میزان تأثیر مبتنی بر شاخص تی.سی.

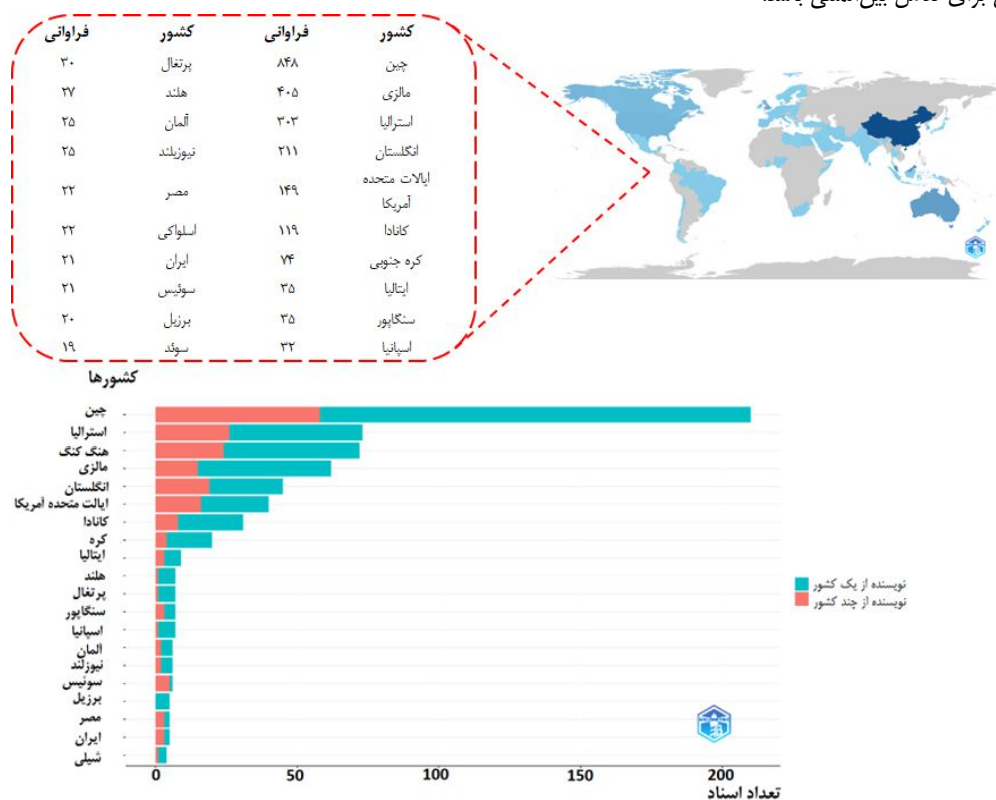
۴-۲- تحلیل کشورهای منتشرکننده مقالات (مرحله دوم غربالگری)

همان‌طور که تصویر ۴ نشان می‌دهد، توزیع جغرافیایی انتشار مقالات علمی در حوزه‌ی پیش‌ساخته‌سازی نشان‌دهنده‌ی سلطه‌ی آشکار کشورهای آسیایی، به‌ویژه چین، است که به تنهایی سهمی غالب در خروجی پژوهشی این حوزه دارد (در این نقشه، هرچقدر رنگ استفاده‌شده برای نمایش یک کشور پررنگ‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی تعداد بیشتر مقالات علمی منتشر شده توسط نویسندگان آن کشور، بر اساس ملیت حداقل یکی از نویسندگان مقاله است). پس از آن، کشورهای مالزی و استرالیا در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند. این تمرکز قوی در آسیا را می‌توان بازتابی مستقیم از سیاست‌های توسعه‌محور ملی، سرمایه‌گذاری کلان در زیرساخت‌های تحقیق و توسعه، و فشار ناشی از رشد شتابان شهرنشینی و نیاز به مسکن در این منطقه دانست.

همچنین تصویر ۴ بازتاب‌دهنده الگوی همکاری بین‌المللی در حوزه پیش‌ساخته‌سازی است، که بر اساس همکاری بین نویسندگان از کشورهای مختلف یا ملیت‌های گوناگون ترسیم‌شده است. رنگ خطوط در این نمودار نشان‌دهنده‌ی نوع مشارکت کشورها در نگارش مقالات است. به این ترتیب، خطوط قرمز نشان‌دهنده مقالاتی هستند که به صورت مشترک بین کشورهای مختلف نوشته شده‌اند، در حالی که خطوط سبز، بیانگر مقالاتی هستند که به صورت مستقل و بدون مشارکت بین‌المللی تهیه شده‌اند. تحلیل شبکه‌ی همکاری بین‌المللی الگوی جالبی را آشکار می‌سازد: با وجود حجم بالای تولید، سهم عمده‌ای از



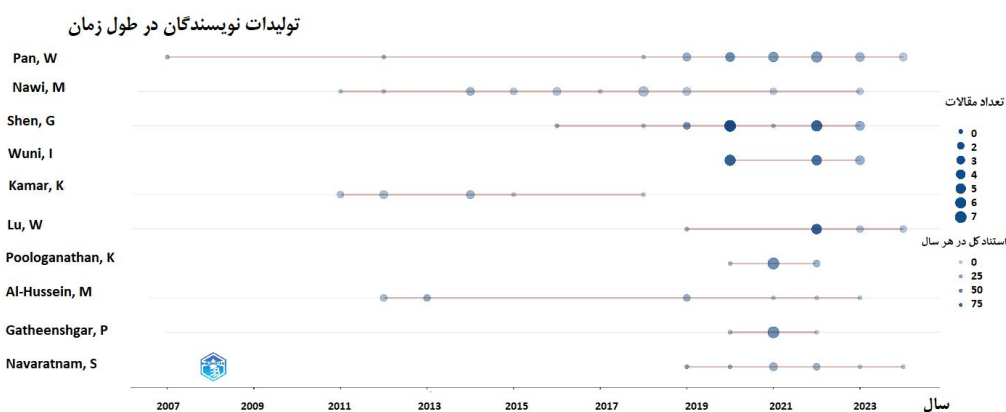
پژوهش‌ها در کشورهای پیشرو (نظیر چین، مالزی و استرالیا) به‌صورت مستقل و بدون همکاری فرامرزی انجام شده است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده‌ی بلوغ نسبی اکوسیستم‌های پژوهش‌های داخلی، تمرکز بر چالش‌های محلی، یا وجود موانع نهادی و مالی برای تعامل بین‌المللی باشد.



تصویر ۴- تولیدات علمی کشورها، همکاری بین آن‌ها و مؤسسات پیشرو در پهنه جغرافیایی

۳-۴- تحلیل مقالات (مرحله‌ی دوم غربالگری)

برای کاوش عمیق‌تر آثار منتشرشده توسط ده پژوهشگر برجسته (تصویر ۵)، ده مقاله با بیش‌ترین میزان استناد (شاخص تی.سی.) مورد بررسی قرارگرفته و مشخصات آن‌ها در جدول ۴ درج‌شده است.



تصویر ۵- تعداد مقاله منتشر شده توسط ده پژوهشگر برجسته در گذر زمان

جدول ۴- ده مقاله با بالاترین شاخص تی.سی. از آثار پژوهشگران برجسته



ردیف	نویسنده/همکار	سال	یافته‌های کلیدی/اهداف	شاخص تی.سی.	منبع
۱	پان ^۳	۲۰۰۷	بررسی عوامل سستی (زمان، هزینه، کیفیت، بهره‌وری) مؤثر بر تصمیم‌گیری برای استفاده از فناوری‌های خارج از محل. شناسایی موانع (هزینه سرمایه‌ای بالا، تعامل پیچیده، زمان راه‌اندازی) و ارائه راهکارهایی مانند تغییر نگرش، بهبود فرآیندهای مقرراتی و ارائه اطلاعات دقیق.	۲۸۲	(Pan et al., 2007)
۲	شن ^۲	۲۰۱۶	بررسی مصرف انرژی متفاوت اجزاء پیش‌ساخته، نشان داد که بازپافت تا ۲۴٪ و کاهش پسماند/کنترل کیفیت تا ۱۴٪ در صرفه‌جویی انرژی مؤثر است. هشدار نسبت به افزایش مصرف انرژی با افزایش نرخ پیش‌سازی و تأکید بر بهبود کیفیت تکنیک و کاهش وابستگی به مواد پرمصرف.	۲۱۰	(Hong et al., 2016)
۳	پان ^۳	۲۰۱۲	شناسایی روندهای منجر به پذیرش فناوری‌های ساخت خارج از محل از طریق یک مطالعه موردی. بررسی استراتژی‌های ادغام این فناوری‌ها در تمام مراحل فرآیند ساخت، از تهیه زمین تا پایان پروژه.	۱۸۲	(Pan et al., 2012c)
۴	ناواراتنام ^{۱۷}	۲۰۱۹	مقایسه سهم بازار مسکن پیش‌ساخته در استرالیا با سایر کشورها، اشاره به دلیل محدود بودن سهم بازار؛ توسعه محرمانه سیستم‌ها و کمبود اطلاعات عمومی درباره عملکرد آنها، تأکید بر نیاز به تحقیقات علمی برای افزایش تقاضای بازار.	۱۷۳	(Navaratnam et al., 2019)
۵	شن ^۲	۲۰۱۹	استفاده از تحلیل شبکه‌های اجتماعی ^{۱۸} (SNA) برای اولویت‌بندی ریسک‌های زنجیره تأمین در یک پروژه پیش‌ساخته. شناسایی چالش‌های اساسی مانند برنامه‌ریزی نامناسب، کنترل ضعیف جریان کار و اشتراک‌گذاری ناکافی اطلاعات. هدف: کمک به متخصصان برای مدیریت مؤثرتر ریسک‌های جانبی.	۱۵۳	(Luo et al., 2019b)
۶	شن ^۲	۲۰۲۰	شناسایی ۱۲۰ مانع از تحقیقات در ۱۵ کشور و ارائه یک چارچوب طبقه‌بندی گسترده، توسعه یک چارچوب مفهومی یکپارچه برای نمایش تعاملات بین موانع و ارائه راهکارهایی برای مقابله با آنها. هدف: ارائه دیدگاه جامع و آغاز بحث برای توسعه راهکارهای یکپارچه.	۱۴۰	(Wuni & Shen, 2020a)
۷	شن ^۲	۲۰۲۰	شناسایی ۳۵ عامل موفقیت از مطالعات ۲۰۱۹-۱۹۹۳. استخراج ۶ عامل موفقیت بحرانی مشترک بین کشورها؛ همکاری و ارتباطات مؤثر، مدیریت زنجیره تأمین، طراحی دقیق و زودهنگام، مشارکت افراد کلیدی، استراتژی مناسب تدارکات، و استانداردسازی. هدف: ایجاد پایه‌ای برای سامانه‌های پشتیبانی تصمیم و چک‌لیست‌های راهنما.	۱۱۳	(Wuni & Shen, 2020b)
۸	الحسین ^۱	۲۰۱۳	بررسی روش‌های بهبود بهره‌وری در صنعت ساختمان از طریق ابزارهای ناب. اجرای یک پروژه آزمایشی برای جلب اعتماد مدیران و ایجاد پایه‌ای برای گسترش عملکردهای بهینه‌سازی. نتیجه: نشان دادن قابلیت ایجاد بهبود قابل‌توجه در عملکرد و بهره‌وری.	۱۱۲	(Yu et al., 2013)
۹	الحسین ^۱	۲۰۱۳	ارائه روش «فرآیند تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی فازی» برای رتبه‌بندی عوامل ریسک با در نظر گرفتن عدم قطعیت (مقادیر فازی). هدف: تعیین اهمیت نسبی هر عامل ریسک در مقایسه با دیگران برای مدیریت بهتر پروژه‌های مدولار.	۱۰۸	(Li et al., 2013)
۱۰	شن ^۲	۲۰۱۹	توسعه یک پلتفرم یکپارچه مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و اینترنت اشیاء برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری خودکار در چرخه عمر پروژه. اجزاء پلتفرم شامل اشیاء هوشمند، دروازه هوشمند و سرویس‌های مدیریت داده و مکان. هدف: رفع موانع مانند جمع‌آوری داده ناقص و کمبود پشتیبانی تصمیم‌گیری در فرآیندهای تولید، حمل‌ونقل و مونتاژ.	۱۰۶	(Li et al., 2019)

تولید دانش در حوزه‌ی پیش‌ساخته‌سازی توسط گروهی از پژوهشگران تأثیرگذار هدایت شده است. تحلیل روند انتشار و آثار پراستناد این نویسندگان، علاوه بر شناسایی بازیگران اصلی، امکان مشاهده سیر تکاملی مضامین پژوهشی را در قالب سه مرحله قابل تفکیک فراهم می‌کند.

– **مرحله‌ی نخست- مبانی و توجیه‌پذیری (پیش از ۲۰۱۵):** تحقیقات این دوره، که سنگ‌بنای ادبیات موضوع را تشکیل می‌دهد، عمدتاً بر مطالعات اکتشافی و تلاش برای تثبیت مفهوم پیش‌ساخته‌سازی متمرکز بود. محور اصلی پژوهش‌های این دوره شامل شناسایی مزایای بالقوه (زمان، هزینه و کیفیت)، تحلیل موانع پذیرش و ارائه‌ی راهکارهای کلی برای بهبود نگرش ذی‌نفعان بوده است. این مرحله، مبنای مفهومی لازم برای پذیرش این فناوری در صنعت را فراهم کرد.

- **مرحله‌ی دوم- تحلیل عملکرد و مدیریت ریسک (۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹):** با تثبیت نسبی جایگاه این فناوری، تمرکز پژوهش‌ها به سمت ارزیابی کمی عملکرد و مدیریت پیچیدگی‌های اجرایی سوق یافت. مطالعات شاخص این دوره به سنجش دقیق شاخص‌های عملکرد (مانند صرفه‌جویی انرژی و مدیریت پسماند) و مدل‌سازی ریسک‌های سیستمی، به‌ویژه در زنجیره تأمین، پرداخته‌اند. توسعه‌ی ابزارهای تحلیلی مانند تحلیل شبکه‌های اجتماعی برای اولویت‌بندی ریسک‌ها، نشان‌دهنده حرکت روش‌شناختی به سمت تحلیل‌های دقیق‌تر در این مرحله است.

- **مرحله‌ی سوم- یکپارچه‌سازی دیجیتال و چارچوب‌سازی راه‌حل‌محور (۲۰۲۰ به بعد):** پژوهش‌های متأخر منعکس‌کننده حرکت پژوهش‌ها به سمت رویکردهای یک‌پارچه و دیجیتال‌محور است. تمرکز از ارزیابی تک‌بعدی به سمت توسعه‌ی چارچوب‌های جامع برای غلبه بر موانع، شناسایی عوامل موفقیت حیاتی و طراحی پلتفرم‌های یکپارچه مبتنی بر فناوری‌های دیجیتال معطوف شده است. هدف غایی در این مرحله، خلق سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری خودکار و هوشمند برای مدیریت چرخه عمر کامل پروژه است.

۴-۴- تحلیل روند تحقیقات (مرحله‌ی چهارم غربالگری)

در مرحله‌ی چهارم غربالگری، تحلیل نقشه مضامین (تصویر ۶) انجام شده است که به کمک آن، خوشه‌های مختلف شبکه‌ی پژوهشی شناسایی و بررسی شده‌اند. این خوشه‌ها به‌صورت حباب‌هایی در یک نمودار دوبعدی با محورهای مرکزیت و چگالی نمایش داده شده‌اند. این تحلیل کمک می‌کند تا با بررسی تعاملات و توسعه‌ی موضوعات مختلف، مسیرهای اصلی و نوظهور تحقیقاتی را شناسایی کنیم.

۴-۴-۱- شرح محورهای نقشه‌ی مضامین^{۱۹}

در تجزیه و تحلیل نقشه مضامین، خوشه‌های شبکه هم‌زمان به‌صورت حباب‌هایی در یک نمودار با توجه به رتبه‌ی مرکزی و چگالی کالان^{۲۰} نشان داده شدند (Callon et al., 1990). وقوع کلمات خوشه، اندازه حباب را تعیین می‌کند.

- **محور ایکس (مرکزیت):** این محور نشان‌دهنده‌ی میزان تعامل خوشه‌های مختلف با یک‌دیگر و اهمیت مضامین تحقیقاتی است. خوشه‌هایی که در سمت راست نمودار قرار دارند، دارای مرکزیت بالا و به مضامین حیاتی در زمینه‌ی تحقیقاتی مربوط هستند. مرکزیت بالا به معنای ارتباط گسترده‌ی این مضامین با سایر حوزه‌های پژوهشی و تأثیرگذاری آن‌ها در کل شبکه‌ی علمی است.

- **محور ایگرگ (چگالی):** این محور بیانگر قدرت داخلی شبکه‌ی خوشه‌ای و میزان رشد آن است. خوشه‌های بالاتر در نمودار، تراکم بیشتری دارند و بیانگر توسعه‌یافتگی بیشتر در آن زمینه هستند. چگالی بالا نشان‌دهنده‌ی تمرکز بیشتر محققان بر روی این مضامین و پیشرفت‌های چشمگیر در آن‌ها است.

۴-۴-۲- طبقه‌بندی خوشه‌ها

تحلیل نقشه علمی خوشه‌ها نشان می‌دهد که مضامین پژوهشی بر اساس دو شاخص درجه اهمیت و درجه‌ی توسعه در چهار ربع اصلی قابل طبقه‌بندی هستند:

- **ربع اول (بالا سمت راست)- مضامین حرکتی:** این خوشه‌ها مرکزیت و تراکم بالایی دارند و نشان‌دهنده‌ی مضامین به‌خوبی توسعه‌یافته‌ای هستند که برای ساختار موضوع پژوهشی حیاتی محسوب می‌شوند. مضامین برجسته در این بخش شامل زنجیره تأمین، انتشار کربن، چرخه عمر، اقتصاد دایره‌ای و فاکتورهای تأثیرگذار بر پیش‌ساخته‌سازی است. این مضامین با تأثیر گسترده‌ای بر روندهای فعلی و آینده تحقیقات، به‌عنوان محرک‌های کلیدی در این حوزه عمل می‌کنند.

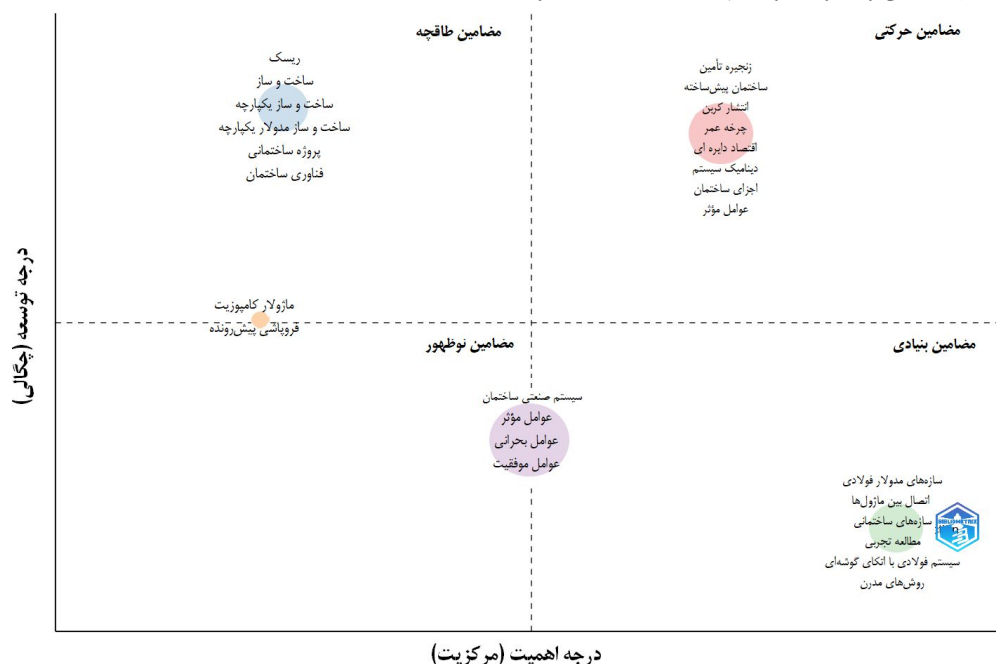
- **ربع دوم (بالا سمت چپ)- مضامین طاقچه:** این خوشه‌ها تراکم بالا و مرکزیت کمی دارند. این بدان معناست که این مضامین به‌خوبی توسعه‌یافته‌اند، اما ارتباط محدودی با دیگر موضوعات دارند. به‌عنوان مثال، مضامین مرتبط با ریسک، یک‌پارچه‌سازی در ساخت مدولار، و به‌کارگیری تکنولوژی در پیش‌ساخته‌سازی در این دسته قرار می‌گیرند. این مضامین می‌توانند به‌عنوان زمینه‌های تخصصی و نوآورانه عمل کنند، اما برای دستیابی به تأثیر بیشتر، نیاز به افزایش تعاملات با سایر حوزه‌های پژوهشی دارند.

- **ربع سوم (پایین سمت چپ)- مضامین نوظهور یا روبه‌زوال:** این خوشه‌ها مرکزیت و تراکم کمی دارند و نشان‌دهنده‌ی مضامین حاشیه‌ای و کمتر توسعه‌یافته هستند. برخی از این مضامین ممکن است نیاز به تحقیقات

بیشتر داشته باشند تا از وضعیت کنونی به سمت مضامین حرکتی حرکت کنند. این خوشه‌ها می‌توانند شامل مضامین نوظهوری باشند که در مراحل ابتدایی تحقیق قرار دارند، اما پتانسیل رشد و گسترش در آینده را دارا هستند. همچنین، ممکن است برخی از این مضامین به دلیل کاهش توجه محققان به آن‌ها، به سمت زوال پیش روند.

۴- ربع چهارم (پایین سمت راست) - مضامین بنیادی: خوشه‌های با مرکزیت بالا و چگالی کم که برای مضامین تحقیقاتی فرارشته‌ای حیاتی هستند. سازه‌های مدولار فلزی، پایداری سازه‌ای، و اتصالات از جمله مضامینی هستند که در این بخش دیده می‌شوند. این مضامین، به‌رغم تراکم پایین، به‌عنوان ستون‌های کلیدی در ساختار تحقیقاتی عمل می‌کنند و ارتباطات گسترده‌ای با سایر حوزه‌ها دارند.

با بررسی مسیرهای پژوهشی، مشخص می‌شود که حرکت به سمت راست بالا در طول زمان نشان‌دهنده‌ی روند صعودی است، درحالی‌که مسیرهایی که به سمت چپ پایین حرکت می‌کنند، روند نزولی دارند. به‌عنوان نمونه، تحقیق در مورد فناوری ساخت ساختمان‌های پیش‌ساخته در سال‌های ابتدایی دهه‌ی گذشته توجه زیادی را به خود جلب کرده است که عمده‌تاً در حوزه‌ی مهندسی بود. با این حال، در سه تا پنج سال اخیر، تحقیق در مورد ساختمان‌های پیش‌ساخته به‌طور سریع در زمینه‌های پایداری محیطی، سبز و اکولوژی توسعه یافته است، زیرا پایداری به یکی از اهداف مهم توسعه تبدیل شده است. این روندها نشان می‌دهند که تحقیق در زمینه‌های محیطی و اکولوژیکی به‌سرعت در حال افزایش است و این مضامین به یکی از اولویت‌های کلیدی در حوزه ساخت‌وساز پیش‌ساخته تبدیل شده‌اند. این تغییرات منعکس‌کننده تغییرات جهانی در نگرش به مسائل محیطی و ضرورت توسعه پایدار در صنعت ساخت‌وساز است.



تصویر ۶- نقشه مضامین روند تحقیقات در موضوع پیش‌ساخته‌سازی

۵- بحث

تحلیل روند انتشار حاکی از آن است که تولید علمی در حوزه‌ی پیش‌ساخته‌سازی و صنعتی‌سازی ساختمان از سال ۲۰۱۰ به بعد رشد قابل‌توجهی داشته است. این افزایش را می‌توان به رشد سریع شهرنشینی، افزایش تقاضای مسکن، فشارهای زیست‌محیطی و تلاش برای بهبود بهره‌وری در صنعت ساخت‌وساز نسبت داد. این روند بیانگر تغییر تدریجی پارادایم در صنعت ساخت‌وساز از روش‌های سنتی به سمت رویکردهای صنعتی و فناوری محور است و هم‌سو با مطالعات پیشین، نشان‌دهنده‌ی بلوغ تدریجی این حوزه‌ی تحقیقاتی است.



کانون‌یابی گفتمان‌های پژوهشی کلان: تمرکز استنادات و تولید علم حول سه مجله کلیدی "Journal of Cleaner Production"، "Automation in Construction" و "Journal of Building Engineering" تصادفی نیست. این امر، عینیت‌یافته‌ی ساختار سه‌بعدی دانش در حال بلوغ این حوزه است. هر یک از این نشریات، نماینده و هدایت‌گر یک جریان فکری اصلی هستند: نخست، گفتمان پایداری محیطی و اقتصاد دایره‌ای؛ دوم، گفتمان تحول دیجیتال و اتوماسیون فرایندها؛ و سوم، گفتمان بهینه‌سازی مهندسی و عملکرد سازه‌ای. چیرگی این سه محور، حکایت از عبور پژوهش‌ها از مرحله‌ی معرفی فناوری به مرحله یکپارچه‌سازی، ارزیابی سیستماتیک و پاسخ به چالش‌های کلان صنعت دارد.

تحلیل توزیع جغرافیایی قطب شدن تولید علم در آسیا به رهبری چین پیامد مستقیم تعامل سه‌گانه‌ی سیاست حمایتی دولت، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و فشار تقاضای بازار است. این الگو نمونه‌ای عینی از موفقیت در هم‌سوسازی سیاست ملی، پژوهش‌های دانشگاهی و نیاز صنعتی است که می‌تواند برای سایر مناطق درس‌آموز باشد. این یافته‌ها با گزارش‌های پیشین هم‌راستا است که نشان می‌دهند کشورهای با رشد اقتصادی سریع و نیاز شدید به مسکن، بیشترین توجه را به فناوری‌های ساخت صنعتی نشان می‌دهند. نقش برجسته‌ی مؤسسات دانشگاهی در این کشورها نیز بیانگر تعامل نزدیک میان سیاست‌گذاری دولتی، صنعت و نظام علمی در توسعه‌ی فناوری‌های نوین ساخت‌وساز است.

سیر تکامل سه مرحله‌ای شناسایی شده در محتوای پژوهش‌ها، از مبانی و توجیه به تحلیل عملکرد و سرانجام به یکپارچه‌سازی دیجیتال و چارچوب‌سازی نشان‌دهنده‌ی بلوغ تدریجی گفتمان حاکم بر این حوزه است. این روند منطبق بر تحول تاریخی مفهوم پیش‌ساخته‌سازی از یک راهکار فنی مقطعی به یک پارادایم صنعتی سیستماتیک است.

تحلیل مضامین موضوعی بیانگر آن است که مضامینی مانند زنجیره تأمین، انتشار کربن، چرخه‌ی عمر و اقتصاد دایره‌ای از مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی در پیش‌ساخته‌سازی هستند. این یافته‌ها نشان‌دهنده‌ی انتقال تمرکز پژوهش‌ها از جنبه‌های صرفاً فنی و سازه‌ای به سمت رویکردهای سیستمی و پایدار است. توجه به زنجیره‌ی تأمین بیانگر اهمیت هماهنگی میان تولید، حمل‌ونقل و مونتاژ اجزاء پیش‌ساخته در بهبود عملکرد پروژه‌ها است. همچنین، تمرکز بر انتشار کربن و اقتصاد دایره‌ای نشان‌دهنده‌ی افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و تلاش برای کاهش اثرات کربن نهفته و بهبود بهره‌وری منابع در چرخه عمر ساختمان‌ها است. این نتایج همسو با روندهای جهانی تحقیقات ساخت‌وساز پایدار است که پایداری محیطی و بهره‌وری منابع را به‌عنوان محورهای اصلی تحول صنعت معرفی می‌کنند و پیامدهای نظری و عملی مهمی برای توسعه چارچوب‌های تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در صنعت ساختمان به همراه دارد.

یافته‌ها به صورت همگرا، تصویر یک چرخه تکاملی تقویت شونده را ترسیم می‌کنند. سیاست‌های ملی هدفمند منجر به سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و شکل‌گیری قطب‌های جغرافیایی دانش می‌شود. این امر به نوبه‌ی خود بلوغ گفتمان‌های پژوهشی و تمرکز بر چالش‌های پیچیده‌تر را ممکن می‌سازد. خروجی این پژوهش‌ها مجدداً به بازطراحی و ارتقای سیاست‌ها و نوآوری صنعتی بازخورد داده و چرخه را تقویت می‌کند. درک این چرخه کلید تفسیر روندهای آتی و تأثیرگذاری بر آن‌ها است.

۶- نتیجه‌گیری

این پژوهش با به‌کارگیری روش‌شناسی مرور سیستماتیک کتاب‌سنجی، نقشه‌ای جامع و پویا از ساختار، تکامل و روندهای پژوهشی حوزه ساختمان‌سازی پیش‌ساخته در سطح جهانی ارائه نمود. یافته‌های پژوهش در پاسخ به پرسش اصلی مبنی بر ترسیم نقشه دانش و شناسایی سیر تکامل پژوهش‌های جهانی در حوزه‌ی پیش‌ساخته‌سازی صنعت ساختمان به‌طور همگرا نشان می‌دهند که این حوزه در کمتر از دو دهه، گذاری تحول‌آفرین را از حالتی نوپا و تک‌بعدی به پارادایمی بالغ، چندوجهی و اثرگذار در قلب گفتمان صنعت ساختمان تجربه کرده است. مهم‌ترین دستاوردهای این تحلیل را می‌توان در سه سطح خلاصه کرد. در سطح محتوایی: پژوهش‌ها یک سیر تکاملی روشن از مباحث توصیفی و توجیه‌محور به سمت تحلیل‌های سیستمی، کمی‌سازی عملکرد و یکپارچه‌سازی فناوری‌های دیجیتال طی کرده‌اند. تثبیت مضامینی چون اقتصاد دایره‌ای، مدیریت چرخه‌ی عمر و انتشار کربن در کانون توجه، نشان‌دهنده‌ی نهادینه شدن گفتمان پایداری به‌عنوان جهت‌گیر اصلی آینده است. در سطح جغرافیایی و نهادی: شکل‌گیری قطب‌های دانشی متمرکز در آسیا به‌ویژه چین، حاصل تعامل اثربخش سیاست‌گذاری هوشمند ملی، سرمایه‌گذاری پایدار در تحقیق و توسعه، و پاسخگویی به نیازهای فوری شهری است. این موفقیت، الگویی عینی برای سایر کشورها فراهم می‌آورد. در سطح شبکه علمی: تمرکز دانش حول چند مجله و نویسندگان پرتأثیر، حاکی از شکل‌گیری یک



هسته‌ی نظری منسجم است. با این حال، همکاری بین‌المللی محدود بین قطب‌های اصلی، نشان می‌دهد که بلوغ این حوزه هنوز کاملاً مبتنی بر هم‌افزایی جهانی نیست.

این پژوهش با چند محدودیت همراه بوده است که مسیرهایی را برای پژوهش‌های آتی می‌گشاید. اول، داده‌ها تنها از پایگاه داده‌ی اسکوپوس استخراج شده‌اند. مطالعات آینده می‌توانند با ترکیب چندین پایگاه داده و ادغام تحلیل‌های کیفی (مانند مرور نظام‌مند محتوایی)، نقشه‌ی جامع‌تر و عمیق‌تری ارائه دهند. دوم تمرکز این مطالعه بر مقالات مجلات بود. تحلیل سایر مدارک مانند پروانه‌های ثبت اختراع، استانداردها و گزارش‌های صنعتی می‌تواند تصویری کامل‌تر از نوآوری و انتقال فناوری در این حوزه ترسیم کند.

بدین ترتیب، پیش‌ساخته‌سازی در آستانه‌ی تحقق وعده‌ی خود به‌عنوان ستون فقرات یک صنعت ساخت‌وساز کارا، کم‌پسماند و مقاوم قرار دارد. تحقق این چشم‌انداز نه تنها به تداوم نوآوری فنی، که به شکل‌گیری یک اکوسیستم دانشی باز، مرتبط و عمل‌گرا وابسته است. این اکوسیستم باید سه حلقه پژوهش بین‌رشته‌ای پیشرو، سیاست‌گذاری آگاه از شواهد و نوآوری صنعتی چابک را در یک چرخه تقویت‌کننده به هم پیوند زند. این پژوهش با روشن کردن ساختار کنونی و مسیرهای طی‌شده، سنگ‌بنایی برای ناوبری هوشمندانه در این مسیر پیچیده و امیدبخش فراهم می‌آورد.

پی‌نوشت

- 1- Prefabricated Construction
- 2- Hong
- 3- Tam
- 4- Off-Site Construction
- 5- Modular Construction
- 6- Prefabricated
- 7- Pre-assembled
- 8- Modularization
- 9 Industrial Construction
- 10- Bibliometrics
- 11- GPS
- 12- RFID
- 13- Modern method of construction
- 14- Industrialized building system
- 15- Prefabricated Preassembled Modular Offsite Fabrication
- 16- Total Citations
- 17- Navaratnam
- 18- Social Network Analysis
- 19- Thematic Map
- 20- Callon

حامیان مالی: موردی از طرف نویسندگان اعلام نشده است.

مشارکت نویسندگان: نویسندگان تأیید می‌کنند که هر دو نویسنده به‌صورت برابر در نگارش مقاله سهیم بوده‌اند.

اعلام عدم تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

بیانیه شفافیت کاربست هوش مصنوعی: نویسندگان اعلام می‌دارند که در مقاله حاضر از ابزارهای هوش مصنوعی (با محوریت چت‌جی‌بی‌تی) صرفاً برای تصحیح متن، ویرایش نگارشی و زبانی و نیز بهبود بیان و انسجام مطالب استفاده شده است. این ابزارها هیچ‌گونه نقشی در تولید محتوای علمی، تحلیل داده‌ها، تفسیر یافته‌ها یا نتیجه‌گیری نداشته‌اند. تمامی محتوای علمی، تحلیل‌ها، نتایج و مسئولیت نهایی مقاله بر عهده نویسندگان است.

قدردانی: ما از همه افراد برای مشاوره علمی در این مقاله سپاس‌گزاریم.

- Abdullah, M. R., Kamar, K. M., & Nawi, M. N. (2009). Industrialized building system: A definition and concept. ARCOM CONFERENCE.
- Attouri, E., Lafhaj, Z., Ducoulombier, L., & Linéatte, B. (2022). The current use of industrialized construction techniques in France: Benefits, limits and future expectations. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100436. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100436>.
- Barlow, J., Childerhouse, P., Gann, D., Hong-Minh, S., Naim, M., & Ozaki, R. (2003). Choice and delivery in housebuilding: lessons from Japan for UK housebuilders. *Building research & information*, 31(2), 134-145. <https://doi.org/10.1080/09613210302003>.
- Callon, M. (1990). Techno-economic networks and irreversibility. *The sociological review*, 38(S1), 132-161. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954x.1990.tb03351.x>.
- Cao, X., Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. *Journal of cleaner production*, 109, 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>.
- Chen, Y., Okudan, G. E., & Riley, D. R. (2010). Decision support for construction method selection in concrete buildings: Prefabrication adoption and optimization. *Automation in Construction*, 19(6), 665-675. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.011>.
- Eberhardt, L. C. M., Rønholt, J., Birkved, M., & Birgisdottir, H. (2021). Circular Economy potential within the building stock-Mapping the embodied greenhouse gas emissions of four Danish examples. *Journal of Building Engineering*, 33, 101845. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101845>.
- Goodier, C., & Gibb, A. (2007). Future opportunities for offsite in the UK. *Construction management and economics*, 25(6), 585-595. <https://doi.org/10.1080/01446190601071821>.
- Hong, J., Shen, G. Q., Mao, C., Li, Z., & Li, K. (2016). Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input-output-based hybrid model. *Journal of cleaner production*, 112, 2198-2207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.030>.
- Hosseini, M. R., Martek, I., Zavadskas, E. K., Aibinu, A. A., Arashpour, M., & Chileshe, N. (2018). Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis. *Automation in construction*, 87, 235-247. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.002>.
- Huang, Y., Yan, J., & Chen, L. (2020). A bird's eye of Prefabricated Construction based on bibliometric analysis from 2010 to 2019. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 780, No. 5, p. 052011). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/780/5/052011>.
- Jaillon, L., & Poon, C. S. (2009). The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. *Automation in construction*, 18(3), 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.09.002>.
- Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62, 1171-1183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>.
- Kamar, K. A. M., Hamid, Z. A., Ghani, M. K., Egbu, C., & Arif, M. (2010). Collaboration initiative on green construction and sustainability through Industrialized Buildings Systems (IBS) in the Malaysian construction industry. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 1(1), 119-127.
- Li, H. X., Al-Hussein, M., Lei, Z., & Ajweh, Z. (2013). Risk identification and assessment of modular construction utilizing fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and simulation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(12), 1184-1195. <https://doi.org/10.1139/cjce-2013-0013>.
- Li, X., Shen, G. Q., Wu, P., & Yue, T. (2019). Integrating building information modeling and prefabrication housing production. *Automation in Construction*, 100, 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.024>.
- Liu, W., Zhang, H., Wang, Q., Hua, T., & Xue, H. (2021). A review and scientometric analysis of global research on prefabricated buildings. *Advances in Civil Engineering*, 2021(1), 8869315. <https://doi.org/10.1155/2021/8869315>.
- Lopes, G. C., Vicente, R., Azenha, M., & Ferreira, T. M. (2018). A systematic review of Prefabricated Enclosure Wall Panel Systems: Focus on technology driven for performance requirements. *Sustainable cities and society*, 40, 688-703. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.027>.

- Lopez, D., & Froese, T. M. (2016). Analysis of costs and benefits of panelized and modular prefabricated homes. *Procedia engineering*, 145, 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.166>.
- Luo, T., Tan, Y., Langston, C., & Xue, X. (2019a). Mapping the knowledge roadmap of low carbon building: A scientometric analysis. *Energy and Buildings*, 194, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.050>.
- Luo, L., Qiping Shen, G., Xu, G., Liu, Y., & Wang, Y. (2019b). Stakeholder-associated supply chain risks and their interactions in a prefabricated building project in Hong Kong. *Journal of Management in Engineering*, 35(2), 05018015. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000675](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000675).
- Mao, C., Shen, Q., Pan, W., & Ye, K. (2015). Major barriers to off-site construction: The developer's perspective in China. *Journal of management in engineering*, 31(3), 04014043. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000246](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000246).
- Navaratnam, S., Ngo, T., Gunawardena, T., & Henderson, D. (2019). Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia. *Buildings*, 9(2), 38. <https://doi.org/10.3390/buildings9020038>.
- Navarro-Rubio, J., Pineda, P., & García-Martínez, A. (2019). Sustainability, prefabrication and building optimization under different durability and re-using scenarios: Potential of dry precast structural connections. *Sustainable Cities and Society*, 44, 614-628. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.045>.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372. <https://doi.org/10.31222/osf.io/jb4dx>.
- Pan, W., & Garmston, H. (2012a). Compliance with building energy regulations for new-build dwellings. *Energy*, 48(1), 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.048>.
- Pan, W., Dainty, A. R., & Gibb, A. G. (2012b). Establishing and weighting decision criteria for building system selection in housing construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(11), 1239-1250. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000543](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000543).
- Pan, W., Gibb, A. G., & Dainty, A. R. (2007). Perspectives of UK housebuilders on the use of offsite modern methods of construction. *Construction management and Economics*, 25(2), 183-194. <https://doi.org/10.1080/01446190600827058>.
- Pan, W., Gibb, A. G., & Dainty, A. R. (2008). Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods. *Building research & information*, 36(1), 56-67. <https://doi.org/10.1080/09613210701204013>.
- Pan, W., Gibb, A. G., & Dainty, A. R. (2012c). Strategies for integrating the use of off-site production technologies in house building. *Journal of construction engineering and management*, 138(11), 1331-1340. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000544](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000544).
- Richard, R. B. (2005). Industrialised building systems: reproduction before automation and robotics. *Automation in construction*, 14(4), 442-451. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.09.009>.
- Rod, S. (2015). Why Sweden beats the world hands down on prefab housing. *The Chartered Institute of Building*. Available online: <http://www.globalconstructionreview.com/trends/why-swedenbeats-world-h8an0ds-4d2own0-6p4r2e0f8ab/> (accessed on 17 May 2021).
- Shahpari, M., Saradj, F. M., Pishvaei, M. S., & Piri, S. (2020). Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method. *Journal of Building Engineering*, 27, 100979. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100979>.
- Song, J., Fagerlund, W. R., Haas, C. T., Tatum, C. B., & Vanegas, J. A. (2005). Considering prework on industrial projects. *Journal of construction engineering and management*, 131(6), 723-733. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2005\)131:6\(723\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2005)131:6(723)).
- Steinhardt, D. A., & Manley, K. (2016). Adoption of prefabricated housing—the role of country context. *Sustainable cities and society*, 22, 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.02.008>
- Actions.



- Tam, V. W., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and environment*, 42(10), 3642-3654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>.
- Thanoon, W. A., Peng, L. W., Kadir, M. R. A., Jaafar, M. S., & Salit, M. S. (2003). The essential characteristics of industrialised building system. In *International Conference on Industrialised Building Systems* (Vol. 10, No. 11, pp. 283-92).
- Wang, Y., & Duarte, J. P. (2002). Automatic generation and fabrication of designs. *Automation in construction*, 11(3), 291-302. [https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(00\)00112-6](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(00)00112-6).
- Wuni, I. Y., & Shen, G. Q. (2020a). Barriers to the adoption of modular integrated construction: Systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119347. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119347>.
- Wuni, I. Y., & Shen, G. Q. (2020b). Critical success factors for modular integrated construction projects: A review. *Building Research & Information*, 48(7), 763-784. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1669009>.
- Xu, Z., Zayed, T., & Niu, Y. (2020). Comparative analysis of modular construction practices in mainland China, Hong Kong and Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118861. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118861>.
- Yu, H., Al-Hussein, M., Al-Jibouri, S., & Telyas, A. (2013). Lean transformation in a modular building company: A case for implementation. *Journal of management in engineering*, 29(1), 103-111. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000115](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000115).
- Zabihi, H., Habib, F., & Mirsaedie, L. (2013). Definitions, concepts and new directions in Industrialized Building Systems (IBS). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17, 1199-1205. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0020-y>.
- Zhang, R., Zhou, A. S., Tahmasebi, S., & Whyte, J. (2019). Long-standing themes and new developments in offsite construction: The case of UK housing. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* (Vol. 172, No. 6, pp. 29-35). Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/jcien.19.00011>.