Scientometrics Research Journal
Scientific Bi-Qualterly Journal of Shahed University/ Article in Press (Not edited)

Scientometric Analysis of Research Trends in Smart and Sustainable Architecture in Educational Environments: With an Emphasis on Green Schools and Campuses

Milad Olfat [1*]
Faezeh Asadpour[2]
Amir Hossein Shirdel[3]

1. Department of Art Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran. (Corresponding author) (Email: m.olfat@cfu.ac.ir)
2. Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.
3. Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Receive: ../../….
Acceptance: ../../….

Abstract

Purpose: The purpose of this study is to conduct a comprehensive bibliometric analysis of research trends in the field of sustainable and smart architecture in educational environments, with a particular focus on green schools and university campuses, during the period 1990–2025. Educational spaces, as crucial settings for knowledge development and social interaction, play a pivotal role in shaping sustainable behaviors among future generations. In recent decades, accelerated technological transformations, the global environmental crisis, and the necessity of aligning with sustainable development goals have highlighted the need for rethinking the design of educational facilities. Against this backdrop, this research aims to identify the intellectual structure, thematic clusters, and evolutionary trajectory of the scholarly output in this area. It also seeks to determine the most influential authors, institutions, and countries contributing to the advancement of knowledge in sustainable and smart educational architecture.

Methodology: The study adopts a bibliometric and science-mapping approach. Data were collected from the Web of Science (WoS) core collection, one of the most authoritative international scientific databases, ensuring comprehensive coverage of high-quality scholarly works. A total of 736 documents, including research articles, review papers, and conference proceedings published between 1990 and August 2025, were retrieved. After eliminating duplicates and cleaning metadata through Zotero, the data were processed using VOSviewer 1.6.20. The analysis involved co-citation, co-authorship, co-occurrence of keywords, and bibliographic coupling techniques, allowing the identification of research fronts, intellectual foundations, and emerging topics. This multi-stage procedure ensured a systematic, transparent, and reproducible analysis of the field.

Findings: The temporal analysis revealed a relatively stable research output until the mid-2000s, followed by a significant surge beginning around 2010. This growth accelerated markedly post-2015, coinciding with the establishment of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). This trend highlights the growing global recognition of sustainable educational environments as a critical research area. Citation analysis further identified highly influential works that established the theoretical foundations of the field, particularly those addressing biophilic design, environmental psychology, and international green building standards such as Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) and

Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM). The conceptual mapping indicated six interconnected domains of inquiry that collectively shape the intellectual structure of the field: Sustainable and Environmental Design, User Experience and Spatial Quality, Energy Efficiency and Green Buildings, Health and Sustainable Urban Development, Environmental Participation and Education, and Architectural Education with a Socio-Cultural Approach. Research on sustainable architecture and environmental design emphasizes the integration of ecological and biophilic principles into school and campus planning, while studies on human experience and spatial quality explore comfort, perception, and well-being, with particular attention to children and students. Another important stream focuses on energy efficiency and building performance, highlighting the role of advanced digital tools such as BIM, IoT, and smart energy systems in enhancing resilience and resource management. A further cluster links health, learning, and urban sustainability, examining how educational spaces contribute to public health, urban green infrastructure, and the broader sustainability agenda. In parallel, investigations into participation, education, and environmental behavior underscore the importance of cultural, social, and behavioral aspects in achieving long-term sustainability. Finally, research on architectural pedagogy and socio-cultural sustainability stresses the responsibility of architectural education and design studios in embedding cultural identity, social equity, and participatory practices into sustainable design processes. The international collaboration analysis revealed that the United States, China, Australia, and several European countries are the leading contributors, forming robust scientific networks and advancing global standards. In contrast, developing countries in Asia and the Middle East are increasingly present in this field but face persistent challenges in adapting universal sustainability frameworks to their specific socio-cultural and climatic conditions. The findings also highlight the prevailing imbalance between technically oriented quantitative studies and the relative scarcity of qualitative, user-centered research that captures the lived experiences of students and communities within sustainable educational environments.

Conclusion: The study concludes that research in sustainable and smart educational architecture has evolved from a narrow, technology- and energy-oriented perspective toward a multidimensional, interdisciplinary framework that integrates environmental, social, cultural, and psychological dimensions. Future directions are expected to be shaped by the convergence of advanced technologies as artificial intelligence, Internet of Things (IoT), and digital twins, with participatory and biophilic design approaches. This paradigm shift will require bridging the gap between global frameworks and local conditions, ensuring that sustainable educational environments not only optimize energy performance but also foster well-being, equity, and a sense of place for students and communities. By providing a systematic mapping of the field over three and a half decades, this study contributes to the understanding of the intellectual landscape and future opportunities in sustainable and smart architecture for educational settings. The insights can guide policymakers, architects, and researchers in developing integrated strategies to design schools and campuses that serve as models of resilience, innovation, and ecological responsibility.

Keywords: Sustainable architecture, Smart architecture, Green schools, University campus, Mapping, Content analysis.

زودآیند ویرایش نشده

پژوهش‌نامه علم‌سنجی
دوفصلنامه علمی ـ پژوهشی دانشگاه شاهد/ زودآیند ویرایش نشده

تحلیل علم سنجی روندهای پژوهشی در معماری هوشمند و پایدار محیط های آموزشی با تمرکز بر پردیس ها و مدارس سبز

میلاد الفت[1*]
فائزه اسدپور[2]
امیر حسین شیردل[3]

۱. گروه آموزش هنر، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) Email: Mol f at @f uac i r
۲. استادیار، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران. Faezehasadpour @ru aci r.
۳. گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. amirshirdel6645930@gmail.com

دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰۰
پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰۰

چکیده

هدف: هدف پژوهش، تحلیل نظام‌مند روندهای علمی معماری پایدار و هوشمند در فضاهای آموزشی (مدارس سبز و پردیس‌های دانشگاهی) طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ است تا تصویری جامع از وضعیت و مسیرهای آینده این حوزه فراهم شود.

روش‌شناسی: پژوهش حاضر یک مطالعه کاربردی با رویکرد کمی است که با به‌کارگیری روش ترکیبی (کمی-کیفی) انجام شده است. داده‌های مورد نیاز از پایگاه معتبر Web of Science بر اساس یک استراتژی جستجوی بولین مشخص گردآوری شد. کلیدواژه‌های جست‌وجو در این پژوهش شامل «معماری پایدار»، «معماری هوشمند»، «مدارس سبز»، «پردیس دانشگاهی»، «تحلیل محتوا» و «ترسیم نقشه علمی» بوده و دامنه مطالعه در رشته معماری و طراحی محیط‌های آموزشی با تمرکز بر فضاهای یادگیری پایدار و هوشمند است. پس از پالایش در نرم‌افزار Zotero و پردازش در نرم‌افزار VOSviewer نسخه ۱،۶،۲۰، مورد تحلیل قرار گرفت. این فرآیند، تحلیل شبکه‌های هم‌واژگانی، هم‌استنادی و همکاری بین‌المللی را امکان‌پذیر ساخت و در نهایت منجر به شناسایی خوشه‌های مفهومی و نویسندگان کلیدی در حوزه موضوعی مورد مطالعه گردید.

یافته‌ها: پژوهش نشان می‌دهد تولید علم در معماری پایدار و هوشمندِ فضاهای آموزشی از دهه ۲۰۰۰ به‌طور چشمگیری رشد کرده و با اهداف توسعه پایدار هم‌راستا شده است. بررسی ۷۳۶ سند علمی شش خوشه مفهومی اصلی را آشکار کرد: طراحی پایدار، تجربه کاربری، بهره‌وری انرژی، سلامت شهری، مشارکت و آموزش محیطی، و آموزش معماری با رویکرد اجتماعی–فرهنگی. همچنین، کشورهای ایالات متحده، چین، استرالیا و چند کشور اروپایی بیشترین سهم را در شبکه‌سازی و تولید دانش این حوزه داشته‌اند.

نتیجه‌گیری: پژوهش نشان می‌دهد معماری آموزشی از رویکرد انرژی‌محور به چارچوبی انسان‌محور و چندبعدی تحول یافته است؛ و در آینده با ترکیب فناوری‌های هوشمند، طراحی بیوفیلیک و مشارکتی، تحقق فضاهای آموزشی پایدار و عادلانه را دنبال می‌کند. توجه به زمینه‌های فرهنگی–اقلیمی و تجربه کاربران، محور اصلی این تحول است.

واژگان کلیدی: معماری پایدار، معماری هوشمند، مدارس سبز، پردیس دانشگاهی، ترسیم نقشه، تحلیل محتوا

زودآیند ویرایش نشده

مقدمه و بیان مسئله

در دهه‌های اخیر، شتاب تحولات فناورانه، بحران‌های زیست‌محیطی، و تغییر الگوهای یادگیری، ضرورت بازنگری در طراحی فضاهای آموزشی را برجسته ساخته است. مدارس و پردیس‌های دانشگاهی، علاوه بر ایفای نقش اساسی در پرورش دانش، مهارت و تعاملات اجتماعی(Quevedo et al ., ۲۰۲۴)، به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از ساختمان‌های عمومی، از مصرف‌کنندگان انرژی محسوب می‌شوند و در طول چرخه حیات خود تأثیر قابل توجهی بر محیط زیست دارند(Guerrieri et al ., ۲۰۱۹) . مطالعات نشان می‌دهند که این فضاها در طول چرخه حیات خود از ساخت تا بهره‌برداری تأثیر قابل توجهی بر منابع طبیعی و اقلیم دارند و بنابراین، ظرفیت بالایی برای هدایت آن‌ها به سمت الگوهای پایدار وجود دارد (Bareshadat et al ., ۲۰۱۹; Kalaycı Al as & Korut ürk, ۲۰۲۴). درپاسخ به این چالش‌ها، معماری هوشمند و پایدار با ادغام فناوری‌های نوین، طراحی پایدار و ملاحظات فرهنگی–اجتماعی مطرح شده است (مهدی‌نژاد و شیردل، ۱۴۰۳) (Mahdi nej ad & Asadpour , ۲۰۱۹; Mi , ۲۰۲۴). از آنجایی‌که رشد ساخت‌وساز، همراه با پیشرفت فناوری، آسیب‌های جدی به محیط وارد کرده است (Newberry et al ., ۲۰۲۱; Al hassan et al , ۲۰۲۴)، استانداردها و شاخص‌های پایداری می‌توانند به ارزیابی عملکرد و اثرات زیست‌محیطی ساختمان کمک کنند (مهدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷) و موجب کاهش اثرات از طریق بهینه‌سازی مصرف انرژی و منابع، کاهش ردپای کربن، و ایجاد محیط زیستی سالم گردد (Dunk, ۲۰۲۱; Luca et al ., ۲۰۲۱). برآوردها نشان می‌دهد ساخت‌وساز حدود ۴۰٪ انرژی جهانی (Asadpour & Habi bi , ۲۰۱۵) و بیش از ۳۰٪ منابع معدنی را مصرف کرده و به تولید گازهای گلخانه‌ای و زباله می‌افزاید (Akdari et al ., ۲۰۱۲; Asadpour , ۲۰۱۴; Asadpour et al ., ۲۰۱۶). هرچند فضاهای آموزشی سهم کمی از زمین‌های شهری را اشغال کرده است، اما مدارس و پردیس‌های سبز می‌توانند فرهنگ پایداری را در نسل آینده نهادینه کنند، چراکه دانش‌آموزان و دانشجویان زمان زیادی را در این محیط‌ها می‌گذرانند و با قرارگیری در فضاهای آموزشی هوشمند و پایدار، نگرش‌ها و رفتارهای زیست‌محیطی آنان نیز شکل می‌گیرد (Kalaycı & Korut ürk , ۲۰۲۴).

مدارس سبز، با رویکردهایی چون کاهش مصرف انرژی، استفاده از منابع تجدیدپذیر، مدیریت بهینه پسماند، ارتقای کیفیت محیط داخلی و بهبود سلامت کاربران(Mei boudi et al ., ۲۰۱۷) ، از اوایل دهه ۲۰۰۰ در آمریکا و اروپا ظهور یافته و به تدریج به کشورهای آسیایی و در حال توسعه گسترش یافته‌اند. در ایران نیز گرچه تلاش‌هایی در این راستا انجام شده، اما نبود چارچوب بومی متناسب با شرایط اقلیمی و فرهنگی، بسیاری از پروژه‌های مدرسه سبز را از اهداف واقعی دور نگه داشته است (Rezvani et al ., ۲۰۱۹). در واقع دستیابی به مدارس پایدار نیازمند جاری بودن تفکر پایداری در بطن طراحی است (Michal os, ۲۰۱۴) و فعالیت‌های زیست‌محیطی مدارس سبز بخشی از قوانین دولتی مقابله با تغییرات اقلیمی و تعهد به کاهش اثرات انسانی بر زمین به‌شمار می‌روند.

پژوهش‌های علمی و توسعه فناوری‌های نوین، ستون‌های اصلی تحقق این اهداف بلندمدت هستند. بدون درک عمیق از روندهای پژوهشی، شناسایی فناوری‌های مؤثر، و یادگیری از تجارب جهانی موفق، طراحی و اجرای مدارس و پردیس‌های واقعاً پایدار و هوشمند با چالش مواجه خواهد بود. در این راستا، با رشد فناوری‌های هوشمند، ایده «هوشمندسازی» محیط‌های آموزشی رایج شد. به طوری‌که سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی امکان پایش و بهینه‌سازی لحظه‌ای عملکرد بنا را فراهم کرده و هم‌افزایی بین کارایی انرژی و تجربه کاربر را افزایش داده‌اند(Li et al , ۲۰۲۴; Tomadon et al ., ۲۰۲۴) . برای دستیابی به این دانش جامع و به‌روز، نیاز به ابزاری نظام‌مند برای پایش و تحلیل حجم عظیم و رو به رشد ادبیات پژوهشی در این حوزه است. در این میان، تحلیل کتاب‌سنجی به‌عنوان ابزاری کارآمد، امکان شناسایی تحولات مفهومی، خوشه‌های پژوهشی، و شبکه‌های همکاری علمی را فراهم می‌کند (Aria & Cuccurullo, ۲۰۱۷). انتخاب بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ در این پژوهش، علاوه بر پوشش منسجم سه دهه تحول، با سه رویداد کلیدی هم‌زمان است: شکل‌گیری موج توجه جهانی به معماری سبز از دهه ۱۹۹۰، جهش فناوری‌های دیجیتال از دهه ۲۰۰۰، و اولویت یافتن اقدامات مقابله با تغییرات اقلیمی از دهه ۲۰۱۰ به بعد. داده‌های موجود نشان می‌دهد که به‌خصوص از سال ۲۰۱۲ به بعد، هم تنوع موضوعی و هم همکاری‌های بین‌المللی در این زمینه افزایش یافته است(Zaballos et al ., ۲۰۲۰) . با این حال، شکاف‌هایی همچون فقدان مطالعات تطبیقی بومی–جهانی، کمبود چارچوب‌های منطبق با ویژگی‌های اقلیمی–فرهنگی،

و نیاز به روش‌های ترکیبی کمی–کیفی برای سنجش اثرات واقعی معماری هوشمند و پایدار باقی مانده است. با توجه به نقش اساسی پژوهش های علمی در جهت‌دهی به طراحی فضاهای آموزشی پایدار و هوشمند، این پژوهش با هدف دستیابی به تصویری جامع و به‌روز از مسیر تحول این حوزه، به تحلیل کتاب‌سنجی داده‌های پایگاه Web of Science در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ می‌پردازد. تمرکز مطالعه بر شناسایی و ترسیم نقشه علمی حوزه، تحلیل خوشه‌های مفهومی، تعیین بازیگران کلیدی و تبیین روندهای نوظهور در زمینه مدارس و پردیس‌های سبز است. در این پژوهش، منظور از «مدارس»، کلیه فضاهای آموزشی اعم از مدارس ابتدایی، متوسطه، دانشگاه‌ها و کالج‌ها می‌باشد. با وجود رشد قابل‌توجه دانش در زمینه معماری پایدار و هوشمند، همچنان شکاف معناداری میان چارچوب‌های جهانی و اقتضائات فرهنگی، اقلیمی و اجتماعی در کشورهای مختلف، به‌ویژه در بستر فضاهای آموزشی، وجود دارد. فهم دقیق ساختار مفهومی و مسیر تحول این حوزه می‌تواند زمینه‌ساز توسعه رویکردهای بومی‌سازی‌شده و کارآمد در طراحی محیط‌های آموزشی آینده باشد. بر این اساس، پرسش محوری پژوهش آن است که: روند تحول پژوهش‌ها در زمینه معماری پایدار و هوشمند در فضاهای آموزشی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ چگونه بوده و چه محورهای مفهومی و شبکه‌های علمی، چارچوب شناخت این حوزه را شکل داده‌اند؟

پرسش های پژوهش/فرضیه‌های پژوهش

۱–الگوی زمانی پژوهش‌ها در حوزه معماری هوشمند و پایدار در فضاهای آموزشی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ چگونه تغییر کرده است؟
۲–وسعت همکاری‌های بین‌المللی در زمینه معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی چگونه است؟
۳–خوشه‌های موضوعی و محورهای مفهومی اصلی در نقشه‌های علم‌سنجی حوزه معماری هوشمند و پایدار محیط‌های آموزشی از ابتدا تا سال ۲۰۲۵ کدام‌اند و چه روابطی میان آن‌ها وجود دارد؟
۴–الگوی هم‌استنادی پژوهشگران در حوزه معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی چگونه است و چه ساختاری دارد؟

چارچوب نظری

معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی، به‌ویژه در مدارس و پردیس‌های دانشگاهی، به‌عنوان پاسخی چندبعدی به چالش‌های زیست‌محیطی، فناورانه و اجتماعی قرن بیست و یکم شکل گرفته است. طبق پژوهش‌های می، و زو و ژائو این رویکرد فراتر از مفاهیم سنتی طراحی ساختمان است و با تلفیق اصول پایداری، فناوری‌های نوین، و نیازهای روان‌شناختی و اجتماعی کاربران، به دنبال ایجاد فضاهایی است که نه‌تنها از نظر انرژی و منابع کارآمد باشند، بلکه بر کیفیت زندگی، یادگیری و تعاملات انسانی نیز تأثیر مثبت بگذارند (Mi , ۲۰۲۴; Zuo & Zhao, ۲۰۱۴).

یافته‌های کتاب‌سنجی اخیر، به‌ویژه از طریق تحلیل شبکه‌ای هم‌واژگانی و هم‌استنادی، نشان می‌دهند که جریان پژوهش‌ها در این حوزه از رویکردی تک‌بعدی و صرفاً متمرکز بر بهینه‌سازی انرژی فراتر رفته است (Ding et al ., ۲۰۲۴). در مرحله کنونی، چارچوبی بین‌رشته‌ای در حال شکل‌گیری است که در آن مفاهیمی همچون طبیعت‌گرایانه، طراحی انسان‌محور، ارتقای سلامت روان و تقویت مشارکت اجتماعی جایگاهی محوری یافته‌اند. این تحول بیانگر گذار معماری پایدار از تأکید صرف بر عملکرد فنی به سمت رویکردی جامع‌تر و انسان‌محور است.

در سال‌های اخیر، تحلیل‌های کتاب‌سنجی و علم‌سنجی به‌عنوان یکی از رویکردهای نظام‌مند برای شناسایی ساختار مفهومی، شبکه‌های علمی و روندهای تحول دانش در حوزه‌های مختلف مطرح شده‌اند. این حوزه با بررسی روابط میان مؤلفان، مؤسسات، کشورها و مفاهیم کلیدی، تصویری جامع از پویایی علم و مسیر توسعه آینده آن ارائه می‌کنند (Aria & Cuccurullo, ۲۰۱۷; van Eck & Waltman, ۲۰۱۰). به‌طور کلی، مطالعات کتاب‌سنجی می‌توانند ابعاد گوناگون یک حوزه علمی را آشکار سازند؛ از جمله ساختار فکری و نظریه‌های بنیادین (Small , ۱۹۷۳)، الگوهای همکاری علمی و مراکز تولید دانش (Börner , Chen, & Boyack, ۲۰۰۳)، موضوعات نوظهور و روندهای تحول مفهومی در زمان (Cobo et al ., ۲۰۱۱)، و کاربردهای سیاستی در تصمیم‌سازی پژوهشی و ارتقای نظام‌های علمی (Zupic & Čater , ۲۰۱۵; Donthu et al ., ۲۰۲۱). در واقع، چنین تحلیل‌هایی می‌توانند شکاف‌های دانشی، مسیرهای رشد علمی و اولویت‌های پژوهشی را برای سیاست‌گذاران و دانشگاه‌ها روشن کرده و به ارتقای کیفیت و جهت‌مندی پژوهش‌ها در حوزه معماری و طراحی محیطی یاری رسانند. در حوزه معماری پایدار و هوشمند،

چارچوب نظری این پژوهش علاوه بر بهره‌گیری از مبانی علم‌سنجی، بر مفاهیم کلیدی روان‌شناسی محیط و فناوری‌های نوین نیز استوار است. در این راستا، ادوارد ویلسون (Wilson, ۱۹۸۴) در کتاب نهادینه‌شده خود با عنوان طبیعت‌گرایانه[۱] مفهوم تمایل ذاتی انسان به ارتباط با طبیعت را به‌عنوان یک بن‌مایه اساسی در روان‌شناسی محیط معرفی کرد. وی این تمایل را نه یک عادت فرهنگی، بلکه ویژگی‌ای تکاملی در انسان دانست. این ایده توسط استیون کلرت و همکارانش (Kellert et al., ۲۰۰۸) توسعه یافت و به‌عنوان چارچوبی عملیاتی در طراحی محیط‌های ساخته‌شده، به‌ویژه فضاهای آموزشی، به کار گرفته شد. آنان نشان دادند که گنجاندن عناصر بیوفیلیک مانند نور طبیعی، گیاهان داخلی، دید به فضای سبز و استفاده از مواد طبیعی می‌تواند بر کاهش استرس، افزایش تمرکز و بهبود عملکرد یادگیری دانش‌آموزان تأثیر مثبت داشته باشد. یافته‌های تاکر و ایزدپناهی (Tucker & Izadpanahi, ۲۰۱۷) نیز در پژوهشی درباره مدارس پایدار، این نتایج را تأیید کرد؛ به‌طوری‌که دانش‌آموزان در مدارس سبز نه‌تنها عملکرد تحصیلی بهتری داشتند، بلکه نگرش‌های زیست‌محیطی مثبت‌تری نیز از خود نشان دادند. اولریچ (Ulrich, ۱۹۸۴) نیز در یکی از مطالعات کلاسیک خود نشان داد که بیمارانی که پنجره اتاقشان به سمت طبیعت بود، پس از عمل جراحی بهبودی سریع‌تر و نیاز به داروهای مسکن کمتری داشتند. این پژوهش، نخستین شواهد تجربی قوی از تأثیر محیط فیزیکی بر سلامت روان و جسم بود و مسیر را برای مطالعات گسترده‌تری در زمینه معماری درمانگر و طبیعت‌گرا هموار ساخت. در همین راستا، جویه (Joye, ۲۰۰۷) با تحلیل روان‌شناختی تجربه محیط، نشان داد که طراحی بیوفیلیک نه‌تنها از طریق کاهش استرس، بلکه با تحریک حس کنجکاوی و ایجاد احساس امنیت، بر رفاه کاربران تأثیر می‌گذارد. در حوزه آموزش معماری، دونالد شون (Schön, ۱۹۸۳) با طرح نظریه «بازتاب در عمل» بر اهمیت یادگیری تجربی و واکنش پویا به موقعیت‌های طراحی تأکید کرد. این دیدگاه بعدها توسط سلاما و ویلکینسون (Salama & Wilkinson, ۲۰۰۷) توسعه یافت و در قالب استودیوهای طراحی معماری به‌عنوان فضاهایی مشارکتی، مبتنی بر بازخورد و یادگیری متقابل معرفی شد. این رویکرد، طراحی را از فرآیندی خطی و از بالا به پایین به فرآیندی مشارکتی و کاربرمحور تبدیل کرد. همزمان، پیشرفت‌های فناورانه، به‌ویژه در زمینه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و اینترنت اشیا (IoT)، امکان طراحی، پایش و مدیریت هوشمند فضاهای آموزشی را فراهم کرده‌اند. چن و همکاران (Chen et al., ۲۰۲۳) نشان دادند که ادغام این دو فناوری نه‌تنها در مرحله طراحی و ساخت، بلکه در بهره‌برداری روزمره، به بهبود کارایی انرژی و جمع‌آوری داده‌های واقعی از رفتار کاربران منجر می‌شود. هاشم محمد و همکاران (Hashi mMohammed et al., ۲۰۲۲) نیز در مرور خود بر ادبیات، بر پتانسیل ادغام فناوری‌های نوین در صنعت ساخت برای دستیابی به اهداف پایداری تأکید کردند. در حوزه استانداردهای ارزیابی، آکداری و همکاران (Akdari et al., ۲۰۱۲) چارچوبی مفهومی برای طراحی ساختمان‌های پایدار در کشورهای در حال توسعه ارائه دادند که بر سه محور اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی متمرکز بود. این چارچوب‌ها بعدها در قالب استانداردهای بین‌المللی BREEAM، LEED و WELL عملیاتی شدند (Barshadat et al., ۲۰۱۹). در ایران نیز بارشادت و همکاران (Bareshadat et al., ۲۰۱۹) و باقری کرچی و همکاران (Bagheri kerachi et al., ۲۰۲۲) بر ضرورت بومی‌سازی این استانداردها متناسب با شرایط فرهنگی و اقلیمی تأکید کردند. در کنار این مباحث، رویکردهای طراحی مشارکتی و طراحی انسان‌محور نیز به‌عنوان اجزای کلیدی در مبانی نظری معماری پایدار و هوشمند شناخته می‌شوند. هریس و هولمن جونز (Harris & Holman Jones, ۲۰۲۳) در پژوهشی درباره طراحی مشارکتی فضاهای آموزشی نشان دادند که درگیر کردن کاربران نهایی مانند دانش‌آموزان، معلمان و مدیران، منجر به خلق فضاهایی می‌شود که با نیازها و تجربه‌های واقعی آنان همسو است. بنابراین، چارچوب نظری این پژوهش بر تلفیق سه بعد اصلی استوار است:

۱. بعد مفهومی و روان‌شناختی، شامل نظریه‌های طبیعت‌گرایانه و یادگیری بازتابی؛
۲. بعد فناورانه و طراحی هوشمند، شامل ادغام BIM و IoT در فضاهای آموزشی؛
۳. بعد علم‌سنجی و سیاست‌گذاری پژوهش، که با بهره‌گیری از روش‌های کتاب‌سنجی، به شناسایی ساختار فکری، روندهای تحول و بازیگران علمی حوزه معماری پایدار و هوشمند در فضاهای آموزشی می‌پردازد.

این رویکرد جامع می‌تواند ضمن تبیین مسیرهای پژوهشی آینده، به تصمیم‌سازی‌های سیاستی در جهت توسعه پایدار فضاهای آموزشی یاری رساند.

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، با رشد تصاعدی تولید علم در حوزه‌های میان‌رشته‌ای معماری، نیاز به ابزارهای نظام‌مند برای نقشه‌برداری و تحلیل ادبیات پژوهشی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در این راستا، مطالعات متعددی با رویکرد کتاب‌سنجی و علم‌سنجی به بررسی روندها، خوشه‌های مفهومی و شبکه‌های همکاری در حوزه‌های مرتبط با معماری هوشمند و پایدار پرداخته‌اند. هرچند تمرکز مستقیم بر محیط‌های *آموزشی* در بسیاری از این مطالعات محدود بوده است(Aria & Cuccurullo, ۲۰۱۷) . برای نمونه، بریونس-بیتار و همکاران (Brione-Bitar et al., ۲۰۲۵) در مطالعه کتاب‌سنجی خود، تحول مفهومی ساختمان‌های هوشمند را از دهه ۱۹۹۰ تاکنون تحلیل کردند و نشان دادند که پژوهش‌های اولیه عمدتاً بر جنبه‌های فنی و اتوماسیون متمرکز بوده، در حالی که پژوهش‌های اخیر به سمت ادغام ابعاد انسان‌محور و پایدار حرکت کرده‌اند. امری که با یافته‌های مهدی‌نژاد و همکاران (Mahdi nejad & Asadpour, ۲۰۱۹)در زمینه ضرورت تلفیق فناوری و پایداری در طراحی همسو است. با این حال، این مطالعه به‌طور خاص به فضاهای آموزشی نپرداخته است.

در حوزه پایداری، عمرانی و همکاران (Omrany et al., ۲۰۲۲) با تحلیل کتاب‌سنجی پژوهش‌های مربوط به ساختمان‌های با انرژی خالص صفر، نشان دادند که اگرچه تمرکز اصلی بر بهینه‌سازی انرژی است، اما در سال‌های اخیر، رویکردهای جامع‌تری که شامل رفتار کاربران و طراحی انسان‌محور می‌شوند، در حال ظهور هستند. یافته‌ای که با پژوهش‌های زو و ژائو (Zuo & Zhao, ۲۰۱۴) و می (Mi, ۲۰۲۴) در زمینه طراحی انسان‌محور و هوشمند تأیید می‌شود. این مطالعه نیز اگرچه اشاره‌ای به کاربری آموزشی دارد، اما تحلیل جداگانه‌ای از این بستر ارائه نمی‌دهد.

در زمینه فضاهای آموزشی، هوتار و همکاران (Hotar et al., ۲۰۲۵) در مطالعه مروری سیستماتیک خود، به بررسی ۱۲۷ مطالعه پرداختند و نشان دادند که ادبیات موجود بیشتر بر جنبه‌های طراحی کالبدی و عملکرد محیطی متمرکز است و کمتر به تحلیل ساختار علمی و روند تحولات مفهومی در این حوزه پرداخته شده است. نکته‌ای که رضوانی و همکاران (Rezvani et al., ۲۰۱۹) نیز در پژوهش خود بر آن تأکید کرده‌اند. آن‌ها صراحتاً خواستار مطالعات کتاب‌سنجی جامع‌تری در این زمینه شدند؛ خواسته‌ای که این پژوهش در پی تحقق آن است.

از سوی دیگر، وانگ (Wang, ۲۰۲۴) در تحلیل علم‌سنجی خود، تحولات دیجیتال در صنعت معماری و ساخت‌وساز را بررسی کرد و نشان داد که ادغام فناوری‌هایی مانند مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) و اینترنت اشیا (IoT)حوزه‌های پژوهشی جدیدی را در معماری هوشمند ایجاد کرده است. یافته‌ای که با پژوهش‌های چن و همکاران(Chen et al., ۲۰۲۳) و هاشم محمد و همکاران (Hashi mMohammed et al., ۲۰۲۲) در زمینه ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و اینترنت اشیا در ساختمان‌های پایدار همخوانی دارد. با این حال، این مطالعات بیشتر بر پروژه‌های تجاری و زیرساختی متمرکزند و تحلیل جداگانه‌ای از بستر آموزشی ارائه نمی‌دهند.

در نهایت، آگبو و همکاران (Agbo et al., ۲۰۲۱) در تنها مطالعه‌ای که به طور مستقیم به تحلیل کتاب‌سنجی فضاهای یادگیری هوشمند پرداخته‌اند، چهار خوشه مفهومی اصلی را شناسایی کردند: فناوری‌های آموزشی، طراحی محیط یادگیری، تعامل کاربر-سیستم، و ارزیابی عملکرد امری که با یافته‌های کوودو و همکاران (Quevedo et al., ۲۰۲۴) در زمینه تحول فضاهای آموزشی همسو است. با این حال، این مطالعه بیشتر بر جنبه‌های آموزشی-فناورانه تمرکز دارد و ابعاد پایداری محیطی و معماری را به صورت جامع پوشش نمی‌دهد نکته‌ای که کالایچی آلاس و کوروتوروک (Kalaycı & Korutürk, ۲۰۲۴) نیز در مرور خود بر پروژه‌های مدارس پایدار بر آن تأکید کرده‌اند.

بررسی پیشینه نشان می‌دهد که هرچند مطالعات کتاب‌سنجی متعددی در حوزه‌های ساختمان‌های هوشمند (Brione-Bitar et al., ۲۰۲۵)، ساختمان‌های پایدار (Omrany et al., ۲۰۲۲)، تحول دیجیتال (Wang, ۲۰۲۴) و حتی فضاهای یادگیری هوشمند (Agbo et al., ۲۰۲۱) انجام شده است، اما هیچ مطالعه‌ای به طور جامع و اختصاصی به تحلیل علم‌سنجی ادبیات ترکیبی معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی با تمرکز بر مدارس و پردیس‌های سبز نپرداخته است. این شکاف پژوهشی،

ضرورت انجام مطالعه حاضر را توجیه می‌کند: مطالعه‌ای که نه تنها به بررسی روندهای زمانی و خوشه‌های مفهومی می‌پردازد، بلکه به طور هدفمند بر بستر آموزشی و با تلفیق همزمان ابعاد هوشمندی و پایداری تمرکز دارد. در راستای یافته‌های مهدی‌نژاد و شیردل (۱۴۰۳) رودریگز-گراسیا و همکاران (Rodríguez-Gracia et al., ۲۰۲۳) و سینگی و همکاران (Singh et al., ۲۰۲۵) که بر لزوم تلفیق فناوری، پایداری و ملاحظات فرهنگی-اجتماعی در طراحی فضاهای آموزشی تأکید دارند.

روش‌شناسی پژوهش

این مقاله با هدف تحلیل کتاب‌سنجی روندهای پژوهشی در حوزه معماری هوشمند و پایدار محیط‌های آموزشی، با تمرکز بر پردیس‌ها و مدارس سبز، انجام شده است و مطالعات منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ گردآوری گردید. پس از دسته‌بندی موضوعات مرتبط، تحلیل کتاب‌سنجی به‌منظور شناسایی مفاهیم پرتکرار در پژوهش‌های این حوزه انجام شد.

در این پژوهش، به‌منظور انجام تحلیل کتاب‌سنجی، از پایگاه داده وب آف ساینس[۲] به‌عنوان یکی از جامع‌ترین و معتبرترین منابع داده‌های استنادی در سطح بین‌المللی استفاده شد. این پایگاه، پوشش گسترده‌ای از مجلات معتبر حوزه‌های علوم، علوم اجتماعی، هنر و معماری را ارائه می‌دهد و بارها در مطالعات کتاب‌سنجی به‌عنوان منبع اصلی داده مورد استفاده قرار گرفته است (Falagas et al., ۲۰۰۸; Mongeon & Paul-Hus, ۲۰۱۶). پایگاه‌های Web of Science (WoS) و Scopus هر دو از منابع معتبر برای مطالعات کتاب‌سنجی هستند، اما تفاوت‌هایی در پوشش و رویکرد دارند. پایگاه WoS معمولاً دربرگیرنده مجلات قدیمی‌تر و دارای شاخص‌های استنادی معتبر مانند JCR و ضریب تاثیر است و برای تحلیل‌های تاریخی و روندهای بلندمدت علمی کاربرد بیشتری دارد (Mongeon & Paul-Hus, ۲۰۱۶). در مقابل، Scopus با دامنه گسترده‌تر مجلات و پوشش بهتر همکاری‌های علمی معاصر، برای تحلیل‌های میان‌رشته‌ای و شبکه‌های پژوهشی جدید مناسب‌تر است (Falagas et al., ۲۰۰۸). بنابراین، در این پژوهش با توجه به هدف بررسی روندهای تاریخی و ساختار علمی حوزه معماری پایدار و هوشمند، از داده‌های Web of Science استفاده شده است.

داده‌های استخراج‌شده از WoS در ادامه با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer مورد پردازش قرار گرفتند. این نرم‌افزار با قابلیت‌های قدرتمند در ترسیم نقشه‌های علمی، امکان تحلیل روابط میان نویسندگان، مؤسسات، کشورها و همچنین شناسایی الگوهای هم‌واژگانی و هم‌استنادی را فراهم می‌آورد (van Eck & Waltman, ۲۰۱۰). در این پژوهش، از نسخه ۱.۶.۲۰ VOSviewer برای ایجاد شبکه‌های علمی و خوشه‌بندی مفاهیم کلیدی استفاده شد تا ساختار مفهومی حوزه پژوهش به‌طور بصری و تحلیلی مشخص شود.

به‌منظور ارتقای دقت و یکپارچگی داده‌ها، کلیه رکوردهای استخراج‌شده پیش از تحلیل، با استفاده از نرم‌افزار Zotero مورد پالایش قرار گرفتند. این مرحله شامل حذف موارد تکراری، تصحیح خطاهای متادیتا و سازماندهی سیستماتیک منابع بود. Zotero به‌عنوان یکی از نرم‌افزارهای متن‌باز مدیریت منابع علمی، در پژوهش‌های بین‌المللی به دلیل کارایی و انعطاف‌پذیری بالا مورد توجه پژوهشگران قرار دارد.

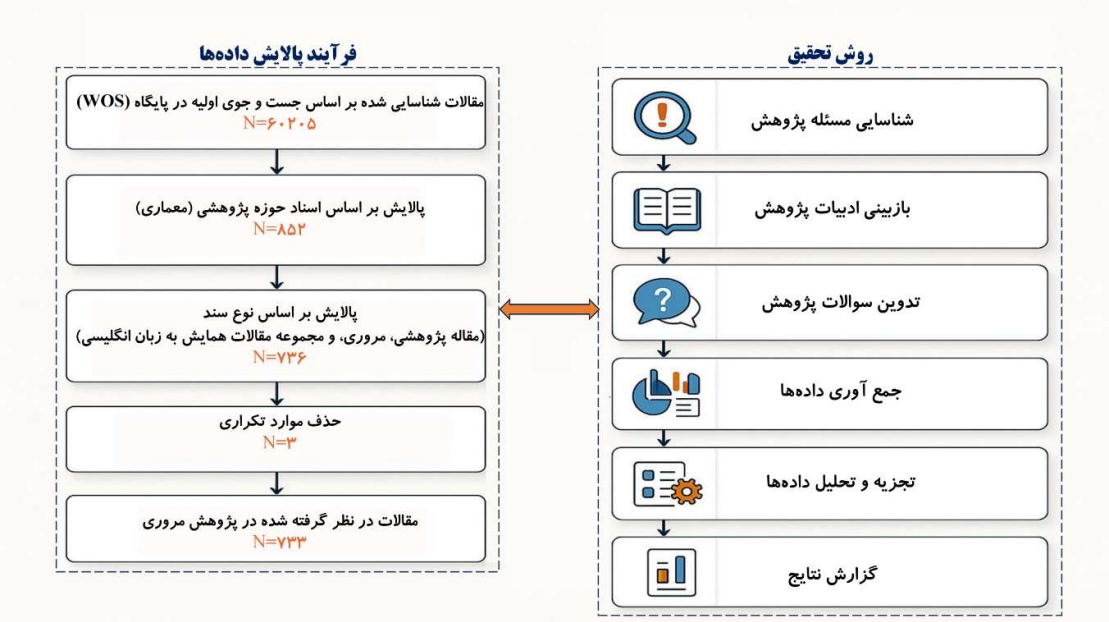
ترکیب سه ابزار WoS به‌عنوان منبع داده، VOSviewer به‌عنوان ابزار تحلیل کتاب‌سنجی، و Zotero به‌عنوان ابزار پالایش و مدیریت منابع این امکان را فراهم آورد تا روند پژوهش با دقت، شفافیت و قابلیت بازتولید بالا انجام شود و نتایج حاصل، بازتاب‌دهنده دقیق‌ترین تصویر از ساختار و روندهای حوزه مورد مطالعه باشد. بر همین اساس، جست‌وجوی گسترده‌ای برای شناسایی اسناد مرتبط با موضوع «معماری هوشمند و پایدار در حوزه آموزشی» انجام گرفت. این جست‌وجو با دقت و بر اساس عناوین، چکیده‌ها و کلیدواژه‌ها (Title, Abstract, and Keywords) و مطابق با استرینگ جست‌وجوی زیر انجام شد:

("green building" OR "sustainable architecture" OR "sustainable design" OR "smart building" OR "low-carbon building" OR "zero-energy building" OR "campus" OR "smart learning space design" OR ""energy efficiency" OR "indoor environmental quality" AND ("educational building" OR "learning environment" OR "classroom design" OR "campus ""academic building" OR "educational facility" OR "university building

[۲] Web of Science (WoS)

building" OR "school building" OR "learning environment" OR universities OR academia)

همچنین در این پژوهش فقط سند های انگلیسی زبان و حوزه تخصصی معماری در فیلتر وب آف ساینس مورد بررسی قرار گرفته اند و شامل مقالات پژوهشی، مروری، و مجموعه مقالات همایش می شود. در تصویر زیر مراحل جست و جو و پالایش مقالات مرتبط بصورت مرحله به مرحله به تصویر کشیده شده است. در این پژوهش، منظور از "حوزه تخصصی معماری"، مجموعه‌ای از اسناد علمی است که در پایگاه Web of Science (WoS) تحت دسته‌بندی موضوعی "Architecture" فهرست شده‌اند. این دسته‌بندی، بخشی از طبقه‌بندی رسمی Web of Science Categories است که توسط Clarivate Analytics تعریف شده و شامل مجلاتی می‌شود که به‌طور اصلی و مستقیم به مباحث نظری، کاربردی و طراحانه در حوزه معماری از جمله طراحی فضاهای آموزشی، معماری پایدار و هوشمند، روانشناسی محیط و آموزش معماری می‌پردازند. انتخاب این حوزه به‌عنوان فیلتر اصلی، با هدف تمرکز پژوهش بر ادبیاتی که مستقیماً به معماری فضاهای آموزشی نه صرفاً مدیریت انرژی، فناوری ساختمان یا برنامه‌ریزی شهری می‌پردازد صورت گرفته است. هدف این مطالعه، تحلیل روندهای مفهومی و علم‌سنجی در حوزه میان‌رشته‌ای معماری هوشمند و پایدار محیط‌های آموزشی است، نه تمامی مطالعات مرتبط با ساختمان‌های آموزشی در حوزه‌های مهندسی عمران یا فناوری ساخت‌وساز.



تصویر ۱: مراحل جست و جوی ادبیات پژوهشی و انتخاب مقالات

این عبارت جست و جو شامل اصطلاحات متنوعی مرتبط با "هوشمند"، "پایدار" و "سبز" است که در ادبیات پژوهشی به‌طور گسترده استفاده شده‌اند. جست‌وجوی مقالات علمی در تاریخ ۱۹ مرداد ماه سال ۱۴۰۴ (۱۰ آگوست سال ۲۰۲۵ میلادی) و بدون محدودیت زمانی صورت گرفت که منجر به بازیابی ۷۳۶ سند علمی معتبر شد که ۳ منبع تکراری بودند و به ۷۳۳ عدد تقلیل یافت. معیارهای انتخاب اسناد در این پژوهش صرفاً بر پایه استراتژی جستجوی بولین دقیق و فیلتر حوزه تخصصی "معماری" در پایگاه Web of Science استوار بود. تمامی اسناد بازیابی‌شده که در حوزه تخصصی "معماری" طبقه‌بندی شده و حاوی ترکیبی از کلیدواژه‌های مرتبط با "هوشمند، پایدار، سبز"، "طراحی، محیط، معماری" و "پردیس، کلاس، مدرسه، آموزش" بودند، وارد مرحله تحلیل شدند. در این پژوهش، فرآیند ترسیم نقشه‌های علم‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer نسخه ۱،۶،۲۰ انجام شد و آستانه ورود کلیدواژه‌ها حداقل هشت بار تکرار در اسناد در نظر گرفته شد. برای ارتقای دقت، داده‌ها پیش از تحلیل با نرم‌افزار Zotero پالایش و یکدست‌سازی شدند؛ به‌گونه‌ای که واژگان هم‌معنی و اشکال مختلف نوشتاری آن‌ها، مانند "Building

"BIM Information Modeling" ، در یک قالب استاندارد تجمیع گردید. سطح تحلیل شامل هر دو دسته کلیدواژه‌های نویسندگان و کلیدواژه‌های نمایه‌سازی پایگاه Web of Science بود تا پوشش کامل‌تری از مفاهیم به‌دست آید. همچنین در تحلیل هم‌استنادی، تنها نویسندگانی وارد شبکه شدند که دست‌کم هشت استناد مشترک داشتند و در تحلیل همکاری‌های بین‌المللی، کشورها و مؤسساتی لحاظ شدند که حداقل پنج سند مشترک تولید کرده بودند.

طبق یافته‌ها بیشترین تعداد مقالات در حوزه‌های مهندسی عمران (۸۴ مقاله)، فناوری ساخت‌وساز (۹۷ مقاله) و مطالعات شهری (۱۲۷ مقاله) منتشر شده‌اند که نشان‌دهنده تمرکز پژوهش‌ها بر مسائل شهری و زیرساختی است. پس از آن، مطالعات زیست محیطی (۶۸ مقاله) و علوم سبز و پایدار (۵۸ مقاله) جایگاه قابل توجهی دارند، که بازتاب‌دهنده اهمیت روزافزون پایداری در پژوهش‌ها است. در مقابل، حوزه‌های برنامه‌ریزی منطقه‌ای (۳۷ مقاله)، پژوهش‌های آموزشی (۳۴ مقاله)، علوم محیط زیست (۲۴ مقاله) و هنر (۲۰ مقاله) سهم کمتری داشته‌اند، که احتمالاً نشان‌دهنده توزیع پراکنده مقالات در سایر زمینه‌های تخصصی یا کم‌رنگ بودن این موضوعات در این مجموعه رخ داده است (جدول ۱).

جدول ۱: حیطه های تخصصی مقالات انتخاب شده در زیر مجموعه معماری

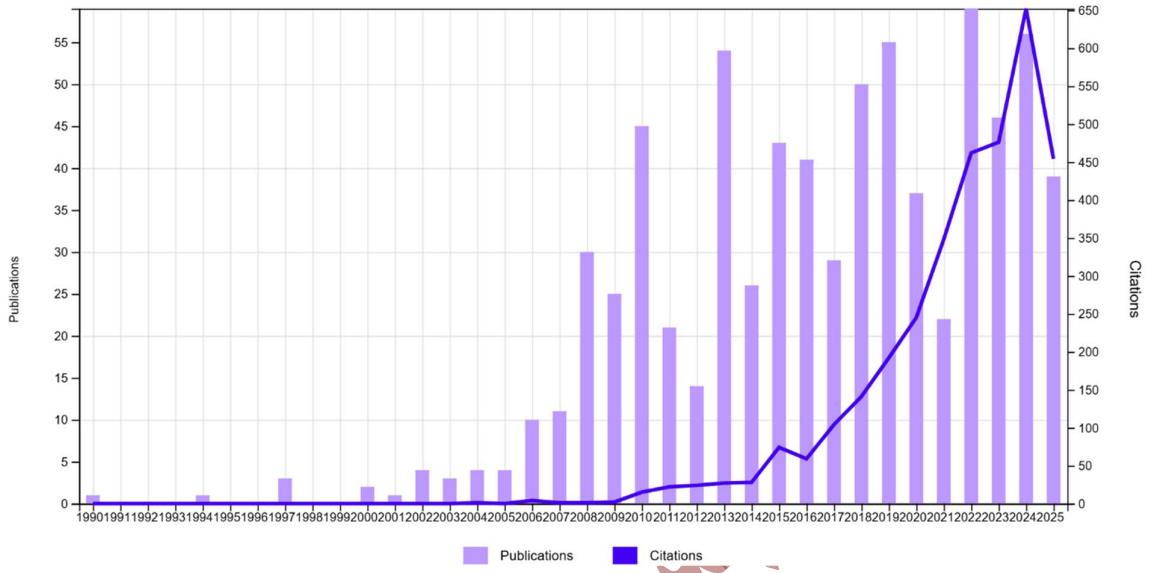
دسته بندی های Web of Science	درصد از ۷۳۶ مقاله	تعداد رکورد
معماری	۱۰۰,۰۰۰	۷۳۳
مطالعات شهری	۱۷,۲۵۵	۱۲۷
فناوری ساخت وساز	۱۳,۱۷۹	۹۷
مهندسی عمران	۱۱,٤۱۳	۸٤
مطالعات زیست محیطی	۹,۲۳۹	٦۸
فناوری و علوم سبز پایدار	۷,۸۸۰	۵۸
برنامه‌ریزی شهری منطقه‌ای	۵,۰۲۷	۳۷
پژوهش‌های آموزشی	٤,٦۲۰	۳٤
علوم محیط زیست	۳,۲٦۱	۲٤
هنر	۲,۷۱۷	۲۰
کاربردهای میان‌رشته‌ای علوم کامپیوتر	۱,۷٦٦	۱۳
بوم‌شناسی	۱,٦۳۰	۱۲
باستان‌شناسی	۱,٤۹۵	۱۱
تاریخ	۱,۳۵۹	۱۰
علوم مواد چندرشته‌ای	۰,۹۵۱	۷
انرژی و سوخت‌ها	۰,٦۷۹	۵
علوم اجتماعی میان‌رشته‌ای	۰,٦۷۹	۵
مهندسی محیط زیست	۰,۲۷۲	۲
جغرافیا	۰,۲۷۲	۲
فیزیک کاربردی	۰,۲۷۲	۲
حمل‌ونقل	۰,۲۷۲	۲
رشته‌های علمی آموزشی	۰,۱۳٦	۱
مهندسی زمین‌شناسی	۰,۱۳٦	۱
مهندسی صنایع	۰,۱۳٦	۱
سایر حوزه ها		۱۱۰

یافته‌های پژوهش

پاسخ به پرسش اول پژوهش: الگوی زمانی پژوهش‌ها در حوزه معماری هوشمند و پایدار در فضاهای آموزشی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ چگونه تغییر کرده است؟

این بخش به ارائه یافته‌های حاصل از تحلیل علم‌سنجی مقالات مرتبط با معماری هوشمند و پایدار در فضاهای آموزشی می‌پردازد

که از پایگاه وب آو ساینس در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۱۰ آگوست ۲۰۲۵ استخراج شده‌اند. بر اساس داده‌های این پایگاه، تا تاریخ مذکور تعداد ۷۳۳ مطالعه در این حوزه نمایه‌سازی شده‌اند که شامل ۴۵۲ مقاله پژوهشی، ۲۶۸ مقاله کنفرانسی، ۱۳ مقاله مروری می‌باشد. مجموع استنادات به این مقالات به ۳۰۳۴ مورد رسیده است. اولین مقاله در این مجموعه مربوط به سال ۲۰۱۹ و جدیدترین آن متعلق به آگوست ۲۰۲۵ است.

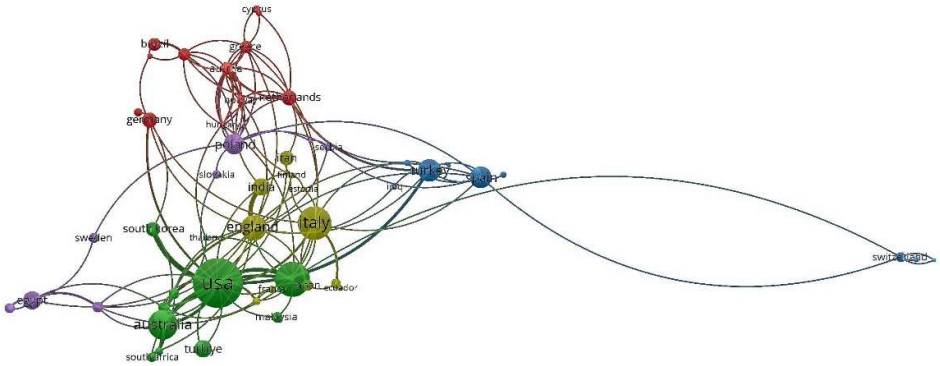


تصویر ۱: نمودار سیر انتشار مقالات در حوزه معماری هوشمند و پایدار در محیط های آموزشی

تصویر شماره ۱، سیر انتشار مقالات علمی در حوزه معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی را طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ نشان می دهد. بر مبنای تحلیل داده‌های ارائه شده در این نمودار، روند انتشار مقالات تا سال ۲۰۰۵ از ثبات نسبی برخوردار بوده و با وجود برخی نوسانات، روند کلی رو به افزایش داشته است. در فاصله سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰، روندی صعودی و افزایشی در تعداد انتشارات تخصصی این حوزه به‌وضوح قابل تشخیص است. لیکن از سال ۲۰۱۲ به بعد، رشد قابل ملاحظه‌ای در حجم تولیدات علمی وجود داشته که این امر به روشنی گویای اهمیت فزاینده و جایگاه رو به بالای این شاخه پژوهشی در مجامع علمی بین‌المللی می‌باشد. این رشد کمی در تولید دانش، بیانگر تمایل روزافزون پژوهشگران و متخصصان به موضوع معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی است (تصویر ۱).

پاسخ به پرسش دوم پژوهش: وسعت همکاری‌های بین‌المللی در زمینه معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی چگونه است؟

یکی دیگر از اهداف مطالعه حاضر بررسی کشورهای فعال این حوزه پژوهشی است که نقش مؤثری پیرامون موضوع معماری هوشمند و پایدار در فضاهای آموزشی داشته اند. همان طور که در تصویر ۲ مشخص است ۷۵ کشور در ایـــن حـوزه در پنج خوشه همکاری بین المللی دارند که در این بین کشورهای آمریکا، استرالیا و چین بیشترین همکاری را در تولید مستندات این حوزه با یکدیگر داشته اند.

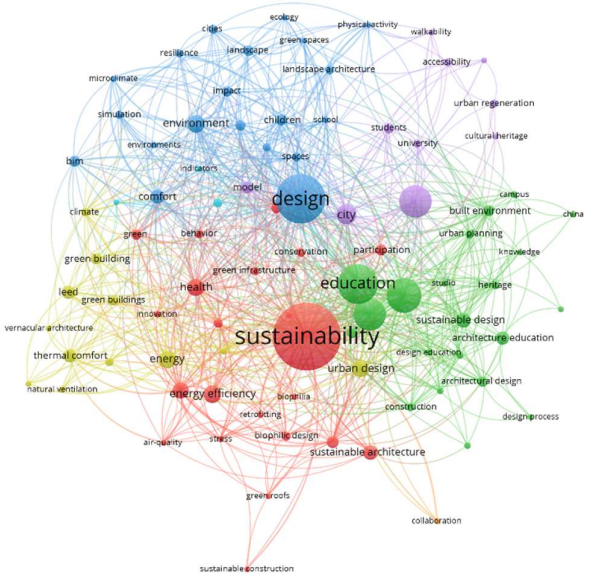


تصویر ۲: همکاری بین المللی کشور ها در حوزه معماری هوشمند و پایدار در محیطهای آموزشی

تصویر ۲ نشان می‌دهد که کشورهای فعال در حوزه معماری هوشمند و پایدار آموزشی در پنج خوشه مجزا با ویژگی‌های متمایز دسته‌بندی شده‌اند. خوشه آبی عمدتاً متشکل از کشورهای اروپایی پیشرفته مانند آلمان، دانمارک و نروژ به همراه برخی کشورهای آمریکای جنوبی و خاورمیانه می‌باشد. در مقابل، خوشه سبز ترکیبی جالب توجه از قدرت‌های علمی جهانی نظیر آمریکا، کانادا و چین را در کنار کشورهای در حال توسعه آسیایی و آفریقایی مانند مالزی، تایلند و نیجریه گرد هم آورده است که نشان‌دهنده تنوع چشمگیر در سطح توسعه اقتصادی و فرهنگی این گروه می‌باشد. خوشه نارنجی کشورهایی با اقتصادهای نوظهور از نقاط مختلف جهان از جمله آرژانتین، سنگاپور و اسپانیا را در بر می‌گیرد که برخی از آن‌ها مانند عراق و پاکستان با چالش‌های سیاسی–اقتصادی ویژه‌ای روبرو هستند. خوشه زرد نیز ترکیبی از قدرت‌های صنعتی اروپایی و آسیایی مانند فرانسه، ایتالیا، ژاپن و هند را به همراه کشورهای در حال رشد نظیر ویتنام و ایران شامل می‌شود. در نهایت، خوشه قرمز عمدتاً بر کشورهای خاورمیانه‌ای مانند عربستان سعودی، امارات متحده عربی و بحرین متمرکز است که به همراه برخی کشورهای اروپای شرقی مانند لهستان و صربستان، نیز در این خوشه قرار گرفته‌اند.

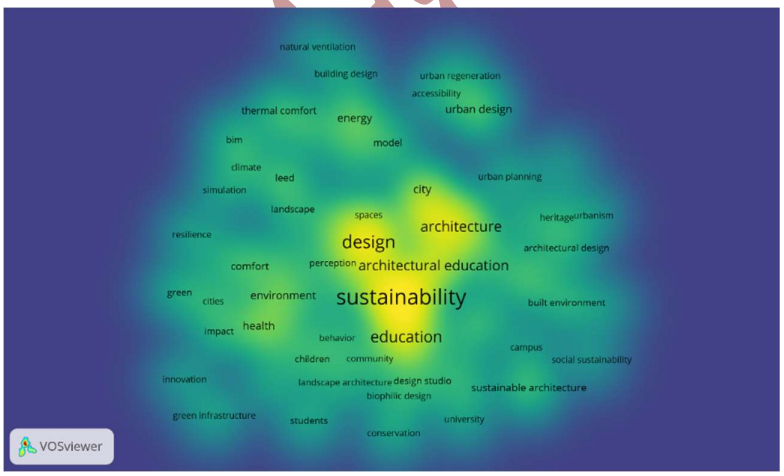
پاسخ به پرسش سوم پژوهش: خوشه‌های موضوعی و محورهای مفهومی اصلی در نقشه‌های علم‌سنجی حوزه معماری هوشمند و پایدار محیطهای آموزشی تا سال ۲۰۲۵ کدام‌اند و چه روابطی میان آن‌ها وجود دارد؟

همان طور که در تصویر ۳ مشاهده می شود واژه‌های پایداری ،آموزش و طراحی چون دایره های بزرگ تری دارند در واقع بیشترین تکرار را در مدارک منتشر شده در این حوزه دارند. در این نقشه هر یک از رنگ‌های به کار رفته معرف یک خوشه موضوعی است و همان طور که مشاهده می‌شود واژگان موردنظر در چهار خوشـه دسته‌بندی شده‌اند.



تصویر ۳: معماری هوشمند و پایدار در حوزه آموزشی تا سال ۲۰۲۵

بررسی‌های کمی پژوهش‌های این حوزه حاکی از تعدد مسیرهای پژوهشی برای دستیابی به درک جامع از توسعه این رشته است که در نهایت به استخراج چهار جهت‌گیری پژوهشی کلیدی منجر شده است.

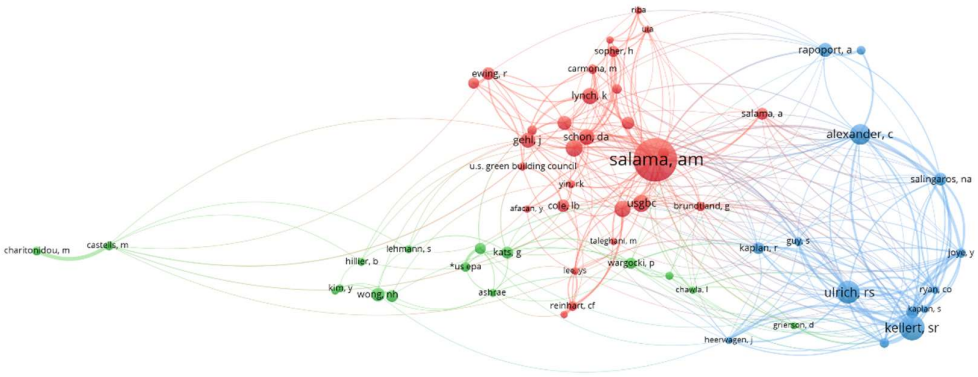


تصویر ٤: الگوی پراکندگی شبکه هم‌واژگانی در حوزه معماری هوشمند و پایدار آموزشی

تحلیل تصویر ۴ نشان می‌دهد که واژگان با رنگ زرد، از جمله مفهوم کلیدی "پایداری"، بیشترین فراوانی را در این پژوهش داشته‌اند. واژه‌های مرتبطی مانند آموزش، طراحی، معماری، و آموزش معماری نیز که در محدوده زردرنگ قرار گرفته‌اند، از اهمیت قابل توجهی برخوردارند. پس از این گروه، واژگان با رنگ‌های سبز و آبی در رتبه‌های بعدی از نظر میزان توجه و کاربرد قرار دارند. الگوی فاصله‌ای بین واژگان در این تصویر نیز معنادار است؛ به‌طوری که نزدیکی دو واژه نشان‌دهنده کاربرد همزمان و پرتکرار آن‌ها در متون پژوهشی است، در حالی که فاصله زیاد بین واژگان حاکی از ارتباط محدود و استفاده کمتر از آن‌ها در کنار یکدیگر است. این چیدمان فضایی به وضوح روابط معنایی و میزان هم‌آیندی مفاهیم را در حوزه معماری هوشمند و پایدار آموزشی نمایش می‌دهد.

پاسخ به پرسش چهارم پژوهش: الگوی هم‌استنادی پژوهشگران در حوزه معماری هوشمند و پایدار در محیط‌های آموزشی چگونه است و چه ساختاری دارد؟

تحلیل شبکه هم‌استنادی پژوهشگران در این مطالعه نشان می‌دهد که از مجموع ۱۳۱۷۷ استناد بررسی شده، تنها استنادهای مشترک با حداقل ۸ ارجاع متقابل بین نویسندگان در نظر گرفته شده است. این معیار سختگیرانه منجر به تشکیل شبکه‌ای با ۶۴ گره (نویسنده) گردید. بر مبنای تحلیل خوشه‌ای انجام شده، سه گروه متمایز از پژوهشگران (خوشه های A، B و C) شناسایی شدند که هر یک با رنگ متفاوتی در تصویر ۵ قابل مشاهده هستند. این شبکه نمایانگر الگوی ارتباطی نسبتاً شفاف و متمایزی میان نویسندگان است که جزئیات هر خوشه به تفصیل در جداول ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.



تصویر ٤: تحلیل شبکه هم استنادی نویسندگان از منابع استنادی گره ها

خوشهA (رنگ قرمز): سیاست‌گذاری محیط زیستی و پایدار در معماری هوشمند:

تحلیل محتوای نشریات در خوشه A با بهره‌گیری از نرم‌افزار VOSviewer نشان داد که کلیه مقالات این گروه در زمینه "سیاست‌گذاری زیست‌محیطی و پایدار در معماری هوشمند" متمرکز بوده‌اند. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، اطلاعات جامعی شامل: اسامی پژوهشگران، تعداد استنادات و همچنین تعداد ارتباطات استنادی مشترک هر پژوهشگر با سایر نویسندگان ارائه گردیده است.

جدول ۲: نویسندگان خوشهA (سیاست‌گذاری محیط زیستی و پایدار در معماری هوشمند)

نویسنده	استناد	مجموع پیوند های مشترک
□□□□□□□, □.□.	۳۱	۲۸۵
□□□□□□, □.□.	۲۸	۲۱۷
□□□□□□, □.□.	۵۷	۱۸٤
□□□□□□□□□, □.	۲۵	۱۵۸
□□□□, □.	۱۱	۱۵٦
□□□□□□□□□□, □.□.	۱٤	۱۳٤
□□□□□□□□, □.□.	۱۱	۱۰۱
□□□□, □.□.	۹	۹۳
□□□□□□, □.	۸	٦۷
□□□, □.	۱۰	٦۲
□□□□□□□, □.	۱۰	٦۰
□□□□□, □.	۱٤	۵۷
□□□□, □.	۱۷	۵۷

□□□□□, □.□.	۱۸	۵۲
□□□□□□ □□□□□□□.	۲۰	۵۷
□□□□□□□□□, □.	۸	۵۶
□□□□□□, □.	۱۳	۵۲

خوشهB (رنگ سبز): تجربه کاربری و تحلیل فضایی در محیط‌های آموزشی:

مقالات گروه‌بندی شده در خوشه B با کمک نرم‌افزار VOSvi ewer مورد تحلیل استنادی قرار گرفته‌اند. این پژوهش‌ها عمدتاً بر موضوع تجربه کاربری و تحلیل فضایی در محیط‌های آموزشی تمرکز دارند و آن را به‌عنوان عاملی کلیدی در تضمین پایداری می‌توان در نظر گرفت. در جدول ۳ مشخصات نویسندگان از جمله نام، تعداد استنادات و همچنین تعداد همکاری‌های علمی هر پژوهشگر با سایر نویسندگان ارائه شده است.

جدول ۳: نویسندگان خوشهB (تجربه کاربری و تحلیل فضایی در محیط‌های آموزشی)

نویسنده	استناد	مجموع پیوند های مشترک
□□□□□□□□, □.	۱۰	۶۰
□□□□□□□□□□□□, □.	۱۰	۵۰
□□□□□□□, □.	۱۶	۴۶
□□□□, □.	۱۳	۲۱
□□ □□□□□ □□□□□ □□.	۱۱	۳۴
□□ □□□.	۱۱	۳۴
□□□□□□□□□□□, □.	۱۳	۱۸
□□□□□□□□, □.	۱۲	۲۱
□□□□□□, □.	۸	۱۵
□□□□□□.	۹	۱۳
□□□□□□, □.	۹	۱۱
□□□□□□□□, □.	۸	۲۰
□□□□□□□□, □.	۹	۸
□□□□, □.□.	۱۵	۲۰

خوشهC (رنگ آبی): مدیریت و توسعه پایدار در معماری هوشمند:

با تحلیل مقالات گروه‌بندی‌شده در خوشه C به کمک نرم‌افزار VOSvi ewer ، مشخص شد که این پژوهش‌ها عمدتاً بر موضوع مدیریت و توسعه پایدار در معماری هوشمند متمرکز هستند و آن را عاملی کلیدی در پایداری می‌دانند. در ادامه، در جدول ۴، برخی از مقالات این خوشه مورد بررسی قرار گرفته و تعداد استنادات و همچنین تعداد همکاری‌های علمی هر پژوهشگر با سایر نویسندگان ارائه می‌شود.

جدول ٤: نویسندگان خوشهB (مدیریت و توسعه پایدار در معماری هوشمند)

نویسنده	استناد	مجموع پیوند های مشترک
□□□□□□□□, □□.	۱۱	۱۰۱
□□□,□.	۱۰	۶۲
□□□□□□□□□□, □.	۸	۵۶
□□□□, □.	۱۱	۱۵۶
□□□□□□, □.	۱۳	۵۲
□□□□□□, □.	۸	۶۷
□□□□□□□, □.□.	۳۱	۲۸۵
□□□□, □.□.	۹	۹۳
□□□□□□, □.□.	۲۸	۲۱۷
□□□□□□, □.□.	۱٤	۱۲٤

جهت تحلیل هم‌رخدادی و شبکه واژگان کلیدی، تمامی اسناد به دست آمده از پایگاه های علمی و وب آف ساینس در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، هم کلیدواژه‌های نویسندگان و هم کلیدواژه‌های نمایه‌سازی پایگاه Web of Science وارد تحلیل شدند تا پوشش جامع‌تری از مفاهیم به‌دست آید. پس از تجمیع این دو مجموعه و حذف موارد تکراری، با تعیین آستانه حداقل ۸ بار تکرار، ۴۵ واژه کلیدی نهایی استخراج و وارد شبکه هم‌رخدادی شدند. این رویکرد به‌جای تمرکز صرف بر کلیدواژه‌های نویسندگان، امکان ترسیم نقشه‌ای دقیق‌تر از ساختار مفهومی حوزه پژوهش را فراهم کرد. از میان ۳۳۲۳ واژه کلیدی ثبت‌شده توسط نویسندگان، پس از حذف عبارات تکراری و با در نظر گرفتن حداقل فراوانی رخداد هر واژه برابر با ۸، ۴۵ گره کلیدی استخراج شد که هر یک نمایانگر یک مفهوم مرتبط با «پایداری و هوشمندی» در ادبیات معماری مراکز آموزشی بودند (جدول ۵).

جدول ۵: کلیدواژه‌های شناسایی شده در شبکه هم رخدادی واژگان

ردیف	کلیدواژه	خوشه (□□□□□□□/□□□□□□)	فراوانی (□□□□□□□□□□□□)	قدرت پیوند کل (□□□□□ □□□□ □□□□□□□□)	توضیح
۱	□□□□□□□□□□□□□□□	سبز	بسیار بالا	بسیار بالا	هسته مرکزی شبکه، بیشترین ارتباطات با سایر مفاهیم
۲	□□□□□□□	زرد	بالا	بالا	محور طراحی پایدار و پیوند با انرژی و ساختمان سبز
۳	□□□□□□□□□□□□□	قرمز	بالا	بالا	پیوند مستقیم با شهرسازی و محیط ساخته‌شده
٤	□□□□□□□□□	سبز	بالا	متوسط	تمرکز بر آموزش معماری و یادگیری پایدار
٥	□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□	سبز	متوسط	متوسط	پیوند با طراحی استودیو و آموزش انسان‌محور
٦	□□□□□ □□□□□□□□	زرد	متوسط	بالا	شاخص فنی ساختمان‌های سبز و انرژی
۷	□□□□□□□	زرد	متوسط	بالا	مرتبط با□□□ ، مدل‌سازی و راحتی حرارتی
۸	□□□□□ □□□□□□	قرمز	متوسط	متوسط	خوشه مرتبط با برنامه‌ریزی و بازآفرینی شهری
۹	□□□□□□	آبی	متوسط	متوسط	محور پیوند محیط و سلامت کاربران
۱۰	□□□□□□□	آبی	متوسط	متوسط	کیفیت تجربه محیطی و آسایش حرارتی
۱۱	□□□□□□□□	سبز	پایین تا متوسط	متوسط	تمرکز بر تجربه کاربران در محیط آموزشی
۱۲	□□□□□□□□ □□□□□□	سبز	پایین تا متوسط	متوسط	پیوند با کیفیت فضا و طراحی انسان‌محور
۱۳	□□□□□ □□□□□□	زرد	پایین	متوسط	فناوری‌های نوین در پردیس‌های دانشگاهی
۱٤	□□□□□ □□□□□□□	قرمز	پایین	متوسط	سیاست‌گذاری شهری و معماری پایدار
۱٥	□□□□□ □□□□□□□□□□□□	آبی	پایین	پایین تا متوسط	نقش زیرساخت‌های سبز در پایداری شهری

پس از ترسیم نقشه شبکه و تحلیل خوشه‌های تشکیل‌شده، اصطلاحات رایج، عناوین مقالات و بخش‌های منابع مرتبط در پنج خوشه اصلی شناسایی و فهرست‌بندی گردید. در این تحلیل، خوشه‌های تشکیل‌شده از واژگان مرتبط با موضوع "معماری هوشمند و پایدار

محیط‌های آموزشی" به‌طور دقیق بررسی شده‌اند. هر خوشه نشان‌دهنده یک جنبه مختلف از این حوزه علمی است، که به‌طور کلی به طراحی فضاهای آموزشی پایدار، بهره‌برداری از منابع طبیعی و ارتقای کیفیت محیط‌های یادگیری می‌پردازد. در ادامه، هر خوشه به‌صورت منظم و مرتبط با یکدیگر توضیح داده می‌شود:

خوشه ۱ معماری پایدار و طراحی محیط:

این خوشه حاوی ۱۱ کلید واژه و شامل واژگانی مانند architecture (طراحی معماری)، architectural design (آموزش معماری)، biophilic design (طراحی بیوفیلیک)، buildings (ساختمان‌ها)، built (محیط ساخته‌شده)، environment (شهر)، city (معماری پایدار)، sustainable architecture (طراحی شهری) و sustainable design (برنامه‌ریزی شهری) urban planning است. این خوشه به بررسی روابط بین معماری، طراحی شهری و توسعه محیط‌های ساخته‌شده مبتنی بر اصول پایداری می‌پردازد. موضوعاتی مانند آموزش معماری، استفاده از عناصر طبیعی در طراحی (مثل طراحی بیوفیلیک) و نقش شهرسازی در ایجاد فضاهای آموزشی سالم و زیست‌پذیر، از جمله محورهای اصلی این خوشه هستند.

خوشه ۲ محیط زیست، رضایت انسانی و طراحی فضاهای زندگی:

این خوشه حاوی ۸ کلید واژه children (کودکان)، comfort (آرامش)، environment (محیط)، green (سبز)، impact (تأثیر)، landscape architecture (طراحی منظر)، perception (ادراک) و spaces (فضاها) می‌باشد. این خوشه به بررسی تأثیر محیط طبیعی و طراحی فضاهای سبز بر رفتار، ادراک و رفاه انسانی می‌پردازد. تمرکز اصلی این حوزه، ایجاد فضاهای یادگیری آرامش‌بخش و تعاملی از طریق استفاده از عناصر طبیعی و طراحی منظر است. واژه‌هایی مانند comfort و perception نشان می‌دهند که این خوشه به تجربه کاربران و کیفیت حسی و روانی محیط آموزشی توجه ویژه‌ای دارد. این خوشه اهمیت نقش محیط طبیعی در ارتقای عملکرد تحصیلی و رفاه دانش‌آموزان را تأکید می‌کند.

خوشه ۳ طراحی انرژی‌پویا و ساختمان‌های سبز:

این خوشه حاوی ۸ کلید واژه مانند BIM[۳] (مدل‌سازی اطلاعات ساختمان)، design (طراحی)، energy efficiency (بهره‌وری انرژی)، green building (ساختمان سبز)، leed (رهبری در طراحی انرژی و محیط زیست)، model (مدل)، performance (عملکرد) و thermal comfort (آسایش حرارتی) است. این خوشه به بررسی عملکرد فنی و انرژی‌ای ساختمان‌های آموزشی می‌پردازد و به روش‌های هوشمند طراحی، مدیریت مصرف انرژی و ارتقای کیفیت محیط داخلی به‌ویژه راحتی حرارتی توجه می‌کند. استفاده از فناوری‌های دیجیتال مانند BIM و استانداردهای ساختمان سبز (مثل LEED) نشان‌دهنده تمایل به یکپارچه‌سازی فناوری و پایداری در طراحی پردیس‌ها و مدارس است. این خوشه اهمیت استفاده از روش‌های انرژی‌پویا و بهره‌وری انرژی در ایجاد ساختمان‌های هوشمند و پایدار را تأکید می‌کند.

خوشه ٤ سلامت، یادگیری و توسعه پایدار در محیط‌های شهری:

این خوشه حاوی ۵ کلید واژه و شامل واژگان green infrastructure (زیرساخت‌های سبز)، health (سلامت)، students (دانشجویان)، sustainable development (توسعه پایدار) و urban (شهری) می‌باشد. این خوشه به ارتباط بین سلامت جسمی و روانی دانش‌آموزان و دانشجویان با کیفیت محیط شهری و زیرساخت‌های سبز می‌پردازد. موضوعاتی مانند توسعه پایدار شهری، نقش فضاهای سبز در کاهش آلودگی و بهبود سلامت و تأثیر محیط یادگیری بر عملکرد تحصیلی، از محورهای اصلی این خوشه هستند. این خوشه نشان می‌دهد که طراحی محیط‌های آموزشی نه تنها یک مسئله معماری، بلکه یک رویکرد چندبعدی در سلامت عمومی و توسعه پایدار شهری است.

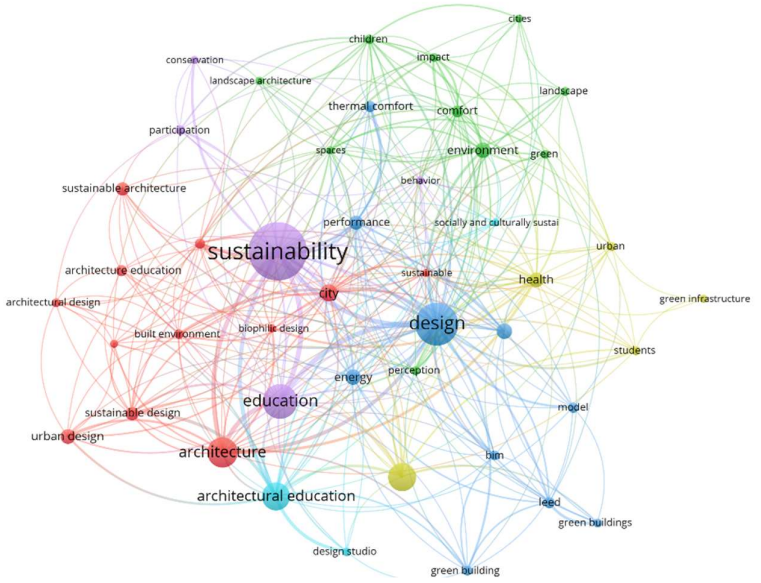
[۳] Building Information Modelling

خوشه ۵ مشارکت، آموزش و پایداری محیطی:

این خوشه حاوی ۵ کلید واژه و شامل واژگان behavior (رفتار)، conservation (حفاظت)، education (آموزش)، participation (مشارکت) و sustainability (پایداری) است. در این حوزه، تمرکز اصلی بر نقش انسان در تحقق پایداری قرار دارد. موضوعاتی مانند تغییر رفتار، مشارکت جامعه، آموزش محیط‌زیست و حفاظت از منابع طبیعی، نشان‌دهنده اهمیت رویکردهای فرهنگی و آموزشی در ایجاد مدارس و پردیس‌های پایدار است. این خوشه برجسته می‌کند که طراحی فضاهای آموزشی باید علاوه بر ابعاد فیزیکی، زمینه‌ساز فرهنگ‌سازی و مشارکت فعال دانش‌آموزان و جامعه در حفاظت از محیط زیست باشد. این خوشه اهمیت آموزش و فرهنگ‌سازی در ایجاد یک محیط آموزشی پایدار را تأکید می‌کند.

خوشه ٦ آموزش معماری و طراحی پایدار در بافت اجتماعی و فرهنگی:

این خوشه حاوی ۳ کلید واژه و شامل واژگان کلیدی Architectural education (آموزش معماری)، Design studio (استودیوی طراحی) و Socially and Culturally sustainable architecture and urban design (معماری و طراحی شهری پایدار از دیدگاه اجتماعی و فرهنگی) است. این خوشه به بررسی نقش آموزش معماری در شکل‌دهی به رویکردهای پایدار و مسئولیت‌پذیر در طراحی فضاهای آموزشی و شهری می‌پردازد. در کانون توجه این خوشه، استودیوی طراحی به عنوان فضایی آموزشی–عملیاتی است که در آن دانشجویان و آموزگاران معماری، مفاهیم پایداری را نه تنها از دید فنی و محیطی، بلکه از منظر عدالت اجتماعی، حفظ هویت فرهنگی و پاسخگویی به نیازهای جامعه می‌آموزند. این خوشه نشان می‌دهد که طراحی مدارس و پردیس‌های سبز تنها با توجه به اصول انرژی و محیط زیست کافی نیست، بلکه باید در چارچوبی از عدالت فضایی، شامل‌سازی اجتماعی و احترام به بافت فرهنگی محلی نیز شکل گیرد. از این منظر، استودیوی طراحی به عنوان آزمایشگاهی برای فرهنگ‌سازی طراحی پایدار عمل می‌کند و نقش محوری در تربیت معمارانی دارد که به جای تحمیل الگوهای یکنواخت، به سمت طراحی مشارکتی، آگاهانه و متن‌محور حرکت می‌کنند(به تصویر ۶ رجوع شود).



تصویر۵: شبکه هم رخدادی کلمات کلیدی "حوزه معماری هوشمند و پایدار در مراکز آموزشی" گره ها

جدول ٦: خوشه‌ها و واژگان کلیدی " حوزه معماری هوشمند و پایدار در مراکز آموزشی"

خوشه	عنوان خوشه	واژگان کلیدی تشکیل دهنده
۱	معماری پایدار و طراحی محیط (۱۲ واژه)	[illegible]
۲	محیط زیست، رضایت انسانی و طراحی فضاهای زندگی (۱۰ واژه)	[illegible]
۳	طراحی انرژی‌پویا و ساختمان‌های سبز (۱۰ واژه)	[illegible]
٤	سلامت، یادگیری و توسعه پایدار در محیط‌های شهری (۵ واژه)	[illegible]
۵	مشارکت، آموزش و پایداری محیطی (۵ واژه)	[illegible]
٦	آموزش معماری و طراحی پایدار در بافت اجتماعی و فرهنگی (۳ واژه)	[illegible]

از آن‌جا که بسیاری از کلیدواژه‌ها در ادبیات موجود به‌طور مکرر و با فراوانی قابل توجهی تکرار شده‌اند، می‌توان استنباط کرد که این مفاهیم نقش محوری و تأثیرگذاری در شکل‌گیری و تکامل موضوعات اصلی پژوهشی در حوزه معماری پایدار و هوشمند محیط‌های آموزشی داشته‌اند.

تکرار بالای این واژگان نه تنها نشان‌دهنده اهمیت و تمرکز پژوهشگران بر این مفاهیم است، بلکه بیانگر ثبات و پایداری روندهای پژوهشی در این حوزه نیز می‌باشد. این الگو، احتمالاً بازتابی از نیاز به توسعه فضاهای یادگیری هوشمند، سازگار با محیط زیست و پاسخگو به نیازهای اجتماعی و فرهنگی است.

در این پژوهش تحلیل خوشه‌بندی واژگان کلیدی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer، بر اساس دو شاخص کلیدی فراوانی (Occurrence) و قدرت پیوند کلی (Total Link Strength) انجام شده است. این دو شاخص به‌طور همزمان در تفسیر نقشه‌های علم‌سنجی و ساختار خوشه‌ها نقش حیاتی ایفا می‌کنند. فراوانی (Occurrence) نشان‌دهنده تعداد باری است که یک واژه کلیدی در مقالات انتخاب‌شده به کار رفته است. این معیار به صورت بصری در اندازه گره‌ها در نقشه نمایش داده می‌شود (مثلاً واژه "sustainability" با ۷۶ بار تکرار، یکی از گره‌های بزرگتر در نقشه است). واژه "design" با فراوانی ۵۳ بار و قدرت پیوند ۱۲۸، نه تنها پرتکرارترین واژه‌هاست، بلکه با ارتباطات قوی با مفاهیمی مانند "sustainability" ، "architecture"و"education" ، نقش محوری در ساختار مفهومی حوزه را ایفا می‌کند. بنابراین، تفسیر خوشه‌ها نه صرفاً بر اساس فراوانی، بلکه بر اساس هماهنگی بین فراوانی و قدرت پیوند صورت گرفته است؛ که این امر باعث می‌شود خوشه‌های شناسایی‌شده (مانند "تجربه کاربری و کیفیت فضایی") نه تنها از نظر تکرار، بلکه از نظر شبکه‌ای بودن مفاهیم و ارتباطات متقابل آن‌ها معنادار باشند.

کلیدواژه‌های پرتکرار، به‌عنوان محورهای اصلی چارچوب مفهومی این حوزه عمل می‌کنند و در شناسایی چالش‌ها، فرصت‌ها و جهت‌گیری‌های آینده پژوهشی در مورد پردیس‌ها و مدارس سبز، اهمیت ویژه‌ای دارند (جدول ۵).

تحلیل محتوای خوشه‌ها نشان می‌دهد که مطالعات اولیه در این حوزه عمدتاً با رویکردی تک‌بعدی و فنی متمرکز بر کارایی انرژی و استانداردهای ساختمانی شکل گرفته‌اند، در حالی که پژوهش‌های اخیر با گسترش به ابعاد اجتماعی، فرهنگی و روان‌شناختی، به سمت چارچوبی چندبعدی و میان‌رشته‌ای در طراحی فضاهای آموزشی پایدار و هوشمند تحول یافته‌اند. این تحول در یافته‌های

زودآیند ویرایش نشده

کتاب‌سنجی به‌وضوح مشاهده می‌شود: در خوشه‌های اولیه پژوهشی (پیش از ۲۰۱۰)، واژگان کلیدی مانند "energy efficiency" و "green building" غالب بودند، در حالی که در سال‌های اخیر، خوشه‌های مفهومی جدیدی مانند "تجربه کاربری و کیفیت فضایی"، "سلامت و توسعه پایدار شهری" و "آموزش معماری با رویکرد اجتماعی–فرهنگی" ظهور کرده‌اند. این گسترش مفهومی نشان‌دهنده ادغام ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی، فرهنگی و روان‌شناختی در طراحی فضاهای آموزشی است. آینده این حوزه متکی بر ادغام فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا با اصول طراحی بیوفیلیک و مشارکتی خواهد بود، به‌گونه‌ای که فضاهای آموزشی نه‌تنها از نظر انرژی بهینه باشند، بلکه به‌عنوان بستری برای ترویج رفاه، عدالت و حس تعلق به مکان برای نسل‌های آینده عمل کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل کتاب‌سنجی انجام‌شده در این پژوهش، با استفاده از داده‌های استخراج‌شده از پایگاه Web of Science و تحلیل شبکه‌ای با نرم‌افزار VOSviewer، نمای کلی در حوزه معماری هوشمند و پایدار محیط‌های آموزشی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۵ ارائه می‌دهد. تحلیل روند زمانی نشان داد که افزایش چشمگیر تولید علم در این حوزه از حدود سال ۲۰۰۵ آغاز شده و اوج خود را پس از ۲۰۱۵ کسب کرده است. این روند صعودی با موج جهانی توجه به اهداف توسعه پایدار (SDGs[4]) سازمان ملل متحد (United Nations, ۲۰۱۵) و تأکید فزاینده بر طراحی محیط‌های یادگیری سالم و هوشمند هم‌زمانی دارد. تحلیل خوشه‌های کلیدواژه‌ای، شش حوزه مفهومی اصلی را برجسته می‌کند که به‌طور هماهنگ، یک چارچوب جامع برای درک تحولات پژوهشی در این زمینه ارائه می‌دهند.

اولین خوشه، با عنوان "معماری پایدار و طراحی محیط سازماندهی شده"، بر ابعاد کالبدی و شهری معماری تمرکز دارد. حضور قوی مفاهیمی مانند sustainable architecture، urban design و biophilic design نشان می‌دهد که پژوهشگران به دنبال ایجاد فضاهای آموزشی هستند که نه تنها از نظر انرژی و منابع کارآمد باشند، بلکه به‌طور سیستماتیک در بافت شهری ادغام شده و از عناصر طبیعی برای ارتقای کیفیت فضا بهره ببرند (Kellert, ۲۰۰۸).

دومین خوشه، "محیط زیست، رضایت انسانی و طراحی فضاهای زندگی"، توجه را به تجربه کاربران، به‌ویژه کودکان و دانش‌آموزان، معطوف می‌کند. واژگانی مانند comfort، perception و children بر اهمیت روانشناسی محیط و تأثیر فضا بر رفتار، ادراک و رفاه انسانی تأکید دارند (Joye, ۲۰۰۷; Ulrich, ۱۹۸۴). این خوشه نشان می‌دهد که طراحی یک مدرسه سبز، فقط سبز بودن ساختمان نیست، بلکه ایجاد فضایی است که برای کاربرانش آرامش‌بخش، الهام‌بخش و تعاملی باشد.

سومین خوشه، "طراحی انرژی‌پویا و ساختمان‌های سبز"، به ابزارها و استانداردهای فنی پیاده‌سازی پایداری می‌پردازد. حضور BIM، energy efficiency و LEED نشان‌دهنده تمرکز بر فناوری‌های دیجیتال و شاخص‌های کمی برای ارزیابی عملکرد ساختمان است (Browning et al., ۲۰۱۴). این بخش از پژوهش‌ها، پلی بین نظریه و عمل است و به معماران و مهندسان کمک می‌کند تا طرح‌های خود را با دقت و کارایی بالا اجرا کنند.

چهارمین خوشه، "سلامت، یادگیری و توسعه پایدار در محیط‌های شهری"، ارتباط بین سلامت جسمی و روانی دانش‌آموزان و کیفیت محیط شهری را بررسی می‌کند. مفاهیمی مانند green infrastructure و health نشان می‌دهند که مدارس سبز بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر شهری پایدار هستند و نقش کلیدی در کاهش آلودگی، بهبود سلامت و ارتقای عملکرد تحصیلی دارند (Chawla, ۲۰۱۵).

پنجمین خوشه، "مشارکت، آموزش و پایداری محیطی"، بر ابعاد اجتماعی و فرهنگی پایداری تأکید دارد. واژگانی مانند participation، education و sustainability نشان می‌دهند که پایداری فقط یک مسئله فنی نیست، بلکه نیازمند تغییر رفتار، فرهنگ‌سازی و مشارکت فعال دانش‌آموزان و جامعه است (Stern, ۲۰۰۰).

و در نهایت، ششمین خوشه، "آموزش مسئولیت‌آمیز: پرورش طراحی پایدار در بافت اجتماعی و فرهنگی"، به نقش حیاتی آموزش

[4] Sustainable Development Goals

معماری در این تحول می‌پردازد. حضور social ly در کنار design studio و architectural education نشان می‌دهد که آینده این حوزه در دستان معمارانی است architecture and culturally sustainable که در استودیوها آموزش می‌بینند و به جای طراحی الگوهای یکنواخت، به سمت طراحی مشارکتی، فرهنگ‌محور و اخلاق‌محور حرکت می‌کنند (Salama, ۲۰۰۶; Schön, ۱۹۸۳).

تحلیل هم‌استنادی نویسندگان، اهمیت نظریه‌پردازانی مانند کلرت، اولریچ و سالاما را بیش از سایرین تأیید می‌کند. این امر نشان می‌دهد که پژوهش‌های فعلی عمدتاً بر پایه نظریه‌های طبیعت‌گرایانه، روانشناسی محیط و آموزش معماری استوار است. این یافته‌ها، نه تنها گذشته و حال این حوزه را ترسیم می‌کند، بلکه راهنمایی برای پژوهش‌های آینده نیز هستند.

این پژوهش با استفاده از تحلیل کتاب‌سنجی، نقشه‌ای دقیق از روند پژوهشی در حوزه معماری هوشمند و پایدار محیط‌های آموزشی ارائه کرد. یافته‌ها نشان می‌دهد که این حوزه از یک رویکرد مهندسی و تک‌بعدی به سمت یک چارچوب چندبعدی، بین‌رشته‌ای و انسان‌محور در حال حرکت است. آینده این پژوهش‌ها به سمت یکپارچه‌سازی بیشتر فناوری هوشمند (مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا) با اصول طبیعت‌گرایانه و طراحی مشارکتی در محیط‌های آموزشی است. پژوهشگران و طراحان باید این چارچوب چندبعدی را در نظر بگیرند و به دنبال ایجاد محیط‌هایی باشند که نه تنها از نظر زیست‌محیطی پایدار هستند، بلکه از نظر اجتماعی، فرهنگی و روان‌شناختی نیز برای نسل‌های آینده سالم و الهام‌بخش باشند.

در پایان، تحلیل کتاب‌سنجی این پژوهش با بررسی ۷۳۳ مقاله و شناسایی ۶ خوشه مفهومی کلیدی نشان می‌دهد که حوزه «معماری هوشمند و پایدار محیط‌های آموزشی» از یک رویکرد فنی و انرژی‌محور (متمرکز بر واژگانی مانند energy efficiency و LEED در خوشه ۳) به سمت یک چارچوب انسان‌محور و چندبعدی تحول یافته است، جایی که مفاهیمی مانند biophilic design (خوشه ۱)، health و students (خوشه ۴)، participation (خوشه ۵) و socially and culturally sustainable architecture درخوشه ۶ جایگاه محوری یافته‌اند. این تحول با تحلیل هم‌استنادی نویسندگان نیز تأیید می‌شود؛ نویسندگانی مانند کلرت (مجموع پیوند ۲۸۵) و اولریچ (مجموع پیوند ۲۱۷) پایه‌گذاران نظریه طبیعت‌گرایانه و روانشناسی محیط بیشترین تأثیر را در شکل‌دهی به این حوزه داشته‌اند. بنابراین، آینده مدارس و پردیس‌های سبز نه در بهینه‌سازی انرژی به تنهایی، بلکه در ادغام هوشمندانه فناوری‌هایی مانند BIM و IoT با طراحی مشارکتی، بیوفیلیک و فرهنگ‌محور نهفته است؛ به گونه‌ای که این فضاها نه تنها پایدار، بلکه مولد رفاه، عدالت و هویت فرهنگی برای نسل‌های آینده باشند.

پیشنهادهای اجرایی پژوهش

- تدوین نقشه علمی حوزه معماری پایدار و هوشمند برای شناسایی شکاف‌ها و اولویت‌های پژوهشی.
- تقویت همکاری میان دانشگاه‌ها و نهادهای حرفه‌ای در توسعه پژوهش‌های میان‌رشته‌ای.
- بازنگری برنامه‌های آموزشی معماری با تأکید بر پایداری، فناوری‌های هوشمند و طراحی انسان‌محور.
- استفاده از یافته‌های پژوهش در سیاست‌گذاری آموزشی و طراحی مدارس پایدار.
- ایجاد بانک داده و حمایت از انتشار بین‌المللی پژوهش‌های ایرانی در این حوزه.

پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

- ارزیابی ترکیبی کیفی–کمی از اثرات واقعی فناوری‌های هوشمند مانند □□□ و پردیس هوشمند بر تجربه کاربری در مدارس و دانشگاه‌ها
- انجام مطالعات تطبیقی بین‌المللی در حوزه آموزش معماری با رویکرد اجتماعی–فرهنگی، به‌ویژه در مدارس ابتدایی و پردیس‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌منظور استخراج الگوهای قابل انتقال و بومی‌سازی

تقدیر و تشکر

لازم است از داوران گرامی که با ارائه دیدگاه‌های ارزشمند خود، به بهبود کیفیت این مقاله کمک کردند، سپاسگزاری شود. این مقاله

حاصل یک پژوهش مستقل است که توسط نویسندگان انجام شده و تحت حمایت هیچ سازمانی قرار نداشته است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در خصوص انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی، از جمله سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر و همچنین، سیاست مجله در قبال استفاده از هوش مصنوعی از سوی نویسندگان رعایت شده است.

فهرست منابع [نظم الفبایی در تمامی منابع رعایت شده باشد]

Agbo, F. J., Oyelere, S. S., Suhonen, J., & Tukiainen, M. (2021). Scientific production and thematic breakthroughs in smart learning environments: a bibliometric analysis. *Smart Learning Environments*, *8*(1). https://doi.org/10.1186/s40561-020-00145-4

Akdari, P. O., Chinyio, E. A., & Olomolaiye, P. O. (2012). Design of a sustainable building: A conceptual framework for implementation in developing countries. *Buildings, 2*(2), 126–152. https://doi.org/10.3390/buildings2020126

Alhassan, M., Ayah Alkhawaldeh, Nour Betoush, Ansam Sawalha, Amaireh, L., & Onaizi, A. (2024). Harmonizing Smart Technologies with Building Resilience and Sustainable Built Environment Systems. *Results in Engineering*, 102158–102158. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102158

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics, 11*(4), 959–975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Asadpour, F., & Habibi, A. (2015). Strategies for climatic design for sustainable urban housing development: A case study of Nur City, Mazandaran, Iran. *Cumhuriyet Science Journal, 36*(6), 653–664. https://doi.org/10.9756/SIJASREE/V2I3/0203550401

Asadpour, F., Khastoo, S., & Rezaeian Fard, M. H. (2016). Using wind turbines in high-rise buildings in the development of sustainable architecture: A case study of Kish Island. *Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8*(3), 1069–1084. https://doi.org/10.4314/jfas.v8i3s.235

Asadpour, Faezeh; Asadpour, Atefeh. (2025). Optimization of energy consumption using solar bath in the hot and dry climate of Iran. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, *3*(3(s)), pp. 40-49. https://european-science.com/eojnss/article/view/1850

Baghalzadeh Shishehgarkhaneh, M., Keivani, A., Moehler, R. C., Jelodari, N., & Roshdi Laleh, S. (2022). Internet of things (IoT), Building information modeling (BIM), and digital twin (DT) in construction industry: A Review, Bibliometric, and Network Analysis. *Buildings*, *12*(10), 1503. https://doi.org/10.3390/buildings12101503

Bagherikerachi, A., Kowsari, M., & Bagheri Sarvestani, Leila. (2022). Assessing the application of green schools' components in primary education

institutes. *Environment and Development*, *12*(24), 81–93. https://www.iraneiat.ir/article_167763.html?lang=en

Bareshadat, N., Shoaei, H., and Rezvani, A. (2019). Explaining the components and indices of environmental sustainability in Iran's educational spaces, with an emphasis on green educational building evaluation systems. *Journal of Environmental Studies*, *45*(1), 171-192. doi: 10.22059/jes.2019.271447.1007788.

Börner, K., Chen, C., & Boyack, K. W. (2005). Visualizing knowledge domains. *Annual Review of Information Science and Technology*, *37*(1), 179–255. https://doi.org/10.1002/aris.1440370106

Briones-Bitar, J., Pinto-Ponce, B., Caicedo-Potosí, J., Santos-Baquerizo, E., Carrión-Mero, P., & Morante-Carballo, F. (2025). Evolution of smart buildings: A bibliometric analysis and systematic review. *International Journal of Sustainable Development and Planning, 20*(4). https://doi.org/10.18280/ijsdp.200403

Browning, W. D., Ryan, C. O., & Clancy, J. O. (2014). *The 14 patterns of biophilic design: Improving health and well-being in the built environment*. Terrapin Bright Green. https://www.terrapinbrightgreen.com/wp-content/uploads/2014/09/14-Patterns-of-Biophilic-Design-Terrapin-2014p.pdf

Chawla, L. (2015). Benefits of Nature Contact for Children. *Journal of Planning Literature*, *30*(4), 433–452. https://doi.org/10.1177/0885412215595441

Chen, Y., Wang, X., Liu, Z., Cui, J., Osmani, M., & Demian, P. (2023). Exploring Building Information Modeling (BIM) and Internet of Things (IoT) Integration for Sustainable Building. *Buildings*, *13*(2), 288. https://doi.org/10.3390/buildings13020288

Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *62*(7), 1382–1402. https://doi.org/10.1002/asi.21525

Ding, X., Cui, Y., Chen, Z., & Zhang, H. (2024). Energy efficiency in biophilic architecture: A systematic literature review and visual analysis using CiteSpace and VOSviewer. *Buildings*, *14*(12), 3800. https://doi.org/10.3390/buildings14123800

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Dunk, J. (2022). Psychology as if the whole earth mattered: Nuclear threat, environmental crisis, and the emergence of planetary psychology. *History of Psychology, 25*(2), 97–120. https://doi.org/10.1037/hop0000208

Eslamieh, F., oladiyan, M., & safari, M. (2020). Prioritizing green components with a fuzzy approach in Iran's education system. *Journal of New Approaches in Educational Administration*, *11*(41), 283-304. https://sanad.iau.ir/en/Journal/jedu/Article/1180396/FullText

Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and

weaknesses. *The FASEB Journal*, *22*(2), 338–342. https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF

Guerrieri, M., La Gennusa, M., Peri, G., Rizzo, G., & Scaccianoce, G. (2019). University campuses as small-scale models of cities: Quantitative assessment of a low-carbon transition path. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *113*, 109263. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109263

Harris, A., & Holman Jones, S. (2023). A creative ecological approach to supporting young people with mental health challenges in schools. *International Journal of Qualitative Studies in Education, 37*(2), 1–12. https://doi.org/10.1080/09518398.2023.2233938

Hashim Mohammed, B., Sallehuddin, H., Safie, N., Husairi, A., Abu Bakar, N. A., Yahya, F., Ali, I., & AbdelGhany Mohamed, S. (2022). Building information modeling and internet of things integration in the construction industry: A scoping study. *Advances in Civil Engineering*, *2022*, e7886497. https://doi.org/10.1155/2022/7886497

Hotar, N., Apdik, S. N., Tokuç, A., & Baran, B. (2024). A systematic review on the design of sustainable education spaces. *The International Journal of Architectonic, Spatial, and Environmental Design, 19*(1), 195–215. https://doi.org/10.18848/2325-1662/CGP/v19i01/195-215

Joye, Y. (2007). Architectural lessons from environmental psychology: The case of biophilic architecture. *Review of General Psychology, 11*(4), 305–328. https://doi.org/10.1037/1089-2680.11.4.305

Kalaycı Alas, D., & Korutürk, K. (2024). Exploring the impact of values education on sustainable environmental awareness and behavior among eighth-grade students. *Sustainability*, *16*(21), 9302. https://doi.org/10.3390/su16219302

Kellert, S. R., Heerwagen, J., & Mador, M. (2013). Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life. In *Amazon* (1st edition). Wiley. https://www.amazon.com/Biophilic-Design-Practice-Bringing-Buildings/dp/0470163348

Li, J., Liu, Z., Han, G., Demian, P., & Osmani, M. (2024). The relationship between artificial intelligence (AI) and building information modeling (BIM) technologies for sustainable building in the context of smart cities. *Sustainability*, *16*(24), 10848. https://doi.org/10.3390/su162410848

Mahdi Nejad, J.-D., & Asadpour, F. (2019). A strategy for sustainable development: Using nanotechnology for solar energy in buildings (Case study Parand Town). *Journal of Engineering and Technological Sciences*, *51*(1), 103–120. https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.1.7

Mahdinejad, J., Sharghi, A., & Asadpour, F. (2018). The Effects of Economic Factors on the Physical Structure of Sustainable Rural Housing [Paper presentation]. In *Proceedings of the 4th National Conference on Sustainable Architecture and Urban Planning* (Tehran, Iran). https://civilica.com/doc/872913[In Persian]

Mahmoudi, M. M. (2021). *Designing Educational Spaces with a Flexible Approach*. Tehran University Press. https://fidibo.com [In Persian]

Mehdinejad, J., & Shirdel, A. H. (2025). Analysis and ranking of the factors affecting the design of sustainable housing in the cold and dry climate of Iran on the

optimization of energy consumption: A case study of Sabzevar city. *Journal of Sustainable Architecture & Environment (JSAE, 6*, 1–10. https://sanad.iau.ir/en/Journal/jsae/Article/1126030 [In Persian]

Meiboudi, H., Lahijanian, A., Shafeian, M., & Ghoochani, O. M. (2016). Creating an integrative assessment system for green schools in Iran. *Journal of Cleaner Production, 119*, 236–246. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.004

Meiboudi, H., Lahijanian, A., Shobeiri, S. M., Jozi, S. A., & Azizinezhad, R. (2017). Development and validation of sustainability criteria of administrative green schools in Iran. *Journal of Environmental Management*, *197*, 605–609. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.045

Mi, Z. (2024). Sustainable architectural practices: Integrating green design, smart technologies, and ultra-low energy concepts. *Theoretical and Natural Science, 40*(1), 8–13. https://doi.org/10.54254/2753-8818/40/20240203

Michalos, A. C. (Ed.). (2014). Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research. *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5

Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The Journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, *106*(1), 213–228. https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5

Mulazzani, L., Piredda, L., Cerjak, M., & Camanzi, L. (2021). Consumer appreciation of a shark-free eco-label for small pelagics. *British Food Journal*, *123*(13), 88–104. https://doi.org/10.1108/bfj-10-2020-0899

Newberry, P., Harper, P., & Morgan, T. (2021). Understanding the market for eco self-build community housing. *Sustainability*, *13*(21), 11823. https://doi.org/10.3390/su132111823

Omrany, H., Chang, R., Soebarto, V., Zhang, Y., Ghaffarianhoseini, A., & Zuo, J. (2022). A bibliometric review of net zero energy building research 1995–2022. *Energy and Buildings*, 111996. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111996

Quevedo, T. C., Geraldi, M. S., Melo, A. P., & Lamberts, R. (2024). Benchmarking energy consumption in universities: A review. *Journal of Building Engineering*, *82*, 108185–108185. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108185

Rahaee, O., Salehi, S. S., and Shirdel, A. (2024). Improving the quality of natural ventilation in Masjedsoleiman's Schools' classrooms based on the openings' position and the outdoor shading blades with CFD Method. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, *12*(1), -. doi: 10.22061/jsaud.2024.10110.2179

Rodríguez-Gracia, D., Capobianco-Uriarte, M. de las M., Terán-Yépez, E., Piedra-Fernández, J. A., Iribarne, L., & Ayala, R. (2023). Review of artificial intelligence techniques in green/smart buildings. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, *38*, 100861. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100861

Salama, A. M., & Wilkinson, N. (Eds.). (2007). *Design studio pedagogy: Horizons for the future*. The University of Sheffield School of Architecture. https://www.ashrafsalamanet.net/pedagogy/design-studio-pedagogy-horizons-for-the-future

Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic

Books. https://doi.org/10.2307/2392894

Singgih, I. K., [other authors if available], & [last author]. (2025). Smart campus applications: A literature review on operations research and big data. *International Journal of Technology, 16*(3), 796. https://doi.org/10.14716/ijtech.v16i3.6803

Siwi, M. K., Djatmika, E. T., Mukhlis, I., Sumarsono, H., & Santoso, M. H. (2025). The evolution of sustainable development in higher education: A bibliometric analysis (2014–2024). *Multidisciplinary Reviews, 9*(1), 2026046. https://doi.org/10.31893/multirev.2026046

Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, *24*(4), 265–269. https://doi.org/10.1002/asi.4630240406

Stern, P. C. (2000). New environmental theories: Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Social Issues, 56*(3), 407–424. https://doi.org/10.1111/0022-4537.00175

Tomadon, L. da S., do Couto, E. V., de Vries, W. T., & Moretto, Y. (2024). Smart city and sustainability indicators: A bibliometric literature review. *Discover Sustainability, 5*(1), 143. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00328-w

Tucker, R., & Izadpanahi, P. (2017). Live green, think green: Sustainable school architecture and children's environmental attitudes and behaviors. *Journal of Environmental Psychology*, *51*, 209–216. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2017.04.003

Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science, 224*(4647), 420–421. https://doi.org/10.1126/science.6143402

United Nations. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Wang, K. (2024). Mapping the global knowledge landscape of digital transformation in the AEC industry: a scientometric analysis. *Engineering, Construction, and Architectural Management*. https://doi.org/10.1108/ecam-11-2023-1174

Zaballos, A., Briones, A., Massa, A., Centelles, P., & Caballero, V. (2020). A smart campus' digital twin for sustainable comfort monitoring. *Sustainability, 12*(21), 9196. https://doi.org/10.3390/su12219196

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, *18*(3), 429–472. https://doi.org/10.1177/1094428114562629