

# A Systematic Review of Natural Ventilation in Vernacular Architecture of Humid Temperate Climates

1. Pouya Fotovatian Ardabili<sup>ORCID</sup>: Department of Architecture, Cha.C., Islamic Azad University, Mazandaran, Iran

2. Seyed Yaser Mousavi<sup>ORCID</sup>\*: Department of Architecture, Ram.C., Islamic Azad University, Ramsar, Iran.

3. Ali Asgharzadeh<sup>ORCID</sup>: Department of Architecture, Cha.C., Islamic Azad University, Mazandaran, Iran

\*Corresponding Author's Email Address: seyedyasermousavi59@iau.ac.ir

**How to Cite:** Fotovatian Ardabili, P., Mousavi, S. Y., & Asgharzadeh, A. (2026). A Systematic Review of Natural Ventilation in Vernacular Architecture of Humid Temperate Climates. *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 4(2), 1-26.

---

## Abstract:

This study aimed to conduct a systematic and bibliometric review of research on natural ventilation in vernacular architecture of humid temperate climates to identify major research trends, dominant ventilation strategies, conceptual knowledge structures, and existing research gaps. A systematic review combined with bibliometric analysis was conducted. Data were retrieved from the Scopus database, and 2,280 publications published between 1978 and 2026 were analyzed. VOSviewer and Bibliometrix software were employed to examine publication trends, international scientific collaboration, citation patterns, keyword networks, and the conceptual structure of the field. The findings indicated that cross ventilation, accounting for 42% of identified strategies, was the most frequently used natural ventilation approach in vernacular buildings, whereas stack ventilation, with 16%, had the lowest occurrence. The field entered a phase of accelerated scientific growth after 2020. The highest average citation impact was observed in 2021, reaching 150 citations per article. China ranked first with 509 publications, while Iran contributed 40 publications with 30% international collaboration. Keyword analysis revealed that “natural ventilation,” “thermal comfort,” “computational fluid dynamics,” and “vernacular architecture” were the most influential research themes. The results demonstrate that vernacular natural ventilation strategies, particularly cross ventilation, can substantially improve thermal comfort, indoor air quality, and energy efficiency in humid temperate climates. Furthermore, integrating traditional climatic knowledge with advanced numerical simulation techniques offers a promising pathway toward sustainable and low-energy architectural design.

**Keywords:** Natural Ventilation, Vernacular Architecture, Humid Temperate Climate, Systematic Review, Thermal Comfort, Computational Fluid Dynamics.

---

Received: 21 January 2026

Revised: 31 May 2026

Accepted: 07 June 2026

Initial Publication: 08 June 2026

Final Publication: 22 June 2026



## مرور سیستماتیک بر تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب

۱. پویا فتوتیان اردبیلی<sup>ID</sup>؛ گروه معماری، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

۲. سید یاسر موسوی<sup>ID\*</sup>؛ گروه معماری، واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران. (نویسنده مسئول)

۳. علی اصغرزاده<sup>ID</sup>؛ گروه معماری، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

\*پست الکترونیک نویسنده مسئول: seyedyasermousavi59@iau.ac.ir

نحوه استناددهی: فتوتیان اردبیلی، پویا، یاسر موسوی، سید. و اصغرزاده، علی. (۱۴۰۵). مرور سیستماتیک بر تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب. تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۴(۲)، ۱-۲۶.

### چکیده

هدف این پژوهش، مرور سیستماتیک و تحلیل علم‌سنجی مطالعات مرتبط با تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب به منظور شناسایی روندهای پژوهشی، الگوهای غالب تهویه، ساختار مفهومی دانش و شکاف‌های تحقیقاتی موجود بود. این پژوهش با رویکرد مرور سیستماتیک و تحلیل علم‌سنجی انجام شد. داده‌ها از پایگاه Scopus گردآوری و تعداد ۲۲۸۰ مقاله منتشرشده در بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۶ مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای VOSviewer و Bibliometrix انجام شد و شاخص‌هایی نظیر روند انتشار، همکاری‌های علمی بین‌المللی، الگوهای استنادی، شبکه کلیدواژه‌ها و ساختار مفهومی حوزه پژوهش ارزیابی گردید. یافته‌ها نشان داد که تهویه متقابل با فراوانی ۴۲ درصد، رایج‌ترین راهکار تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب بوده و تهویه دودکشی با ۱۶ درصد کمترین کاربرد را داشته است. نتایج تحلیل زمانی بیانگر ورود این حوزه به دوره رشد شتابان از سال ۲۰۲۰ به بعد بود. بیشترین میانگین استناد به مقالات در سال ۲۰۲۱ برابر با ۱۵۰ استناد به ازای هر مقاله ثبت شد. چین با ۵۰۹ مقاله بیشترین سهم تولیدات علمی را به خود اختصاص داد و ایران با ۴۰ مقاله و ۳۰ درصد همکاری بین‌المللی در میان کشورهای فعال این حوزه قرار گرفت. تحلیل کلیدواژه‌ها نیز نشان داد که «تهویه طبیعی»، «آسایش حرارتی»، «دینامیک سیالات محاسباتی» و «معماری بومی» مهم‌ترین محورهای مطالعاتی این حوزه هستند. نتایج این مرور سیستماتیک نشان می‌دهد که بهره‌گیری از راهکارهای تهویه طبیعی به‌ویژه تهویه متقابل در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب می‌تواند نقش مؤثری در بهبود آسایش حرارتی، ارتقای کیفیت هوای داخل و کاهش مصرف انرژی ایفا کند. همچنین تلفیق دانش بومی با روش‌های نوین شبیه‌سازی و تحلیل عددی، ظرفیت بالایی برای توسعه معماری پایدار و کم‌مصرف در ساختمان‌های معاصر فراهم می‌آورد.

کلیدواژگان: تهویه طبیعی، معماری بومی، اقلیم معتدل و مرطوب، مرور سیستماتیک، آسایش حرارتی، دینامیک سیالات محاسباتی.

تاریخ دریافت: ۱ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۰ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۷ خرداد ۱۴۰۵

اولین انتشار: ۱۸ خرداد ۱۴۰۵

انتشار نهایی: ۱ تیر ۱۴۰۵



افزایش نیازهای جهانی به انرژی همراه با مسائل زیست‌محیطی، تهویه طبیعی را به عنصری مهم در طراحی ساختمان‌های پایدار تبدیل کرده است. بخش ساخت‌وساز مقادیر زیادی انرژی مصرف می‌کند و در عین حال گازهای گلخانه‌ای قابل توجهی را از طریق کاربرد گسترده سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) در ساختمان‌های مسکونی و تجاری تولید می‌نماید. (1, 2) ساختمان‌هایی که از فشار باد و نیروی شناوری حرارتی برای تهویه طبیعی استفاده می‌کنند، به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر برای خنک‌کردن و تهویه فضاها با به حداقل رساندن نیاز به سیستم‌های مکانیکی عمل می‌کنند. (3, 4) رویکرد طراحی تهویه طبیعی با شرایط اقلیمی مطابقت داشته و هم مزایای زیست‌محیطی و هم صرفه‌جویی انرژی را در مناطق با آب‌وهوای معتدل و فصلی به همراه دارد. (5) (6) اجرای سیستم‌های تهویه طبیعی مزایای متعددی از جمله کاهش مصرف انرژی، بهبود سلامت ساکنان و کاهش هزینه‌های عملیاتی را ارائه می‌دهد. ویژگی‌های کارآمد تهویه طبیعی از نظر مصرف انرژی، جایگزین مناسبی برای سیستم‌های تهویه مطبوع فراهم کرده و در نتیجه مصرف برق را در دوره‌های هوای گرم کاهش می‌دهد. مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های تهویه طبیعی می‌توانند دمای داخل ساختمان‌ها را در اقلیم‌های گرم تا ۵ درجه سلسیوس کاهش دهند، بنابراین شرایط آسایش را بدون نیاز به خنک‌سازی مکانیکی فراهم می‌کنند. (7, 8) این سیستم کیفیت هوای داخل ساختمان را بهبود می‌بخشد تا خطر مشکلات تنفسی ناشی از هوای راکد کاهش یابد. از آنجا که مردم اکنون زمان بیشتری را در داخل ساختمان‌ها می‌گذرانند، این مزیت بسیار حیاتی می‌شود، زیرا کیفیت هوای داخل مستقیماً بر سلامت و عملکرد کاری آن‌ها تأثیر می‌گذارد. (9) تأثیر فزاینده‌ای بر راهکارهای تهویه طبیعی دارد. ترکیب بادگیرها، آتریوم‌ها و دودکش‌های خورشیدی در بهینه‌سازی جریان هوا، حفظ کیفیت هوا و کنترل دمای داخلی در اقلیم‌های مختلف مؤثر بوده است. (10) برج‌های باد سستی خاورمیانه نشان می‌دهند که چگونه معماران می‌توانند سیستم‌های تهویه طبیعی را برای غلبه بر موانع خاص محیطی تعدیل کرده و آن‌ها را به عناصری ضروری در طراحی ساختمان پایدار تبدیل کنند. اهمیت دانش و حکمت نهفته در مسکن بومی در مواجهه با شرایط اقلیمی، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. معماری بومی، به‌ویژه در اقلیم‌های معتدل و مرطوب، راهکارهای ارزشمندی برای ایجاد آسایش حرارتی از طریق تهویه طبیعی ارائه می‌دهد که حاصل قرن‌ها تجربه و سازگاری با محیط زیست محلی است. با این وجود، هنوز یک مرور سیستماتیک بر ادبیات موجود در این زمینه انجام نشده است؛ مروری که نه تنها بتواند موانع موجود بر سر راه مطالعه عمیق‌تر رابطه میان مسکن بومی، اقلیم و انسان را در مناطق مختلف شناسایی کند، بلکه قادر به ارائه جهت‌گیری و پیشنهاداتی برای کاوش‌های آینده نیز باشد. در نتیجه، پژوهش حاضر به بررسی و سازماندهی متون مرتبط با پاسخگویی اقلیمی مسکن بومی با تأکید ویژه بر راهبردهای تهویه طبیعی در اقلیم معتدل و مرطوب با استفاده از روش علم‌سنجی متمرکز شده است تا بتواند زمینه را برای تحقیقات بعدی فراهم آورد. در این راستا، این مطالعه ابتدا مفاهیم مرتبط با تهویه طبیعی در معماری بومی را روشن ساخته و سپس روش‌های تحقیق رایج در این حوزه را معرفی نموده است. علاوه بر این، این پژوهش رایج‌ترین روش‌های تحقیق، فرآیندهای ارزیابی عملکرد تهویه و نتایج مختصر متناظر با هر روش را از طریق تحلیل‌های علم‌سنجی نظیر هم‌تألفی، هم‌واژگانی و تحلیل استنادی معرفی کرده است. در نهایت، شکاف‌های تحقیقاتی موجود در این زمینه تعریف شده و پیشنهاداتی برای اکتشافات آینده ارائه گردیده است. از آنجایی که پژوهش‌های زیادی در زمینه تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب انجام شده است، بهره‌گیری از یک مرور سیستماتیک مبتنی بر رویکرد علم‌سنجی می‌تواند گپ‌های علمی موجود در این زمینه را به طور مؤثری شناسایی کند. شایان ذکر است که پژوهش کاملی از مقالات موجود و تحلیلی جامع درباره رویکردهای

تحقیقاتی حوزه تهویه طبیعی مسکن بومی به ویژه از منظر تهویه طبیعی انجام نشده است. بنابراین، برای تعریف وضعیت پژوهش‌های کنونی، ارزیابی پویایی دانش در زمینه سازگاری اقلیم در مسکن بومی، بررسی و بهره‌گیری از نتایج تحقیقات صورت‌گرفته، و جهت هدایت پژوهش‌های آینده، انجام یک مرور سیستماتیک علم‌سنجی از ادبیات این حوزه ضروری به نظر می‌رسد. سؤال پژوهش حاضر به شرح زیر است:

• وضعیت کنونی دانش، روندهای موضوعی، شکاف‌های پژوهشی و رویکردهای روش‌شناختی در حوزه تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب چگونه است؟

• روند زمانی و جغرافیایی انتشارات علمی در حوزه تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب چگونه است؟

• پراستنادات ساختار مفهومی و هم‌واژگانی این حوزه (کلیدواژه‌های پرتکرار و خوشه‌های موضوعی) چیست؟

• پراستنادترین مقالات، مجلات، نویسندگان و کشورهای فعال در این حوزه کدام‌اند؟

هدف از این پژوهش پاسخ به سؤالات است که سعی شده است با استفاده از روش علم‌سنجی و نرم‌افزار VOSviewer و RStudio، زبان برنامه‌نویسی R با کتابخانه بیبلیوشینی به بررسی پژوهش‌های اخیر بپردازد.

## مبانی نظری

بخش ساختمان‌ها و ساخت‌وساز در مجموع ۳۰٪ از کل مصرف نهایی انرژی جهانی و ۲۷٪ از کل انتشارات بخش انرژی را به خود اختصاص می‌دهند (7). (11) یکی از عوامل مهم در این تأثیر، عملکرد ساختمان‌ها است که شامل مصرف انرژی برای روشنایی، گرمایش، سرمایش و تهویه می‌شود. (12, 13) در مقابل سازه‌های معاصر که برای این عملکردها به سیستم‌های مکانیکی و منابع انرژی تجدیدناپذیر متکی هستند، معماری بومی ویژگی‌های طراحی زیست‌اقلیمی و غیرفعال را به نمایش می‌گذارد. (14-16) برای نمونه، معماری سنتی در اقلیم‌های گرمسیری اغلب دارای سازه‌های مرتفع، برآمدگی‌های گسترده، بازشوهای متعدد و چوب‌های سبک و بومی برای مقابله با شرایط گرم و مرطوب است. در مقابل، خانه‌های بومی در مناطق کویری معمولاً دارای دیوارهای ضخیم عایق‌بندی‌شده، پنجره‌های کوچک، حیاط‌های سایه‌دار و استفاده از مصالح بومی مانند خشت یا گل برای سازگاری با محیط خود هستند. چنین نمونه‌هایی نشان می‌دهند که چگونه معماری بومی می‌تواند به گونه‌ای طراحی شود که با اقلیم و منابع محیطی خود هماهنگ باشد تا به جای اتکای شدید به ابزارهای مصنوعی برای کنترل محیط داخلی، عمل کند. (17) در بحبوحه بحران انرژی کنونی و تغییرات اقلیمی، حکمت طراحی زیست‌اقلیمی و غیرفعال نهفته در معماری بومی به طور فزاینده‌ای به عنوان منابع ارزشمند الهام برای ایجاد یک جامعه پایدار شناخته می‌شود. (18-20)

## شناخت معماری بومی

نخستین اصطلاحی که برای توصیف این گونه معماری به کار رفت، «معماری خودجوش» بود که توسط پاگونه مطرح گردید. منظور از «خودجوش» در اینجا تصادفی بودن نیست، بلکه ماهیت طبیعی و برخاسته از بستر زیست‌محیطی آن است. (21) در معماری بومی، افزون بر طبیعت و بستر جغرافیایی، فرهنگ نیز در گذر زمان نقشی اساسی در شکل‌دهی به ساختارهای معماری ایفا کرده است. ذات معماری بومی بر پایه احترام به دو نوع ارتباط بنیادین استوار است: از یک سو ارتباط با محیط فرهنگی که شامل نظام ارزش‌های فرهنگی، الگوهای رفتاری و هنجارهای جاری در جامعه است، (22) و از سوی دیگر ارتباط با محیط طبیعی

که مجموعه داده‌های سرزمین را دربرمی‌گیرد؛ داده‌هایی که هم به‌عنوان ابزار فکری و هم ابزار عملی عمل می‌کنند، و مفاهیمی چون رنگ، اندازه، تناسب، مصالح و اجزای ساختمانی را شامل می‌شوند. (23)


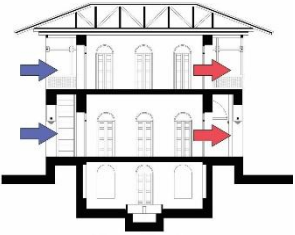

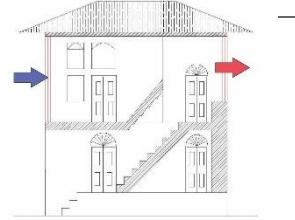








### • تهویه طبیعی

تهویه طبیعی به‌عنوان یک راهبرد حیاتی طراحی زیست‌اقلیمی، نقش مهمی در تنظیم محیط داخلی معماری بومی ایفا می‌کند. (24, 25) معماری بومی با در نظر گرفتن عواملی مانند چیدمان ساختمان، بازشوها و اجزاء، به‌طور مؤثر از اختلاف دما و اختلاف فشار هوا برای به حرکت درآوردن تهویه طبیعی استفاده می‌کند و گردش و تجدید هوا را تسهیل می‌نماید. همزمان، جریان هوا با سرعت معین به افزایش انتقال حرارت همرفتی و دفع گرمای تبخیری از بدن انسان کمک می‌کند. این فرآیند باعث خنک‌سازی فیزیولوژیک شده و در نتیجه آسایش حرارتی ساکنان معماری بومی را افزایش می‌دهد. (20). (22, 26) جالب آنکه محبوبیت تهویه طبیعی فراز و نشیب‌هایی داشته است. در جوامع بومی، تهویه طبیعی به‌عنوان یک رویکرد زیست‌اقلیمی عملی برای بهبود آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل مورد استقبال قرار گرفت. با این حال، با ظهور صنعتی شدن و گسترش تهویه مطبوع، توجه به تهویه طبیعی کاهش یافت. (27) این تغییر ناشی از تحولات در طراحی معماری و تغییر نگرش‌های اجتماعی و فرهنگی نسبت به کنترل اقلیم داخلی بود. (28) در حال حاضر، تأکید دوباره‌ای بر مزایای تهویه طبیعی، به‌ویژه از نظر پاسخگویی به اقلیم و مشارکت در پایداری، وجود دارد. (29)

درک جامع از راهکارهای طراحی تهویه زیست‌اقلیمی در معماری بومی برای پذیرش مدرن چنین راهبردهای تهویه طبیعی ضروری است. این موضوع توجه فزاینده‌ای را میان پژوهشگران به خود جلب کرده است. با این حال، تنها تعداد معدودی از مرورهای موجود در ادبیات پیشین به تهویه طبیعی در معماری بومی پرداخته‌اند. این شامل آثاری می‌شود که تهویه طبیعی را در کنار سایر راهبردهای طراحی غیرفعال مدنظر قرار داده‌اند. جدول ۱ خلاصه‌ای از موضوعات مطرح‌شده در مرورهای مرتبط را ارائه می‌دهد. بیشتر این مرورها تمایل دارند بر جنبه‌های منفرد راهبردهای ساختمانی برای تهویه تمرکز کنند، از جمله حیاطها (23) و فضاهای زیرزمینی (30) در سطح فضایی، مشربیه (31) در سطح پوسته، و بادگیرها (32, 33) در سطح اجزاء. علاوه بر این، بیشتر مرورهایی که بر تهویه طبیعی در معماری بومی متمرکز بوده‌اند، معمولاً به اقلیم‌ها یا مناطق خاصی محدود می‌شدند. اگرچه راهبردهای طراحی تهویه زیست‌اقلیمی متناسب با شرایط اقلیمی و زمینه‌های فرهنگی خاص تدوین می‌شوند، اما ضروری است که بدانیم دانش و تکنیک‌های نهفته در آن‌ها می‌توانند به صورت جهانی - چه به صورت مجزا و چه در ترکیب با یکدیگر - برای دستیابی به اهداف مشابه تهویه طبیعی تطبیق داده شده و مورد استفاده قرار گیرند. برای نمونه، معماران و مهندسان معاصر، بادگیرهایی را با الهام از معماری بومی خاورمیانه در سیستم‌های تهویه ساختمان‌های عمومی در بریتانیا، ایالات متحده و هند ادغام کرده‌اند. (33) در نتیجه، با توجه به کاربرد جهانی کهن الگوها یا اصول پشت این راهبردها، نیاز فوری به یک مرور جامع از راهکارهای طراحی تهویه در معماری بومی در اقلیم‌ها و مناطق مختلف وجود دارد.

تهویه طبیعی وابسته به شرایط بیرونی است (34)، زیرا معمولاً در اثر شیب فشار و اثر دودکشی رخ می‌دهد. با توجه به تنوع موارد، می‌توان طبقه‌بندی زیر را برای تهویه طبیعی ارائه داد: (5) ۱) تهویه یک‌طرفه؛ (۲) تهویه متقابل؛ و (۳) تهویه دودکشی. جدول ۱ نمونه‌ای از خانه‌های بومی در استان مازندران را نشان می‌دهد که به صورت شماتیک به سه مدل تهویه طبیعی تقسیم‌بندی شده است.

جدول ۱- خانه‌های مازندران و نوع تهویه

نام خانه	شهر	نوع تهویه	تصویر خانه بومی	مقطع
خانه صیامی	بهشهر	تهویه متقابل		
خانه سردار جلیل	ساری	تهویه متقابل		
خانه شهریاری	بهشهر	تهویه یک‌طرفه		
خانه حاج میرزا	نور	تهویه دودکشی		
عمارت فاضلی	ساری	تهویه متقابل		
عمارت کلبادی	ساری	تهویه یک‌طرفه		



بررسی هفت نمونه از خانه‌های بومی در اقلیم معتدل و مرطوب سواحل جنوبی دریای خزر شهرهای بهشهر، ساری، نور و آمل نشان می‌دهد که معماران بومی برای تأمین آسایش، از ترکیبی از سه نوع اصلی راهکار تهویه طبیعی بهره گرفته‌اند: تهویه متقابل، تهویه یک‌طرفه و تهویه دودکشی. از میان نمونه‌های بررسی شده، سه خانه، خانه صیامی در بهشهر، خانه سردار جلیل و عمارت فاضلی در ساری از تهویه متقابل استفاده کرده‌اند که با ایجاد بازشو در دو جبهه متقابل ساختمان، امکان جریان هوای عرضی و خارج‌سازی رطوبت انباشته شده را فراهم می‌کند. این راهکار با اقلیم مرطوب که نیاز به جریان دائمی هوا برای جلوگیری از قارچ و تعریق سطوح دارد، تطابق کامل دارد. در مقابل، سه خانه دیگر، خانه شهریاری در بهشهر، عمارت کلبادی در ساری و خانه ملک در آمل صرفاً به تهویه یک‌طرفه مجهز شده‌اند که در آن بازشوها تنها در یک جبهه ساختمان قرار گرفته و جریان هوا به شدت به سرعت و جهت باد بیرون وابسته است. این نوع تهویه در اقلیم مرطوب کارایی کمتری دارد، مگر آنکه ساختمان در مسیر بادهای غالب دائمی واقع شده باشد. نکته قابل تأمل اینکه علی‌رغم نیاز اقلیم مرطوب به تهویه قوی، معماری بومی این منطقه در نیمی از نمونه‌ها به تهویه یک‌طرفه بسنده کرده است که احتمالاً به دلیل محدودیت در همسایگی، جهت‌گیری نامناسب زمین یا اولویت حفظ حریم خصوصی بوده است.

کم‌تکرارترین راهکار مشاهده شده، تهویه دودکشی است که فقط در یک نمونه، خانه حاج میرزا در شهر نور، ثبت شده است. در این روش، اختلاف فشار ناشی از اختلاف دما بین پایین و بالای ساختمان اغلب با کمک یک دودکش مرتفع یا نورگیر، هوا را به سمت بالا مکش کرده و خروج هوای گرم و مرطوب را تسهیل می‌کند. کمیابی این راهکار در اقلیم معتدل و مرطوب مازندران را می‌توان به دو دلیل توجیه کرد: نخست اینکه دامنه دمایی روزانه در این اقلیم محدود است و اختلاف دمای عمودی کافی برای ایجاد مکش قوی ایجاد نمی‌شود؛ دوم اینکه رطوبت بالای هوا، اثر خنک‌کنندگی تبخیری را تقریباً حذف می‌کند و تهویه دودکشی عمدتاً در اقلیم‌های گرم و خشک مؤثرتر است. از منظر مرور سیستماتیک، مهم‌ترین نقص جدول حاضر عدم وجود داده‌های کمی عملکردی است. برای قضاوت علمی درباره اینکه کدام نوع تهویه در اقلیم معتدل و مرطوب کارآمدتر است، باید متغیرهایی نظیر سطح مؤثر بازشوها نسبت به سطح کف، جهت‌گیری ساختمان نسبت به بادهای غالب، نرخ تعویض هوا ثبت می‌شد. در اقلیم معتدل و مرطوب مازندران، الگوی غالب در معماری بومی تهویه متقابل است که با نیاز به خروج رطوبت و برقراری جریان هوای مطلوب همخوانی دارد. جدول ۲ به برخی از مطالعات در حوزه تهویه طبیعی و مسکن بومی پرداخته شده است.

جدول ۲- برخی از مرورهای گزارش شده در مورد طراحی تهویه اقلیمی در معماری بومی

منبع	نوع مسکن	عملکرد بررسی شده	راهکارهای طراحی غیرفعال	منطقه/اقلیم
(35)	تکنیک‌های تهویه اقلیمی خانه‌های بومی مختلف در چین	عملکرد تهویه	تهویه طبیعی	چین
(36)	مسکن سنتی	راهکارهای غیرفعال	درصد پوشش نما، عمق، نسبت پنجره به دیوار و تخلخل صفحه‌های مشبک	تهران، ایران
(37)	مسکن بومی پناه در خاک	عملکرد تهویه	جهت‌گیری، پیکربندی بازشو	سمنان، ایران
(38)	مسکن بومی کوهپایه‌های غربی پکن	عملکرد تهویه	راهکارهای اقلیمی	پکن، چین
(30)	طراحی، انواع و عملکردهای عنصر معماری سنتی	تهویه طبیعی	عملکرد حرارتی، کیفیت هوا	-
(22)	در خانه‌های بومی ارائه و راهکارهای اقلیمی برای آسایش داخلی	راهکارهای اقلیمی	تهویه طبیعی	سراسر جهان
(31)	ساختمان‌های سنتی زیرزمینی	تهویه طبیعی	عملکرد حرارتی، کیفیت هوا	سراسر جهان
(33)	مسکن سنتی	عملکرد تهویه طبیعی	تهویه طبیعی	-
(32)	مسکن سنتی	عملکرد حرارتی، کیفیت هوا	تهویه طبیعی	سراسر جهان
(9)	عناصر بومی	عملکرد حرارتی	تهویه طبیعی	اقلیم‌های گرمسیری

این جدول به مرور مطالعات انجام شده در مورد طراحی تهویه مبتنی بر اقلیم در معماری بومی آن می‌پردازد. هر سطر نشان می‌دهد که کدام پژوهشگر در چه سالی، در چه اقلیم و منطقه‌ای، کدام راهکار غیرفعال همچون تهویه طبیعی را بررسی کرده و چه عملکردی را ارزیابی نموده است. درک جامع از طراحی‌های تهویه اقلیمی در معماری بومی برای پذیرش مدرن این گونه راهکارهای تهویه طبیعی ضروری است. این موضوع مورد توجه روزافزون پژوهشگران قرار گرفته است. با این حال، تنها تعداد معدودی مرور در ادبیات پیشین در مورد تهویه طبیعی در معماری بومی انجام شده است. این شامل آثاری می‌شود که تهویه طبیعی را همراه با سایر راهکارهای طراحی غیرفعال مدنظر قرار داده‌اند.

### روش تحقیق

در این مطالعه، یک مرور سیستماتیک با استفاده از معیارها و کلیدواژه‌های مشخص انجام شد تا تمامی تحقیقات موجود در ادبیات مرتبط با هدف پژوهش جمع‌آوری گردد. این روش امکان فراهم‌آوری شواهد مربوط به یک موضوع خاص را می‌دهد؛ شواهدی که هم با معیارهای واجد شرایط از پیش تعیین شده مطابقت دارند و هم می‌توانند پاسخ‌های روشنی به سؤالات پژوهشی فرمول‌بندی شده ارائه دهند. (39, 4)

این تحقیق با هدف مرور علم‌سنجی مرور سیستماتیک بر تهویه طبیعی در معماری بومی اقلیم معتدل و مرطوب طراحی شده است. در این مطالعه، از رویکرد مرور سیستماتیک برای جستجو، جمع‌آوری و تحلیل دقیق ادبیات موجود در زمینه تهویه طبیعی خانه‌های بومی اطراف سواحل خزر و استان مازندران بوده است. این روش یک رویکرد جامع و ساختارمند برای ترکیب ادبیات فراهم می‌آورد که از طریق هدایت شناسایی، غربالگری و گنجاندن مطالعات مرتبط، عمل می‌کند. (40) نیاز به مرورهای سیستماتیک به دلیل نگرانی‌ها در مورد سوگیری در مرورهای سنتی ایجاد شد که معمولاً فاقد روش‌شناسی‌های ساختارمند بودند. (41, 4)

تحلیل بیبلیومتریک دیدگاه کمی مکملی را فراهم می‌آورد که روندهای تحقیقاتی، شبکه‌های فکری و تکامل مشارکت‌های علمی در یک حوزه را ترسیم می‌کند. (8) ریشه‌های تحلیل بیبلیومتریک به دهه ۱۹۵۰ بازمی‌گردد، جایی که بحث‌های اولیه بر تحلیل ارجاع‌ها و نقشه‌برداری علمی متمرکز بود. (41, 8) در ابتدا، مقالات از پایگاه داده اسکاپوس شناسایی شدند. فرآیند واجد شرایط بودن بر اساس علم‌سنجی در تصویر ۱ نشان داده شده است. در بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۶، تعداد ۲۲۸۰ مقاله علمی در حوزه تهویه طبیعی در معماری بومی منتشر شده است. این مقالات توسط ۴۸۸۷ نویسنده نگارش یافته و از دو منبع مختلف استخراج شده‌اند. نرخ رشد سالانه این تولیدات علمی ۱۰.۲۵ درصد بوده است که نشان‌دهنده روندی صعودی و فزاینده در سال‌های اخیر است. از مجموع مقالات، ۱۴۹ مقاله به صورت تک‌نویسنده و مابقی به صورت همکاری چندنفره تألیف شده‌اند. به طور متوسط، هر مقاله توسط ۳.۸۳ نویسنده نوشته شده است. همچنین ۲۷.۸۱ درصد از کل مقالات با همکاری نویسندگان بین‌المللی منتشر شده‌اند که بیانگر گستردگی شبکه‌های علمی فراملی در این حوزه است. در مجموع، ۹۶۷۴ کلیدواژه (شناسه‌های پلاس) توسط نویسندگان به مقالات اختصاص یافته است. میانگین سن مقالات ۹.۱۱ سال و میانگین استناد به هر سند ۳۹.۰۶ ارجاع است که نشان از تأثیرگذاری نسبتاً مطلوب این آثار در جامعه علمی دارد.

در جدول ۳ جمع‌بندی خروجی‌های پژوهش مشخص شده است.

جدول ۳. جمع‌بندی خروجی‌های پژوهش

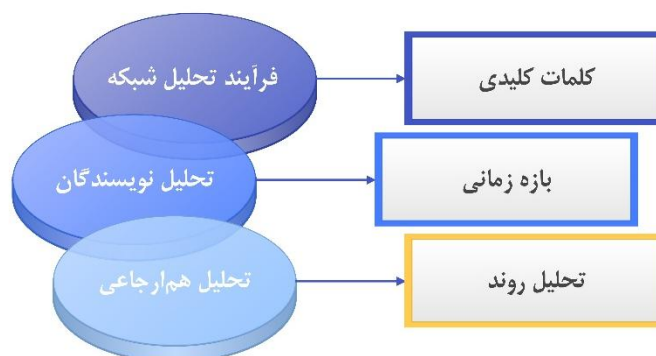
توضیحات	نتایج
۱۹۷۸:۲۰۲۶	بازه زمانی
۴۸۸۷	نویسندگان
۲۲۸۰	مقاله
۲۷.۸۱	همکاری‌های بین‌المللی (درصد)
۳.۸۳	همکاران در هر سند
۱۴۹	مدارک تک‌نویسنده
۹۶۷۴	کلیدواژه‌های پلاس (ID)
۱۰.۲۵	نرخ رشد سالانه (درصد)
۹.۱۱	میانگین سن مدارک
۳۹.۰۶	میانگین استنادات در هر سند

در نهایت، تحلیل نتایج بیبلیومتریک به دست آمده از طریق ابزارهای نرم‌افزاری VOSviewer و Bibliometrix انجام می‌شود. این ابزارها به طور خاص برای تحلیل و تجزیه و تحلیل داده‌های بیبلیومتریک و شبیه‌سازی روابط میان مقالات و نویسندگان طراحی شده‌اند. اولین مرحله در فرایند ارزیابی، تعیین دامنه و قلمرو آن است که پیش از آغاز جستجوی اصلی صورت می‌پذیرد. این مرحله با تکیه بر گفت‌وگوهای مستمر میان نویسندگان و همزمان با جستجوی منابع، بار دیگر اصلاح و نظام‌مند می‌شود. تعریف این مرحله شامل شناسایی پایگاه‌های داده مرتبط، ترسیم چارچوب کلی پژوهش، انتخاب واژگان تخصصی برای جستجو، و بررسی تمامی پایگاه‌های داده مرتبط است. بر اساس جستجوهای مقدماتی و اکتشافی، پایان‌نامه‌ها، مقالات و کتاب‌های لاتین به عنوان منابع اصلی جستجو انتخاب گردیدند.

01	گام اول	تحلیل استنادی به منظور ارزیابی تأثیر کلیدواژگان در مقالات	💡
02	گام دوم	تحلیل هم‌نویسندگی برای بررسی شبکه‌های همکاری میان نویسندگان و نهادها	🔍
03	گام سوم	تحلیل هم‌رخدادی واژگان کلیدی برای ترسیم روندهای موضوعی پژوهش	❓
04	گام چهارم	تحلیل هم‌ارجاعی و هم‌نویسی اسناد برای کشف ساختار فکری حوزه پژوهشی	🔄

### تصویر ۱- فرآیند پژوهش

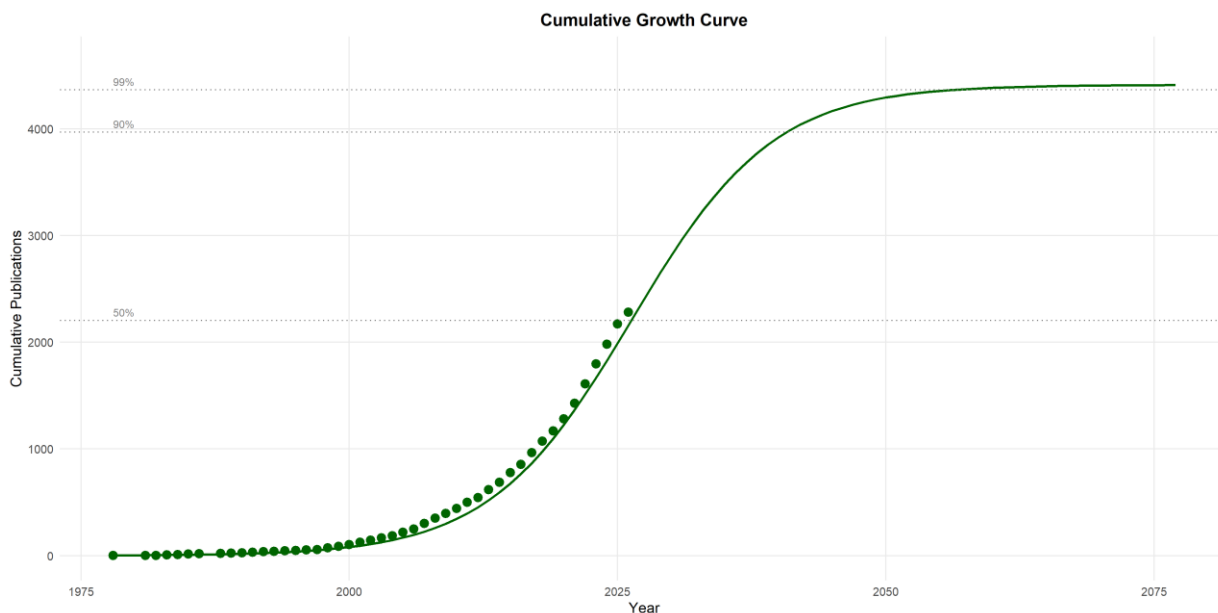
برای شناسایی مفاهیم و موضوعات مرتبط با بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها، تحلیل شبکه کلمات کلیدی مبتنی بر خروجی نرم‌افزار VOSviewer انجام شد. در این فرایند، کلمات کلیدی و پیوندهای میان آنها با رویکرد کدگذاری باز مورد ارزیابی قرار گرفته و آن دسته از کلیدواژه‌هایی که از فراوانی بالا و قدرت ارتباط قابل توجهی برخوردار بودند، استخراج گردیدند.



تصویر ۲- گام‌های تحلیل مروری سیستماتیک

### یافته‌های پژوهش

تصویر ۳، روند رشد پژوهش‌ها در بین بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۶ مشخص شده است. همکاری‌های علمی بین‌المللی را در حوزه تحقیقاتی مورد نظر نمایش می‌دهد و مقایسه‌ای از مشارکت کشورهای مختلف در قالب مقالات یک‌کشوری (SCP) و چندکشوری (MCP) ارائه می‌کند. این نمودار میزان همکاری‌های علمی و تحقیقاتی بین‌المللی کشورهای مختلف را با استفاده از تعداد مقالات منتشرشده در این حوزه نشان می‌دهد.



تصویر ۳، روند رشد پژوهش‌ها

جدول ۴- پژوهش‌ها بر اساس تعداد مقالات در هر کشور

کشور	درصد همکاری‌های بین‌المللی	مقالاتی که نویسندگان آن از چندین کشور	مقالاتی که تمام نویسندگان آن از یک کشور	درصد مقالات	تعداد مقالات
CHINA	۲۴.۸	۱۲۶	۳۸۳	۲۲.۳	۵۰۹
UNITED KINGDOM	۲۴.۵	۴۷	۱۴۵	۸.۴	۱۹۲
USA	۲۲.۳	۳۳	۱۱۵	۶.۵	۱۴۸
SPAIN	۳۰.۲	۲۶	۶۰	۳.۸	۸۶
ITALY	۳۴.۷	۲۵	۴۷	۳.۲	۷۲
AUSTRALIA	۴۰.۹	۲۷	۳۹	۲.۹	۶۶
JAPAN	۳۵.۴	۲۳	۴۲	۲.۹	۶۵
HONG KONG	۵۱.۶	۳۲	۳۰	۲.۷	۶۲
BRAZIL	۴۴.۷	۲۱	۲۶	۲.۱	۴۷
PORTUGAL	۱۹.۱	۹	۳۸	۲.۱	۴۷
KOREA	۲۸.۳	۱۳	۳۳	۲	۴۶
INDIA	۲۸.۶	۱۲	۳۰	۱.۸	۴۲
IRAN	۳۰	۱۲	۲۸	۱.۸	۴۰
SINGAPORE	۱۷.۵	۷	۳۳	۱.۸	۴۰
CANADA	۲۰.۵	۸	۳۱	۱.۷	۳۹
DENMARK	۴۳.۲	۱۶	۲۱	۱.۶	۳۷
FRANCE	۲۷.۳	۹	۲۴	۱.۴	۳۳
BELGIUM	۲۸.۱	۹	۲۳	۱.۴	۳۲
GERMANY	۵۲	۱۳	۱۲	۱.۱	۲۵

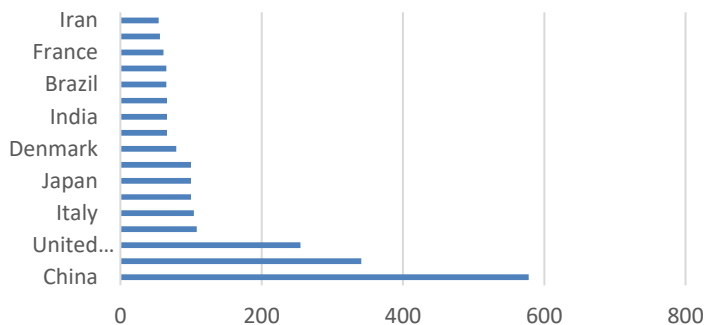
بر اساس داده‌های جدول، چین با انتشار ۵۰۹ مقاله (۲۲.۳٪ از کل مقالات) بالاترین سهم را در این حوزه دارد و بیشترین تعداد مقالات خود (۳۸۳ مقاله) را به صورت یک‌کشوری منتشر کرده است. درصد همکاری‌های بین‌المللی چین ۲۴.۸٪ است که در مقایسه با حجم بالای تولیدات علمی آن، رقم نسبتاً متوسطی محسوب می‌شود.

پس از چین، بریتانیا با ۱۹۲ مقاله (۸.۴٪) و آمریکا با ۱۴۸ مقاله (۶.۵٪) در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. هر دو کشور نیز الگوی مشابه چین را دنبال کرده و بیشتر مقالات خود را به صورت یک‌کشوری منتشر کرده‌اند (به ترتیب ۱۴۵ و ۱۱۵ مقاله). درصد همکاری بین‌المللی بریتانیا ۲۴.۵٪ و آمریکا ۲۲.۳٪ است. نکته قابل توجه، عملکرد هنگ‌کنگ با ۵۱.۶٪ همکاری بین‌المللی است که بالاترین درصد را در میان کشورهای فهرست دارد. از ۶۲ مقاله منتشر شده توسط هنگ‌کنگ، ۳۲ مقاله به صورت چندکشوری و ۳۰ مقاله یک‌کشوری بوده است. این نشان‌دهنده رویکرد بسیار باز این منطقه به همکاری‌های علمی بین‌المللی است.

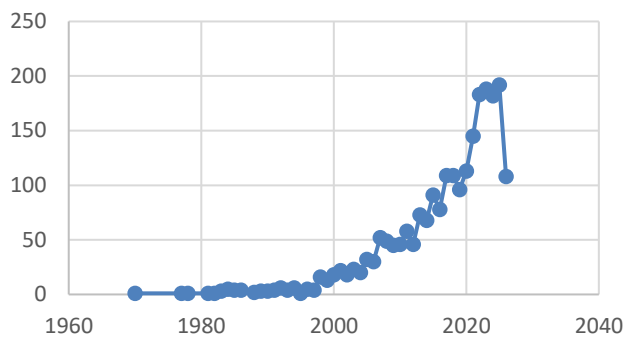
آلمان با ۵۲٪ همکاری بین‌المللی (۱۳ مقاله چندکشوری از ۲۵ مقاله) در رتبه دوم از نظر درصد همکاری قرار دارد، هرچند حجم تولیدات علمی آن نسبتاً کم است. استرالیا (۴۰.۹٪)، برزیل (۴۴.۷٪)، دانمارک (۴۳.۲٪) و ایتالیا (۳۴.۷٪) نیز درصدهای بالایی از همکاری بین‌المللی را نشان می‌دهند. در مقابل، سنگاپور با ۱۷.۵٪ (۷ مقاله چندکشوری از ۴۰ مقاله) و پرتغال با ۱۹.۱٪ (۹ مقاله چندکشوری از ۴۷ مقاله) پایین‌ترین درصد همکاری بین‌المللی را دارند. این کشورها علی‌رغم تولیدات علمی نسبتاً قابل قبول، تمایل کمتری به همکاری‌های فراملی نشان داده‌اند. ایران با ۴۰ مقاله (۱.۸٪ از کل مقالات) و ۳۰٪ همکاری بین‌المللی (۱۲ مقاله چندکشوری) در جایگاه سیزدهم جدول قرار دارد. این درصد همکاری در سطح متوسط رو به بالا ارزیابی می‌شود و نشان‌دهنده حضور فعال محققان ایرانی در شبکه‌های علمی بین‌المللی است.

در جمع‌بندی کلی، می‌توان نتیجه گرفت که کشورهای با حجم تولیدات علمی بالا (چین، بریتانیا، آمریکا) بیشتر بر مقالات یک‌کشوری تکیه دارند، در حالی که کشورهای کوچک‌تر یا با اقتصاد پیشرفته‌تر (هنگ‌کنگ، آلمان، دانمارک، استرالیا) سهم بیشتری از همکاری‌های بین‌المللی را به خود اختصاص داده‌اند. این الگو نشان می‌دهد که همکاری بین‌المللی می‌تواند راهبردی مؤثر برای کشورهای با حجم تولید علمی محدودتر به منظور افزایش دیده‌شدن و تأثیرگذاری پژوهش‌هایشان باشد.

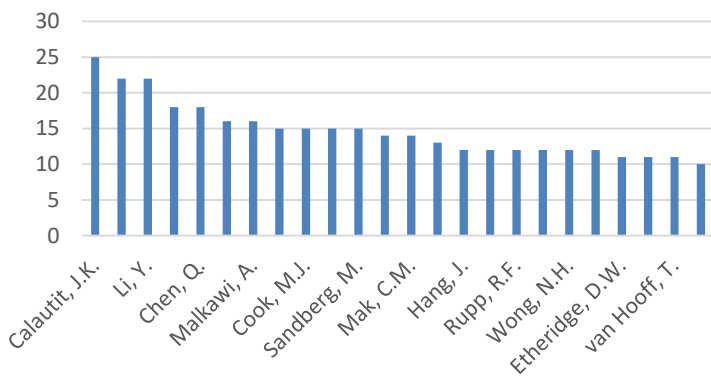
تعداد مقالات در هر کشور



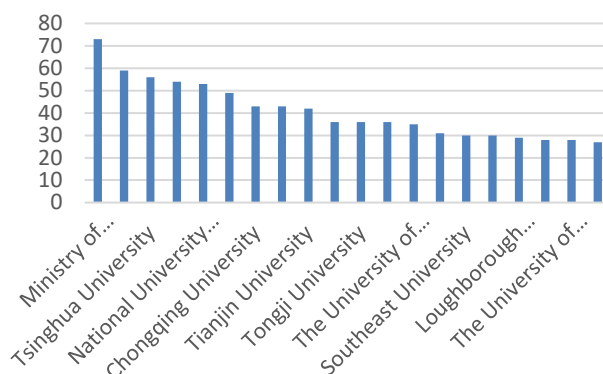
تعداد مقالات در سال



نویسندگان برتر



موسسات و دانشگاهها



#### تصویر ۴- تحلیل یافته‌های پژوهش بر اساس تعداد مقالات

بررسی روند انتشار مقالات در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۶ نشان می‌دهد که این حوزه تحقیقاتی سه دوره متمایز را پشت سر گذاشته است. دوره نخست، که از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۹ ادامه داشته، دوره پیدایش و توجه محدود به موضوع محسوب می‌شود. در این سال‌ها، تعداد مقالات منتشرشده در بیشتر سال‌ها کمتر از ۱۰ مقاله بوده و نخستین مقاله در سال ۱۹۷۰ ثبت شده است. میانگین مقالات در این دوره حدود ۵ مقاله در سال است. دوره دوم، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، دوره رشد تدریجی و تثبیت موضوع نام دارد. در این مرحله، تعداد مقالات از ۱۸ مقاله در سال ۲۰۰۰ به تدریج افزایش یافته و در سال ۲۰۱۹ به ۹۶ مقاله می‌رسد. میانگین تعداد مقالات در این دوره حدود ۵۰ تا ۶۰ مقاله در سال است که نشان‌دهنده افزایش آرام اما مستمر علاقه پژوهشگران به این حوزه است.

دوره سوم، از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶، دوره رشد شتابان و جهش کمی در تولیدات علمی است. در این سال‌ها، تعداد مقالات با رشد چشمگیری مواجه شده و از ۱۱۳ مقاله در سال ۲۰۲۰ به اوج خود در سال ۲۰۲۵ با ۱۹۲ مقاله می‌رسد. هرچند داده‌های سال ۲۰۲۶ نشان‌دهنده ۱۰۸ مقاله است، اما این کاهش به دلیل ناقص بودن آمار تا پایان سال ارزیابی می‌شود و پیش‌بینی می‌رود تعداد نهایی مقالات در این سال به بیش از ۲۰۰ مقاله برسد. میانگین مقالات در این دوره حدود ۱۵۹ مقاله در سال است که نسبت به دوره قبل بیش از دو برابر افزایش را نشان می‌دهد. در مجموع، روند صعودی انتشارات در این حوزه نشان‌دهنده تبدیل شدن آن به یکی از موضوعات پربازده و مورد توجه جامعه علمی در سال‌های اخیر است. نرخ رشد قابل توجه به ویژه از سال ۲۰۲۰ به بعد، بیانگر تداوم این روند و افزایش بیشتر تولیدات علمی در آینده نزدیک است. اجرای سیستم‌های تهویه طبیعی مزایای متعددی از جمله صرفه‌جویی در انرژی و بهبود کیفیت هوا را به همراه

دارد، اما برای مدیریت دشواری‌های گوناگون نیازمند راه‌حل‌های مناسب است. موانع اصلی بر سر راه عملکرد تهویه طبیعی شامل تغییرپذیری عوامل محیطی، محدودیت‌های چیدمان ساختمان و نیاز به ایجاد تعادل بین آسایش حرارتی با کاهش سر و صدا و الزامات حفظ حریم خصوصی و ایمنی است. طراحی سیستم تهویه طبیعی برای محیط‌های ساختمانی پایدار مستلزم درک هر دو جنبه پیچیده مزایا و چالش‌هایی است که در شکل ۲ نشان داده شده است. جدول ۵ پژوهش‌ها بر اساس هر سال مشخص شده است.

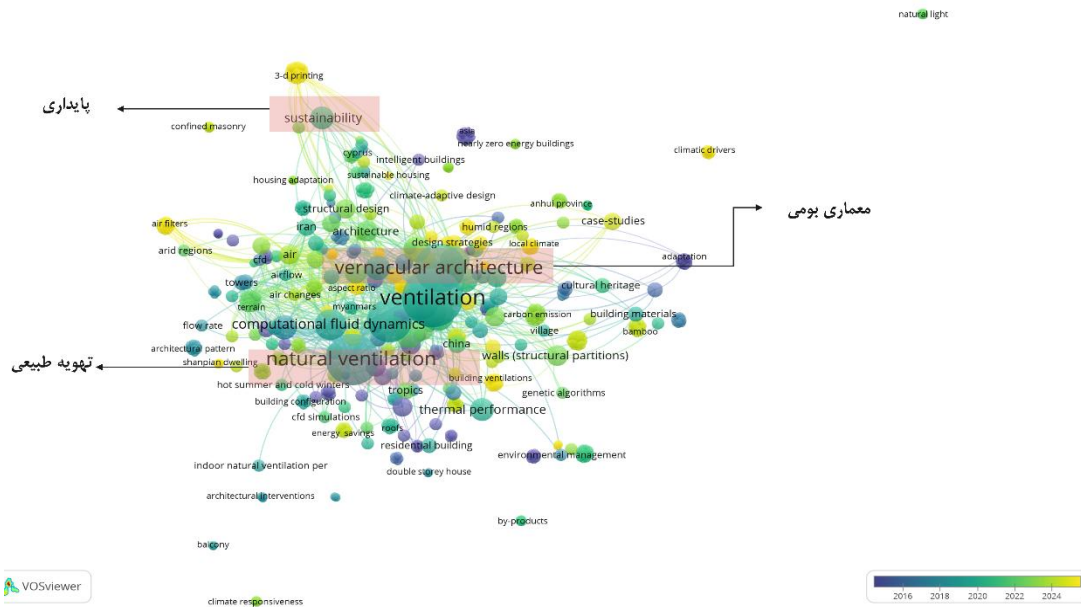
جدول ۵. پژوهش‌ها بر اساس تعداد مقالات در هر سال

سال	سال‌های قابل استناد	میانگین استنادات به ازای هر سال	تعداد (مقالات)	میانگین استنادات به ازای هر مقاله	سال	میانگین استنادات به ازای هر مقاله	تعداد (مقالات)	میانگین استنادات به ازای هر مقاله	سال
۱۹۷۸	۲۳	۲.۸۰	۲۰	۰.۳۵	۲۰۰۴	۶۴.۴۰	۱	۱۷.۰۰	۴۹
۱۹۸۱	۲۲	۲.۲۸	۳۲	۰.۰۹	۲۰۰۵	۵۰.۲۵	۱	۴.۰۰	۴۶
۱۹۸۲	۲۱	۲.۶۴	۳۰	۰.۰۴	۲۰۰۶	۵۵.۴۰	۱	۲.۰۰	۴۵
۱۹۸۳	۲۰	۳.۵۳	۵۲	۰.۱۲	۲۰۰۷	۷۰.۶۳	۳	۵.۳۳	۴۴
۱۹۸۴	۱۹	۳.۸۱	۴۹	۰.۲۰	۲۰۰۸	۷۲.۳۳	۵	۸.۴۰	۴۳
۱۹۸۵	۱۸	۴.۱۹	۴۵	۰.۴۵	۲۰۰۹	۷۵.۴۰	۴	۱۸.۷۵	۴۲
۱۹۸۶	۱۷	۳.۵۴	۴۶	۰.۳۳	۲۰۱۰	۶۰.۱۱	۴	۱۳.۵۰	۴۱
۱۹۸۸	۱۶	۴.۴۳	۵۸	۰.۲۸	۲۰۱۱	۷۰.۹۰	۲	۱۱.۰۰	۳۹
۱۹۸۹	۱۵	۵.۶۲	۴۶	۰.۲۷	۲۰۱۲	۸۴.۲۴	۳	۱۰.۳۳	۳۸
۱۹۹۰	۱۴	۴.۱۵	۷۳	۰.۰۸	۲۰۱۳	۵۸.۱۱	۳	۳.۰۰	۳۷
۱۹۹۱	۱۳	۴.۸۰	۶۸	۰.۳۴	۲۰۱۴	۶۲.۳۷	۴	۱۲.۲۵	۳۶
۱۹۹۲	۱۲	۴.۵۷	۹۱	۱.۵۷	۲۰۱۵	۵۴.۸۰	۶	۵۴.۸۳	۳۵
۱۹۹۳	۱۱	۴.۸۸	۷۸	۰.۳۷	۲۰۱۶	۵۳.۶۵	۴	۱۲.۵۰	۳۴
۱۹۹۴	۱۰	۶.۰۳	۱۰۹	۱.۰۷	۲۰۱۷	۶۰.۳۱	۶	۳۵.۱۷	۳۳
۱۹۹۵	۹	۵.۰۶	۱۰۹	۰.۲۲	۲۰۱۸	۴۵.۵۲	۱	۷.۰۰	۳۲
۱۹۹۶	۸	۵.۸۲	۹۶	۰.۹۹	۲۰۱۹	۴۶.۵۴	۵	۳۰.۶۰	۳۱
۱۹۹۷	۷	۵.۷۰	۱۱۳	۳.۱۲	۲۰۲۰	۳۹.۸۹	۴	۹۳.۵۰	۳۰
۱۹۹۸	۶	۵.۳۳	۱۴۵	۵.۱۷	۲۰۲۱	۳۱.۹۸	۱۶	۱۵۰.۰۰	۲۹
۱۹۹۹	۵	۴.۹۱	۱۸۳	۱.۸۲	۲۰۲۲	۲۴.۵۷	۱۳	۵۱.۰۰	۲۸
۲۰۰۰	۴	۴.۰۶	۱۸۸	۲.۷۶	۲۰۲۳	۱۶.۲۳	۱۸	۷۴.۳۹	۲۷
۲۰۰۱	۳	۳.۸۲	۱۸۲	۲.۵۶	۲۰۲۴	۱۱.۴۶	۲۲	۶۶.۵۵	۲۶
۲۰۰۲	۲	۲.۱۶	۱۹۲	۲.۴۹	۲۰۲۵	۴.۳۲	۱۸	۶۲.۲۲	۲۵
۲۰۰۳	۱	۰.۴۴	۱۰۸	۲.۵۳	۲۰۲۶	۰.۴۴	۲۳	۶۰.۷۰	۲۴

بررسی میانگین استنادات به ازای هر مقاله در بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۶ نشان می‌دهد که مقالات قدیمی‌تر به دلیل گذر زمان بیشترین فرصت را برای دریافت ارجاع داشته‌اند، در حالی که مقالات جدیدتر علی‌رغم کیفیت بالقوه، هنوز زمان کافی برای جذب استناد پیدا نکرده‌اند. بالاترین میانگین استنادات مربوط به سال

۲۰۲۱ با ۱۵۰ ارجاع به ازای هر مقاله است. این رقم چشمگیر نشان می‌دهد که مقالات منتشر شده در این سال از کیفیت علمی بسیار بالایی برخوردار بوده و یا موضوعات داغ و مورد توجه جامعه علمی را پوشش داده‌اند. پس از آن، سال ۲۰۲۰ با میانگین ۹۳٫۵ ارجاع و سال ۲۰۲۳ با ۷۴٫۳۹ ارجاع در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

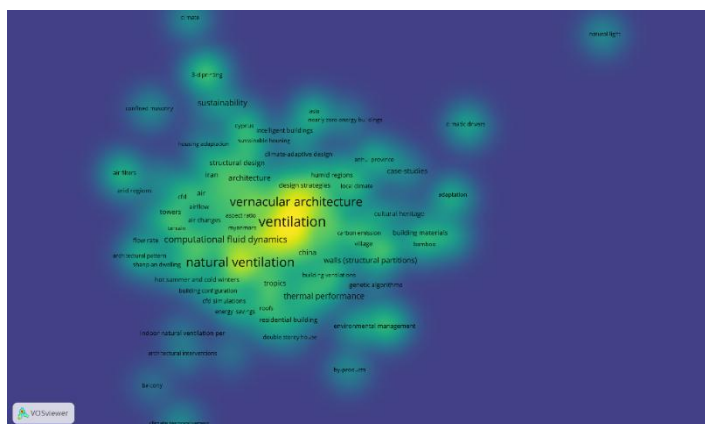
در میان مقالات دهه‌های پایانی قرن بیستم، سال ۱۹۸۹ با میانگین ۸۴٫۲۴ ارجاع و سال ۱۹۸۵ با ۷۵٫۴۰ ارجاع بیشترین تأثیر را داشته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که برخی از مقالات اولیه این حوزه، به عنوان کارهای بنیادین و مرجع، همچنان مورد استناد پژوهشگران معاصر قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، پایین‌ترین میانگین استنادات به طور طبیعی متعلق به مقالات سال‌های اخیر است. سال ۲۰۲۶ با میانگین ۰٫۴۴ ارجاع و سال ۲۰۲۵ با ۴٫۳۲ ارجاع در انتهای جدول قرار دارند. این مقادیر پایین به دلیل تازگی انتشار مقالات و فرصت ناکافی برای مشاهده و استناد توسط سایر پژوهشگران است و نمی‌تواند معیاری برای سنجش کیفیت علمی آنها محسوب شود. نکته قابل توجه، روند نزولی میانگین استنادات از سال ۲۰۲۱ به بعد است. این کاهش با افزایش چشمگیر تعداد مقالات منتشر شده در همین سال‌ها (از ۱۱۳ مقاله در ۲۰۲۰ به ۱۹۲ مقاله در ۲۰۲۵) همزمان است. به عبارت دیگر، گسترش کمی تولیدات علمی ممکن است به پراکندگی استنادات و کاهش میانگین ارجاعات به هر مقاله منجر شده باشد. در جمع‌بندی کلی، می‌توان گفت که مقالات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ بیشترین تأثیرگذاری را در جامعه علمی داشته‌اند، در حالی که مقالات دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ به عنوان آثار کلاسیک و بنیادین این حوزه همچنان از جایگاه استنادی مناسبی برخوردارند. پیش‌بینی می‌شود با گذشت زمان، میانگین استنادات مقالات سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۲۶ نیز افزایش یابد و به سطح مقالات سال‌های گذشته نزدیک شود.



تصویر ۵. تحلیل VOSviewer

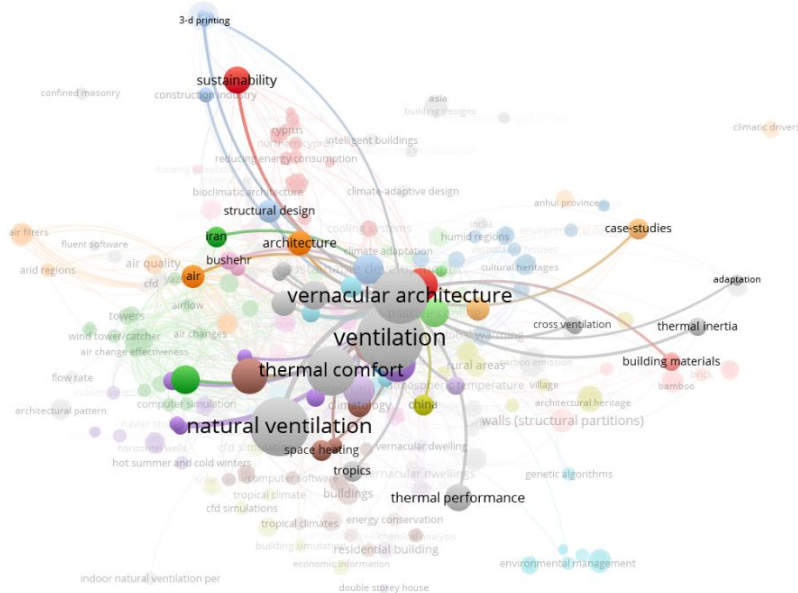
بررسی کلیدواژه‌های پرتکرار در مقالات این حوزه تحقیقاتی، بینش عمیقی از مفاهیم محوری و جهت‌گیری‌های علمی جامعه پژوهشگران ارائه می‌دهد. واژه «تهویه» با ۲۴۹۳ تکرار، پربسامدترین کلیدواژه است و به وضوح هسته مرکزی تمامی مطالعات را تشکیل می‌دهد. در جایگاه دوم، «تهویه طبیعی» با ۱۱۶۴ تکرار قرار دارد که تأکید بر رویکرد غیرفعال و مبتنی بر اقلیم را به جای سیستم‌های مکانیکی و مصرف‌کننده انرژی نشان می‌دهد. سومین کلیدواژه پربسامد، «دینامیک

سیالات محاسباتی (CFD)» با ۶۰۷ تکرار است که بیانگر استفاده گسترده پژوهشگران از روش‌های عددی و شبیه‌سازی رایانه‌ای برای تحلیل الگوهای جریان هوا و عملکرد تهویه است.



تصویر ۶- تحلیل پراکنندگی VOSviewer

در ادامه، چهار کلیدواژه «کیفیت هوا» با ۴۵۶ تکرار، «آسایش حرارتی» با ۴۴۵ تکرار، «تهویه مطبوع» با ۳۷۸ تکرار و «آلودگی هوای داخل» با ۳۴۸ تکرار، همگی به معیارهای ارزیابی کیفیت محیط داخلی اختصاص دارند. این مجموعه نشان می‌دهد که هدف غایی پژوهش‌ها، نه فقط تأمین تهویه، بلکه دستیابی همزمان به هوای پاک، دمای آسایش‌بخش و کاهش آلاینده‌های داخلی است. در کنار اینها، کلیدواژه‌های مرتبط با انرژی شامل «بازدهی انرژی» با ۳۸۱ تکرار، «مصرف انرژی» با ۳۶۵ تکرار و «صرفه‌جویی در انرژی» با ۲۳۰ تکرار، اولویت مهم دیگر این حوزه یعنی بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی را نمایان می‌سازند.



تصویر ۷- تحلیل خوشه بندی VOSviewer



بررسی کلیدواژه‌های این حوزه تحقیقاتی بر اساس دو شاخص «تعداد تکرار» و «مجموع قدرت پیوند»، تصویر روشنی از مفاهیم محوری، موضوعات داغ و ساختار دانش در این حوزه ارائه می‌دهد. تهویه طبیعی «با ۳۶ تکرار و مجموع قدرت پیوند ۲۹۸، پربسامدترین و تأثیرگذارترین کلیدواژه است که نشان می‌دهد این مفهوم هسته مرکزی و گره اصلی شبکه دانش را تشکیل می‌دهد. در جایگاه بعدی، «آسایش حرارتی» با ۲۵ تکرار و قدرت پیوند ۱۷۹ قرار دارد که بیانگر اهمیت کیفیت محیطی و رفاه ساکنان به عنوان هدف غایی راهکارهای تهویه است. طراحی معماری «با ۱۶ تکرار و قدرت پیوند ۱۶۶ و «دینامیک سیالات محاسباتی» (CFD) با ۱۳ تکرار و قدرت پیوند ۱۶۴ از دیگر مفاهیم کلیدی هستند که به ترتیب نشان‌دهنده اهمیت رویکرد طراحی و استفاده از روش‌های عددی پیشرفته برای شبیه‌سازی جریان هوا هستند.

در میان کلیدواژه‌های مرتبط با انرژی، «مصرف انرژی» با ۱۰ تکرار و قدرت پیوند ۱۲۷ و «بازدهی انرژی» با ۱۱ تکرار و قدرت پیوند ۱۰۸، بیشترین حضور را دارند. این امر تأکید می‌کند که کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی انرژی از اهداف اصلی پژوهش‌های تهویه طبیعی است. همچنین «توسعه پایدار» با ۹ تکرار و قدرت پیوند ۹۱، «گرمایش» با ۸ تکرار و قدرت پیوند ۱۰۰ و «پایداری» با ۷ تکرار و قدرت پیوند ۵۳ از مفاهیم پربسامد دیگر هستند که پیوند این حوزه با اهداف زیست‌محیطی و توسعه پایدار را نشان می‌دهند.

حضور کلیدواژه‌های جغرافیایی و اقلیمی نیز قابل توجه است. «ایران» با ۴ تکرار و قدرت پیوند ۵۷، «بوشهر» با ۳ تکرار و قدرت پیوند ۴۰، «چین» با ۴ تکرار و قدرت پیوند ۴۸، «مالزی» با ۴ تکرار و قدرت پیوند ۲۹ و «اقلیم گرم و مرطوب» با ۴ تکرار و قدرت پیوند ۵۹ نشان می‌دهد که پژوهش‌های این حوزه به طور مشخص بر روی اقلیم‌های خاص و مناطق جغرافیایی معطوف شده است. همچنین «یزد» با ۲ تکرار و قدرت پیوند ۳۰ به عنوان نمادی از معماری بومی ایران با بادگیرهای مشهور، جایگاه ویژه‌ای در ادبیات تحقیق دارد. از نظر عناصر معماری و کالبدی، «دیوارها» با ۶ تکرار و قدرت پیوند ۵۴، «حیاط مرکزی» با ۳ تکرار و قدرت پیوند ۳۶، «تهویه متقابل» با ۲ تکرار و قدرت پیوند ۱۴ و «نسبت پنجره به دیوار» با ۲ تکرار و قدرت پیوند ۲۶ از جمله عواملی هستند که بر عملکرد تهویه طبیعی تأثیر می‌گذارند. همچنین «بادگیر» و «برج باد» با مجموع تکرار ۷ و قدرت پیوند قابل توجه (۳۸ تا ۴۱) نشان‌دهنده توجه ویژه پژوهشگران به این عنصر شاخص معماری بومی ایران و خاورمیانه است. جدول ۷ مجموع قدرت پیوند را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مجموع قدرت پیوند

مجموع قدرت پیوند	تعداد تکرار	کلیدواژه	مجموع قدرت پیوند	تعداد تکرار	کلیدواژه	مجموع قدرت پیوند	تعداد تکرار	کلیدواژه
۱۲	۲	راهبردهای طراحی غیرفعال	۴۲	۳	طراحی زیست‌محیطی	۶۱	۵	هوا
۲۳	۲	کاهش مصرف انرژی	۲۲	۲	کربن نهفته	۳۳	۲	تغییرات هوا
۱۹	۳	ساختمان مسکونی	۱۶	۲	صرفه‌جویی انرژی	۲۴	۲	حرکت هوا
۱۹	۲	طرح‌های پاسخگو	۱۰۸	۱۱	بازدهی انرژی	۵۱	۴	کیفیت هوا
۶۱	۵	مناطق روستایی	۱۲۷	۱۰	مصرف انرژی	۲۱	۲	دمای هوا
۲۰	۲	تابش خورشیدی	۶	۲	محیط زیست	۳۹	۲	جریان هوا
۴۳	۴	گرمایش فضا	۱۳	۲	طراحی محیطی	۱۶۶	۱۶	طراحی معماری
۵۷	۵	طراحی سازه	۱۲	۲	مدیریت محیط زیست	۴۳	۴	عنصر معماری

معماری	۶	۵۸	عملکرد محیطی	۲	۸	تابستان	۴	۵۸
مناطق خشک	۲	۱۴	اندازه‌گیری میدانی	۳	۳۶	پایداری	۷	۵۳
دمای جو	۳	۴۰	دبی جریان	۲	۱۴	معماری پایدار	۲	۱۸
معماری	۲	۴	سوخت‌های فسیلی	۲	۲۲	طراحی پایدار	۳	۱۹
زیست‌اقلیمی								
آجر	۲	۱۳	الگوریتم‌های ژنتیک	۲	۲۰	توسعه پایدار	۹	۹۱
ساختمان	۸	۸۶	گرمایش جهانی	۴	۴۸	اثر دما	۲	۳۰
عملکرد انرژی	۲	۱۸	ساختمان‌های سبز	۲	۲۴	حرارتی	۳	۳۴
ساختمان								
مصالح ساختمانی	۳	۲۴	گرمایش	۸	۱۰۰	آسایش حرارتی	۲۵	۱۷۹
شبیه‌سازی ساختمان	۲	۱۸	حفاظت تاریخی	۳	۳۱	اینرسی حرارتی	۳	۲۰
ساختمان‌ها	۵	۴۳	اقلیم گرم و مرطوب	۴	۵۹	عایق حرارتی	۵	۵۱
بوشهر	۳	۴۰	تابستان گرم و زمستان سرد	۲	۲۳	عملکرد حرارتی	۷	۵۰
کربن	۲	۲۵	اقلیم گرم-مرطوب	۳	۴۴	چوب	۲	۱۹
مطالعات موردی	۴	۳۰	خانه‌ها	۱۱	۱۲۱	برج‌ها	۳	۴۱
دینامیک سیالات	۲	۱۴	مسکن	۱۳	۱۳۵	ساختمان‌های سستی	۲	۲۳
محاسباتی								
تونل باد	۳	۳۵	محیط مرطوب	۲	۳۱	اقلیم گرمسیری	۲	۱۳
شبیه‌سازی‌های CFD	۲	۲۲	مناطق مرطوب	۲	۲۲	اقلیم‌های گرمسیری	۲	۲۱
چین	۴	۴۸	هند	۲	۲۱	مناطق گرمسیری	۴	۴۰
سازگاری با اقلیم	۲	۲۸	هوای داخل	۵	۶۸	مدل‌های تلاطم	۲	۲۲
تغییر اقلیم	۴	۳۹	آلودگی هوای داخل	۴	۵۹	منطقه شهری	۲	۳۱
مدل‌های اقلیمی	۳	۳۳	کیفیت هوای داخل	۲	۲۱	تهویه	۴۶	۴۶۱
طراحی سازگار با اقلیم	۲	۱۵	دمای هوای داخل	۲	۲۶	معماری بومی	۳۲	۲۲۲
شرایط اقلیمی	۲	۲۸	عملکرد تهویه طبیعی داخل	۲	۲	ساختمان‌های بومی	۲	۱۵
اقلیم‌شناسی	۵	۵۷	دمای داخلی	۲	۲۵	مسکن بومی	۲	۲۷
منطقه آسایش	۲	۱۷	آسایش حرارتی داخلی	۲	۲۳	مسکن‌های بومی	۳	۳۲
دینامیک سیالات	۱۳	۱۶۴	محیط حرارتی داخلی	۲	۱۸	خانه بومی	۳	۳۳
محاسباتی								
شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات	۲	۲۸	محیط‌های حرارتی داخلی	۵	۵۶	خانه‌های بومی	۲	۱۹
محاسباتی								
شبیه‌سازی رایانه‌ای	۲	۲۹	راهکارهای نوآورانه	۲	۲۱	مسکن بومی	۳	۸
نرم‌افزار رایانه‌ای	۲	۱۸	ساختمان‌های هوشمند	۲	۲۲	روستا	۲	۲۰
صنعت ساخت‌وساز	۲	۱۶	ایران	۴	۵۷	دیوارها	۶	۵۴
سرمایش	۵	۴۹	مالزی	۴	۲۹	باد	۳	۳۸

سیستم‌های سرمایشی	۳	۴۵	اقلیم مدیترانه‌ای	۲	۱۴	محیط باد	۲	۲۲
حیاط مرکزی	۳	۳۶	تهویه طبیعی	۳۶	۲۹۸	سرعت باد	۲	۳۰
خانه حیاط مرکزی	۲	۳۱	معادلات ناویر-استوکس	۲	۲۲	برج باد	۲	۱۲
تهویه متقابل	۲	۱۴	قبرس شمالی	۲	۱۲	برج باد/بادگیر	۲	۲۹
میراث فرهنگی	۳	۲۲	بررسی‌های عددی	۳	۳۴	برج‌های باد	۳	۴۱
قبرس	۲	۱۱	مدل عددی	۲	۳۲	تونل‌های باد	۳	۳۸
راهبردهای طراحی	۳	۳۵	شبیه‌سازی عددی	۲	۱۳	نسبت پنجره به دیوار	۲	۲۶
شبیه‌سازی‌های دینامیک حرارتی	۲	۱۸	جهت‌گیری	۲	۲۱	یزد	۲	۳۰

در میان روش‌های پژوهشی، علاوه بر CFD که بیشتر اشاره شد، «تونل باد» با ۳ تکرار و قدرت پیوند ۳۵، «بررسی‌های عددی» با ۳ تکرار و قدرت پیوند ۳۴، «شبیه‌سازی رایانه‌ای» با ۲ تکرار و قدرت پیوند ۲۹ و «اندازه‌گیری میدانی» با ۳ تکرار و قدرت پیوند ۳۶ به کار گرفته شده‌اند. این تنوع روش‌ها نشان می‌دهد که پژوهشگران از ترکیب رویکردهای تجربی (تونل باد و اندازه‌گیری میدانی) و عددی CFD و شبیه‌سازی برای اعتبارسنجی یافته‌های خود استفاده می‌کنند. در جمع‌بندی کلی، شبکه کلیدواژه‌های این حوزه نشان می‌دهد که تحقیقات تهویه طبیعی در معماری بومی حول چهار قطب اصلی سازماندهی شده است: تهویه طبیعی و آسایش حرارتی به عنوان اهداف محوری، طراحی معماری و عناصر کالبدی (مانند حیاط، بادگیر، دیوارها) به عنوان ابزارهای تحقق، دینامیک سیالات محاسباتی و شبیه‌سازی به عنوان روش‌های تحلیلی، و مصرف انرژی و توسعه پایدار به عنوان انگیزه‌های نهایی پژوهش. حضور پررنگ ایران، بوشهر، یزد و اقلیم گرم و مرطوب در این کلیدواژه‌ها نشان می‌دهد که معماری بومی ایران به ویژه در مناطق گرم و مرطوب، یکی از غنی‌ترین منابع برای استخراج الگوهای تهویه طبیعی کارآمد محسوب می‌شود.

### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف مرور سیستماتیک و تحلیل کتاب‌سنجی پژوهش‌های حوزه تهویه طبیعی در معماری بومی انجام شده است. بررسی روند انتشارات در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۶ نشان می‌دهد که این حوزه سه دوره متمایز را پشت سر گذاشته است: دوره پیدایش (۱۹۷۰-۱۹۹۹) با میانگین ۵ مقاله در سال، دوره رشد تدریجی (۲۰۱۹-۲۰۲۰) با میانگین ۵۰ تا ۶۰ مقاله در سال، و دوره رشد شتابان (۲۰۲۰-۲۰۲۶) با میانگین ۱۵۹ مقاله در سال. اوج انتشارات در سال ۲۰۲۵ با ۱۹۲ مقاله ثبت شده است که نشان‌دهنده تبدیل شدن این حوزه به یکی از موضوعات پربازده و مورد توجه جامعه علمی در سال‌های اخیر می‌باشد. در سطح بین‌المللی، چین با ۵۰۹ مقاله (۲۲.۳٪) بالاترین سهم تولیدات علمی را دارد، اما الگوی آن بیشتر مبتنی بر مقالات یک‌کشوری است. در مقابل، هنگ‌کنگ با ۵۱.۶٪ و آلمان با ۵۲٪ بالاترین درصد همکاری‌های بین‌المللی را به خود اختصاص داده‌اند. ایران با ۴۰ مقاله (۱.۸٪) و ۳۰٪ همکاری بین‌المللی در جایگاه سیزدهم قرار دارد که نشان‌دهنده حضور فعال و مؤثر محققان ایرانی در شبکه‌های علمی جهانی است. الگوی کلی حاکی از آن است که کشورهای با حجم تولید علمی بالا بیشتر بر مقالات یک‌کشوری تکیه دارند، در حالی که کشورهای کوچک‌تر از همکاری‌های بین‌المللی به عنوان راهبردی مؤثر برای افزایش دیده‌شدن و تأثیرگذاری پژوهش‌های خود بهره می‌برند.

بررسی میانگین استنادات نشان می‌دهد که بالاترین میزان ارجاع به ازای هر مقاله مربوط به سال ۲۰۲۱ با ۱۵۰ ارجاع است که بیانگر کیفیت علمی بالا و پرداختن به موضوعات داغ در آن سال می‌باشد. مقالات دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ نیز به عنوان آثار بنیادین و مرجع، همچنان جایگاه استنادی مناسبی دارند. روند نزولی میانگین استنادات از سال ۲۰۲۱ به بعد با افزایش چشمگیر تعداد مقالات همزمان است که نشان‌دهنده پراکندگی استنادات به دلیل گسترش کمی تولیدات علمی می‌باشد. تحلیل کلیدواژه‌ها در نهایت نشان می‌دهد که تحقیقات این حوزه حول چهار محور اصلی سازماندهی شده است: تهویه و تهویه طبیعی «به عنوان مفهوم مرکزی (به ترتیب با ۲۴۹۳ و ۱۱۶۴ تکرار)، «دینامیک سیالات محاسباتی» به عنوان روش تحقیق غالب (۶۰۷ تکرار)، «کیفیت هوا و آسایش حرارتی» به عنوان اهداف عملکردی (به ترتیب ۴۵۶ و ۴۴۵ تکرار)، و «معماری بومی و اقلیم» به عنوان منبع الهام (به ترتیب ۲۲۶ و ۲۱۶ تکرار). حضور پررنگ کلیدواژه‌های جغرافیایی نظیر ایران، بوشهر، یزد و «اقلیم گرم و مرطوب» نشان می‌دهد که معماری بومی ایران به ویژه در مناطق گرم و مرطوب، یکی از غنی‌ترین منابع برای استخراج الگوهای تهویه طبیعی کارآمد محسوب می‌شود. عناصر کالبدی مانند بادگیر، حیاط مرکزی، دیوارها و نسبت پنجره به دیوار نیز از جمله عواملی هستند که بیشترین توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. در جمع‌بندی نهایی، این پژوهش تأکید می‌کند که حوزه تهویه طبیعی در معماری بومی در دو دهه اخیر رشد چشمگیری داشته و به یکی از حوزه‌های پیشرو در مطالعات انرژی و معماری پایدار تبدیل شده است. پژوهشگران با بهره‌گیری از روش‌های کمی و شبیه‌سازی (به ویژه دینامیک سیالات محاسباتی) و با الهام از راهکارهای بومی، در تلاش هستند تا راهکارهای تهویه طبیعی را برای دستیابی همزمان به آسایش حرارتی، کیفیت هوای مطلوب و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها توسعه دهند. حضور مؤثر ایران در این حوزه و توجه ویژه به اقلیم گرم و مرطوب، ظرفیت بالایی معماری بومی ایران را برای ارائه الگوهای کارآمد به جامعه علمی جهانی نشان می‌دهد.

## مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

## تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

## تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

## حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

## موازین اخلاقی

## Extended Abstract

### Introduction

Natural ventilation has become a central strategy in sustainable architectural design because buildings consume substantial amounts of energy and contribute significantly to greenhouse gas emissions through the extensive use of heating, ventilation, and air-conditioning systems (1, 2). In this context, passive ventilation strategies based on wind pressure, thermal buoyancy, air movement, and climate-responsive design offer an important alternative to mechanically driven cooling and ventilation systems (5, 6). Vernacular architecture is particularly valuable in this regard because it reflects long-term adaptation to local climate, available materials, social patterns, and environmental constraints (15, 16). In humid temperate climates, especially regions such as the southern coast of the Caspian Sea, vernacular dwellings have historically employed natural ventilation to reduce indoor humidity, improve thermal comfort, and maintain indoor air quality. Prior studies have shown that natural ventilation can support energy efficiency, reduce dependence on air-conditioning, and improve environmental performance in buildings (9, 26). The relevance of this topic has increased as contemporary architecture seeks to integrate traditional passive strategies with computational tools such as computational fluid dynamics and bibliometric mapping (4, 8). Although previous studies have examined passive cooling, windcatchers, courtyards, underground spaces, and climate-responsive vernacular forms, the literature remains fragmented across regions, building types, and methodological approaches (30-33). Therefore, a systematic and scientometric review is necessary to clarify the current state of knowledge, identify dominant research themes, evaluate geographical and temporal publication trends, and determine how vernacular ventilation strategies can inform sustainable architectural design in humid temperate climates.

### Methods and Materials

This study was conducted as a systematic review with a scientometric and bibliometric approach. The research focused on studies related to natural ventilation, vernacular architecture, climate-responsive design, thermal comfort, indoor air quality, and passive ventilation strategies in humid temperate climates. Relevant publications were identified through a structured search strategy in the Scopus database. The time span of the reviewed literature covered publications from 1978 to 2026. After identification and screening, 2,280 scientific documents were included in the final analysis. The extracted documents were analyzed according to publication year, country of origin, authorship pattern, international collaboration, citation impact, keyword frequency, and conceptual structure. Bibliometric indicators were used to assess the development of the field, including annual growth rate, average citation per document, number of contributing authors, number of single-authored documents, co-authorship patterns, and keyword occurrence. VOSviewer was used to map co-occurrence networks, keyword clusters, and thematic relationships. Bibliometrix and Biblioshiny in RStudio were also used to organize, visualize, and interpret the bibliometric data. In addition to the bibliometric analysis, selected vernacular houses from Mazandaran Province, located in the humid temperate climate of the southern Caspian Sea, were examined according to their natural ventilation strategies. These examples were classified into three main categories: single-sided ventilation, cross ventilation, and stack ventilation. The analysis emphasized the relationship between building form, opening configuration, climatic responsiveness, and ventilation performance.

## Findings

The analysis showed that research on natural ventilation in vernacular architecture has grown substantially over time. Across the 1978–2026 period, 2,280 documents were identified, written by 4,887 authors. The annual growth rate of publications was 10.25%, indicating a clear upward trend in scholarly attention. The average age of the documents was 9.11 years, and the average citation per document was 39.06, suggesting that the field has achieved a relatively strong citation impact. Of the total documents, 149 were single-authored, while most were produced through collaborative authorship. The average number of authors per document was 3.83, and 27.81% of publications involved international collaboration.

The temporal analysis revealed three major phases in the development of the field. The first phase, from 1978 to 1999, was characterized by limited attention and low publication volume. The second phase, from 2000 to 2019, represented gradual growth and thematic consolidation. The third phase, from 2020 to 2026, showed accelerated growth, with publication output increasing sharply. The highest number of publications was recorded in 2025, with 192 articles. The citation analysis showed that the highest average citation rate occurred in 2021, with 150 citations per article, followed by 2020 and 2023. This indicates that recent studies have had strong scientific influence, particularly those addressing emerging themes in sustainable design, simulation, and passive ventilation performance.

The geographical analysis showed that China was the leading country in this research area, with 509 publications, accounting for 22.3% of the total. The United Kingdom ranked second with 192 publications, followed by the United States with 148 publications. Spain, Italy, Australia, Japan, Hong Kong, Brazil, Portugal, Korea, India, Iran, Singapore, Canada, Denmark, France, Belgium, and Germany were also active contributors. Iran ranked thirteenth, with 40 publications and 30% international collaboration. The highest rates of international collaboration were observed in Germany, Hong Kong, Brazil, Denmark, and Australia, while countries with larger publication volumes, such as China, the United Kingdom, and the United States, relied more heavily on single-country publications.

The keyword analysis revealed that “ventilation” was the most frequent term, followed by “natural ventilation,” “computational fluid dynamics,” “air quality,” “thermal comfort,” “air conditioning,” “energy efficiency,” “buildings,” “energy consumption,” and “indoor air pollution.” These results indicate that the field is organized around four main conceptual axes: natural ventilation as the central phenomenon, computational fluid dynamics as a dominant analytical method, thermal comfort and indoor air quality as major performance goals, and vernacular architecture and climate as sources of design inspiration. More specific keywords, including airflow, cooling, carbon dioxide, vernacular housing, climate, and energy saving, further confirmed the interdisciplinary nature of the field.

The analysis of vernacular houses in Mazandaran Province showed that three main natural ventilation strategies were used: cross ventilation, single-sided ventilation, and stack ventilation. Cross ventilation was the most frequent strategy, accounting for 42% of the observed cases. It was identified in Siyasi House in Behshahr, Sardar Jalil House in Sari, and Fazeli Mansion in Sari. This strategy allows air to move across the building through openings on opposite sides, making it especially suitable for humid climates where moisture removal and continuous air circulation are essential. Single-sided ventilation was observed in Shahriari House in Behshahr, Kolbadi Mansion in Sari, and Malek House in Amol. This method depends strongly on wind direction and external wind speed and is generally less effective in humid climates unless the building is properly oriented toward prevailing winds. Stack ventilation was the least frequent strategy, accounting for 16% of cases, and was identified only in Haj Mirza House in Noor. Its limited use can be explained by the relatively small vertical temperature difference in humid temperate climates and the reduced effectiveness of buoyancy-driven airflow under high humidity conditions.

## Discussion and Conclusion

The findings indicate that natural ventilation in vernacular architecture has become an increasingly important research topic, particularly after 2020. This growth reflects broader concerns about energy consumption, climate change, indoor environmental quality, and sustainable building design. The strong increase in publication output and citation impact suggests that the field is no longer limited to historical or descriptive studies of vernacular architecture, but has developed into a multidisciplinary research domain combining architectural history, environmental design, building physics, simulation, and sustainability science.

The dominance of cross ventilation in the vernacular houses of humid temperate Mazandaran is consistent with the climatic requirements of the region. In humid climates, the main environmental challenge is not only heat but also moisture accumulation, which can reduce comfort, damage building materials, and contribute to biological growth. Cross ventilation responds directly to this challenge by creating continuous airflow and facilitating the removal of warm and humid indoor air. The relatively lower use of stack ventilation also appears reasonable because this strategy requires stronger vertical temperature gradients, which are usually more effective in hot-dry climates than in humid temperate regions. The presence of single-sided ventilation in several cases suggests that vernacular design was also shaped by constraints such as land orientation, privacy, neighboring buildings, and spatial organization.

The bibliometric findings show that the research field is strongly shaped by themes of energy efficiency, thermal comfort, indoor air quality, and computational simulation. The prominence of computational fluid dynamics indicates that contemporary researchers increasingly seek to evaluate traditional passive strategies through quantitative and digital methods. This is important because vernacular knowledge, although rooted in empirical adaptation, requires measurable validation for integration into contemporary building standards and design practices. The combination of traditional climatic knowledge with simulation-based performance assessment can help transform vernacular principles into applicable design guidelines for modern architecture.

Overall, this study demonstrates that vernacular natural ventilation strategies, particularly cross ventilation, offer valuable lessons for sustainable architectural design in humid temperate climates. The results suggest that future building design can benefit from integrating local architectural knowledge, climatic responsiveness, and advanced analytical tools. Such integration can reduce dependence on mechanical cooling systems, improve indoor air quality, enhance thermal comfort, and support low-energy architecture. The study concludes that natural ventilation in vernacular architecture should not be understood merely as a historical design feature, but as a practical and adaptable environmental strategy for contemporary sustainable buildings.

## References

1. Nikghadam N, Sabernejad J. Optimization of the Direction and Number of Atrium Openings in a Centralized Model for Improving Thermal Comfort in Office Buildings in Hot and Dry Climates (Case Study of Yazd City). *Space Ontology International Journal*. 2025;14(3):43-61.
2. Zhong HY, Sun Y, Shang J, Qian FP, Zhao FY, Kikumoto H, et al. Single-sided natural ventilation in buildings: a critical literature review [Review]. *BUILDING AND ENVIRONMENT*. 2022;212.
3. Javid P, Nikghadam N, Karimpour A, Sabernezhad Z. A Systematic Bibliometric Analysis of Energy Optimization Methods in Buildings. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*. 2025;22(142):41-56.
4. Javid P, Nikghadam N, Karimpour A, Sabernejad J. Design Optimization of Atrium Skylights for Enhanced Office Building Performance Using NSGA-II: Case Study in Yazd, Iran. *JOURNAL OF DAYLIGHTING*. 2025;12(2):520-47.
5. Chenari B, Dias Carrilho J, Gameiro Da Silva M. Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review [Review]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;59:1426-47.
6. Pan Y, Zhong W, Zheng X, Xu H, Zhang T. Natural ventilation in vernacular architecture: A systematic review of bioclimatic ventilation design and its performance evaluation [Review]. *BUILDING AND ENVIRONMENT*. 2024;253.
7. Javid P, Nikghadam N, Karimpour A, Sabernejad J. Optimal Skylight-to-Roof Ratio in Central Atriums for Thermal Comfort based on solar-induced ventilation: Case Studies from Yazd and Tabriz. *Iranica Journal of Energy & Environment*(Articles in Press). 2025.

8. Nikghadam N, Javid P, Karimpour A, Sabernejad J. Bibliometric Study of Energy Simulation Tools in Building Performance Optimization: A Review of Recent Research. *Hoviatshahr*. 2026;20(1):129-48.
9. Aflaki A, Mahyuddin N, Al-Cheikh Mahmoud Z, Baharum MR. A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates [Review]. *ENERGY AND BUILDINGS*. 2015;101:153-62.
10. Nikghadam N, Javid P, Karimpour A, Sabernejad J. Optimizing Channel Configurations to Enhance Thermal Comfort in Connected Enclosed Atrium (Case Studies: Yazd and Tabriz). *International Journal of Architecture and Urban Development*. 2025;15(2):31-50.
11. Ilea B. The critical role of buildings. *International Energy Agency*; 2019.
12. Chandel SS, Sharma V, Marwah BM. Review of energy efficient features in vernacular architecture for improving indoor thermal comfort conditions [Review]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;65:459-77.
13. González-Torres M, Pérez-Lombard L, Coronel JF, Maestre IR, Yan D. A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers [Review]. *ENERGY REPORTS*. 2022;8:626-37.
14. García-Pulido LJ, Pica V. Bioclimatic behaviour of traditional domestic buildings in the mediterranean basin. Some cases of study [Article] *Ricerche di Storia dell'Arte*. 2014(112):53-66.
15. Nguyen AT, Truong NSH, Rockwood D, Tran Le AD. Studies on sustainable features of vernacular architecture in different regions across the world: A comprehensive synthesis and evaluation [Article]. *FRONTIERS OF ARCHITECTURAL RESEARCH*. 2019;8(4):535-48.
16. Sargazi MA, Tahbaz M. Effects of Climate Responsive Strategies and Adaptive Behavior of Occupants on Thermal Comfort in Indoor Environments of Vernacular Architecture: A Review of Necessities and Goals [Review]. *Nakhara: Journal of Environmental Design and Planning*. 2022;21(2).
17. Manzano-Agugliaro F, Montoya FG, Sabio-Ortega A, García-Cruz A. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort [Review]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;49:736-55.
18. Ozarisooy B. Energy effectiveness of passive cooling design strategies to reduce the impact of long-term heatwaves on occupants' thermal comfort in Europe: Climate change and mitigation [Review]. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. 2022;330.
19. Soflaei F, Shokouhian M, Zhu W. Socio-environmental sustainability in traditional courtyard houses of Iran and China [Review]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;69:1147-69.
20. Zhang T, Zhong W, Yu CW. Energy agenda of architectural formation: To progress sustainable built environment through the approach of energy-driven architectural formation [Editorial]. *INDOOR AND BUILT ENVIRONMENT*. 2021;30(10):1591-5.
21. Wang L, Yang D, Yang Y, Cui Y, Pan H. Vernacular Wisdom in Hani Ethnic Courtyard Houses: Architectural Heritage and Construction Systems in the Samaba Terraced Landscape [Article]. *BUILDINGS*. 2025;15(20).
22. Beccali M, Strazzeri V, Germanà ML, Melluso V, Galatioto A. Vernacular and bioclimatic architecture and indoor thermal comfort implications in hot-humid climates: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;82:1726-36.
23. Vedhajanani B, Amirtham LR, Kamal MA. Impact of Courtyards on Climatic and Spatial Attributes in a Vernacular House: Case of Kumbakonam in Tamil Nadu, India [Article]. *SSRG International Journal of Civil Engineering*. 2025;12(8):1-20.
24. Hu M, Zhang K, Nguyen Q, Tasdizen T. The effects of passive design on indoor thermal comfort and energy savings for residential buildings in hot climates: A systematic review [Review]. *Urban Climate*. 2023;49.
25. Yang W, Xu J, Lu Z, Yan J, Li F. A systematic review of indoor thermal environment of the vernacular dwelling climate responsiveness [Review]. *JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING*. 2022;53.
26. Sakiyama NRM, Carlo JC, Frick J, Garrecht H. Perspectives of naturally ventilated buildings: A review [Review]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020;130.
27. Janssen JE. The history of ventilation and temperature control: The first century of air conditioning. *Ashrae Journal*. 1999;41(10).
28. Ackermann M. Cool comfort: America's romance with air-conditioning: Smithsonian Institution; 2013.
29. Banham R. Architecture of the Well-tempered Environment: University of Chicago press; 2022.
30. Wen Y, Lau SK, Leng J, Zhou K, Cao SJ. Passive ventilation for sustainable underground environments from traditional underground buildings and modern multiscale spaces. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2023;134.
31. Bagasi AA, Calautit JK, Karban AS. Evaluation of the Integration of the Traditional Architectural Element Mashrabiya into the Ventilation Strategy for Buildings in Hot Climates. *ENERGIES*. 2021;14(3).
32. Jomehzadeh F, Nejat P, Calautit JK, Yusof MBM, Zaki SA, Hughes BR, et al. A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;70:736-56.
33. Jomehzadeh F, Hussien HM, Calautit JK, Nejat P, Ferwati MS. Natural ventilation by windcatcher (Badgir): A review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate. *ENERGY AND BUILDINGS*. 2020;226.
34. Bienvenido-Huertás D, de la Hoz-Torres ML, Aguilar AJ, Tejedor B, Sánchez-García D. Holistic overview of natural ventilation and mixed mode in built environment of warm climate zones and hot seasons [Review]. *BUILDING AND ENVIRONMENT*. 2023;245.
35. Zhong W, Pan Y, Xiao W, Zhang T. Identifying bioclimatic techniques for sustainable low-rise high-density residential units: Comparative analysis on the ventilation performance of vernacular dwellings in China. *JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING*. 2023;80.
36. Lotfinejad P, Tarkashvand A, Sanaieian H. A computational approach for integration of greenhouse and "Shanashir" to enhance thermal comfort of occupants, utilizing NSGA-II algorithm. *BUILDING AND ENVIRONMENT*. 2025;273.
37. Nasiri N, Rahbar N, Mofidi Shemirani SM, Moradinasab H, Khaksar A. Achieving thermal comfort through vernacular wisdom: a morphological typology of earth-sheltered dwellings in hot-arid climates (Semnan, Iran). *Energy and Buildings*. 2025;349.
38. Qian W, Liu Y, Zhang P, Li N. Optimizing thermal environments in traditional vernacular dwellings of Beijing's western shallow mountains: balancing energy efficiency and heritage conservation with air source heat pump heating. *Energy and Buildings*. 2025;348.

39. Lira JS, da Silva EA. A systematic literature review of dynamic life cycle assessment in Buildings: Challenges and guidelines. JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING. 2025;111.
40. Wandscher K, Helbach J, Pieper D, Hoffmann F. We used standard Cochrane methods” – observational study on reporting according to PRISMA-A in Cochrane review abstracts between 2016 and 2023. Journal of Clinical Epidemiology. 2025;181.
41. valialah NT, Rafieian M, Esmailpoor N, Saremi H. Analysis of the theoretical Context of gender justice in urban public spaces (Scientometrics and Systematic Review). Hoviatshahr. 2025;18(3):71-82.