

تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه‌ی مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۲

کد مقاله: ۴۲۷۴۷

مرجان بهاری نژاد^{۱*}، علی بهنام والا^۲

چکیده

بیومیمیکری در معماری به‌عنوان رویکردی الهام‌گرفته از طبیعت، در سال‌های اخیر توجه بسیاری را در حوزه‌ی مهندسی معماری به خود جلب کرده است. در این میان، مرجان‌های دریایی به دلیل ساختار هندسی پیچیده، تخلخل سازمان‌یافته و سازگاری بالا با محیط، به‌عنوان الگویی مؤثر در طراحی معماری و بهینه‌سازی عملکرد ساختمان‌ها شناخته می‌شوند. با وجود افزایش پژوهش‌ها درباره‌ی بیومیمیکری، معماری الهام‌گرفته از طبیعت و هندسه‌ی مرجان‌های دریایی، بررسی جامع روندهای علمی، ساختار دانشی و الگوهای همکاری پژوهشی در این حوزه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف تحلیل علم‌سنجی مطالعات مرتبط با مفاهیم «بیومیمیکری»، «معماری»، «مرجان‌های دریایی» و «الهام‌گرفته از طبیعت» انجام شده است. این پژوهش از نوع توصیفی - تحلیلی با رویکرد کتاب‌سنجی است و داده‌ها از پایگاه داده‌ی Scopus از طریق جست‌وجو در عنوان، چکیده و واژگان کلیدی استخراج شدند. در مجموع، ۱۳۱ مقاله‌ی داوری‌شده منتشرشده در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵ بررسی شد و تحلیل داده‌ها، ترسیم شبکه‌های هم‌رخدادی واژگان، هم‌استنادی و الگوهای همکاری علمی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer انجام گرفت. نتایج نشان داد که با وجود رشد تولیدات علمی و ظهور نویسندگان و مؤسسات تأثیرگذار، ساختار همکاری علمی در این حوزه همچنان پراکنده و کم‌تراکم است. همچنین، همکاری‌ها عمدتاً حول چند هسته‌ی محدود، به‌ویژه در استرالیا، متمرکز بوده و ارتباطات علمی بین‌المللی ضعیف است. این یافته‌ها بیانگر ظرفیت بالای این حوزه برای گسترش همکاری‌های علمی و توسعه پژوهش‌های میان‌رشته‌ای در آینده است.

واژگان کلیدی: علم‌سنجی، بیومیمیکری، مرجان دریایی، اسکوپوس.

۱- دانشجوی دکتری معماری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)
Marjan.baharinezhad@iaua.ac.ir

۲- استادیار گروه معماری، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
A.behnamvala@iautbn.ac.ir

یکی از اهداف مهم هر نوع معماری فراهم ساختن ساختمان‌هایی مناسب برای نیازهای گوناگون انسان‌ها در مکانی خاص است (صادق‌بی، ۱۳۸۶). هندسه و طبیعت به عنوان منبع الهام طراحی همواره مورد توجه معماران و طراحان بوده است (Meesters et al., 1996). اصول ریاضی هندسه طبیعت یا هندسه فراکتال و توصیف بسیاری از اشیای فراکتال به گذشته دور برمی‌گردد این هندسه سال‌هاست که توسط معماران و ریاضی‌دانان متعددی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و بکارگیری آن در معماری و هندسه مصنوع مورد شک و تردید، نقض یا دفاع واقع شده است (شمس، ۱۳۸۰: ۵۰).

مرجان‌ها به دلیل رشد فرکتالی و پیچیدگی مورفولوژیکی، نمونه‌ای برجسته از ترکیب نظم و تصادفی در طبیعت به شمار می‌آیند (Meesters et al., 1996). ساختارهای مرجانی به دلیل شبکه‌بندی چندلایه و قابلیت انطباق با شرایط محیطی، می‌توانند الگویی برای طراحی فضاهای انعطاف‌پذیر و چندکارکردی فراهم کنند (Moberg & Folke, 1991). اشکال هندسی که توسط هنرمندان گذشته نام‌گذاری شده‌اند، معمولاً از طبیعت، حیوانات، پرندگان، اجرام آسمانی، اشیای کار روزانه و غیره برگرفته شده‌اند و به مرور زمان و نسل به نسل به کار برده شده‌اند تا به نسل حاضر رسیده است (سامانیان، ۱۳۷۸: ۸).

بیومیمیکری در معماری، طبیعت را نه صرفاً به عنوان منبعی زیبایی‌شناختی، بلکه به مثابه الگویی عملکردی و هوشمند در نظر می‌گیرد. در این رویکرد، ساختارهای طبیعی می‌توانند الگوهای برای بهینه‌سازی فرم، تهویه، نورگیری، استحکام و مصرف انرژی در ساختمان‌ها فراهم آورند. در میان موجودات طبیعی، مرجان‌های دریایی به دلیل هندسه پیچیده، ساختار متخلخل، قابلیت سازگاری با محیط و سازمان‌یافتگی فضایی، به یکی از منابع الهام مهم در طراحی معماری و ساختارهای ساختمانی تبدیل شده‌اند. الگوهای هندسی مرجان‌ها علاوه بر ویژگی‌های زیبایی‌شناختی، دارای عملکردهای زیست‌محیطی و سازه‌ای قابل توجهی هستند که می‌توانند در طراحی پوسته‌های ساختمانی، سیستم‌های تهویه طبیعی و بهینه‌سازی مصرف انرژی مؤثر واقع شوند (Varshabi et al., 2022). در دهه‌های اخیر، هم‌زمان با گسترش فناوری‌های دیجیتال، طراحی پارامتریک و ابزارهای شبیه‌سازی، پژوهش‌های مرتبط با بیومیمیکری و به‌ویژه هندسه مرجان‌های دریایی در معماری روندی رو به رشد داشته است. این افزایش تولیدات علمی، ضرورت تحلیل و ارزیابی نظام‌مند روند پژوهش‌ها، شبکه‌های علمی و محورهای موضوعی را برجسته می‌سازد. در این راستا، علم‌سنجی به عنوان یکی از روش‌های نوین تحلیل تولیدات علمی، امکان بررسی روند رشد دانش، شناسایی نویسندگان و کشورهای پیشرو، تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها و ترسیم شبکه‌های علمی را فراهم می‌کند (Verbrugge et al., 2023). پایگاه نمایه‌سازی اسکوپوس به دلیل پوشش گسترده منابع علمی معتبر، یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های مورد استفاده در مطالعات علم‌سنجی محسوب می‌شود. همچنین نرم‌افزار VOSviewer به عنوان ابزاری تخصصی در مصورسازی و تحلیل شبکه‌های علمی، قابلیت ترسیم ارتباط میان کلیدواژه‌ها، نویسندگان، استنادها و خوشه‌های پژوهشی را داراست و در مطالعات کتاب‌سنجی کاربرد فراوانی یافته است. با وجود رشد پژوهش‌ها در حوزه بیومیمیکری معماری، تاکنون مطالعه‌ای جامع که به تحلیل علم‌سنجی پژوهش‌های مرتبط با هندسه مرجان‌های دریایی در ساختمان‌ها طی بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵ بپردازد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف تحلیل روند تولیدات علمی، شناسایی شبکه‌های دانشی، کلیدواژه‌های پرتکرار، نویسندگان و کشورهای فعال در این حوزه، بر اساس داده‌های نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس و با بهره‌گیری از نرم‌افزار VOSviewer انجام می‌شود.

۲- سوالات پژوهش

۱. رکوردهای علمی نمایه‌شده در حوزه تحلیل بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس شامل چند خوشه است؟ میزان قدرت اتصال و چگالی هر خوشه چقدر است؟
۲. نحوه همکاری کشورهای توسعه‌یافته با کشورهای در حال توسعه در حوزه تحلیل بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس چگونه است؟
۳. پژوهشگران برتر در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس کدام هستند و شبکه هم‌تالیفی آن‌ها به چه صورت است؟

۳- پیشینه پژوهش

جدول ۱- پیشینه پژوهش

پژوهشگران	عنوان پژوهش	یافته‌های پژوهش
Lin et al., 2011	پیاپی سازی یک سیستم پایش سلامت سازه‌ای دو حالت با الهام از طبیعت	سیستم‌های پایش سلامت سازه ملهم از طبیعت، با حسگرهای هوشمند، دقت، ایمنی و کاهش هزینه‌های نگهداری را افزایش می‌دهند.
van Eck & Waltman, 2011	متن کاوی و مصورسازی با استفاده از VOSviewer	VOSviewer نرم‌افزاری برای متن کاوی و مصورسازی علم‌سنجی است که با تحلیل شبکه‌های علمی، درک ساختار دانش و الگوهای پژوهشی را تسهیل می‌کند.
van Eck & Waltman, 2017	خوشه‌بندی مبتنی بر استاندارد نشریات با استفاده از CitNetExplorer و VOSviewer	CitNetExplorer و VOSviewer با تحلیل استنادی، آشکارسازی شبکه‌های علمی، شناسایی خوشه‌ها و روندها، تحلیل علم‌سنجی را نظام‌مند و بصری می‌کنند.
Wangpraseurt et al., 2020	مرجان‌های چاپ سه‌بعدی بیونیک	ساختارهای مرجانی چاپ سه‌بعدی توانستند نور و انرژی را بهینه کنند؛ نتایج نشان‌دهنده ظرفیت بالای هندسه مرجان در بهبود عملکرد محیطی است.
Selçuk & Avinç, 2022	بیومیمیکری برای طراحی ساختمان با بهره‌وری انرژی: یک تحلیل کتابشناختی	طراحی کم‌مصرف انرژی در حال رشد است؛ پژوهش‌ها بر پایداری و بهینه‌سازی متمرکزند، اما الهام از طبیعت کمتر بررسی شده است.
Srisuwan et al., 2022	استفاده از نقشه‌برداری بیومیمیکری و کتاب‌سنجی برای هدایت طراحی و تولید صخره‌های مرجانی مصنوعی	شناسایی ۵ خوشه اصلی پژوهش‌های مرجانی (عملکرد، فناوری، زیست‌شناسی، بقا و توسعه) به کمک تحلیل علم‌سنجی و تشخیص ارتباط آن‌ها با طراحی زیست‌الهام
Lin et al., 2023	طراحی و ساخت مرجان مغزی مصنوعی؛ اصل تکامل، هیدرودینامیک آشفته و تبادل ماده	هندسه مرجان مغزی به‌عنوان یک فرم بهینه برای تبادل جریان و افزایش کارایی محیطی معرفی شد.
Nguyen et al., 2022	فناوری‌های نوظهور سه‌بعدی برای اصلاح آینده صخره‌های مرجانی	فناوری‌های نوین مانند چاپ سه‌بعدی امکان بازتولید هندسه مرجان و کاربرد آن در طراحی‌های پایدار را فراهم می‌کنند.
Verbrugghe, Rubinacci & Khan, 2023	بیومیمیکری در معماری: مروری بر تعاریف، مطالعات موردی و روش‌های طراحی	بیومیمیکری در معماری چارچوب منسجمی ندارد، اما ظرفیت بالایی برای پایداری دارد و نیازمند توسعه روش‌ها و کاربردهای گسترده‌تر است.
Sedira et al., 2024	تحلیل کتاب‌سنجی روندهای پژوهشی جهانی در زمینه بیومیمتیک، بیومیمیکری، بیونیک و مفاهیم ملهم از زیست در مهندسی عمران از Scopus	پژوهش‌های بیومیمیکری و بیونیک در حال رشد است؛ تمرکز بر پایداری و نوآوری دارد، اما مشارکت کشورها محدود بوده و نیازمند تحقیقات میان‌رشته‌ای است.
Ali & Dinçer, 2025	ارزیابی کتاب‌سنجی استفاده از بیومیمیکری به عنوان یک رویکرد طراحی سازگار با طبیعت در معماری منظر در چارچوب پایداری	تحلیل علم‌سنجی نشان می‌دهد پژوهش‌ها بر طراحی پایدار و الهام از طبیعت متمرکزند؛ همکاری‌های علمی در حال شکل‌گیری است و بیومیمیکری ظرفیت بالایی برای توسعه معماری منظر دارد.
Hidayani et al., 2025	تحلیل کتاب‌سنجی با VOS: روندها در مصالح، نماها، ساختمان‌ها و آسایش حرارتی در معماری پایدار	با وجود رشد مطالعات معماری پایدار، پژوهش‌های علم‌سنجی در این حوزه محدود و پراکنده‌اند و همچنان شکاف پژوهشی قابل توجهی وجود دارد.
Linaraki, 2025	طراحی و ساخت سطوح تقویت‌کننده زیستی برای سکونتگاه‌های مرجانی	طراحی سطوح معماری الهام‌گرفته از مرجان نشان داد که هندسه‌های پیچیده می‌توانند عملکرد زیستی و تعامل با محیط را بهبود دهند.

پیشینه پژوهش نشان می‌دهد فناوری‌های زیست‌الهام و سیستم‌های پایش سلامت سازه، همراه با هندسه‌های طبیعی مانند مرجان و فناوری چاپ سه‌بعدی، نقش مهمی در بهبود عملکرد، پایداری و بهینه‌سازی انرژی در معماری دارند. همچنین ابزارهای علم‌سنجی مانند VOS و CitNetExplorer امکان تحلیل شبکه‌های علمی و شناسایی روندهای پژوهشی را فراهم کرده‌اند. با این حال، مطالعات بیومیمیکری به‌ویژه در زمینه هندسه مرجان‌های دریایی و کاربرد آن در طراحی معماری مسکونی همچنان پراکنده و محدود است و تحلیل علم‌سنجی این حوزه با تمرکز بر مرجان و استفاده از VOS بسیار اندک بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد علی‌رغم شناخت ویژگی‌های عملکردی مرجان، تبدیل آن به راهبردهای طراحی معماری به‌صورت نظام‌مند کمتر انجام شده است. ارتباط مستقیم بین «هندسه مرجان + معماری مسکونی + تحلیل علم‌سنجی» هنوز به‌طور سیستماتیک بررسی نشده است.

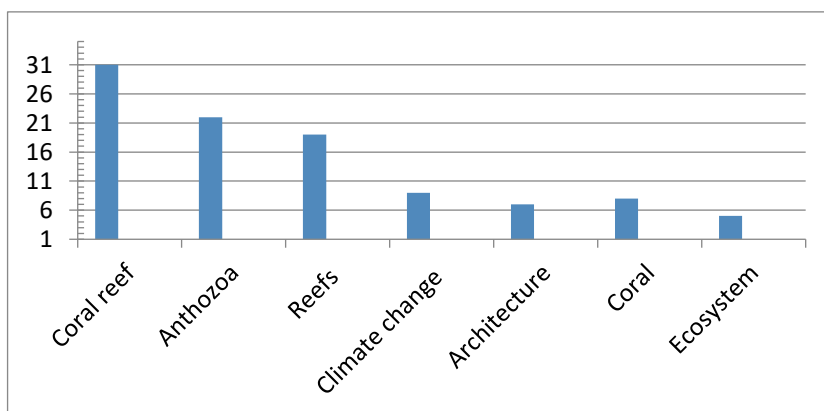
در این راستا، رویکردهای نظری نیز اهمیت طبیعت در شکل‌گیری معماری را تأیید می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که چارلز جنکس معماری معاصر را متأثر از هفت جریان شکل‌گیری فرم می‌داند و برخی از آن‌ها را مبتنی بر الگوهای طبیعی معرفی می‌کند (رضایی، ۱۳۹۳: ۱۵۵). همچنین پژوهشگران دیگری همچون فن فریش، هنسل و باهامان و پرز، بر امکان الهام‌گیری مستقیم از ساختارهای زیستی و جانوری مانند مرجان، کندو و تار عنکبوت در طراحی معماری تأکید کرده‌اند و طبیعت را نه‌تنها منبع مصالح، بلکه الگوی ساخت و فرم‌یابی معرفی می‌کنند (همان: ۲۱۲).

۴- روش پژوهش

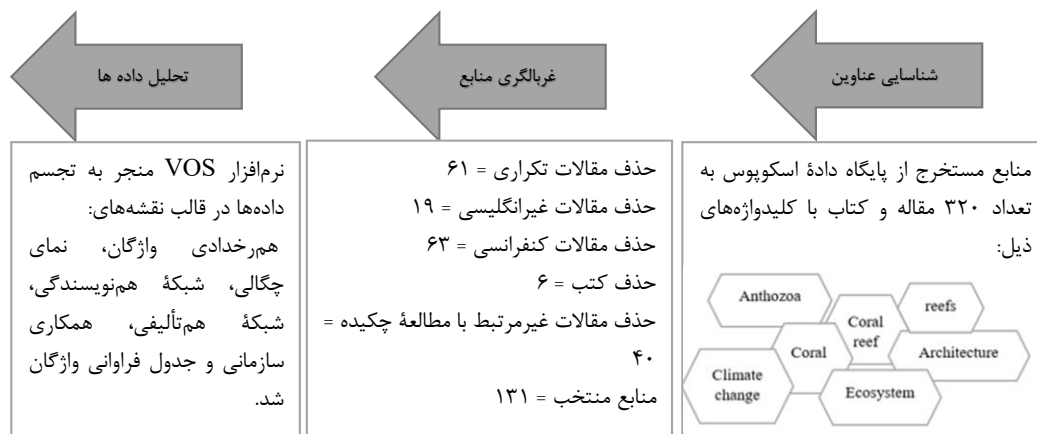
این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و با رویکرد کاربردی انجام شده و با هدف علم‌سنجی، به بررسی و ارزیابی تولیدات علمی مرتبط با هندسه مرجان‌های دریایی در حوزه معماری و ساختمان می‌پردازد. در این مطالعه، برای گردآوری و تحلیل داده‌ها از ترکیب رویکرد کیفی و روش تحلیل محتوا استفاده شده است؛ به‌گونه‌ای که از تحلیل محتوا برای تفسیر کیفی یافته‌های علم‌سنجی بهره گرفته شد. این تحلیل شامل شناسایی مفاهیم کلیدی در عناوین و چکیده‌ها، استخراج واژگان پرتکرار و تبیین مضامین اصلی در خوشه‌های موضوعی بوده است. هم‌زمان، تحلیل‌های کمی علم‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer انجام شده است. واحد تحلیل در این پژوهش «مقالات علمی» در نظر گرفته شده و تحلیل‌های شبکه‌ای بر اساس هم‌رخدادی واژگان و همچنین همکاری میان نویسندگان صورت گرفته است. داده‌های مورد نیاز از پایگاه استنادی اسکوپوس گردآوری شد و فرایند جست‌وجو در بازه زمانی ۱۰ آبان ۱۴۰۴ تا ۲۰ آبان همان سال انجام گرفت. انتخاب پایگاه اسکوپوس به دلیل پوشش گسترده بین‌المللی در حوزه معماری و فناوری ساختمان و نیز سازگاری ساختار داده‌های آن با تحلیل‌های شبکه‌ای در نرم‌افزار VOS صورت پذیرفت. برای پردازش و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Excel و VOS استفاده شد. شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل میزان پراکندگی تولیدات علمی، هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها، رکوردهای علمی نمایه‌شده، پژوهشگران و کشورهای پیشرو و الگوهای همکاری علمی در این حوزه بوده است.

۴-۱- مراحل جمع‌آوری و پالایش داده‌ها

استخراج منابع از پایگاه داده اسکوپوس طبق کلیدواژه‌های مندرج در جدول ذیل انجام گرفت. مجموعاً ۳۲۰ رکورد با فرمت CSV گردآوری شد، که جهت آماده‌سازی اولیه و انجام فرایند غربالگری، در نرم‌افزار اکسل ذخیره و سامان‌دهی شدند.



نمودار ۱. کلیدواژه‌های جستجو در پایگاه اسکوپوس



شکل ۱. شماتیک روش‌شناسی پژوهش

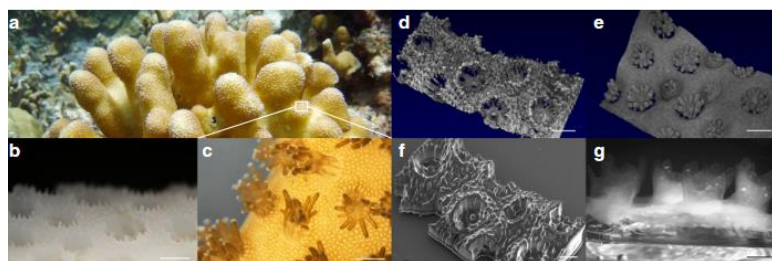
۵- مبانی نظری

۵-۱- مرجان در فرهنگ‌های مختلف

ریشه نام «مرجان» عموماً به کلمه یونانی «سنگریزه» «کورالیون» نسبت داده می‌شود، اما ریشه‌های عبری «گورال»، به معنای سنگریزه کوچک و عربی «گارال»، سنگ کوچک نیز محتمل است، شاید به دلیل نام‌هایی که تاجران اولیه که بین اروپا و خاورمیانه سفر می‌کردند به آنها داده بودند (Hickson, 1924). همچنین در فارسی، مرجان با نام‌های بساد، بوساد، واساد، کامه، خوروک و جوهر قرمز و در هند با نام‌های مونگا و گاهی کامه شناخته می‌شد (Noorbakhsh, 1991). از زمان‌های قدیم، اعتقاد بر این بود که مرجان‌ها در درمان زوال عقل، افزایش خرد، ضد عفونی کردن، کاهش پرخاشگری و اضطراب، افزایش فعالیت‌های مثبت اجتماعی و افزایش ایمنی در برابر طاعون و خطرات ناشی از آن مؤثر هستند. همچنین معتقد بودند که حمل مرجان باعث می‌شود مسافران با خیال راحت از دریاها و رودخانه‌ها عبور کنند. در فرهنگ‌های مختلف قبایل مختلف از گذشته تا به امروز، اعتقاد بر این است که مرجان‌ها از صاحبان خود در برابر چشم بد و فال بد محافظت می‌کنند؛ این هنوز هم در بین کودکان و زنان جوان رایج است که برای محافظت از خود گردنبندهای مرجانی بپوشند. در چین، مرجان نماد طول عمر است و به عنوان یکی از هشت گنج در نظر گرفته می‌شود. مرجان یکی از سه گروه تاجرا مونو ژاپنی است که در آنجا به عنوان نمادی در نظر گرفته می‌شود که بدی را از بین می‌برد. قدرت‌های محافظتی نیز وجود داشتند (Moradi, 2016).

۵-۲- صخره‌های مرجانی

مرجان یکی از غنی‌ترین اکوسیستم‌های جهان است و به دو گروه اصلی تقسیم می‌شود. گروه اول شامل مرجان‌های نرم ساکن در اقیانوس‌ها و دریاهای گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است. مردم در گذشته از این نوع مرجان‌ها برای ساخت جواهرات و اشیاء تزئینی استفاده می‌کردند. گروه دوم شامل مرجان‌های سخت است که به عنوان مصالح ساختمانی در مناطق ساحلی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند (Moradi, 2016).



شکل ۲. ساختار مرجان‌های بیونیک طبیعی

صخره‌های مرجانی از جمله متنوع‌ترین اکوسیستم‌های زیر آب هستند که توسط ساختارهای کربنات کلسیم (سنگ آهک) ترشح شده توسط مرجان‌ها در دریاهای کم‌عمق گرمسیری طی هزاران سال در کنار هم نگه داشته شده‌اند (Hickman et al., 2015). این صخره‌ها ساختارهای زنده چندمنظوره‌ای هستند که خود رشد می‌کنند، خود را تطبیق می‌دهند و خود را حفظ

می‌کنند. آن‌ها توسط موجودات زنده، عمدتاً مرجان‌های سخت و جلبک‌ها، تشکیل می‌شوند. اهمیت آن‌ها توسط بسیاری از محققان برجسته شده است (Linaraki, 2021). صخره‌های مرجانی به عنوان یکی از بهترین استراتژی‌های سازگاری مبتنی بر طبیعت برای مناطق ساحلی قرار می‌گیرد (Heron et al., 2017)، که با بهره‌گیری از راندمان بالای فتوسنتزی همزیستی مرجان-جلبک، در میان پربرترین اکوسیستم‌های جهان قرار دارند (Hatcher, 1988). صخره‌های مرجانی از برخی از پربرترین اکوسیستم‌های جهان، زیستگاه دریایی پیچیده و متنوعی را فراهم می‌کنند که از طیف وسیعی از موجودات دیگر پشتیبانی می‌کند. صخره‌ها محل زندگی طیف وسیعی از حیوانات، از جمله ماهی‌ها، پرندگان دریایی، اسفنج‌ها، کیسه‌تنان، کرم‌ها، سخت‌پوستان، نرم‌تنان، خارپوستان، آب‌پرنده‌گان دریایی، لاک‌پشت‌های دریایی و مارهای دریایی هستند. تعداد کمی از این گونه‌های متنوع مستقیماً از مرجان‌ها تغذیه می‌کنند، در حالی که برخی دیگر از جلبک‌های روی صخره تغذیه می‌کنند. زیست‌توده صخره‌ها با تنوع گونه‌ای رابطه مثبت دارد (Moradi, 2016).

۵-۳- مرجان و نقش آن در معماری

صخره‌های مرجانی خدمات ضروری را به انسان‌ها ارائه می‌دهند. جمعیت‌های بزرگ انسانی در جزایری زندگی می‌کنند که صرفاً توسط صخره‌های مرجانی یا صخره‌های مرجانی در ارتباط با سایر رسوبات دریایی ساخته شده‌اند. برای بسیاری از جوامع ساحلی و جزیره‌ای، به ویژه در کشورهای در حال توسعه آمریکای مرکزی، کارائیب، آفریقا و آسیا، زیست‌بوم صخره‌های مرجانی منابع مهم غذا و سنگ آهک، ماسه، قله و سنگ و بلوک‌های صخره‌ای برای استفاده به عنوان مصالح ساختمانی هستند. موانع فیزیکی ایجاد شده توسط صخره‌های مرجانی، سواحل را از فرسایش امواج طوفان محافظت می‌کند. گردشگری مرتبط با صخره‌های مرجانی برای بسیاری از کشورها درآمد ارزی قابل توجهی فراهم می‌کند. فراتر از این مزایای شاید آشکار، صخره‌ها ابزارهای موثری در هنر و معماری بسیاری از ملت‌ها بوده‌اند. موردی که در منطقه خلیج فارس برجسته نشده است، جایی که رشد گسترده مرجان را در یکی از مرتفع‌ترین مکان‌های عرض جغرافیایی جهان در خود جای داده است (Moradi, 2016). در دوران قبل، مصالح ساختمانی ضروری به صورت محلی تهیه می‌شدند. گل و لای و پارچه‌های مرجانی خشن در مناطق ساحلی به عنوان منبع مصالح ساختمانی استفاده می‌شدند. در بسیاری از شهرها، خانه‌ها به یکدیگر متصل یا متصل بودند و به صورت یک طبقه و مستطیل شکل باقی می‌ماندند، اگرچه معمولاً بیشتر از بلوک‌های مرجانی تراشیده شده و ملات سنگ آهک استفاده می‌شد. گچ ساخته شده از آهک مرجانی اغلب برای پوشش دیوارها و سنگفرش کف استفاده می‌شد (Pouwels, 2002). بر اساس مطالعات میدانی انجام شده در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، مرجان عملاً یکی از مصالح ساختمانی مهم موجود در چهار جزیره قشم، هرمز، هنگام و لارک بوده و مرجان‌ها برای دهه‌ها در این جزایر استخراج شده‌اند (Moradi, 2016).

۵-۴- بیومیمیکری

اصطلاح «بیومیمیکری» از کلمه یونانی «بیومیمسیس» به معنای تقلید از زیست‌شناسی یا طبیعت زنده گرفته شده است (Bhushan, 2009). این اصطلاح که توسط دانشمند همه‌چیزدان، اتو اشمیت، در سال ۱۹۵۷ ابداع شد، به تقلید از فرآیندهای بیولوژیکی در نوآوری‌های فناوری اشاره دارد (Vincent et al., 2006). زیست تقلید^۱ یک تکنیک یا فلسفه مبتنی بر علم است که از اشکال، فرآیندها و اکوسیستم‌های طبیعت تقلید می‌کند، تا الهام‌بخش طرح‌های پایدارتر باشد (Steffen, 2018). زیست تقلید یک روش میان رشته‌ای است که از موجودات زنده در طبیعت الهام گرفته شده است. هدف آن یافتن راه‌حلهایی برای چالش‌های پیش روی بشریت است (Yazici, 2020). از همه مهم‌تر، تعهد به زیست تقلید مستلزم احترام اخلاقی به ارزش‌های ذاتی طبیعت است (Oguntona & Aigbavboa, 2017)، که شامل مطالعه تشکیل، ساختار و عملکرد مواد و مصالح تولید شده بیولوژیکی و همچنین مکانیسم‌ها و فرآیندهای بیولوژیکی برای سنتز محصولات مشابه از طریق روش‌های مصنوعی است (Merriam-Webster, 2024). به گفته وینست و مان، «بیومیمتیک» شامل «فناوری مبتنی بر زیست‌شناسی» (Vincent et al., 2002) است که با هدف ایجاد راه‌حلهایی برای بهبود زندگی انسان با تقلید یا تقلید از طبیعت انجام می‌شود (Iouguina et al., 2014). این رویکرد میان‌رشته‌ای، شکاف بین آزمایشگاه‌ها و صنعت را پر می‌کند و دانش را از زمینه‌های مختلفی مانند شیمی، زیست‌شناسی، مهندسی، پزشکی و دندانپزشکی برای توسعه راه‌حل‌های کاربردی ادغام می‌کند (Zan & Wu, 2016). بیومیمتیک به عنوان روشی عمل می‌کند که از طبیعت برای حل مشکلات الهام می‌گیرد و توسعه فناوری را هدایت می‌کند و بر توسعه مواد و فناوری‌هایی تمرکز دارد که ترکیب، ساختار و عملکرد سیستم‌های طبیعی را

^۱. Biomimicry

تقلید می‌کنند (Bhushan, 2023). هدف آن نه تنها کپی کردن طبیعت، بلکه درک اصول طبیعی زیربنایی و تطبیق آنها با فناوری‌های ساخت بشر است. بیومیمتیک با موفقیت در رشته‌های مختلفی از جمله مهندسی عمران، اپتیک، فناوری نانو، رباتیک و مدیریت انرژی به کار گرفته شده است (Sedira et al., 2024). در یک دنیای بیومیمتیک، تولید، فرآیندهای مشاهده شده در حیوانات و گیاهان را تقلید می‌کند و با استفاده از نور خورشید و ترکیبات ساده، الیاف زیست‌تخریب‌پذیر، سرامیک، پلاستیک و مواد شیمیایی تولید می‌کند. مزارع از چمنزارها تقلید می‌کنند، خودبارور هستند و در برابر آفات مقاومند. برای کشف داروها یا محصولات جدید، از حیوانات و حشرات که میلیون‌ها سال از گیاهان برای حفظ سلامت و تغذیه استفاده کرده‌اند، بینش‌هایی گرفته می‌شود. حتی محاسبات نیز از طبیعت الهام می‌گیرد، با راه‌حل‌های تکامل نرم‌افزاری و محاسبات سخت‌افزاری از طریق لمس. طبیعت مدلهایی را برای سلول‌های خورشیدی شبیه برگ‌ها، الیاف فولادی الهام گرفته از عنکبوت‌ها، سرامیک‌های نشکن شبیه به صدف مروارید، درمان‌های سرطان آموخته شده از شامپانزه‌ها، غلات چند ساله مدل‌سازی شده از علف‌های بلند، رایانه‌هایی که مانند سلول‌ها سیگنال می‌دهند و یک اقتصاد حلقه بسته که از درختان سرخ‌چوب، صخره‌های مرجانی و جنگل‌های بلوط-هیوکوری درس می‌گیرد، ارائه می‌دهد (Benyus, 1997).

۵-۵- علم‌سنجی

علم‌سنجی به معنای کاربرد روش‌های کمی (روش‌های آماری و اندازه‌گیری) برای درک و نمایش بصری معیارهای خاص با ادبیات علمی است که بر اساس داده‌های کتاب‌شناسی رخ می‌دهد (Muller et al., 2018). واژه علم‌سنجی و شاخه‌های مرتبط آن به‌طور مستقیم با بررسی میزان تولید اطلاعات علمی در حوزه‌های تخصصی مختلف در ارتباط است و شاخص‌هایی را برای ارزیابی و سنجش میزان اطلاعات تولیدشده در زمینه‌های گوناگون و در کشورهای مختلف، در اختیار دانشمندان قرار می‌دهد. همچنین ترسیم نقشه در علم‌سنجی کاربرد وسیعی دارد این حوزه از طریق پردازش و استخراج و مرتب‌سازی اطلاعات به ترسیم نقشه علمی می‌پردازد؛ و امکان تحلیل مسیریابی و نمایش دانش را فراهم می‌آورد (نوروزی‌چاکلی، ۱۳۹۲: ۶۷).

۵-۶- نرم‌افزار VOSviewer

از نرم‌افزار VOSviewer به منظور بررسی ارتباط بین مقالات از پایگاه داده‌ای برای طبقه‌بندی کلمات کلیدی مختلف بر اساس استناد همزمان آنها با پیروی از تکنیک‌های خوشه‌بندی استفاده می‌شود. VOS مخفف «تجسم شباهت‌ها» است. از این برنامه بیشتر جهت مصورسازی شبکه‌های علم‌سنجی، با استفاده از الگوریتم‌های برجسب‌گذاری خاص، بزرگنمایی یا استعاره-های چگالی تمرکز دارد. در این مرور متون سیستماتیک، نرم‌افزار، نقشه‌ای را بر اساس فراوانی استناد همزمان کلمات کلیدی مختلف ارائه می‌دهد. نرم‌افزار VOS با پایگاه داده‌های مختلف PubMed، Scopus، CrossRef، web of science، JSON RIS و کار می‌کند. به کمک این نرم‌افزار می‌توان سه تصویر نقشه‌برداری مختلف شامل نقشه مصورسازی شبکه، نقشه مصورسازی همپوشانی، نقشه مصورسازی تراکم داده را ایجاد کرد (Kuzior & Sira, 2022). این نرم‌افزار در این مطالعه صرفاً به تحلیل مقالات دانشگاهی پایگاه Scopus^۱ پرداخته است.

۵-۷- خوشه

خوشه‌بندی به معنای دسته‌بندی اعضای مجموعه بدون نظارت و دخالت است. تکنیک‌های خوشه‌بندی نقش برجسته‌ای در پژوهش‌های علم‌سنجی و کتاب‌سنجی دارند. به عنوان مثال، از آنها برای شناسایی گروه‌هایی از انتشارات، نویسندگان یا مجلات مرتبط استفاده می‌شود (van Eck & Waltman, 2017). در خوشه‌بندی، خود خوشه‌ها از داده‌ها استخراج می‌گردند. در خوشه‌بندی قدرت رنگ دایره‌ها نشان از این است که کلیدواژه‌های هم‌رنگ در یک حوزه موضوعی هستند معرف یک خوشه می‌باشند. بزرگ و کوچکی دایره‌ها نشان‌دهنده میزان دانش موجود در مورد هر مفهوم است (Omran et al., 2007).

۱. Database: پایگاه اطلاعاتی اسکوپوس یک پایگاه استنادی با سابقه‌ای طولانی است که از سال ۱۷۸۸ میلادی در نمایه‌سازی اسناد فعالیت دارد. این نمایه استنادی توسط ناشر هلندی بنام الزویر تأسیس شده و حاوی بیش از ۲۴۶۰۰ عنوان نشریه، بیش از ۱۹۴۰۰۰ کتاب از ۵۰۰۰ ناشر معتبر، بیش از ۷۵۰۰۰۰۰ مقاله، ۱/۴ میلیارد مرجع ذکر شده است. از سال ۱۹۷۰، در این پایگاه بیش از ۹/۵ میلیون مقاله کفرانسی، ۴۳۷ میلیون پروانه ثبت اختراع از پنج کشور بزرگ ثبت اختراع در سراسر جهان، ۱۶ میلیون نمایه نویسنده و حدود ۷۰۰۰۰ پروفایل عضویت است (Cascajares et al., 2020).

۵-۸- هم‌رخدادی^۱

تحلیل هم‌واژگانی یا هم‌رخدادی واژگان یکی از روش‌های علم‌سنجی است که شامل تجزیه و تحلیل آماری از مقالات و مستندات منتشرشده بر اساس واژه‌های کلیدی است (عباسی و همکاران، ۱۴۰۰). هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها میزان ارتباط میان یک مجموعه مدارک را نشان می‌دهد و با مقایسه نقشه‌های حاصل در بازه زمانی مشخص، پویایی علم در زمینه مورد مطالعه معلوم می‌شود (Madtati et al., 2018).

۵-۹- شبکه‌های هم‌نویسندگی^۲

شبکه‌های هم‌نویسندگی دسته‌ای از شبکه‌های اجتماعی هستند که به طور گسترده‌ای برای تعیین ساختار همکاری‌های علمی و گروهی و نیز به منظور مشخص کردن موقعیت پژوهشگران در یک حوزه خاص به کار می‌روند. مقاله مشترکی که بین دو یا چند نویسنده نوشته می‌شود، در حقیقت سندی برای اعلام همکاری میان آنهاست. نتیجه این همکاری ایجاد یک شبکه هم‌نویسندگی است. با مطالعه این شبکه می‌توان به خصوصیات افراد شرکت‌کننده و نیز ساختار شبکه نویسنده‌گی پی برد. به عنوان مثال، هر چه تعداد نویسندگان همکار در یک حوزه علمی افزایش پیدا کند داده‌های علمی نیز افزایش می‌یابد (Newman, 2005:74). افزون بر این، هم‌تألیفی به عنوان شاخصی برای سنجش بین‌المللی شدن پژوهش‌ها، همکاری‌های بین‌سازمانی و بین‌رشته‌ای نیز به کار می‌رود. افزایش تعداد نویسندگان یک مقاله و رشد همکاری‌های بین‌المللی، معمولاً با افزایش تأثیر علمی و میزان استناد همراه است. از این رو، تحلیل شبکه‌های هم‌تألیفی ابزاری کارآمد برای ترسیم نقشه علم، ارزیابی عملکرد پژوهشی و شناسایی ساختارهای دانشی به شمار می‌رود (Glänzel & Schubert, 2001).

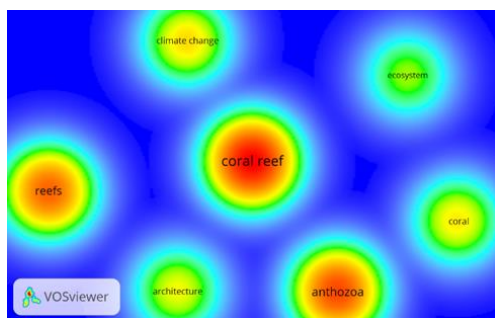
۵-۱۰- چگالی^۳

چگالی یکی از شاخص‌هایی است که برای بررسی میزان انسجام شبکه به کار می‌رود. چگالی شبکه را می‌توان مجموعه‌ای از روابط تعریف کرد که گره‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند و شبکه را از گسیختگی بازمی‌دارد (Faust, 2006:185).

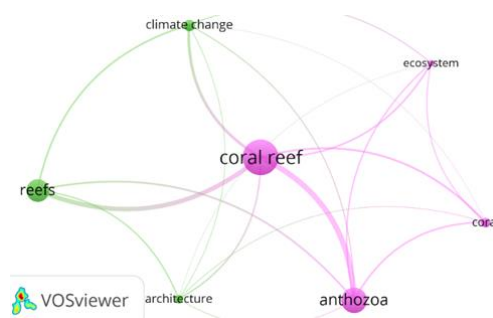
۶- یافته‌های پژوهش

یافته‌های تحقیق: پس از بازیابی تمامی مدارک نمایه‌شده در پایگاه اطلاعاتی اسکوپوس، اطلاعات مربوط به عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های آن‌ها استخراج و به نرم‌افزار VOSviewer منتقل شد. یافته‌ها براساس پاسخ به ۴ پرسش تحقیق تدوین و روش دستیابی به آن‌ها در ادامه آمده است.

سوال ۱- رکوردهای علمی نمایه‌شده در حوزه تحلیل بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس شامل چند خوشه است؟ میزان قدرت اتصال و چگالی هر خوشه چقدر است؟



شکل ۴- نمای چگالی ساختار واژگان بر تکرار تولیدات علمی در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان- در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵



شکل ۳- نقشه هم‌رخدادی واژگان کلیدی در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵

1. Co-occurrence word
2. Co-Authorship
3. Density Visualization

بر اساس شکل شماره ۳، پرتکرارترین و پراهمیت‌ترین کلیدواژه‌ها شناسایی و دو خوشه معنایی متمایز ارائه شد (جدول ۲). در این تحلیل، فراوانی واژگان و میزان قدرت پیوند میان آن‌ها به‌عنوان معیار اصلی در تفکیک خوشه‌ها در نظر گرفته شده است. خوشه ۱ (بنفش) که بزرگ‌ترین خوشه محسوب می‌شود، شامل چهار واژه کلیدی بوده و بر مفاهیمی نظیر *Coral, anthoza* و *ecosystem* و تمرکز دارد. این مفاهیم ناظر بر ساختار زیستی، منطق رشد و سازمان‌یافتگی مرجان‌ها به‌عنوان یک سیستم طبیعی هستند. بازتاب این رویکرد در حوزه معماری، در قالب طراحی بیومیمتیک و ارگانیک قابل تبیین است؛ به‌گونه‌ای که معماران به‌جای تقلید صرف از فرم‌های طبیعی، به درک اصول حاکم بر رشد، توزیع نیرو و تعاملات محیطی در این سیستم‌ها می‌پردازند. چنین نگرشی در نهایت به شکل‌گیری سازه‌هایی با کارایی بالا، پوسته‌های پیچیده اما بهینه، و فضاهایی با سازمان فضایی الهام‌گرفته از الگوهای طبیعی منجر می‌شود. در این چارچوب، معماری به‌مثابه دانشی ظاهر می‌شود که از طبیعت می‌آموزد. در مقابل، خوشه ۲ (سبز) شامل مفاهیمی همچون *climate change* و *architecture* است که بیانگر توجه به صخره‌های مرجانی به‌عنوان شاخص‌هایی حساس در برابر تحولات محیطی و اقلیمی هستند. بازتاب این رویکرد در معماری، حرکت به‌سوی طراحی پایدار و اقلیم‌محور است؛ رویکردی که در آن، معماری فراتر از جنبه‌های فرمال و زیبایی‌شناختی، به‌عنوان بخشی از یک نظام محیطی گسترده‌تر تعریف می‌شود. پیامدهای عملی این نگرش را می‌توان در طراحی ساختمان‌های کم‌مصرف، بهره‌گیری از مصالح سازگار با محیط، توجه به فرآیندهای طبیعی نظیر نور، تهویه و رطوبت، و نیز توسعه پروژه‌هایی با رویکرد احیای اکوسیستم‌ها مشاهده کرد. از این منظر، این خوشه معماری را به سمت پایداری، تاب‌آوری و کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست سوق می‌دهد.

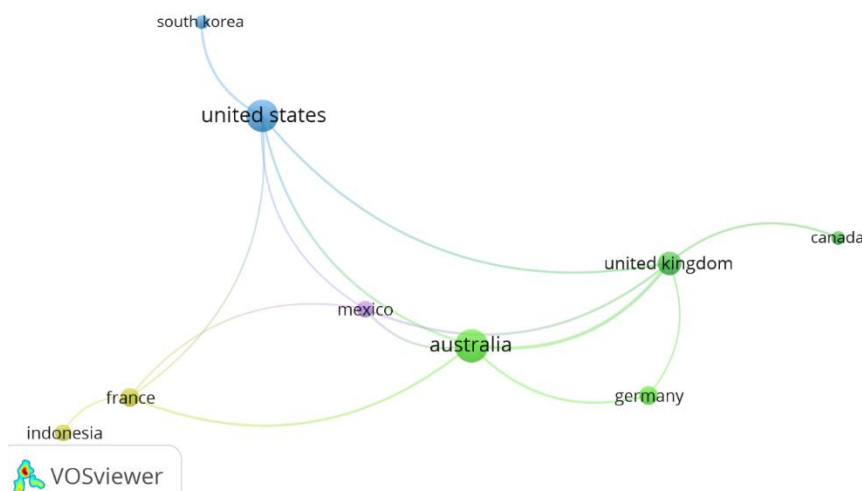
طبق شکل ۴ «*coral reef*» به‌عنوان هسته اصلی شبکه، در خوشه مرکزی با رنگ‌های قرمز و هاله‌ای زرد-نارنجی پیرامون آن، بالاترین میزان تراکم را نشان می‌دهد. این امر تأیید می‌کند که ساختار دانش در این حوزه حول یک هسته مرکزی (*coral reef*) سازمان یافته و سایر مفاهیم با شدت‌های متفاوت به آن متصل هستند. همچنین، شکاف نسبی میان مفاهیم زیستی و مفاهیم کاربردی (مانند معماری) نشان‌دهنده ظرفیتی بالقوه برای توسعه مطالعات میان‌رشته‌ای، به‌ویژه در جهت پیوند عمیق‌تر میان دانش زیستی مرجان‌ها و کاربردهای آن در طراحی معماری پایدار و الهام‌گرفته از طبیعت است.

جدول ۲- فراوانی واژگان کلیدی و قدرت اتصال آن‌ها در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵

خوشه‌ها	کلیدواژگان	رخداده	قدرت اتصال
خوشه ۱ (بنفش)	Anthozoa	۲۲	۳۵
	Coral	۸	۱۷
	Coral reef	۳۱	۵۲
	Ecosystem	۵	۱۶
خوشه ۲ (سبز)	Architecture	۷	۱۵
	Climate change	۹	۲۲
	Reefs	۱۹	۲۷

این جدول نتایج تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها را بر اساس دو شاخص «فراوانی رخداد» و «قدرت اتصال» ارائه می‌کند و از این طریق، ساختار مفهومی پژوهش را در قالب دو خوشه معنایی مشخص می‌سازد. بررسی فراوانی واژگان نشان می‌دهد که *Coral reef* با ۳۱ رخداد، پرتکرارترین و *Ecosystem* با ۵ رخداد، کمترین فراوانی را دارند، که بیانگر تمرکز اصلی ادبیات بر جنبه‌های زیستی و طبیعی مرجان‌ها در مقایسه با کاربردهای معماری است. از سوی دیگر، شاخص قدرت اتصال بیانگر میزان ارتباط هر واژه با سایر مفاهیم شبکه است. در این میان *Coral reef* با بالاترین میزان قدرت اتصال (۵۲) به‌عنوان گره مرکزی شبکه شناخته می‌شود که نقش پیونددهنده میان سایر مفاهیم را ایفا می‌کند. *Ecosystem* برابر ۱۶، پایین‌ترین میزان قدرت اتصال را دارا است. این امر نشان می‌دهد که اگرچه معماری در این حوزه مطرح است، اما هنوز در مقایسه با مفاهیم زیستی، پیوندهای کمتری در شبکه دانش دارد.

سوال ۲- نحوه همکاری کشورهای توسعه یافته با کشورهای در حال توسعه در حوزه تحلیل بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس چگونه است؟



شکل ۵- نقشه شبکه هم‌نویسندگی همکاری بین‌المللی میان کشورها در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵

نقشه ۵ الگوی همکاری علمی میان کشورها را در قالب یک شبکه خوشه‌ای با چند هسته مرکزی به تصویر می‌کشد. در این شبکه، اندازه گره‌ها بیانگر میزان فعالیت علمی و خطوط ارتباطی نشان‌دهنده شدت همکاری‌ها هستند، در حالی که رنگ‌ها خوشه‌های همکار را مشخص می‌کنند. در این میان، ایالات متحده به‌عنوان یکی از گره‌های محوری با بیشترین اتصالات، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی و میانجی‌گری روابط علمی بین‌المللی ایفا می‌کند. در کنار آن، استرالیا نیز به‌عنوان یکی از مراکز مهم شبکه، با برقراری ارتباط با کشورهایی مانند بریتانیا، آلمان و فرانسه، نقش پل ارتباطی میان بخش‌های مختلف شبکه، به‌ویژه میان اروپا و سایر مناطق، را بر عهده دارد. بریتانیا نیز به‌عنوان یک گره کلیدی، در تعامل نزدیک با کشورهای نظیر کانادا و آلمان قرار گرفته و بیانگر وجود همکاری‌های علمی پایدار در این خوشه است؛ به‌طوری‌که کانادا عمدتاً از طریق بریتانیا به شبکه متصل می‌شود. در مقابل، برخی کشورها مانند فرانسه و اندونزی در موقعیتی پیرامونی‌تر قرار دارند و از سطح پایین‌تری از تعاملات بین‌المللی برخوردارند. مکزیک نیز با قرارگیری در موقعیتی میانی، اگرچه با برخی گره‌های مرکزی در ارتباط است، اما نقش آن در مقایسه با بازیگران اصلی محدودتر ارزیابی می‌شود. در مجموع، این شبکه نشان می‌دهد که ساختار همکاری‌های علمی جهانی علاوه بر میزان تولید علمی، به شدت تحت تأثیر موقعیت کشورها در شبکه ارتباطات بین‌المللی است.

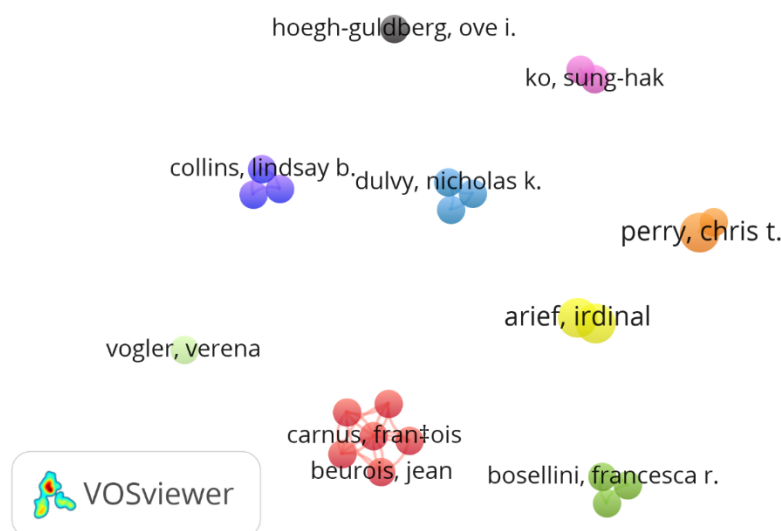
جدول ۳- شبکه هم‌نویسندگی بین کشورها در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵

نام کشور	تعداد مدارک	میزان استناد	قدرت اتصال
استرالیا	۱۶	۴۷۰	۱۲
کانادا	۳	۸۷۹	۲
چین	۴	۱۶	۰
فرانسه	۵	۱۲۳	۵
آلمان	۵	۷۴	۳
اندونزی	۴	۲۰	۱
مکزیک	۴	۱۲۰	۶
کره جنوبی	۳	۲	۲
اسپانیا	۴	۴۲	۰
بریتانیا	۸	۱۰۹۰	۱۱
ایالات متحده آمریکا	۱۵	۲۵۸	۸

این جدول سه شاخص کلیدی در ارزیابی عملکرد علمی کشورها، شامل کمیت تولید علمی (تعداد مدارک)، کیفیت و اثرگذاری پژوهش‌ها (میزان استناد) و سطح تعاملات علمی (قدرت اتصال) را مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که استرالیا و ایالات متحده از نظر حجم تولید علمی در جایگاه برتر قرار دارند، در حالی که کشورهایی مانند بریتانیا، فرانسه و آلمان در سطحی متوسط و سایر کشورها سهم کمتری از تولید علمی را به خود اختصاص داده‌اند؛ امری که بیانگر تمرکز تولید علم در چند کشور محدود است.

با این حال، الگوی استناد متفاوت است؛ به‌گونه‌ای که بریتانیا با فاصله قابل توجهی بیشترین میزان استناد را دارد و در نتیجه از نظر کیفیت و اثرگذاری علمی در جایگاه نخست قرار می‌گیرد. کانادا و استرالیا نیز عملکرد مطلوبی نشان می‌دهند، در حالی که ایالات متحده با وجود تولید بالا، از نظر استناد در رتبه پایین‌تری قرار دارد. این یافته‌ها حاکی از آن است که میان کمیت تولید و کیفیت علمی رابطه مستقیمی وجود ندارد. همچنین، کشورهایی مانند چین و کره جنوبی با وجود تولید علمی، از نظر میزان استناد عملکرد ضعیف‌تری دارند. در شاخص قدرت اتصال، استرالیا و بریتانیا به‌عنوان پیشروان شبکه‌سازی علمی شناخته می‌شوند و به‌واسطه تعاملات گسترده بین‌المللی، توانسته‌اند اثرگذاری پژوهش‌های خود را افزایش دهند. ایالات متحده و مکزیک نیز در سطح قابل‌قبولی قرار دارند، در حالی که کشورهایی مانند چین و اسپانیا از نظر همکاری‌های علمی وضعیت ضعیف‌تری دارند. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که جایگاه علمی کشورها نه تنها به میزان تولید، بلکه به کیفیت پژوهش و میزان مشارکت در شبکه‌های علمی بین‌المللی وابسته است.

سوال ۳- پژوهشگران برتر در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسهٔ مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس کدام هستند و شبکه هم‌تألیفی آن‌ها به چه صورت است؟



شکل ۶. نقشه شبکه هم‌تألیفی پژوهشگران برتر در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسهٔ مرجان‌های دریایی بر ساختمان در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵

این نقشه شبکه‌ای، الگوی همکاری علمی میان نویسندگان را نمایش می‌دهد و ساختار ارتباطات پژوهشی را در قالب خوشه‌های مختلف نشان می‌دهد. در این تصویر، هر گره نمایانگر یک نویسنده است، اندازه گره‌ها بیانگر میزان فعالیت یا تأثیر علمی آن‌ها بوده و خطوط بین گره‌ها نشان‌دهنده همکاری (هم‌تألیفی) میان نویسندگان است. همچنین رنگ‌های متفاوت، خوشه‌های پژوهشی مجزا را مشخص می‌کنند. در این شبکه، چندین خوشه مستقل قابل مشاهده است که هر یک نشان‌دهنده یک گروه پژوهشی با تعاملات درون گروهی قوی‌تر هستند.

جدول ۴- شبکه هم‌نویسندگی بین کشورها در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسهٔ مرجان‌های دریایی بر ساختمان در بازهٔ ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵

نویسندگان ^۱	نقش در شبکه/خوشه	تعداد مدارک ^۲	میزان استناد ^۳	قدرت اتصال ^۴
Jean Beurois	هستهٔ مرکزی، بیشترین ارتباطات و همکاری‌های چندگانه / قرمز	۲	۳	۱۰
François Carnus	هستهٔ مرکزی، بیشترین ارتباطات و همکاری‌های چندگانه / قرمز	۲	۱۴۱	۱۰
Irdinal Arief	خوشهٔ تک‌نفره / زرد	۳	۹۹۱	۳
Francesca r Bosellini	خوشهٔ تک‌نفره / سبز تیره	۲	۲۶	۴
Lindsay b Collins	خوشهٔ تک‌نفره / آبی تیره	۲	۲۶	۴
Nicholas k Dulvy	خوشهٔ تک‌نفره / آبی روشن	۲	۲۶	۴
Ove i Hoegh-guldberg	خوشهٔ تک‌نفره، نقش حاشیه‌ای با همکاری محدود / مشکی	۲	۸۷۸	۰
Sung-hak Ko	خوشهٔ تک‌نفره / صورتی	۲	۲۶	۲
Chris t Perry	خوشهٔ تک‌نفره / نارنجی	۳	۳۶	۲
Verena Vogler	خوشهٔ تک‌نفره / سبز روشن	۲	۲۱	۰

جدول ۴ نشان‌گر ساختار یک شبکهٔ هم‌نویسندگی است که در آن ترکیبی از یک هستهٔ مرکزی کوچک و چندین خوشهٔ تک‌نفره مشاهده می‌شود. در هستهٔ مرکزی، دو نویسنده یعنی Jean Beurois و François Carnus قرار دارند که هر دو با تعداد مدارک ۲ و قدرت اتصال ۱۰، بیشترین نقش را در ایجاد ارتباطات و همکاری‌های چندگانه ایفا می‌کنند. با این حال، میزان استناد آن‌ها متفاوت است؛ به‌طوری‌که François Carnus با ۱۴۱ استناد تأثیر علمی بیشتری نسبت به Jean Beurois با ۳ استناد دارد. این امر نشان می‌دهد که اگرچه هر دو در ساختار شبکه نقش کلیدی دارند، اما از نظر تأثیرگذاری علمی در یک سطح قرار ندارند. در مقابل، بخش عمدهٔ شبکه را خوشه‌های تک‌نفره تشکیل می‌دهند که نشان‌دهندهٔ پراکندگی و ضعف در همکاری‌های علمی است. در این میان، Irdinal Arief با ۳ مدرک و ۹۹۱ استناد، بالاترین میزان تأثیر علمی را دارد، اما با قدرت اتصال ۳ در موقعیتی نسبتاً منزوی قرار گرفته است. به‌طور مشابه، Ove I. Hoegh-Guldberg با ۲ مدرک و ۸۷۸ استناد، علی‌رغم تأثیر علمی بالا، دارای قدرت اتصال صفر است که بیانگر عدم پیوند او با سایر اعضای شبکه است. سایر نویسندگان مانند Francesca R. Bosellini، Lindsay B. Collins و Nicholas K. Dulvy هر یک با ۲ مدرک، ۲۶ استناد و قدرت اتصال ۴ در خوشه‌های تک‌نفره قرار دارند و سطح متوسطی از تأثیر علمی و ارتباطات محدود را نشان می‌دهند. همچنین Sung-hak Ko با ۲ مدرک، ۲۶ استناد و قدرت اتصال ۲ و Chris T. Perry با ۳ مدرک، ۳۶ استناد و قدرت اتصال ۲ در زمرهٔ نویسندگانی با تعاملات ضعیف قرار می‌گیرند. در نهایت، Verena Vogler با ۲ مدرک، ۲۱ استناد و قدرت اتصال صفر کاملاً در حاشیهٔ شبکه قرار دارد. در مجموع، این شبکه از نظر تولید علمی و میزان استناد دارای ظرفیت قابل‌توجهی است، اما از لحاظ ساختار همکاری، شبکه‌ای کم‌تراکم و پراکنده محسوب می‌شود که در آن تنها یک هستهٔ مرکزی کوچک نقش پیونددهنده را ایفا کرده و بخش عمدهٔ نویسندگان به‌صورت منفرد و با ارتباطات محدود فعالیت می‌کنند.

1. Author
2. Documents
3. Citations
4. Total Link Strength

سوال ۴. چه مجلات و منابع علمی در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در پایگاه اسکوپوس بیشترین نقش را در انتشار و ترویج دانش داشته‌اند؟

bauhaus-universit,t weimar, we

universitas tadulako, palu, in

the university of queensland,

smdp studio, chicago, united s

simon fraser university, burna

VOSviewer

curtin university, pert

شکل ۷. نقشه همکاری سازمانی در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵

در این نوع نقشه، هر دایره نماینده یک دانشگاه یا مؤسسه است، اندازه آن میزان فعالیت علمی یا تعداد انتشارات را بازتاب می‌دهد، فاصله بین دایره‌ها بیانگر شدت همکاری است و رنگ‌ها خوشه‌های همکاری را مشخص می‌کنند. بر اساس ساختار تصویر، یک هسته اصلی و نسبتاً قدرتمند در شبکه دیده می‌شود که حول دانشگاه‌های استرالیایی شکل گرفته است.

جدول ۵- همکاری سازمان‌ها و مجلات در حوزه تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵

رتبه	سازمان‌ها	تعداد انتشار	استاندها	قدرت اتصال
1	bauhaus-universit,,t weimar, weimar, germany	2	8	0
2	curtin university, pert, australia	2	21	2
3	simon fraser university, burnaby, canada	2	878	2
4	smdp studio, chicago, united states	2	2	2
5	the university of queensland, brisbane, australia	2	214	5
6	universitas tadulako, palu, indonesia	3	3	0

جدول فوق که با استفاده از داده‌های پایگاه Scopus و نرم‌افزار VOSviewer استخراج شده است، نمایی از عملکرد علمی و میزان همکاری بین سازمان‌های مختلف را ارائه می‌دهد. شاخص‌های اصلی شامل تعداد انتشارات، میزان استنادها و قدرت اتصال هستند که به ترتیب بیانگر کمیت تولید علمی، کیفیت و تأثیرگذاری پژوهش‌ها، و میزان تعامل و همکاری میان سازمان‌ها می‌باشند.

بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که The University of Queensland با وجود داشتن تنها دو مقاله، دارای ۲۱۴ استناد و بالاترین میزان قدرت اتصال (۵) است. این امر بیانگر نقش محوری این دانشگاه در شبکه همکاری‌های علمی است؛ به‌طوری‌که می‌توان آن را به‌عنوان هاب اصلی ارتباطات و واسطه میان سایر مؤسسات در نظر گرفت. در مقابل، Simon Fraser University با ۸۷۸ استناد، بیشترین تأثیر علمی را در میان سازمان‌ها دارد، اما قدرت اتصال آن (۲) در سطح متوسط قرار دارد که نشان می‌دهد تمرکز این دانشگاه بیشتر بر تولید پژوهش‌های باکیفیت بوده تا گسترش همکاری‌های شبکه‌ای. از سوی دیگر، Curtin University با میزان استناد ۲۱ و قدرت اتصال ۲، در سطحی متوسط از نظر هم تأثیر علمی و هم همکاری قرار دارد و

احتمالاً بخشی از خوشه منطقه‌ای استرالیا را تشکیل می‌دهد. همچنین SMDP Studio با استناد بسیار پایین (۲) و قدرت اتصال ۲، حضور محدودی در شبکه دارد و بیشتر به‌عنوان یک شریک پروژه‌های قابل تفسیر است. در مقابل، برخی سازمان‌ها نظیر Bauhaus-Universität Weimar و Universitas Tadulako دارای قدرت اتصال صفر هستند که نشان‌دهنده عدم مشارکت مؤثر آن‌ها در شبکه همکاری است. با این حال، Universitas Tadulako با سه مقاله، بیشترین تعداد انتشار را دارد، اما میزان استناد پایین (۳) آن نشان می‌دهد که این تولیدات از نظر تأثیر علمی و تعامل بین‌المللی محدود بوده و بیشتر در سطح محلی باقی مانده‌اند. در مجموع، الگوی کلی نقشه نشان‌دهنده یک ساختار «چندمرکزی اما نامتوازن» است؛ به این معنا که یک قطب اصلی (در اینجا استرالیا) بیشترین تراکم و تعامل را دارد، در حالی که سایر بازیگران بیشتر در حاشیه و با ارتباطات ضعیف‌تر حضور دارند. چنین الگویی معمولاً در حوزه‌هایی دیده می‌شود که یک گروه یا منطقه خاص نقش پیشرو در تولید دانش دارد و همکاری‌های بین‌المللی هنوز در مرحله توسعه قرار دارند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که این شبکه پژوهشی از نظر داخلی (در سطح منطقه‌ای) قوی و منسجم است، اما از نظر بین‌المللی هنوز به سطح بالایی از یکپارچگی و پیوستگی نرسیده و ظرفیت قابل توجهی برای گسترش همکاری‌های جهانی دارد.

۷- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق، شناسایی روندهای پژوهشی در تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان از پایگاه اسکوپوس با استفاده از نرم‌افزار VOSviewer در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵ با استفاده از داده‌های مجلات Scopus از طریق به‌کارگیری کلمات کلیدی خاص و معیارهای فیلتراسیون است. این مطالعه از روش‌های تحلیل کتاب‌سنجی برای تولید تحلیل‌های گرافیکی و بصری مرتبط با روندهای پژوهشی در در تحلیل علم‌سنجی بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی بر ساختمان استفاده می‌کند. در معیارهای فیلتراسیون خاص از سیستم تحلیل Scopus در محل برای تحلیل گرافیکی و از VOSviewer برای تجسم روندهای تحقیقاتی استفاده شد.

تحلیل هم‌رخدادی کلیدواژه‌ها دو خوشه اصلی پژوهشی را آشکار ساخت. خوشه نخست بر مفاهیم زیستی و ساختاری مرجان‌ها شامل واژگانی نظیر «Coral reef»، «Coral»، «Anthozoa» و «Ecosystem» تمرکز دارد و بیانگر تلاش پژوهشگران برای شناخت منطق رشد، سازمان‌یافتگی و عملکرد سیستم‌های طبیعی است. بازتاب این رویکرد در معماری، در قالب طراحی‌های بیومیمتیک و الهام‌گیری از ساختارهای طبیعی برای ایجاد پوسته‌های هوشمند، فرم‌های ارگانیک و سازه‌های پهنه قابل مشاهده است. خوشه دوم شامل مفاهیمی همچون «Architecture»، «Climate change» و «Reefs» است که نشان‌دهنده توجه به مسائل زیست‌محیطی، پایداری و نقش معماری در پاسخ به تغییرات اقلیمی است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که معماری معاصر در حال حرکت به‌سوی رویکردی است که در آن طبیعت نه تنها منبع الهام فرمی، بلکه الگویی برای ارتقای عملکرد محیطی و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی محسوب می‌شود.

بررسی شاخص‌های فراوانی رخداد و قدرت اتصال نیز نشان داد که «Coral reef» به‌عنوان هسته مرکزی شبکه، بیشترین نقش را در پیوند میان مفاهیم زیستی و کاربردهای معماری ایفا می‌کند. با این حال، ارتباط میان دانش زیستی مرجان‌ها و کاربرد مستقیم آن در معماری همچنان محدود است و این موضوع بیانگر وجود شکاف میان مطالعات نظری و کاربردهای اجرایی در طراحی ساختمان‌هاست. از سوی دیگر، تحلیل شبکه همکاری‌های علمی نشان داد که ساختار پژوهشی این حوزه عمدتاً حول چند کشور و مرکز علمی محدود، به‌ویژه استرالیا، ایالات متحده و بریتانیا، شکل گرفته است. اگرچه برخی کشورها و مؤسسات از نظر استناد و قدرت علمی جایگاه برجسته‌ای دارند، اما ساختار کلی شبکه همچنان کم‌تراکم و پراکنده بوده و بخش عمده پژوهشگران در قالب خوشه‌های کوچک یا به‌صورت منفرد فعالیت می‌کنند.

در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بیومیمیکری هندسه مرجان‌های دریایی ظرفیت بالایی برای توسعه معماری پایدار، طراحی اقلیم‌محور و خلق سازه‌های هوشمند دارد و می‌تواند زمینه‌ساز شکل‌گیری رویکردهای نوین در معماری آینده باشد. با این حال، نتایج تحلیل علم‌سنجی نشان داد که این حوزه پژوهشی، علی‌رغم اهمیت و ظرفیت بالای علمی و کاربردی، هنوز بسیار کم‌بررسی شده و مطالعات انجام‌شده در آن محدود و پراکنده‌اند. بنابراین، ضرورت دارد پژوهش‌های آینده با رویکردهای میان‌رشته‌ای، کاربردی و بین‌المللی، به توسعه عمیق‌تر این موضوع و پیوند مؤثرتر میان دانش زیستی مرجان‌ها و معماری معاصر بپردازند.

- (۱) رضایی، محمود، (۱۳۹۳)، "آنالوژی طراحی"، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
- (۲) سامانیان، صمد، چاپ اول، (۱۳۷۸)، هندسه نقوش هندسی، آموزش‌های فنی و حرفه‌ای رسمی، موسسه فرهنگی هنری شقایق روستا، تهران.
- (۳) شمس، حسن، (۱۳۸۰)، شهر هوشمند، پایان‌نامه فوق لیسانس، دانشگاه علم و صنعت، تهران.
- (۴) صادق‌پی، ناهید. (۱۳۸۶). الگوپذیری از معماری سنتی برای دستیابی به معماری امروز. مجله مسکن و محیط روستا. زمستان ۱۳۸۶، شماره ۱۲۰. ۱۱-۲. <http://noo.rs/s2pgB>
- (۵) نوروزی‌چاکلی، عبدالرضا. (۱۳۹۲). مقدمه‌ای بر علم‌سنجی. تهران: انتشارات سمت.
- 6) Ali, R., & Dinçer, D. (2025). A bibliometric evaluation of the use of biomimicry as a nature-compatible design approach in landscape architecture within the context of sustainability and ecology. *Biomimetics*, 10(9), 559. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10090559>
- 7) Bhushan .B. (2009). Biomimetics: lessons from nature—an overview *Phil. Trans. R. Soc. A* 367. 144–86
- 8) Benyus. J M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (HarperCollins Publishers Ltd)
- 9) Banken .E & Oeffner .J. (2023). Biomimetics for innovative and future-oriented space applications—a review *Front. Space Technol.* 3 .1–23
- 10) Cascajares, M., Alcayde, A., Garrido-Cardenas, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2020). The Contribution of Spanish Science to Patents: Medicine as Case of Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3638. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103638>
- 11) Faust, K. (2006). Comparing social networks: Size, density, and local structure. In P. J. Carrington, J. Scott, & S. Wasserman (Eds.), *The SAGE handbook of social network analysis* (pp. 185–216). London: SAGE Publications. DOI:10.51936/sdbv3216
- 12) Glänzel, W., Schubert, A. (2001). Double effort = Double impact? A critical view at international co-authorship in chemistry. *Scientometrics* 50, 199–214. <https://doi.org/10.1023/A:1010561321723>
- 13) Hidayani, A., Nareswari, A. N., Hasan, M., & Widiastuti, R. (2025). Bibliometric analysis with VOSviewer: Trends in materials, facades, buildings and thermal comfort in sustainable architecture. *Arsir*, 9(2), 241–254. <https://doi.org/10.32502/arsir.v9i2.584>
- 14) Hickman C.P., Roberts L.S., Keen S.L., Eisenhour D.J., Larson L., I'Anson H. (2015). *Integrated Principles of Zoology*. McGraw-Hill Education, Washington and Lee University.
- 15) Heron, S.F.; Eakin, C.M.; Douvère, F.(2017). *Impacts of Climate Change on World Heritage Coral Reefs A First Global Scientific Assessment*; UNESCO World Heritage Centre: Paris, France, 2017.
- 16) Hatcher, B. G.(1988). Coral reef primary productivity: a beggar's banquet. *Trends Ecol. Evol.* 3, 106–111.
- 17) Hickson .S.J. (1924). *An introduction to the study of recent corals*. Manchester University Press, London.
- 18) Iouguina .A, Dawson .J W, Hallgrímsson B & Smart .G . (2014). Biologically informed disciplines: a comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others *Int. J. Des. Nat. Ecodyn.* 9. 197–205
- 19) Kuzior, A. & Sira, M. (2022). A Bibliometric Analysis of Blockchain Technology Research Using VOSviewer. *Sustainability*, 14(13), 8206. <https://doi.org/10.3390/su14138206>
- 20) Lin .T K, Yu L C, Ku C H, Chang K C and Kiremidjian A(2011). Implementation of a bio-inspired two-mode structural health monitoring system *Smart Struct. Syst.* 8 .119–37
- 21) Linaraki, D. (2025). Design and fabrication of bio-enhancing surfaces for coral settlement. *Architecture*, 5(1), 20. <https://doi.org/10.3390/architecture5010020>
- 22) Lin, S., Chou, N., Bao, D. W., Zhang, G., Xiong, C., Fang, J., & Xie, Y. M. (2023). Design and fabrication of artificial brain coral: Evolution principle, turbulent hydrodynamics and matter interchange. *Computers & Structures*, 276, 106955. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2022.106955>
- 23) Linaraki, D. A. (2021). Comparison Between Alternative Relocation Options for the Pacific Islands Based on a Human-Centred Approach. In *SeaCities*; Baumeister, J., Bertone, E., Burton, P., Eds.; Springer: Singapore, 2021.

- 24) Moradi, Z. (2016). The role of coral in art and architecture: An overview. *Int. J. Aquat. Biol.* (2016) 4(2): 125-142; DOI:ISSN: 2322-5270; P-ISSN: 2383-0956. Journal homepage: www.ij-aquaticbiology.com. © 2016 Iranian Society of Ichthyology.
- 25) Meesters, E. H., Pauchli, W., & Bak, R. P. M. (1996). Coral growth and morphology. *Marine Ecology Progress Series*, 133, 197–204.
- 26) Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215–233.
- 27) Merriam-Webster .n.d. Biomimetics .definition & meaning.(2024). (available at: www.merriam-webster.com/dictionary/biomimetics) (Accessed 14 February 2024)
- 28) Noorbakhsh .H. (1991). *The Persian Gulf aquatics (Research on fisheries, sea and aquatic Persian Gulf)*, Amirkabir Publication, Tehran, Iran.
- 29) Muller, A., Ansari, P., Ebrahim, N., & Khoo, S. (2018). Physical Activity and Aging Research: A Bibliometric Analysis. *Journal of Aging and Physical Activity*, 24(3), 476–483. <https://doi.org/10.1123/JAPA.2015-0188>.
- 30) Maditati, D. R., Z. H. Munim, H.-J. Schramm & S. Kummer. (2018). A review of green supply chain management: from bibliometric analysis to a conceptual framework and future research directions. *Resources, Conservation & Recycling* 139: 150-162. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.08.004.
- 31) Newman, M. E. J. (2005). A measure of betweenness centrality based on random walks. *Social Networks*, 27(1), 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2004.11.009>
- 32) Omeran, M. G. H., Engelbrecht, A. P., & Salman, A. (2007). An overview of clustering methods. *Intelligent Data Analysis*, 11(6), 583–605. DOI:10.3233/IDA-2007-11602
- 33) Oguntola, O.A., & Aigbavboa, C.O. (2017). Biomimicry principles as evaluation criteria of sustainability in the construction industry, *Energy Procedia*, Volume 142, 2017, Pages 2491-2497, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.188>.
- 34) Pouwels R.L. (2002). *Horn and crescent: cultural change and traditional Islam on the East African Coast, 800- 1900*. Cambridge University Press.
- 35) Sedira, N., Pinto, J., Bentes, I., & Pereira, S. (2024). Bibliometric analysis of global research trends on biomimetics, biomimicry, bionics, and bio-inspired concepts in civil engineering using the Scopus database. *Bioinspiration & Biomimetics*, 19(4). <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ad3ff6>
- 36) Selçuk, N., & Avinç, S. A. (2022). Biomimicry for energy-efficient building design: A bibliometric analysis. *Biomimetics*, 7(1), 21. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7010021>
- 37) Steffen, S. L. (2018). The emergence of restorative leadership. *Evolving Leadership for Collective Wellbeing*, 17–31, Emerald Publishing Limited, Bingley (2018), 10.1108/S2058-880120180000007003
- 38) Srisuwan, W., Sabhasri, C., Chansue, N., & Haetrakul, T. (2022). Using biomimicry and bibliometric mapping to guide design and production of artificial coral reefs. *Marine Environmental Research*, 180, 105685. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105685>
- 39) Varshabi, N., Selçuk, S. A., & Avinç, G. M. (2022). Biomimicry for energy-efficient building design: A bibliometric analysis. *Biomimetics*, 7(1), 21. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7010021>
- 40) Verbrugghe, N., Rubinacci, E., & Khan, A. Z. (2023). Biomimicry in architecture: A review of definitions, case studies, and design methods. *Biomimetics*, 8(1), 107. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8010107>
- 41) van Eck, N. J., & Waltman, L. (2011). Text mining and visualization using VOSviewer. *arXiv preprint arXiv:1109.2058*.
- 42) Verbrugghe, N., Rubinacci, E., & Khan, A. Z. (2023). Biomimicry in architecture: A review of definitions, case studies, and design methods. *Biomimetics*, 8(1), 107. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8010107>
- 43) van Eck, N. J., & Waltman, L. (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, 111(2), 1053–1070.
- 44) Vincent .J F, V, Bogatyreva. O A, Bogatyrev N R, Bowyer. A & Pahl. A K. (2006). Biomimetics: its practice and theory *J. R. Soc. Interface* 3. 471–82
- 45) Vincent. J F V, Mann. D L & Smith. C W. (2002). Systematic technology transfer from biology to engineering *Phil. Trans. R. Soc. A* 360. 159–73
- 46) Zan .G & Wu .Q. (2016). Biomimetic and bioinspired synthesis of nanomaterials/nanostructures *Adv. Mater.* 28 .2099–147

- 47) Wangpraseurt, D., You, S., Azam, F., Jacucci, G., Gaidarenko, O., Hildebrand, M., Kühl, M., Smith, A. G., Davey, M. P., Smith, A., Deheyn, D. D., Chen, S., & Vignolini, S. (2020). Bionic 3D printed corals. *Nature Communications*, 11, 1748. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15486-4>
- 48) Yazici, A.M. (2020). Biomimicry and agile leadership in industry. B. Akkaya (Ed.), *Agile Business Leadership Models for Industry 4.0*, 155–170, Emerald Publishing Limited, Bingley (2020), 10.1108/978-1-80043-380-920201010

Scientometric Analysis of Biomimicry of Sea Coral Geometry in Building Design in the Scopus Database Using VOSviewer Software (2014–2025)

***Marjan Bahari Nezhad¹ · Ali Behnam Vala²**

1- PhD Student, Department of Architecture, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Marjan.baharinezhad@iau.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Architecture, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

. A.behnamvala@iautbn.ac.ir

Abstract

Biomimicry in architecture, as a nature-inspired approach, has attracted considerable attention in the field of architectural engineering in recent years. Among natural organisms, sea corals are recognized as effective models in architectural design and building performance optimization due to their complex geometric structures, organized porosity, and high adaptability to environmental conditions. Despite the growing body of research on biomimicry, nature-inspired architecture, and coral geometry, comprehensive investigations into scientific trends, knowledge structures, and patterns of scholarly collaboration in this field remain limited. Therefore, the present study aims to conduct a scientometric analysis of studies related to the concepts of “biomimicry,” “architecture,” “sea corals,” and “nature-inspired design.”

This research adopts a descriptive–analytical method with a bibliometric approach. Data were extracted from the Scopus database through searches in titles, abstracts, and keywords. A total of 131 peer-reviewed articles published between 2014 and 2025 were analyzed. Data analysis, co-occurrence mapping of keywords, co-citation networks, and scientific collaboration patterns were conducted using VOSviewer software.

The findings reveal that although scientific publications in this field have increased and influential authors and institutions have emerged, the structure of scientific collaboration remains fragmented and low in density. Furthermore, collaborations are mainly concentrated around a few limited cores, particularly in Australia, while international scientific connections remain relatively weak. These findings indicate the high potential of this field for expanding scientific collaborations and developing interdisciplinary research in the future.

Keywords: Scientometrics, Biomimicry, Sea Coral, Scopus.