Rahpooye Memari-o Shahrsazi
(Quarterly Journal of Architecture and Urbanism)
Vol. 3, No. 10, Summer 2024

Examining Biomimetic Principles in Architecture with an Emphasis on Sustainable Design

MohammadReza Akbarian[1], **Zahra Javadi**[2]

Received: 2024-08-20, Accepted: 2025-01-05
DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

Abstract

This study delves into the role of biomimicry in architecture, emphasizing its capacity to foster sustainable and innovative designs that address contemporary environmental and energy challenges. Biomimicry, a design philosophy rooted in emulating nature's time-tested strategies, has emerged as a viable approach to improving resource efficiency, reducing energy consumption, and creating harmony between the built environment and ecosystems. By drawing inspiration from the structures, processes, and systems observed in nature, the biomimetic design approach transcends mere aesthetics, offering functional solutions to the pressing demands of modern architecture.

The essence of biomimicry lies in its ability to integrate the principles of evolutionarily refined natural systems into architectural practice. Nature has optimized its resources to achieve unparalleled efficiency and resilience through billions of years of adaptation. For example, termite mounds demonstrate sophisticated passive cooling mechanisms that regulate internal temperatures despite external climatic extremes, while the structural strength of bird bones has inspired lightweight yet durable architectural frameworks. These natural models highlight the potential for biomimicry to redefine energy efficiency and environmental adaptability in architectural projects.

This research employs an analytical approach, combining qualitative content analysis with case studies, to investigate successful applications of biomimicry in architecture. One notable example is the Eastgate Centre in Harare, Zimbabwe, which mimics the ventilation systems of the termite mounds to maintain indoor thermal comfort without reliance on conventional air conditioning systems. This innovation results in significant reductions in energy consumption and operational costs. Similarly, the Eden Project in Cornwall, UK, incorporates geodesic dome structures inspired by natural forms, creating energy-efficient

1. Instructor, Department of Interior Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Soore University, Tehran, Iran. Email: akbarian@soore.ac.ir 0009-0000-6247-8227
2. MArch student, Department of Interior Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Soore University, Tehran, Iran (Corresponding Author). Email: zahrajavadi7357@gmail.com

and aesthetically compelling spaces that support diverse plant ecosystems.

The findings underscore the transformative potential of biomimicry as a tool for architectural innovation and sustainability. By integrating natural processes such as passive cooling, water harvesting, and material efficiency, biomimetic designs can reduce reliance on finite resources and minimize ecological footprints. Unlocking the full potential of biomimicry requires overcoming challenges such as high research and development costs, the complexities of integrating biological principles into architecture, and the need for interdisciplinary collaboration.

One significant barrier is the lack of standardized methodologies and frameworks for applying biomimicry in architectural practice. Despite the growing interest in this field, its adoption remains limited due to insufficient understanding of its principles, technical limitations in replicating natural systems accurately, and the scarcity of documented successful examples. Additionally, interdisciplinary collaboration between architects, biologists, engineers, and material scientists is crucial yet often underdeveloped, hindering the seamless integration of biomimetic approaches into mainstream architectural practice.

This study advocates for the expansion of educational initiatives that promote biomimicry as a core element of architectural training. Interdisciplinary curricula integrating biology, engineering, and design can foster a deeper understanding of natural systems and their applications in the built environment. Furthermore, investing in research and innovation is essential to overcome the technical and economic barriers associated with the biomimetic design approach. Governments, academic institutions, and private sectors must collaborate to fund projects demonstrating the feasibility and benefits of biomimicry in architecture.

The potential of biomimicry extends beyond environmental sustainability to include cultural and aesthetic dimensions. By aligning architectural designs with natural systems, biomimicry fosters a deeper connection between humans and their surroundings, promoting well-being and ecological awareness. For instance, biomimetic approaches can inspire urban design strategies incorporating green spaces, natural ventilation, and renewable energy systems, transforming cities into sustainable and resilient ecosystems.

In conclusion, biomimicry offers a paradigm shift in architectural thinking, moving away from resource-intensive practices toward regenerative and adaptive design solutions. This study emphasizes that biomimetic architecture is not merely a theoretical concept but a practical strategy capable of addressing the multifaceted challenges of the 21st century. By embracing the lessons embedded in nature, architects can create buildings and urban environments that are efficient, sustainable, and symbiotic with our planet's ecosystems.

As the global community confronts the realities of climate change and resource depletion, biomimicry presents a timely and necessary framework for reimagining the built environment. Its integration into architectural practice demands

a commitment to innovation, education, and collaboration across disciplines. The findings of this study highlight the urgent need for a collective effort to develop and implement biomimetic principles at scale, ensuring that the built environment contributes to a sustainable and equitable future. By merging science, technology, and design, biomimicry can redefine architecture as a field that not only shapes human habitats but also enriches the natural world.

Keywords: Biomimetic, Sustainable architecture, Design inspired by nature, Innovation in Architecture

واکاوی اصول بیومیمتیک در معماری با رویکرد طراحی پایدار

محمدرضا اکبریان[۱]، **زهرا جوادی**[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳-۰۵-۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳-۱۰-۱۶
DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

چکیده

تحقیق حاضر به بررسی اصول بیومیمتیک در معماری و تأثیر آن در طراحی پایدار می‌پردازد. بیومیمتیک، به عنوان رویکردی الهام‌گرفته از طبیعت، راه‌حلی خلاقانه برای چالش‌های زیست‌محیطی، مصرف انرژی، و بهره‌وری منابع ارائه می‌دهد. طبیعت طی میلیاردها سال تکامل، سیستم‌ها و ساختارهایی بهینه را شکل داده است که قابلیت انتقال به طراحی معماری را دارند. این رویکرد نه‌تنها در بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش ردپای کربنی مؤثر است، بلکه امکان خلق فضاهایی زیبا و هماهنگ با محیط زیست را فراهم می‌آورد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیرات بیومیمتیک در طراحی معماری، از یک رویکرد ترکیبی شامل روش‌های توصیفی، تحلیلی و مطالعه موردی استفاده کرده است. با روش توصیفی و تحلیلی، کاربردهای موفق بیومیمتیک در طراح‌هایی مانند؛ مرکز خرید ایستگیت با الگوبرداری از لانه‌های موریانه و طرح ساختمان ادن در بریتانیا، با استفاده از ساختار حبابی را بررسی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که بیومیمتیک، علاوه‌بر کاهش مصرف انرژی و بهبود عملکرد ساختمان‌ها، راهی برای بازتعریف رابطه انسان با طبیعت و سازگاری بیشتر طراحی‌ها با محیط زیست است. این رویکرد، با استفاده از اصول طبیعی همچون تهویه لانه موریانه‌ها یا سازه‌های مقاوم مشابه استخوان پرندگان، به طراحی‌هایی منجر می‌شود که کارایی، پایداری و زیبایی را هم‌زمان تحقق می‌بخشند. نتایج تحقیق، بیومیمتیک را به عنوان راهکاری برای توسعه معماری پایدار مبتنی بر طراحی‌های نوآورانه و سازگار با طبیعت همچنین مقابله با بحران‌های زیست‌محیطی توصیه می‌کند. این رویکرد فرصتی برای ایجاد فضایی فراهم می‌کند که در آن، تعامل بین انسان و طبیعت به سطحی جدید ارتقا یابد.

کلیدواژه‌ها: بیومیمتیک، معماری پایدار، طراحی الهام‌گرفته از طبیعت، نوآوری در معماری

۱. مربی، گروه معماری داخلی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه سوره، تهران، ایران.
Email: akbarian@soore.ac.ir
0009-0000-6247-8227
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری داخلی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه سوره، تهران، ایران (نویسندهٔ مسئول).
Email: zahrajavadi7357@gmail.com

۱. مقدمه

رشد سریع مصرف انرژی در سطح جهانی نگرانی‌های زیادی را در خصوص مشکلات عرضه، فرسایش منابع انرژی و اثرات زیست‌محیطی سنگین مانند کاهش لایه اوزون، گرم شدن کره زمین و تغییرات آب‌وهوایی به دنبال داشته است. سهم جهانی ساختمان‌ها در مصرف انرژی، اعم از مسکونی و تجاری، به‌طور مستمر افزایش یافته و به ارقام بین ۲۰ تا ۴۰ درصد در کشورهای توسعه‌یافته رسیده است (Pérez-Lombard, 2008: 10). این آمار بیانگر ضرورت تغییرات اساسی در طراحی و ساخت ساختمان‌ها است، به‌طوری‌که برای کاهش این مشکلات نیاز به راه‌حل‌های پایدار و نوآورانه بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

بیومیمتیک، که به معنای الهام گرفتن از طبیعت برای حل مسائل انسانی است، به عنوان یکی از مؤثرترین رویکردها در این زمینه توجه زیادی را جلب کرده است. طبیعت در طول میلیاردها سال تکامل، سیستم‌ها و ساختارهای کارآمدی را توسعه داده که می‌توانند الگوهای الهام‌بخش برای طراحی‌های معماری باشند. به‌عنوان‌مثال، تهویه طبیعی الهام‌گرفته از لانه‌های موریانه‌ها و سازه‌های مقاوم شبیه استخوان‌های پرندگان، نشان‌دهنده پتانسیل بالای بیومیمتیک در بهبود کارایی انرژی و کاهش مصرف منابع را نشان می‌دهد. معماری سنتی ایران نیز در تاریخ خود به طرز چشمگیری از طبیعت بهره برده است که نمونه‌های بارز آن را می‌توان در طراحی بادگیرها و روش‌های خنک‌سازی سنتی مشاهده می‌شود. این تحقیق قصد دارد ضمن بررسی کاربردهای بیومیمتیک در معماری، چالش‌ها و فرصت‌های این رویکرد را در زمینه مسائل معاصر طراحی تحلیل کند.

باوجوداین ظرفیت بالای بیومیمتیک در معماری، چالش‌ها و موانعی در مسیر اجرای آن وجود دارد. هزینه‌های بالای تحقیق و توسعه، نیاز به همکاری‌های میان‌رشته‌ای و محدودیت‌های فنی ازجمله این موانع هستند. علاوه‌براین، کمبود مطالعات علمی و نمونه‌های موفق، یکی دیگر از مشکلاتی است که در مسیر گسترش این رویکرد به وجود آمده است (Awadalla, 2023: 82).

با وجود سرعت تغییرات در جهان امروز، طبیعت همچنان به عنوان منبع الهام و راه‌حل‌های نوین برای چالش‌های معماری به شمار می‌رود. این تحقیق در پی آن است تا نشان دهد چگونه می‌توان از الگوهای زیستی الهام گرفت تا نه‌تنها مصرف انرژی و منابع را بهینه‌سازی کرد، بلکه به پایداری فرهنگی و زیبایی‌شناسی در طراحی نیز پرداخته شود. رویکرد بیومیمتیک فرصتی را برای بازتعریف معماری فراهم می‌آورد که در آن تعامل با طبیعت به عنوان یک فرایند طراحی اهمیت دارد و نیازمند تلفیق دانش‌های میان‌رشته‌ای است.

۲. روش تحقیق

این پژوهش با هدف بررسی تأثیرات بیومیمتیک در طراحی معماری، از یک رویکرد ترکیبی شامل روش‌های توصیفی، تحلیلی و مطالعه موردی استفاده کرده است. در ابتدا، وضعیت موجود و رویکردهای فعلی در استفاده از بیومیمتیک از طریق مرور منابع علمی و تحلیل محتوای کیفی مورد بررسی قرار گرفت. سپس، نمونه‌های موفق معماری که از اصول بیومیمتیک بهره برده‌اند، با توجه به معیارهایی مانند کاهش مصرف انرژی، نوآوری در طراحی و پایداری زیست‌محیطی تحلیل شدند. داده‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای جمع‌آوری شده و با استفاده از دسته‌بندی مضامین و تحلیل تطبیقی بررسی شدند.

روش تحقیق این مطالعه شامل سه مرحله اصلی است. در مرحله اول، پیشینه تحقیق با بررسی تعاریف و تکامل مفاهیم بیومیمتیک در معماری و تحلیل ادبیات موجود از جنبه‌های کاربردی و نظری مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله دوم، طرح‌های موفق معماری که اصول بیومیمتیک را در طراحی خود بکار برده‌اند، با روش نمونه‌گیری هدفمند براساس معیارهایی مانند کاهش مصرف انرژی، نوآوری در طراحی و پایداری زیست‌محیطی انتخاب و تحلیل شدند. در مرحله سوم و پایانی پیشنهادهایی برای ارتقای استفاده از بیومیمتیک در معماری مدرن و طراحی با تأکید بر اهمیت آموزش میان‌رشته‌ای و توسعه راهکارهای عملی ارائه شد.

۳. پیشینه تحقیق

تحقیقات علمی متعددی اصول و کاربردهای بیومیمتیک در معماری را بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که این رویکرد، فرصتی منحصربه‌فرد برای طراحی ساختمان‌های پایدار و نوآورانه فراهم می‌کند. پاولین (۲۰۱۹) با تأکید بر نقش بیومیمیکری به عنوان یک راهبرد خلاقانه، معتقد است که الهام از فرآیندها و ساختارهای طبیعی که طی ۳.۵ میلیارد سال

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

تکامل یافته‌اند، می‌تواند نه‌تنها بهره‌وری منابع را افزایش دهد، بلکه به معماران امکان خلق بناهایی هماهنگ با محیط زیست را بدهد. او این رویکرد را کلیدی برای دستیابی به معماری پایدار واقعی می‌داند، جایی که طبیعت به عنوان مرجعی بی‌نقص برای حل چالش‌های طراحی به کار گرفته می‌شود. ردولفی و خوشتینت[1] (۲۰۱۶) نقش فناوری‌های دیجیتال را در تعمیق ارتباط میان طبیعت و معماری بررسی کردند. آنها نشان دادند که طراحی محاسباتی و ساخت دیجیتال، با الگوبرداری از ساختارهای پیچیده طبیعی، می‌تواند فرم‌های چندمنظوره‌ای ایجاد کند که زیبا هستند و هم بهره‌وری منابع را افزایش می‌دهند. این تحقیق بر اهمیت استفاده از فناوری‌های مدرن در تحلیل و پیاده‌سازی اصول طبیعی تأکید دارد و نشان می‌دهد که چنین راهکارهایی چگونه می‌توانند به معماران در مواجهه با محدودیت‌های منابع کمک کنند. پدرسن زری (۲۰۰۷) با نگاهی انتقادی به موانع موجود در گسترش بیومیمتیک، عدم وجود تعاریف استاندارد و چارچوب‌های نظری مشخص را یکی از چالش‌های کلیدی این رویکرد معرفی کرده است. او تأکید می‌کند که الهام از اکوسیستم‌ها و فرآیندهای طبیعی، به‌ویژه در طراحی پایدار و ترمیمی، می‌تواند به خلق بناهایی منجر شود که نه‌تنها با محیط سازگارند، بلکه آن را تقویت می‌کنند. به عقیده او، بیومیمتیک زمانی به پتانسیل کامل خود می‌رسد که به‌طور هم‌زمان طراحی، زیست‌شناسی و فناوری را در بر گیرد.

آوادالا (۲۰۲۳) بیومیمتیک را به عنوان ابزاری استراتژیک برای حل مسائل معماری معاصر معرفی می‌کند. او با بررسی سطوح مختلف الهام‌گیری از طبیعت، از اشکال و مواد گرفته تا عملکرد، به این نتیجه می‌رسد که این رویکرد می‌تواند راه‌حل‌های خلاقانه‌ای برای چالش‌هایی همچون بهره‌وری انرژی، مدیریت منابع و طراحی نوآورانه ارائه دهد. این پژوهش همچنین بر نقش بیومیمتیک در طراحی بناهایی تأکید دارد که هم زیست‌محیطی و هم عملکردی هستند. دیکسیت و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی اهمیت همکاری میان‌رشته‌ای در گسترش بیومیمتیک پرداخته‌اند. آنها نشان دادند که طراحی مبتنی بر الهامات طبیعی نیازمند تحلیل دقیق فرآیندهای زیست‌محیطی و همکاری نزدیک میان معماران، زیست‌شناسان و مهندسان است. این مطالعه بر این نکته تأکید دارد که تنها با تعامل مؤثر میان رشته‌های مختلف می‌توان از پتانسیل کامل بیومیمتیک بهره برد.

یدکچی (۲۰۱۴) رویکردهای بیومیمتیک را در سه دسته تقلید از فرم، فرایند و اکوسیستم طبقه‌بندی کرده و به معماران توصیه می‌کند که از فرآیندهای طبیعی برای ایجاد طراحی‌های کارآمد و پایدار الهام بگیرند. او نشان داده است که تقلید از فرآیندهای زیستی، مانند سازوکارهای خودتنظیمی در اکوسیستم‌ها، می‌تواند تأثیرات عمیقی بر کیفیت و کارایی طراحی‌های معماری داشته باشد. وربروگه و همکاران (۲۰۲۳) بر اهمیت تعریف استاندارد و یکپارچه‌سازی مفاهیم بیومیمتیک تأکید کردند. آنها با بررسی تعاریف، روش‌های طراحی و نمونه‌های موفق، نشان دادند که پراکندگی تعاریف و عدم انسجام مفهومی، یکی از موانع کلیدی در کاربرد گسترده این رویکرد است. این پژوهش، نقش مفاهیم دقیق و چارچوب‌های نظری یکپارچه را در تسریع گسترش بیومیمتیک در معماری معاصر برجسته می‌کند.

تحلیل پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که بیومیمتیک، علی‌رغم چالش‌های عملیاتی و نظری، به عنوان رویکردی نوآورانه می‌تواند معماری را به سمت بهره‌وری انرژی، کاهش مصرف منابع و پایداری بیشتر هدایت کند. همچنین، موفقیت در گسترش این رویکرد نیازمند همکاری میان‌رشته‌ای، توسعه فناوری‌های نوین و تعریف استانداردهای طراحی مشخص است.

۴. چهارچوب نظری تحقیق

۴. ۱. مفهوم بیومیمیکری[2]

بیومیمتیک، ریشه در دو واژه یونانی «bios» به معنای «زندگی» و «mimesis» به معنای «تقلید» دارد (Verbrugghe, 2023: 1)، که فراتر از تقلید صرف از اشکال طبیعی است و به دنبال یافتن راه‌حل‌های پایدار و کارآمد از طریق الهام‌گیری از فرآیندها و سیستم‌های طبیعت است. برخلاف نگاه سنتی به طبیعت که عمدتاً به عنوان منبعی برای زیبایی‌شناسی و الهام بصری مورد استفاده قرار می‌گرفت، بیومیمتیک به درک عمیق‌تر اصول طبیعی و کاربرد عملی آنها در طراحی می‌پردازد. این رویکرد، همان‌طورکه پاولین توضیح می‌دهد، نه صرفاً یک انتخاب زیبایی‌شناختی، بلکه پاسخی کاربردی به چالش‌های طراحی و پایداری است (Pawlyn, 2019: 141).

مفهوم بیومیمتیک در ادبیات علمی برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ با اصطلاح «بیونیک» توسط جک استیل [3] معرفی

شد، درحالی‌که «بیومیمتیک» به عنوان واژه‌ای علمی توسط اتو اشمیت[۴] در دهه ۱۹۵۰ رایج شد. جانین بنیوس، یکی از پیشگامان این حوزه، بیومیمتیک را به عنوان «تقلید آگاهانه از نبوغ طبیعت» تعریف می‌کند. این تعریف، بر بهره‌گیری هوشمندانه از میلیاردها سال تکامل طبیعت برای ایجاد راه‌حل‌های پایدار تأکید دارد، جایی که طراحی و فناوری در خدمت تقویت همزیستی انسان و طبیعت قرار می‌گیرند. (Paw-lyn, 2019: 141)

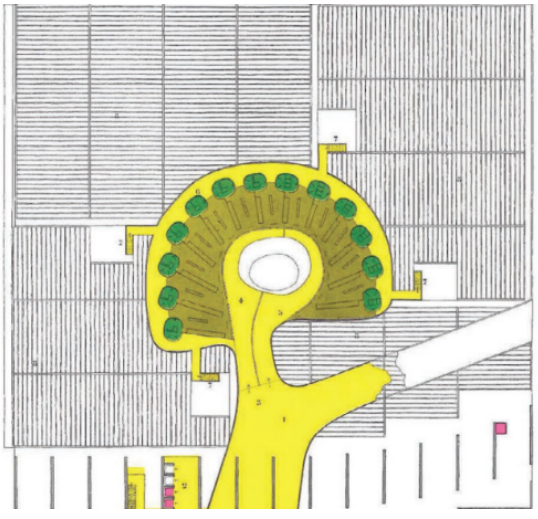
اصطلاحات دیگری نیز وجود دارند که ارزش توضیح دارند: «بیوفیلی[۵]» و «بیومورفیک[۶]»، «استفاده زیستی» و «زیست‌شناسی مصنوعی». بیومورفیک به‌طورکلی به معنای طراحی مبتنی بر اشکال بیولوژیکی است. استفاده زیستی به استفاده مستقیم از طبیعت برای اهداف سودمند، مانند گنجاندن کاشت در داخل و اطراف ساختمان‌ها برای تولید سرمایش تبخیری دلالت دارد.

زیست‌شناسی مصنوعی به طراحی و ساخت اجزا و سیستم‌های زنده‌ای اشاره دارد که قبلاً در دنیای طبیعی وجود ندارند و به طراحی مجدد و ساخت سیستم‌های موجود زنده اشاره می‌کند (Pawlyn, 2019: 142).

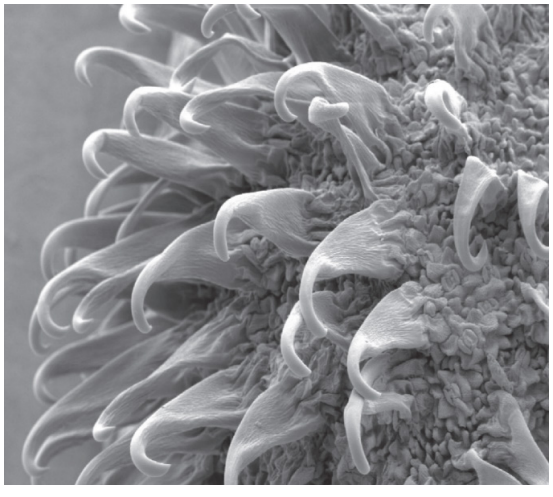
بیومیمتیک به معنای تقلید از طبیعت در سه سطح اصلی انجام می‌شود: تقلید از فرم، فرآیند، و اکوسیستم. تقلید از فرم شامل الهام‌گیری از اشکال طبیعی برای طراحی است، مانند خارهای گیاه برداک که به اختراع ولکرو[۷] (شکل۲) منجر شد. تقلید از فرایند به شبیه‌سازی عملکردهای زیستی مانند خودتنظیمی و بازسازی طبیعی می‌پردازد. درنهایت، تقلید از اکوسیستم به خلق سیستم‌های پایدار که مانند یک اکوسیستم عمل می‌کنند، اشاره دارد. برای مثال، لوکوربوزیه در طراحی سرویس‌های بهداشتی پروژه ناتمام اولیوتی از عملکرد طبیعی کلیه‌ها الهام گرفته است (شکل۱)، نشان‌دهنده تلفیق فرم و عملکرد در طراحی بیومیمتیک است.

بیومیمیکری[۸] که با نام‌های Biomimicry، Bionics، Bio-mimetics، Biomorphism نیز شناخته می‌شود، اصطلاحات علمی متعددی هستند که به تطبیق سیستم‌های طبیعی و طراحی برای ایجاد شکل جدیدی از محصولات صنعتی مربوط می‌شود. درحالی‌که بسیاری از اصطلاحات را می‌توان برای توضیح بیومیمتیک استفاده کرد، محققان و متخصصان این اصطلاح را به عنوان بیومیمتیک و بیونیک تعریف و متمایز می‌کنند. در بین بیومیمتیک و بیونیک، تنها اهمیت تمرکز ویژه بر توسعه راه‌حل‌های پایدار است، درحالی‌که می‌توان آن را در زمینه‌هایی مانند سیستم‌های فناوری پیشرفته نیز اعمال کرد (Redolfi, 2016: 7).

درحالی‌که بیومیمتیک به عنوان رویکردی میان‌رشته‌ای



شکل ۱. لوکوربوزیه، طراحی سرویس‌های بهداشتی پروژه ناتمام ساختمان مرکزی شرکت اولیوتی بر اساس عملکرد پاک‌کنندگی کلیه‌ها (Pawlyn, 2019).



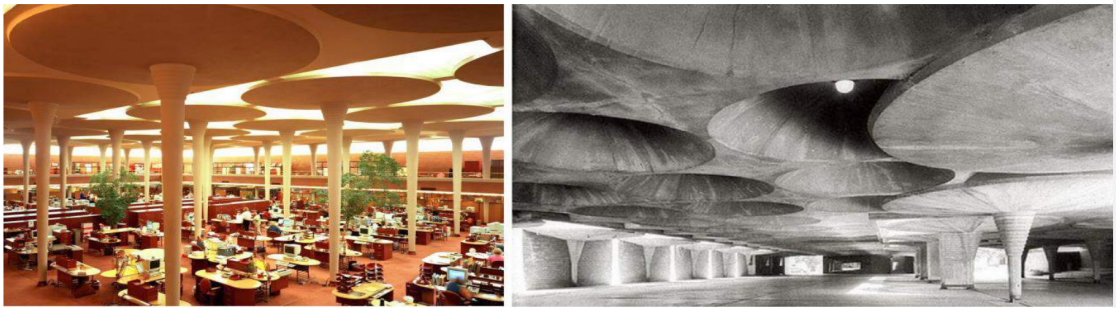
شکل ۲. تصویری بزرگ‌نمایی شده از خار گیاه برداک: این خارها دارای ساختاری هستند که به شکل قلاب‌هایی به پوست یا موهای حیوانات می‌چسبند، و این ویژگی به عنوان الهامی برای طراحی سیستم قلاب و حلقه در ولکرو استفاده شد (Pawlyn, 2019).

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

معرفی شده است، کاربرد آن در معماری هنوز در مراحل ابتدایی توسعه قرار دارد. وربروگه[۹] بر این باور است که نبود تعاریف استاندارد و چارچوب‌های نظری منسجم از موانع کلیدی در گسترش این رویکرد است. بااین‌حال، وی تأکید می‌کند که بیومیمتیک می‌تواند قلمرو طراحی معماری را گسترش داده و آن را به ابزاری برای بازسازی اکوسیستم‌های محلی و انطباق‌پذیری با شرایط زیست‌محیطی تبدیل کند. این انطباق‌پذیری، که اصول تکاملی را با طراحی‌های معمارانه ترکیب می‌کند، می‌تواند به ایجاد بناهایی کمک کند که نه‌تنها با طبیعت سازگار هستند بلکه آن را تقویت می‌کنند (Verbrugghe, 2023: 1). ردولفی بیومیمتیک را به عنوان فرآیندی برای توسعه فناوری‌های سبزتر و پایدارتر تعریف می‌کند که هدف اصلی آن ترکیب فناوری و مهندسی با طبیعت برای ایجاد محصولاتی است که بدون آسیب رساندن به محیط زیست، نیازهای بشری را برآورده می‌کنند. او تأکید دارد که معماری بیومیمتیک، برخلاف تقلید ساده از اشکال طبیعی، به دنبال درک قوانین حاکم بر این اشکال و کاربرد آنها در طراحی است (Redolfi, 2016: 8). درنهایت، معماری بیومیمتیک به عنوان فلسفه‌ای از طراحی معاصر، با تمرکز بر اصول پایداری و هم‌زیستی با طبیعت، به معماران این امکان را می‌دهد که فراتر از مصرف منابع، به تولیدکنندگان خالص انرژی و منابع مفید تبدیل شوند. این رویکرد با بهره‌گیری از تجربه ۳.۸ میلیارد سال تکامل طبیعت، فرصت‌های جدیدی برای مقابله با چالش‌های معماری و نیازهای انسانی ارائه می‌دهد و درعین‌حال، هماهنگی بین فناوری و محیط زیست را ارتقا می‌دهد.

انسان‌ها همواره از طبیعت الهام می‌گرفتند، اما اینکه چرا اکنون زمان مناسبی برای استفاده از بیومیمتیک است، مربوط به پیشرفت‌های زیست‌شناسی و ابزارهای طراحی دیجیتال امروزی است که این امکان را فراهم کرده‌اند تا بیومیمتیک به رویکردی مؤثر در معماری تبدیل شود. این ابزارها نه‌تنها به طراحان اجازه می‌دهند تا طراحی‌های پیچیده و بهینه‌تری ایجاد کنند، بلکه حساسیت‌های زیبایی‌شناختی جدیدی را نیز

شکل۳. ترمینال TWA در فرودگاه جان اف کندی، نیویورک، که در آن Saarinen Eero از اشکال بیومورفیک برای به تصویر کشیدن شعر پرواز استفاده کرد (Redolfi & Khoshtinat, 2016).



شکل۴. فرانک لوید رایت ستون‌های ساختمان جانسون وکس را به نیلوفرهای آبی تشبیه کرد و درحالی‌که فضایی دیدنی ایجاد می‌کنند، هیچ شباهتی از نظر عملکردی با برگ‌های نیوفر آبی ندارند (Redolfi & Khoshtinat, 2016).

به وجود می‌آورند که محدود به قراردادهای سبکی نیستند. این تحولات به طراحان فرصتی منحصر به فرد برای بهبود کیفیت زندگی مردم و ایجاد طراحی‌هایی هماهنگ با طبیعت می‌دهد (Pawlyn, 2019: 140). اکنون زمان مناسبی برای استفاده از بیومیمتیک است؛ پیشرفت‌های علمی و فناوری، به‌ویژه در زمینه زیست‌شناسی و طراحی دیجیتال، فرصت‌های جدیدی برای طراحی‌های پایدار و زیبا فراهم کرده‌اند که به بهبود عملکرد و کیفیت زندگی کمک می‌کند.

۴. ۲. معماری بیومیمتیک

در پنجاه سال گذشته، معماری به‌طور چشمگیری متحول شده و در مسیر همکاری با رشته‌های مختلف توسعه یافته است. هدف اصلی این تغییرات، حرکت از یک اقتصاد خطی به سمت اقتصادی دایره‌ای است که در آن منابع طبیعی به‌طور بهینه و پایدار استفاده می‌شوند (Arslan, 2014: 30). در این راستا، بیومیمتیک به عنوان یک رویکرد نوآورانه در معماری می‌تواند به طراحی‌های پایدار کمک کند. این رویکرد بر استفاده از مصالح پایدار، طراحی‌های کم‌مصرف و کاهش ضایعات تمرکز دارد که درنهایت اثرات منفی بر محیط زیست را کاهش می‌دهد و به سوی یک اقتصاد دایره‌ای حرکت می‌کند (AlAli, 2023: 17).

بیومیمتیک در معماری به دو صورت عمده انجام می‌شود: تقلید از فرم‌های طبیعی و تقلید از فرآیندهای طبیعی. درحالی‌که تقلید از فرم‌های طبیعی جذابیت دارد، برای دستیابی به معماری پایدارتر، باید فرآیندها و عملکردهای موجود در طبیعت نیز مورد توجه قرار گیرد. این رویکرد، به‌ویژه در طراحی‌های بیومورفیک، می‌تواند به ایجاد ساختمان‌هایی منجر شود که علاوه‌بر زیبایی، از نظر عملکردی نیز کارآمدتر و سازگارتر با محیط زیست باشند. این فرایند نه‌تنها به معماری کمک می‌کند بلکه می‌تواند به گسترش همکاری‌های میان‌رشته‌ای در طراحی‌های معماری منجر شود و به تأثیرات زیست‌محیطی مثبت‌تری منتهی گردد (Arslan, 2014: 32). در سطح پیشرفته‌تر، بیومیمتیک به‌طور کامل‌تری از طبیعت الهام می‌گیرد و از مواد زنده در ساختارها و ابزارها استفاده می‌کند. این رویکرد، که از ترکیب معماری و زیست‌شناسی به وجود آمده است، به عنوان یک روش نوین در طراحی‌های هیبریدی می‌تواند عملکرد نهایی سازه‌ها را به‌طور چشمگیری بهبود بخشد. این تغییرات می‌تواند پارادایم جدیدی برای طراحی معماری ایجاد کند که در آن به‌طور هم‌زمان از زیبایی‌شناسی، کارایی و پایداری بهره‌برداری می‌شود. (Arslan, 2014: 34). درنهایت، بیومیمتیک در معماری به‌طور مؤثر به سه سطح تقسیم می‌شود: فرم، فرایند و اکوسیستم. این رویکرد نشان می‌دهد که تقلید صرف از فرم‌های طبیعی کافی نیست و باید به عملکرد و فرآیندهای زیستی نیز توجه شود. این نگرش جامع‌تر نه‌تنها به بهینه‌سازی طراحی‌های معماری کمک می‌کند، بلکه در بلندمدت به ساخت بناهایی پایدارتر و هماهنگ‌تر با محیط زیست می‌انجامد (Arslan, 2014: 32).

۴. ۳. سطوح به‌کارگیری بیومیمتیک

در «جدول ۱» سه سطح اصلی بیومیمتیک در معماری شامل: فرم، فرایند و اکوسیستم دسته‌بندی شده است. سطح فرم بر الهام‌گیری از اشکال طبیعی برای زیبایی و کارایی سازه‌ها تمرکز دارد، سطح فرایند عملکردهای طبیعی مانند تهویه را بازسازی می‌کند، و سطح اکوسیستم به تقلید از تعاملات زیستی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌پردازد. این سطوح نشان‌دهنده گذار از تقلید ظاهری به طراحی‌های پایدار و هماهنگ با محیط زیست هستند (جدول۱).

۴. ۳. ۱. سطح ارگانیسم

در سطح تقلید از ارگانیسم، بیومیمتیک به استفاده از ویژگی‌های فیزیکی موجودات زنده برای یافتن راه‌حل‌های کارآمد در مصرف انرژی و مواد می‌پردازد. این رویکرد بر اساس این فرض است که موجودات زنده‌ای که امروز روی زمین باقی مانده‌اند، در طول میلیون‌ها سال تکامل، مکانیسم‌هایی برای بقا و تطبیق با تغییرات محیطی توسعه داده‌اند. به‌عبارت‌دیگر، طبیعت قبلاً تحقیق و توسعه‌ای عظیم انجام داده است که می‌توان از آن برای حل مشکلات انسانی بهره برد. همان‌طورکه باومایستر[۱۰] ۲۰۰۷اشاره می‌کند، «تحقیق و توسعه انجام شده است.» این جمله بر این ایده تأکید دارد که طبیعت برای مشکلاتی که ما امروز با آن روبه‌رو هستیم، راه‌حل‌هایی پیدا کرده است که اغلب در مصرف بهینه انرژی و مواد مؤثر بوده‌اند.

یکی از نمونه‌های برجسته این سطح از بیومیمتیک، سوسک سیاه نامیبی (Stenocara) است (شکل۵). این سوسک در بیابانی با بارندگی بسیار کم زندگی می‌کند، اما توانسته است مکانیسمی منحصربه‌فرد برای جمع‌آوری آب از

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

جدول۱. بررسی سطوح مختلف به کارگیری بیومیمتیک در طراحی ساختمانی که از موریانه ها الگو گرفته است (Pedersen Zari & Storey, 2007)

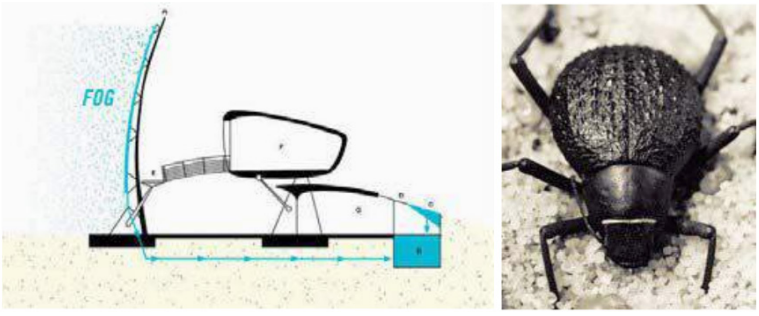
فرم یا سطح ارگانیسم (تقلید یک موجود زنده)	**فرم**	
	مواد	ساختمان از همان ماده موریانه ساخته شده است. ماده‌ای که به عنوان مثال از اسکلت بیرونی / پوست موریانه تقلید می‌کند.
	ساخت‌وساز	ساختمان به همان شیوه موریانه ساخته شده است. برای مثال چرخه‌های رشد مختلفی – را طی می‌کند.
	روند	این ساختمان مانند موریانه‌های منفرد عمل می‌کند به عنوان مثال هیدروژن را از طریق متاژنومیک تولید می‌کند.
	تابع	عملکرد ساختمان مانند موریانه در یک زمینه بزرگ‌تر است. به عنوان مثال ضایعات سلولز را بازیافت می‌کند و خاک ایجاد می‌کند.

فرایند یا سطح رفتار (تقلید نحوه رفتار یا ارتباط یک موجود زنده با زمینه بزرگ‌تر خود)	**فرم**	ساختمان به نظر میرسد که توسط موریانه ساخته شده است. برای مثال یک کپی از تپه موریانه.
	مواد	این ساختمان از همان ماده‌ای ساخته شده است که موریانه با آن می‌سازد و از خاک ریز هضم شده به عنوان ماده اولیه استفاده می‌کند.
	ساخت‌وساز	این ساختمان به همان روشی ساخته شده است که موریانه خانه خود را می‌سازد و در زمان‌های معینی در مکان‌های خاصی خاک را انباشته می‌کند.
	روند	این ساختمان به همان روشی که یک تپه موریانه فردی با جهت‌گیری دقیق کار می‌کند، عمل می‌کند. به عنوان مثال شکل، انتخاب مواد و تهویه طبیعی یا نحوه کار موریانه‌ها را با هم تقلید می‌کند.
	تابع	عملکرد ساختمان مانند همان روشی است که موریانه‌ها ساخته‌اند؛ شرایط داخلی تنظیم می‌شود تا بهینه و از نظر حرارتی پایدار باشد.

سطح اکوسیستم (تقلید یک اکوسیستم)	**فرم**	ساختمان او شبیه یک اکوسیستم است (موریانه در آن زندگی می‌کند).
	مواد	این ساختمان از همان موادی ساخته شده است که اکوسیستم (موریانه) از آن ساخته شده است. از ترکیبات طبیعی مانند آب به عنوان محیط شیمیایی اولیه استفاده می‌کند.
	ساخت‌وساز	ساختمان به همان روشی که یک اکوسیستم (موریانه) مونتاژ می‌شود؛ ساخته می‌شود؛ برای مثال از اصول جانشینی و افزایش پیچیدگی در طول زمان استفاده می‌کند.
	روند	این ساختمان مانند یک سیستم موریانه عمل می‌کند که انرژی خورشید را جذب و آشکار می‌کند و آب را ذخیره می‌کند
	تابع	این ساختمان قادر است به همان روشی که اکوسیستم موریانه‌ها با استفاده از روابط بین فرایندها بخشی از یک سیستم پیچیده را تشکیل می‌دهد. در چرخه هیدرولوژیکی، کربن، نیتروژن و....

مه ایجاد کند. با قرار دادن بدن خود در زاویه‌ای خاص نسبت به باد، رطوبت موجود در مه روی پشت ناهموار و متناوب آن که ترکیبی از سطوح جاذب و دفع‌کننده آب است، به شکل قطرات آب جمع می‌شود. این قطرات سپس به سمت دهان سوسک هدایت می‌شوند و بقای آن را تضمین می‌کنند. (Redolfi, 2016: 12-13) این سازوکار الهام‌بخش طراحی‌های نوینی بوده است که در آن جمع‌آوری آب در شرایط خشک یا بیابانی مورد نظر است.

مثالی دیگر در این سطح، ترمینال بین‌المللی واترلو[11] (شکل۶)، طراحی‌شده توسط نیکلاس گریمشاو[12] و



5. Matthew Parkes' Hydrological Center for the University of Namibia and the stenocara beetle.

شکل۵. راست: نمای نزدیک از سوسک سیاه نامیبی، الهام‌بخش طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب برای تصویر؛
چپ: نمای شماتیک سازه بیومیمتیکی الهام‌گرفته از سوسک سیاه برای جمع‌آوری آب از مه (Redolfi & KHOSHTINAT, 2016).

همکارانش، است. در این پروژه، پانل‌های شیشه‌ای سقف با الهام از فلس‌های پانگولین طراحی شده‌اند تا تغییرات فشار ناشی از ورود و خروج قطارها را تحمل کنند. این تقلید مستقیم از ویژگی‌های فیزیکی پانگولین، روشی خلاقانه برای حل یک مشکل خاص در طراحی معماری بوده است. (Arslan, 2014: 33).

بااین‌حال، یکی از محدودیت‌های بیومیمتیک در سطح ارگانیسم این است که این رویکرد معمولاً به حل یک مشکل خاص محدود می‌شود و طراحی کلی ممکن است همچنان سنتی باقی بماند. درواقع، اگرچه این نوع طراحی می‌تواند به خلق ساختمان‌هایی زیبا و نوآورانه منجر شود، اما الزاماً نتایج اکولوژیکی یا پایداری بلندمدت به همراه ندارد. این مسئله نشان‌دهنده ضرورت حرکت به سطوح پیچیده‌تر بیومیمتیک، مانند تقلید از فرآیندها و اکوسیستم‌ها است که تأثیرات گسترده‌تر و پایدارتری در طراحی معماری دارند. بنابراین، تقلید از ارگانیسم‌ها به عنوان یکی از سطوح اولیه بیومیمتیک، فرصتی برای حل مشکلات خاص و ایجاد نوآوری در طراحی فراهم می‌کند. این سطح می‌تواند الهام‌بخش طراحی‌های جدید باشد، اما برای دستیابی به اهداف اکولوژیکی و پایداری، نیاز به ادغام این اصول در کل فرایند طراحی و حرکت به سمت سطوح جامع‌تر بیومیمتیک وجود دارد.

۴. ۳. ۲. سطح رفتار

تقلید در سطح رفتار، به بررسی نحوه ارتباط و سازگاری یک ارگانیسم با محیط زیست خود می‌پردازد. این سطح، بر درک چگونگی عملکرد موجودات زنده در چارچوب محدودیت‌های محیطی، انرژی و مواد در دسترس تمرکز دارد. به‌عبارت‌دیگر، این رویکرد رفتارهای تطبیقی موجودات را مورد مطالعه قرار می‌دهد تا بتوان آنها را در طراحی‌های انسانی به کار برد.

یکی از مثال‌های شاخص در این زمینه، رفتار موریانه‌ها است. موریانه‌ها برای تنظیم دمای لانه قارچی خود در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی‌گراد، علی‌رغم تغییرات دمای محیط تا ۲۱ درجه، سیستم تهویه پیچیده‌ای ایجاد می‌کنند. این سیستم شامل کانال‌هایی به ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر است که با مدیریت جریان هوا، هوای گرم را به بیرون هدایت کرده و هوای سرد را به داخل لانه می‌کشاند. این سازوکار تهویه طبیعی، الگویی برای طراحی مرکز خرید ایستگیت در زیمبابوه (شکل ۷) بوده است، جایی که از این رفتار برای ایجاد سرمایش و گرمایش طبیعی ساختمان استفاده شده است. این ساختمان بدون نیاز به سیستم‌های مکانیکی پرهزینه، بازدهی انرژی بالایی دارد و الهامی از رفتار موریانه‌ها در تطبیق با محیط محسوب می‌شود (Arsalan, 2014: 33).

بااین‌حال، تقلید در سطح رفتار محدودیت‌هایی دارد. رفتارهایی که برای یک ارگانیسم خاص در محیط طبیعی خود کارآمد است، لزوماً در هر بستر یا شرایط انسانی مناسب نخواهد بود. این مسئله ضرورت تحلیل دقیق و تطبیق رفتارهای الهام‌گرفته‌شده با شرایط خاص پروژه را برجسته می‌کند. برای مثال، در ساختمان CH2 در ملبورن، آب استخراج‌شده از فاضلاب زیرساختمان برای سیستم خنک‌کنندگی تبخیری

6. Nicholas Grimshaw & Partners' Waterloo International Terminal and the Pangolin.

شکل۶. چپ: نمای داخلی ترمینال بین‌المللی واترلو با ساختاری الهام‌گرفته از طبیعت؛
تصویر راست: تصویر پانگولین، الهام‌بخش طراحی ساختارهای معماری بیومیمتیکی (Arslan, 2014).

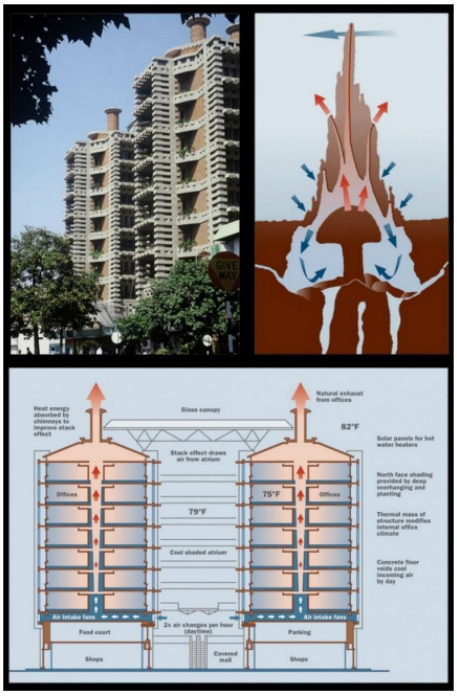
DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

مورد استفاده قرار گرفته است. این روش مشابه مکانیزم خنک‌سازی تبخیری است که در گونه‌های خاصی از موریانه‌ها مشاهده می‌شود، جایی که آنها از نزدیکی به آب سفره برای تعدیل دما استفاده می‌کنند(Redolfi, 2016: 15)

بنابراین، تقلید در سطح رفتار، فرصت‌های منحصربه‌فردی برای ایجاد طراحی‌های سازگار با محیط فراهم می‌کند. بااین‌حال، این رویکرد نیازمند درک عمیق از شرایط محیطی و محدودیت‌های موجود است. به‌کارگیری موفق این رویکرد در معماری، مستلزم تطبیق رفتارهای طبیعی با نیازهای انسانی و بهره‌گیری از فناوری‌های مناسب برای اجرای آنها است. تقلید از رفتارهای طبیعی نه‌تنها می‌تواند به بهینه‌سازی انرژی و منابع کمک کند، بلکه قابلیت خلق سیستم‌های کارآمد و پایدار را نیز افزایش می‌دهد.

۴. ۳. ۳ سطح اکوسیستم

تقلید در سطح اکوسیستم، پیشرفته‌ترین سطح بیومیمتیک است که با الهام از کل اکوسیستم و درک عمیق از روابط پیچیده میان اجزای آن، به دنبال ایجاد محیط‌های پایدار و

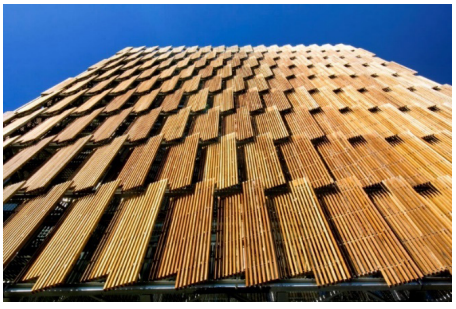


شکل۷. مرکز خرید ایستگیت در زیمبابوه (Arslan, 2014).

هماهنگ با طبیعت است. این سطح فراتر از تقلید از فرم یا رفتار یک ارگانیسم عمل می‌کند و به مطالعه فرآیندهای احیاگرانه و چرخه‌های زیستی می‌پردازد که بقا و پایداری کل سیستم‌های زیستی را تضمین می‌کنند. تقلید در این سطح به معماران و طراحان امکان می‌دهد تا محیط‌های مصنوعی را به گونه‌ای طراحی کنند که نه‌تنها تأثیرات منفی بر طبیعت را کاهش دهند، بلکه به ترمیم و تقویت اکوسیستم‌های طبیعی نیز کمک کنند.

یکی از ویژگی‌های کلیدی این سطح، تفکر سیستمی است؛ بدین معنا که هر عنصر در طراحی، نه به صورت مجزا، بلکه به عنوان بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر بررسی می‌شود. این رویکرد ممکن است از پروژه‌های کوچک‌تر مانند ساختمان‌های سبز شروع شود و به مقیاس کلان، نظیر شهرهای اکولوژیکی یا شهرهای سبز، گسترش یابد. در این سیستم‌ها، اصول بوم‌شناسی مانند چرخه‌های بسته مواد، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، و حفظ تنوع زیستی به‌طور کامل در طراحی گنجانده می‌شود. (Arslan, 2014: 34)

به‌عنوان‌مثال، در شهرهای اکولوژیکی، هر عنصر از ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها گرفته تا فضاهای سبز شهری، به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که با یکدیگر تعامل داشته و منابع یکدیگر را تقویت کنند. برای نمونه، زباله‌های یک سیستم می‌توانند به منبع انرژی یا مواد برای سیستمی دیگر تبدیل شوند. چنین چرخه‌هایی، مشابه چرخه‌های موجود در طبیعت، کارایی سیستم را افزایش داده و اتکای آن به منابع خارجی را کاهش می‌دهند. تقلید از اکوسیستم‌ها در معماری نیازمند درک عمیق از بوم‌شناسی و فرآیندهای طبیعی است. برای مثال، در طبیعت، هر سیستم زیستی نه‌تنها پایداری خود را حفظ می‌کند، بلکه به پایداری سیستم‌های پیرامون خود نیز کمک می‌کند.



شکل۸. ساختمان 2CH در ملبورن، استرالیا (Redolfi & KHOSHTINAT, 2016).

این رویکرد می‌تواند به توسعه شهرهایی منجر شود که قادر به خودتنظیمی و احیای منابع طبیعی خود هستند، درحالی‌که تأثیرات زیست‌محیطی را به حداقل می‌رسانند.

یکی از چالش‌های اساسی در این سطح، انتقال دانش بوم‌شناسی به فرآیندهای طراحی است. این امر نیازمند همکاری میان‌رشته‌ای میان معماران، زیست‌شناسان، مهندسان و برنامه‌ریزان شهری است تا بتوانند اصول طبیعی را به صورت مؤثر در طراحی محیط‌های مصنوعی به کار گیرند. به‌علاوه، تقلید از اکوسیستم‌ها مستلزم تغییر دیدگاه از طراحی‌های منفعلانه به طراحی‌های فعال و احیاگر است که در آن محیط‌های مصنوعی نه‌تنها مصرف‌کننده منابع نیستند، بلکه می‌توانند به تولید منابع نیز کمک کنند.

درنهایت، تقلید در سطح اکوسیستم به عنوان رویکردی بلندمدت و جامع، می‌تواند به خلق محیط‌هایی منجر شود که از نظر زیست‌محیطی پایدار، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه، و از نظر اجتماعی قابل قبول باشند. این سطح از بیومیمتیک، فرصتی برای بازتعریف رابطه انسان با طبیعت ارائه می‌دهد و می‌تواند نقش کلیدی در مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی معاصر ایفا کند.

۵. طراحی الهام گرفته از طبیعت

بیومیمتیک می‌تواند در جنبه‌های مختلف طراحی معماری، ازجمله فرم، ساختار، سیستم‌ها و مصالح، به کار گرفته شود. برای مثال؛ در طراحی فرم، معماران می‌توانند از اشکال و ساختارهای موجود در طبیعت، مانند لانه‌های موریانه یا پوسته‌های صدف، برای طراحی ساختمان‌هایی که کارآمدتر و سازگارتر با محیط زیست هستند، الهام بگیرند. در طراحی ساختار، مهندسان می‌توانند از ساختارهای موجود در طبیعت، مانند استخوان‌های حیوانات یا شاخه‌های درختان، برای طراحی سازه‌های قوی‌تر و سبک‌تر الهام بگیرند. در طراحی سیستم‌ها، معماران و مهندسان می‌توانند از سیستم‌های موجود در طبیعت، مانند سیستم تهویه لانه‌های موریانه یا سیستم تصفیه آب گیاهان، برای طراحی سیستم‌های ساختمان کارآمدتر و پایدارتر الهام بگیرند. همچنین آنها می‌توانند از مصالحی که در طبیعت یافت می‌شوند، مانند چوب، بامبو یا خاک رس، برای ساخت ساختمان‌هایی که سالم‌تر و سازگارتر با محیط زیست هستند، استفاده کنند (Verbrugghe, 2023: 6).

۵. ۱. روش‌های طراحی عددی با الهام از طبیعت

طراحی عددی الهام‌گرفته از طبیعت، یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های طراحی در معماری است که امکان بهره‌گیری از مفاهیمی چون تکامل، رشد، سازگاری، جهش و مورفوژنتیک را فراهم می‌کند. این رویکرد، نتیجه تلفیق دانش معماران، زیست‌شناسان و مهندسان نرم‌افزار است و رشته‌های علمی مختلف ازجمله ریاضیات، مهندسی ژنتیک، فیزیولوژی سلولی، نانوتکنولوژی و هوش مصنوعی را به کار می‌گیرد. این روش‌ها، فرم‌های معماری‌ای خلق می‌کنند که به جای تقلید سطحی از طبیعت، پارامترهای طراحی خود را مستقیماً از فرآیندهای طبیعی می‌گیرند و با استفاده از الگوریتم‌های طراحی، طرح‌هایی جامع، پویا و قابل توسعه ایجاد می‌کنند. (Onal, 2019: 4)

۵. ۲. معماری گیاهی

یکی از روش‌های طراحی عددی، معماری گیاهی است که توسط دنیس دولن توسعه یافت. این رویکرد، با استفاده از نرم‌افزارهای خاص، فرآیندهای رشد گیاهان را شبیه‌سازی کرده و به عنوان مدلی برای ایجاد فرم‌های معماری نوآورانه مورد استفاده قرار می‌دهد. طراحی دولن نه‌تنها عناصر بصری مانند بذرها و برگ‌ها را بازآفرینی می‌کند، بلکه حرکت گیاهان به عنوان پاسخ به محرک‌های محیطی (تروپیسم) را نیز شبیه‌سازی کرده و آن را برای سیستم‌های مبتنی بر عامل و شبیه‌سازی رفتار انسان به کار می‌گیرد (Dollens,2009: 76).

۵. ۳. معماری تکاملی

در معماری تکاملی، اصول کدگذاری ژنتیکی، تکرار، انتخاب و ریخت‌زایی [۱۳] در طراحی اعمال می‌شود. این رویکرد به دنبال خلق محیط‌هایی است که همانند طبیعت دارای تعادل متابولیک [۱۴] و رفتار همزیستی باشند. در این روش، تقلید از طبیعت محدود به ظاهر نیست، بلکه فرآیندهای زیستی مانند ریخت‌زایی مورد توجه قرار می‌گیرند. هدف، طراحی محیط‌های ساخته‌شده‌ای است که بتوانند به شیوه‌ای مشابه طبیعت خود را با تغییرات سازگار کنند و به پایداری کمک کنند. (Onal, 2019: 5)

۵. ۴. معماری ژنتیک

معماری ژنتیک، توالی ارزش‌های مورفوژنتیکی را به‌گونه‌ای

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

تعریف می‌کند که منطق درونی خود را ایجاد کرده و حول کارآمدی معماری شکل می‌گیرد. این رویکرد به عنوان روشی نظری و آزمایشگاهی در پژوهش‌های معماری مطرح است و از اصول تشکیل ژنتیکی برای تولید فرم‌های نوآورانه بهره می‌گیرد. تحقیقات در این حوزه به دو بخش تقسیم می‌شوند: یکی پژوهش در محیط دیجیتال برای ایجاد DNA مصنوعی و دیگری پژوهش در محیط فیزیکی برای دستکاری رمزگذاری‌های ژنتیکی واقعی (Onal, 2019: 5).

۵. ۴. الگوریتم‌های طراحی معماری

الگوریتم‌های طراحی معماری به عنوان ابزاری برای مقابله با محدودیت‌های رقابتی و پیچیدگی‌های طراحی، توانایی ایجاد راه‌حل‌های نوآورانه را فراهم می‌کنند. این ابزارها، برخلاف روش‌های سنتی، امکان ایجاد طرح‌هایی با عملکردهای ساختاری و محیطی را که زمانی به عنوان فرآیندهای بهینه‌سازی پس از طراحی در نظر گرفته می‌شدند، در مراحل اولیه طراحی فراهم می‌کنند. رویکرد الگوریتمی همچنین به معماران این امکان را می‌دهد که با آگاهی از منطق زیربنایی ابزارها، فرایند طراحی را به شکل دقیق‌تری مدیریت کنند (Uke, 2014: 129).

۶. چالش‌های طراحی الهام‌گرفته از طبیعت

اگرچه طراحی عددی و الهام‌گرفته از طبیعت توانسته است به نتایج قابل توجهی در معماری منجر شود، اما اغلب معماران تنها به تقلید از فرم‌های ظاهری طبیعت اکتفا کرده‌اند. این امر منجر به وجود شکاف میان فرم فیزیکی و منطق زیستی آن شده است (El-Mahdy, 2017: 214). بااین‌حال، توسعه استانداردها و روش‌های علمی، امکان انتقال ویژگی‌های زیستی به طراحی‌های معماری را بهبود بخشیده و به خلق پروژه‌های بازسازی شهری و معماری پایدار کمک کرده است (Badarnah, 2016: 1437). از دهه ۱۹۷۰، نمونه‌های موفقی از طراحی الهام‌گرفته از طبیعت به وجود آمده است. بحران‌های جهانی نفت در دهه ۱۹۷۰ و نیاز به افزایش آگاهی زیست‌محیطی، به توسعه فناوری‌های جدید مانند سطوح آبگریز نیلوفر آبی (۱۹۷۶) و سیستم تهویه خودکار ساختمان ایستگیت (۱۹۶۷) منجر شدند (Cruz, 2022: 2). این دستاوردها نشان می‌دهند که چگونه ترکیب علم، فناوری و طبیعت می‌تواند به راه‌حل‌هایی پایدار برای چالش‌های معماری منجر شود. درمجموع، طراحی الهام‌گرفته از طبیعت نه‌تنها به بهبود کارایی انرژی و استفاده بهینه از منابع کمک می‌کند، بلکه امکان ایجاد فرم‌های معماری پیچیده و نوآورانه را فراهم می‌کند که با سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی هماهنگ باشند. این روش‌ها، افق‌های جدیدی در طراحی معماری باز می‌کنند و نشان می‌دهند که معماری می‌تواند نه‌تنها به تقلید از طبیعت، بلکه به همزیستی با آن بپردازد.

۷. حل مسائل خاص در ساختمان‌سازی با الهام از طبیعت

در معماری پایدار، الهام از طبیعت به‌طور فزاینده‌ای برای حل مسائل خاص در طراحی ساختمان‌ها استفاده می‌شود. یکی از نمونه‌های بارز، مدیریت آب است. موجوداتی که در محیط‌های خشک زندگی می‌کنند، مانند برخی از حشرات و خزندگان، برای میعان‌سازی و جمع‌آوری رطوبت از سطح بدن خود ویژگی‌های خاصی دارند. این ساختارهای سطحی می‌توانند الهام‌بخش طراحی سیستم‌های جمع‌آوری رطوبت در ساختمان‌ها باشند، مشابه الگوهایی که در پوست این موجودات وجود دارد (Badar-nah, 2016: 1433).

همچنین، سامانه‌های سایه قابل تنظیم در گیاهان، که برای کنترل میزان نور و دما در محیط‌های خاص تکامل یافته‌اند، مورد توجه محققان قرار گرفته است. این سیستم‌ها می‌توانند در طراحی سایه‌بانی‌هایی برای ساختمان‌ها استفاده شوند که تابش خورشید را مشابه به فرآیندهای طبیعی گیاهان در طول روز ردیابی کرده و تنظیم کنند. (Zuazua-Ros, 2017: 58)

درنهایت، سیستم‌های دفع گرما نیز از رفتار برخی حیوانات الهام گرفته شده است. برخی از حیوانات برای خنک‌سازی بدن خود از سطوح خشک استفاده می‌کنند. محققان با بررسی این روش، سیستم‌های زیستی دفع گرما را طراحی کرده‌اند که می‌توانند در ساختمان‌ها برای بهبود عملکرد حرارتی استفاده شوند (Zuazua-Ros, 2017: 59). این نمونه‌ها نشان می‌دهند که چگونه می‌توان از طبیعت برای حل مسائل معماری و زیست‌محیطی بهره برد.

۷. ۱. نمونه‌های موردی

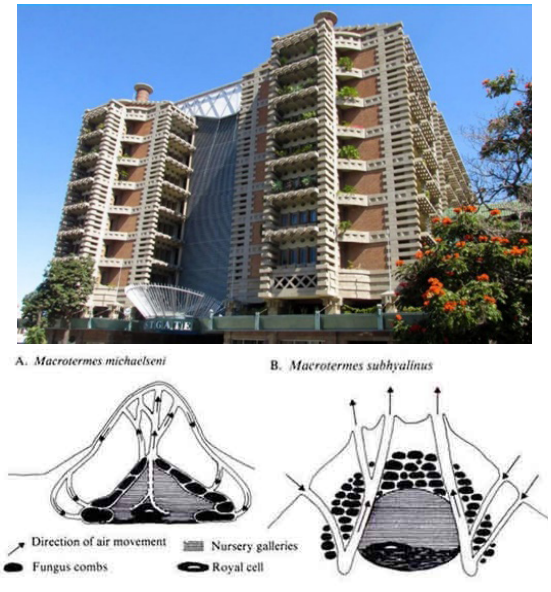
در این بخش، به بررسی نمونه‌های موفق از کاربرد بیومیمتیک در معماری پرداخته می‌شود. این نمونه‌ها نشان می‌دهند که چگونه الهام‌گیری از طبیعت می‌تواند به بهبود بهره‌وری انرژی، کاهش مصرف منابع و افزایش زیبایی‌شناسی در طراحی ساختمان‌ها منجر شود. در ادامه، چند نمونه موردی برجسته ارائه شده است.

۷. ۱. ۱. مرکز خرید ایستگیت (هاراره، زیمبابوه): این مرکز خرید از لانه‌های موریانه برای طراحی سیستم تهویه خود الهام گرفته است (Verbrugghe, 2023: 10). لانه‌های موریانه به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که هوا را به صورت طبیعی تهویه کنند (شکل۹) و دمای داخل لانه را ثابت نگه دارند. استفاده از این سیستم تهویه طبیعی به کاهش مصرف انرژی برای خنک‌سازی ساختمان کمک کرده است. به گفته معمار، این ساختمان ۹۰ درصد کمتر از ساختمان‌های مشابه انرژی مصرف می‌کند.

این رویکرد نه‌تنها مصرف انرژی را کاهش داده بلکه به کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز کمک کرده است. طراحی پایدار این ساختمان نشان‌دهندهٔ پتانسیل بالای بیومیمتیک در معماری است.

۷. ۱. ۲. طرح ادن (بریتانیا): سازه گلخانه‌های این پروژه از حباب صابون و کندوهای زنبور عسل الهام گرفته شده است (Verbrugghe, 2023: 11). ساختارهای حبابی آب به عنوان الگوی طبیعی در طراحی سازه‌ها (شکل ۱۰) باعث ایجاد فرم‌های زیبا و کارآمد شده‌اند. این طراحی حبابی نه‌تنها به زیبایی معماری می‌افزاید، بلکه کارایی سازه را افزایش داده و وزن آن را کاهش می‌دهد که درنهایت به کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری منجر می‌شود. پروژه‌های الهام‌گرفته از گنبدهای ژئودزیک، که ساختارهای طبیعی را تقلید می‌کنند، فضای داخلی را برای نگهداری گیاهان در شرایط کنترل‌شده به‌طور مؤثری فراهم می‌کنند. این رویکرد بیومیمتیک علاوه‌بر بهینه‌سازی عملکرد، از لحاظ زیبایی‌شناختی نیز جذاب است و استفاده از این ساختارها به کاهش نیاز به منابع طبیعی و انرژی کمک می‌کند.

۷. ۱. ۳. خانه شورای شهر (ملبورن، استرالیا): این ساختمان (شکل۱۲) با الهام از ساختار درختان (شکل۱۱) طراحی شده است (Verbrugghe, 2023: 11). در طراحی داخلی، بیومیمتیک هنوز در مراحل ابتدایی است، اما پیش‌بینی می‌شود که در آینده این رویکرد برای طراحی پایدارتر به‌ویژه در زمینه نور روز و کاهش ردپای اکولوژیکی ساختمان‌ها به‌طور گسترده‌تری به کار رود. این رویکرد می‌تواند منجر به کاهش نیاز به نور

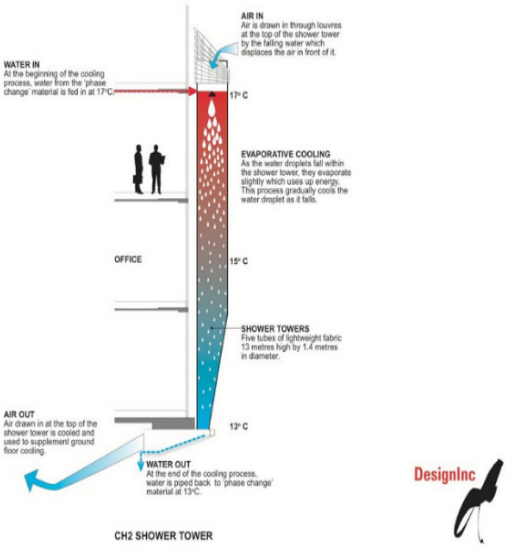


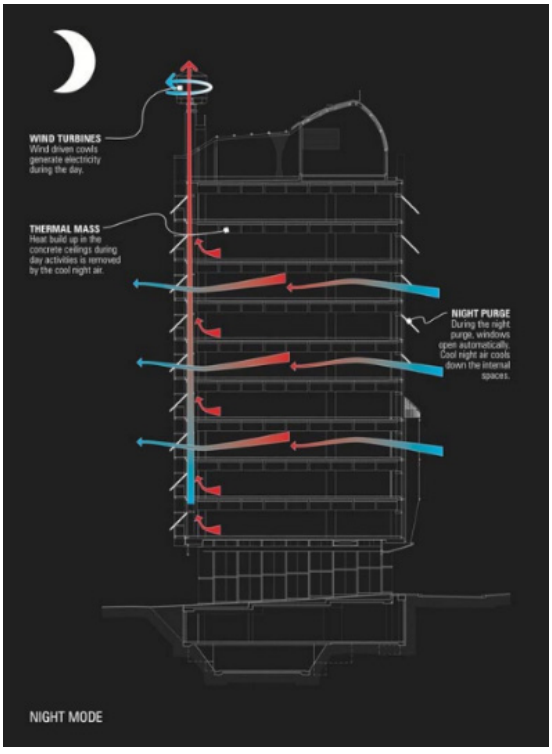
شکل ۹. مرکز خرید ایستگیت (طاق بیونیک، ۱۴۰۱).

شکل ۱۰. طرح ادن (visitcornwall, nd).

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

مصنوعی و بهینه‌سازی مصرف انرژی شود.





شکل۱۱. نحوه عملکرد خانه شورای شهر الهام گرفته شده از درختان (معماری آرل، ۱۳۹۷).

۷. ۱. ۴. تئاتر اس پلناد (سنگاپور): در ساختمان (شکل ۱۴)، تئاتر از پوسته صدف دریایی و میوه دورین الهام گرفته شده است. میخ‌های دوریان که بر سقف نصب شده‌اند، علاوه‌بر جنبه زیبایی‌شناختی، به عنوان محافظ در برابر خورشید نیز عمل می‌کنند. پانل‌های آلومینیومی که مسیر نور خورشید را پوشانده‌اند، در یک الگوی شبکه‌ای سازمان‌دهی شده‌اند و لایه دوم این پانل‌ها شکلی مشابه منقار پرنده ایجاد می‌کند که جهت آن تغییر می‌کند. این طراحی به‌گونه‌ای است که نور کافی را وارد کرده و گرمای استوایی را حفظ می‌کند (Verbrugghe, 2023: 12).

استفاده از الگوریتم‌ها و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای به معماران کمک می‌کند تا فرم‌های پیچیده و بهینه‌ای طراحی کنند که هم از نظر سازه‌ای پایدار باشند و هم از زیبایی‌شناسی مناسبی

شکل۱۲. خانه شورای شهر (معماری آرل، ۱۳۹۷).

شکل۱۳. پوسته سقفی تئاتر اس پلناد (parametrichouse, nd).

برخوردار باشند. این روش می‌تواند در مراحل اولیه طراحی به کاهش استهلاک و بهینه‌سازی انتخاب مصالح کمک کند.

۷. ۱. ۵. نمای هومئوستاتیک: این سیستم نما (شکل۱۵) با الهام از ماهیچه‌های بدن موجودات زنده، به‌طور خودکار به تغییرات دما و نور پاسخ می‌دهد. (Verbrugghe, 2023: 13)

در معماری سنتی ایرانی نیز راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و هماهنگی با محیط زیست وجود دارد که می‌توان از آنها در طراحی‌های معاصر بهره برد. برخی از این تکنیک‌ها و طراحی‌ها به‌طورخاص برای مناطق مختلف ایران ایجاد شده‌اند و به عنوان نمونه‌هایی موفق از معماری پایدار شناخته می‌شوند.

۷. ۲. معماری سنتی (بومی) ایران و انطباق با رویکرد بیومیمتیک

معماری سنتی ایران از دیرباز با الهام از طبیعت و تطابق با محیط زیست توانسته است به شیوه‌ای منحصربه‌فرد اصول بیومیمتیک را در طراحی‌های خود به کار گیرد. این معماری در سه سطح ارگانیسم، رفتار و اکوسیستم، تعامل خود با طبیعت را نشان می‌دهد.

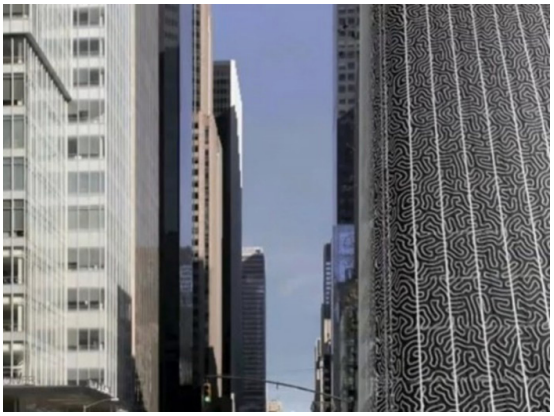
در سطح ارگانیسم، نمونه‌هایی مانند بادگیرهای سنتی در شهرهای گرم و خشک ایران، الهامی عملکردی از سیستم‌های زیستی هستند. بادگیرها همانند شش‌های موجودات زنده، جریان هوا را به گردش درمی‌آورند و به تهویه و خنک‌سازی فضاهای داخلی کمک می‌کنند. این ساختارها به‌طور طبیعی محیطی مطلوب و پایدار ایجاد کرده و نیاز به سیستم‌های مکانیکی را کاهش داده‌اند (گلابچی، ۱۴۰۰).

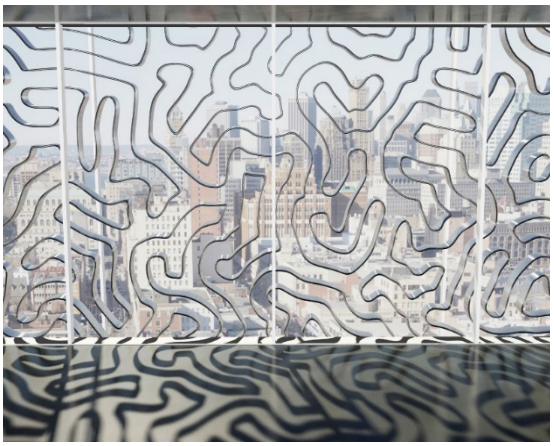
در سطح رفتار، رفتار گیاهان در کاهش تبخیر و حفظ انرژی

شکل۱۴. راست: میوه دورین؛ چپ: تئاتر اس پلناد (parametrichouse, nd).

در طراحی معماری سنتی ایران مشاهده می‌شود. حیاط‌های مرکزی و سایه‌بان‌های موجود در خانه‌های مناطق گرمسیر، همانند رفتار اکوسیستم‌های بیابانی، از تابش مستقیم خورشید جلوگیری کرده و با ایجاد سایه و حفظ رطوبت، فضایی خنک و دلپذیر فراهم می‌کنند. این طراحی‌ها به صورت طبیعی به بهبود کیفیت زندگی ساکنان کمک کرده و با شرایط اقلیمی سازگار بوده‌اند (محمودی‌نژاد، ۱۳۹۹).

در سطح اکوسیستم، خانه‌های تاریخی شهرهایی مانند یزد و کاشان نمونه‌های بارزی از تعامل سازگار با محیط زیست هستند. این خانه‌ها از منابع طبیعی موجود مانند خاک برای ساخت خشت و آب‌انبارها برای ذخیره آب استفاده می‌کنند و با بهینه‌سازی مصرف منابع، اصول چرخه‌های طبیعی را در معماری پیاده کرده‌اند. این طراحی‌ها نشان‌دهنده درک عمیق معماران سنتی از روابط پیچیده بین انسان و طبیعت بوده است (قبادیان، ۱۳۹۸).





شکل۱۵. نمای هومئوستاتیک (Archdaily, 2011).

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

معماری سنتی ایران نه‌تنها از فرم‌های طبیعی الهام گرفته است، بلکه به‌طور هوشمندانه‌ای رفتارها و سازوکارهای طبیعی را در طراحی و ساخت بناها به کار برده است. این رویکرد نشان‌دهنده توانایی معماران سنتی در پیاده‌سازی اصول بیومیمتیک است و نشان می‌دهد چگونه آنها با بهره‌گیری از منابع طبیعی و سازوکارهای محیط‌زیست، فضاهایی پایدار و هماهنگ با طبیعت خلق کرده‌اند. این ویژگی‌ها گواهی بر پیشگامی معماری سنتی ایران در ایجاد ساختارهایی است که پاسخ‌گوی چالش‌های زیست‌محیطی و اقلیمی بوده‌اند.

۷. ۲. ۱. بادگیرها - یزد: بادگیرها یکی از شاخص‌ترین ویژگی‌های معماری ایرانی (شکل۱۶) هستند که در مناطق گرم و خشک مانند یزد به کار می‌روند. این سازه‌ها به عنوان سیستم‌های تهویه طبیعی عمل می‌کنند و با استفاده از جهت باد، هوای گرم را از فضای داخلی خارج کرده و هوای خنک را وارد می‌کنند. درنتیجه، به کاهش نیاز به تهویه مصنوعی و مصرف انرژی کمک می‌کنند. این سیستم در خانه‌ها، باغ‌ها و مساجد یزد به‌وفور دیده می‌شود.

۷. ۲. ۲. سقف‌های گنبدی و طاق‌ها - مسجد جامع اصفهان: مسجد جامع اصفهان (شکل۱۷) نمونه‌ای بارز از استفاده از سقف‌های گنبدی و طاق‌ها در معماری اسلامی ایرانی است. این طراحی‌ها به‌طور طبیعی جریان هوا را در فضاها تنظیم کرده و از انتقال حرارت جلوگیری می‌کنند. سقف‌های طاقی و گنبدی در این مسجد موجب تهویه طبیعی مناسب و حفظ دمای مطلوب در داخل ساختمان می‌شود. این ویژگی می‌تواند در طراحی ساختمان‌های مدرن برای بهبود تهویه و کاهش مصرف انرژی به کار رود.

۷. ۲. ۳. خانه‌های ایرانی با حیاط مرکزی - خانه طباطبایی‌ها در کاشان: خانه‌های سنتی ایرانی مانند خانه طباطبایی‌ها در کاشان با طراحی حیاط مرکزی شناخته می‌شوند. این طراحی‌ها باعث ایجاد تهویه طبیعی، نور طبیعی مناسب و بهبود تعادل دمایی در فضاهای داخلی می‌شود. حیاط مرکزی به عنوان فضای سبز و محلی برای استراحت عمل می‌کند و همچنین به عنوان یک راهکار پایداری برای کاهش مصرف انرژی در فضاهای مسکونی می‌تواند استفاده شود.

۷. ۲. ۴. مساجد تاریخی ایرانی - مسجد شیخ لطف‌الله در اصفهان: مسجد شیخ لطف‌الله در اصفهان نمونه‌ای از استفاده هوشمندانه از نور طبیعی و تهویه در معماری ایرانی است. این مسجد با استفاده از فضاهای باز و ایوان‌ها، نور طبیعی را به داخل فضای عبادت هدایت کرده و از سیستم‌های طبیعی برای تهویه استفاده می‌کند. این ویژگی‌ها باعث کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی و سیستم‌های تهویه مکانیکی می‌شود و می‌تواند در طراحی‌های معاصر برای کاهش مصرف انرژی به کار رود.

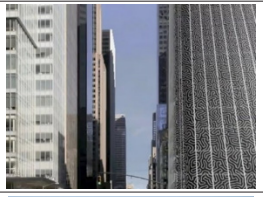
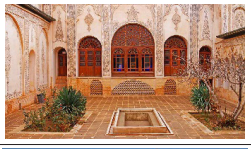
مجموعه نمونه‌های بررسی‌شده شامل بناهای مدرن و نوآورانه و معماری بومی و سنتی بر اساس سه سطح اصلی بیومیمتیک در معماری شامل: فرم، فرایند و اکوسیستم تحلیل و دسته‌بندی شد و در «جدول ۲» با هم مقایسه شده است.

بیومیمتیک به عنوان رویکردی پیشرو در معماری معاصر، توانسته است این اصول سنتی را با فناوری‌های پیشرفته ترکیب کند. برای مثال، استفاده از سیستم‌های تهویه طبیعی الهام‌گرفته از طبیعت یا بهره‌گیری از انرژی خورشیدی،

شکل۱۶. بادگیر هتل داد یزد (musalla, nd)

شکل۱۷. مسجد جامع اصفهان (dadhotel,1390).

جدول۲. جمع‌بندی و تحلیل نمونه‌های موردی.

	نام بنا	کارکرد	ارگانیسم	رفتار	اکوسیستم	کانسپت	توضیحات	تصویر
جدید و نوآورانه	**مرکز خرید ایستگیت، هاراره، زیمبابوه**	تجاری			*	لانه موریانه	طراحی سیستم تهویه طبیعی و پایدار، استفاده از لانه موریانه برای تهویه طبیعی و ثابت نگه‌داشتن دما در ساختمان	
	طرح ادن، بریتانیا	گلخانه/ علمی	*			الهام از حباب صابون و کندو زنبور عسل	ساختار حبابی برای کاهش وزن و هزینه‌ها، طراحی سازه‌های حبابی که کاهش وزن، هزینه‌ها و بهینه‌سازی منابع را فراهم می‌آورد	
	خانه شورای شهر، ملبورن، استرالیا	اداری		*		الهام از درختان	بهینه‌سازی نور روز و کاهش ردپای اکولوژیکی، طراحی با الهام از درختان که مصرف انرژی و نیاز به نور مصنوعی را کاهش می‌دهد	
	تئاتر اس پلناد، سنگاپور	فرهنگی/ تئاتر			*	الهام از صدف دریایی و میوه دورین	الهام از صدف دریایی و میوه دورین	طراحی پوسته سقفی با میخ‌های دوریان، استفاده از پوسته سقفی برای کنترل نور و گرما و ایجاد سایه با استفاده از ویژگی‌های طبیعی	
	نمای هومئوستاتیک	مسکونی/ اداری		*		الهام از ماهیچه‌های بدن موجودات زنده	الهام از ماهیچه‌های بدن موجودات زنده، سیستم خودتنظیم دما و نور، نمای ساختمان که به‌طور خودکار به تغییرات دما و نور واکنش نشان می‌دهد	
سنتی و بومی ایران	**بادگیرها، یزد، ایران**	مسکونی/ اداری	*			الهام از بادگیرهای سنتی ایرانی	استفاده از بادگیرها برای تهویه طبیعی، بادگیرها به عنوان سیستم‌های تهویه طبیعی برای خنک‌سازی فضاهای داخلی استفاده می‌شوند	
	مسجد جامع اصفهان، ایران	مذهبی	*			الهام از گنبدها و طاق‌ها	سقف‌های گنبدی برای تهویه و تنظیم حرارت، استفاده از سقف‌های گنبدی و طاق‌ها برای تهویه طبیعی و تنظیم دما در فضا	
	خانه‌های ایرانی با حیاط مرکزی، کاشان، ایران	مسکونی			*	الهام از حیاط مرکزی	طراحی با حیاط مرکزی برای تهویه طبیعی و نور، حیاط مرکزی به عنوان فضای سبز و سیستم تهویه طبیعی برای بهبود کیفیت فضاهای داخلی	
	مسجد شیخ لطف‌الله، اصفهان، ایران	مذهبی			*	الهام از ایوان‌ها و فضاهای باز	استفاده از ایوان‌ها برای نور طبیعی و تهویه، استفاده از ایوان‌ها و فضاهای باز برای هدایت نور طبیعی و تهویه مناسب در فضا	

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

علاوه‌بر کاهش مصرف انرژی، به طراحی‌هایی با زیبایی‌شناسی منحصربه‌فرد منجر شده است (Verbrugghe, 2023: 13). افزون بر این، کاربرد پوشش‌های گیاهی و سیستم‌های سازگار با محیط زیست در معماری بیومیمتیک به بهبود کیفیت هوا، کاهش ردپای کربنی و ارتقای سلامت زیست‌محیطی منجر شده است.

این دو رویکرد، به‌ویژه در طراحی ساختمان‌هایی که عملکردی مشابه موجودات زنده دارند، هم‌پوشانی دارند. ساختمان‌هایی که بر اساس اصول بیومیمتیک طراحی می‌شوند، قابلیت سازگاری پویا با محیط پیرامون خود را دارند، انرژی و آب مورد نیازشان را از منابع طبیعی تأمین می‌کنند و ارتباط انسان با طبیعت را تقویت می‌کنند. به عنوان نمونه، سیستم‌های مدرن تهویه طبیعی که از بادگیرهای سنتی الهام گرفته‌اند، نمونه‌ای از این همزیستی مؤثر میان معماری و طبیعت هستند. درنهایت، ترکیب اصول معماری سنتی ایرانی با بیومیمتیک، افق‌های جدیدی برای طراحی پایدار باز کرده است. این رویکردها با بهبود بهره‌وری انرژی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و ایجاد استانداردهای نوین طراحی، زیبایی، عملکرد و پایداری را به صورت هم‌زمان محقق می‌سازند.

۸. تحلیل و نقد: مزایا، چالش‌ها و آینده‌پژوهی

معماری سنتی و بیومیمتیک هر دو رویکردهای مهمی در طراحی‌های پایدار و هماهنگ با طبیعت هستند که هر یک به‌طورخاص در تعامل با محیط زیست و استفاده بهینه از منابع طبیعی در طول تاریخ انسان نقش داشته‌اند. در گذشته، فرایند طراحی معماری عمدتاً به روش سعی و خطا انجام می‌شد که منجر به محدودیت‌هایی در بهینه‌سازی طراحی می‌گردید. اما با پیشرفت فناوری و ظهور مدل‌های مبتنی بر الگوریتم‌ها، معماران توانسته‌اند فرم و ساختار ساختمان‌ها را بهینه‌سازی کنند و درعین‌حال، محدودیت‌هایی همچون مصالح، زمان و بودجه را در نظر بگیرند.

نرم‌افزارهای طراحی دیجیتال این امکان را فراهم می‌آورد که معماران طرح‌های خود را به صورت دیجیتال ثبت کرده و با تحلیل شرایط محیطی، پایگاه داده‌های جدیدی ایجاد کنند (Menges, 2012: 1).

این تحول در استفاده از فناوری‌های دیجیتال به معماران این امکان را می‌دهد که طراحی‌های پیچیده‌تر و پایدارتری خلق کنند که در برابر چالش‌های محیطی و اقتصادی عملکرد بهتری دارند. در معماری معاصر، بیومیمتیک و الهام‌گیری از طبیعت به‌طور فزاینده‌ای با فناوری‌های مدرن ترکیب شده‌اند. پیچیدگی‌های ساختار موجودات زنده و تفاوت‌های آشکار میان طراحی‌های مهندسی و آنچه در طبیعت مشاهده می‌شود، نیاز به درک عمیق‌تری از سیستم‌های طبیعی دارد (Dixit, 2023: 2). در این راستا، شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و الگوریتم‌های مبتنی بر روابط هندسی طبیعت به معماران این امکان را می‌دهند که فرم‌های غیرمعمول و بهینه‌ای طراحی کنند که هم زیبایی‌شناسی را حفظ کنند و هم از نظر سازه‌ای پایدار باشند. بااین‌حال، چالش اصلی در پیاده‌سازی بیونیک در معماری، همکاری میان‌رشته‌ای میان معماران، مهندسان و طراحان است تا از الهام‌های بیونیکی در طراحی‌ها بهره‌برداری کامل شود (Dixit, 2023: 8).

بیومیمتیک مزایای زیادی همچون افزایش کارایی انرژی، کاهش مصرف انرژی، بهبود تهویه و کاهش ضایعات دارد. این رویکرد می‌تواند به طراحی ساختمان‌های سالم و پایدار کمک کند و ساختمان‌ها را به فضایی کارآمدتر و سازگارتر با محیط زیست تبدیل کند. در این میان، معماری سنتی نیز به‌ویژه در جوامع با تاریخ طولانی در تعامل با محیط‌زیست، نقش مهمی ایفا کرده است. معماری سنتی از مدت‌ها پیش با بهره‌گیری از مواد طبیعی بومی و استفاده از تکنیک‌های هوشمندانه مانند بادگیرها، قنات‌ها و سیستم‌های تهویه طبیعی، راهکارهایی را برای بهینه‌سازی مصرف منابع و انرژی ارائه داده است. این روش‌ها بدون وابستگی به فناوری‌های پیچیده، به‌طور مؤثر در برابر چالش‌های اقلیمی و زیست‌محیطی عمل کرده‌اند.

باوجوداین مزایا، چالش‌هایی در پیاده‌سازی معماری سنتی در دوران معاصر وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، نیاز به تطبیق اصول سنتی با نیازهای مدرن و فناوری‌های جدید است. به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ‌تر و در فضاهای شهری معاصر، ممکن است استفاده از روش‌های سنتی پیچیدگی‌هایی ایجاد کند. بااین‌حال، می‌توان گفت که بیومیمتیک و معماری سنتی به‌طور مکمل می‌توانند یکدیگر را تقویت کنند. بیومیمتیک می‌تواند راهکارهای نوآورانه‌ای برای بهینه‌سازی طراحی ارائه دهد و درعین‌حال، معماری سنتی می‌تواند پایه‌ای مستحکم برای طراحی‌های پایدارتر فراهم کند.

۹. نتیجه‌گیری

بیومیمتیک در معماری تنها به معنای تقلید از طبیعت نیست، بلکه به درک و استفاده از اصول و فرآیندهای طبیعی برای طراحی محیط‌های مصنوعی پایدار اشاره دارد. این رویکرد نشان می‌دهد که معماران می‌توانند با الهام از الگوهای کارآمد طبیعت، راه‌حل‌هایی عملی برای چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی پیدا کنند. نتایج این تحقیق تأکید دارند که بیومیمتیک نه‌تنها به کاهش مصرف انرژی و منابع کمک می‌کند، بلکه افق‌های جدیدی برای طراحی‌های نوآورانه‌ای می‌گشاید که با محیط زیست و فرهنگ انسانی سازگار است.

بررسی نمونه‌های موردی نشان داد که اصول بیومیمتیک می‌توانند در عمل به کاهش مصرف انرژی، بهبود بهره‌وری منابع و ارتقای کیفیت فضاهای زیستی منجر شوند. این نمونه‌ها گواهی بر آن است که معماری بیومیمتیک توانسته است از صرف تقلید از فرم‌های طبیعی فراتر رود و به تقلید از فرآیندها و اکوسیستم‌ها برای ایجاد طرح‌های پایدار دست یابد. بااین‌حال، چالش‌های اجرایی مانند هزینه‌های بالا، محدودیت‌های فنی و نیاز به همکاری‌های میان‌رشته‌ای همچنان از موانع اصلی در گسترش این رویکرد به شمار می‌روند. درعین‌حال سرمایه‌گذاری در تحقیقات میان‌رشته‌ای، آموزش معماران و مهندسان در اصول بیومیمتیک و تدوین استانداردهای اجرایی می‌تواند راه‌حل‌های مناسبی برای مقابله با این چالش‌ها باشد. تنها از این طریق می‌توان محدودیت‌ها را به فرصت‌هایی برای توسعه طراحی‌های پایدار تبدیل کرد.

نتیجه‌گیری اصلی این است که بیومیمتیک می‌تواند معماری را به سمت رویکردی نوین هدایت کند؛ رویکردی که در آن طراحی نه‌تنها تأثیرات منفی بر محیط زیست ندارد، بلکه با الهام از سیستم‌های طبیعی به بازسازی و تقویت آن کمک می‌کند. این تحقیق پیشنهاد می‌کند که استفاده از بیومیمتیک در تعامل با معماری سنتی می‌تواند به توسعه طرح‌های معماری پایدار و سازگار با محیط زیست کمک کند و راه‌حل‌هایی عملی برای چالش‌های زیست‌محیطی معاصر ارائه دهد. درنهایت، این رویکرد نه‌تنها به معماران این امکان را می‌دهد که طراحی‌های زیباتر و کارآمدتری خلق کنند، بلکه رابطه انسان و طبیعت را در سطحی عمیق‌تر دگرگون می‌سازد.

پی‌نوشت‌ها

1. Redolfi, & Khoshtinat
2. Biomimicry
3. Jack Steele
4. Otto Schmitt
5. Biophilia
6. Biomorphic
7. Velcro
8. Biomimicry
9. Verbrugghe
10. Baumeister
11. Waterloo International Terminal
12. Nicholas Grimshaw
13. Morphogenesis
14. Metabolic

فهرست منابع

گلابچی، محمود (۱۴۰۰)، *دانشنامه معماری بیومیمیکری و بیوفیلیک*، تهران: انتشارات پارس.

محمودی‌نژاد، هادی (۱۳۹۹)، *معماری بیومورفیک*، تهران: نشر طحان.

قبادیان، وحید (۱۳۹۸)، *معماری معاصر ایران*، تهران: نشر البرز.

AlAli, M., Mattar, Y., Alzaim, M. A., & Beheiry, S. (2023). Applications of biomimicry in architecture, construction and Civil engineering. Biomimetics.

Arslan, G. Y. (2014). Biomimetic architecture a new interdisciplinary approach to architecture. ALAM CIPTA, International Journal of Sustainable Tropical Design Research and Practice.

Awadalla, R. (2023). Biomimicry as an Innovation Behavior in Architecture and Interior Design. Journal of Design Sciences and Applied Arts.

Badarnah, L. (2016). Water management lessons from nature for applications to buildings. Procedia engineering, 145.

Cruz, E., Blanco, E., Aujard, F., & Raskin, K. (2022). Has biomimicry in architecture arrived in France? Diversity of challenges and opportunities for a paradigm shift. Biomimetics, 7 (4), 212.

Dixit, S., & Stefańska, A. (2023). Bio-logic, a review on the biomimetic application in architectural and structural design. Ain Shams Engineering Journal

DOI: 10.22034/rau.2025.2035160.1094

Dollens, D. (2009). Dijital--- Botanik Architecture 2, aThrees, Dijital natüre and Bioarchitecture, Sites Books Publishing, New Mexico.

El-Mahdy, D., & Gabr, H. S. (2017). Behavior of natural organisms as a mimicking tool in architecture. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 12 (2), 214-224.

Menges, A. (2012). Biomimetic design processes in architecture: morphogenetic and evolutionary computational design. Bioinspiration & biomimetics, 7 (1), 015003.

Önal, M. B., Karakoç, E., & Büsßra Önal, M. (2019). Innovative Approaches To Organic Architecture: Nature-Inspired Architectural Design. In XXII Generative Art Conference-GA2019 (pp. 1-12).

Pawlyn, M. (2019). Biomimicry in architecture. Riba Publishing.

Pedersen Zari, M. & Storey, J. B. (2007). An Ecosystem Based Biomimetic Theory for a Regenerative Built Environment. Lisbon Sustainable Building Conference 07. Lisbon, Portugal.

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and buildings, 40 (3), 394-398.

Redolfi, G., & KHOSHTINAT, S. (2016). Algorithms in nature & architecture. Biomimetic architecture.

Uke, N. J. (2014) Algorithms in Architectural Design. t International Conference at SITS.

Verbrugghe, N., Rubinacci, E., & Khan, A. Z. (2023). Biomimicry in Architecture: A Review of Definitions, Case Studies, and Design Methods. Biomimetics, 8 (1), 107.

Zuazua-Ros, A., Martín-Gómez, C., Ramos, J. C., & Gómez-Acebo, T. (2017). Bio-inspired heat dissipation system integrated in buildings: Development and applications. Energy Procedia, 111.

منابع اینترنتی

طاق بیونیک (۱۴۰۱)، *معماری سبز*، نمونه موردی جهانی، مرکز ایست گیت،

https://archkite.ir/eastgate-center (access at 1 July,2024)

معماری آرل (۱۳۹۷)، *ساختمان اداری به سبک معماری پایدار*،

https://www.arel.ir/fa/News-View-7063.html (access at 2 July 2024)

Visitcornwall (no date) Eden Project, https://www.visitcornwall.com/things-to-do/nature-and-wildlife/eden-project (access at 1 July 2024)

Parametrichouse (no date)

https://parametrichouse.com/biomimicry-architecture-3 (access at 4 July 2024)

Archdaily (2011) Moving Homeostatic Facade Preventing Solar Heat Gainhttps://www.archdaily.com/101578/moving-homeostatic-facade-preventing-solar-heat-gain (access at 1 July 2024(

https://dadhotel.com/wp-content/uploads/2019/11/babbasdd-800x531.jpg (access at 1 December 2024(

https://media.musalla.ir/d/2017/04/09/3/119.jpg (access at 1 December 2024)