

معماری از طبیعت پیروی می کند (زیست الگوریکی هوشمندانه برای صرفه جویی انرژی در پوسته های ساختمانی)

صبا خردمند*^۱؛ حسن ستاری ساربانقلی^۲

^۱ کارشناس ارشد معماری، گروه هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، گروه معماری، تبریز، ایران
^۲ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، گروه معماری، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

چکیده

از سال ۱۹۷۰ تاکنون، یکی از مسائل مهم در سراسر جهان کمبود انرژی در کنار مصرف بالای سوخت بوده است. معماران تلاش می کنند تا راهکارهایی را برای مدیریت و مصرف انرژی در ساختمان ها پیدا کنند. یکی از روش های نوآورانه در این زمینه زیست الگو (بیومیمیکری) است. زیر مجموعه این دانش ایجاد پوسته ای است که ارتباط ساختمان ها با محیط از طریق آن برقرار می شود. مدیریت مناسب پوسته ساختمان می تواند تقاضای انرژی در ساختمان را به طور قابل توجهی کاهش دهد. هدف اصلی این مقاله بررسی قابلیت صرفه جویی در مصرف انرژی با به کارگیری روش زیست الگو در طراحی پوسته ساختمان هاست. به منظور تحقق این هدف، روش تحقیق به منظور دستیابی به چهار هدف طرح ریزی شده است. اولاً، با استفاده از این روش، تحقیق عمیقی در خصوص زیست الگو، پوسته و زیست الگو در ایجاد پوسته از طریق بررسی منابع علمی موجود در این زمینه انجام شد. ثانیاً، بررسی های نمونه های موردی بین المللی از نظر استفاده از زیست الگو و همچنین تأثیر آن بر کاهش مصرف انرژی ساختمان ارائه و آنالیز خواهند شد. در نهایت، این بررسی با ارائه رهنمودهایی برای طراحی پوسته ساختمان به منظور مصرف مؤثرتر انرژی در ساختمان ها پایان می یابد.

کلید واژه ها: زیست الگو (بیومیمیکری)، پوسته ساختمان، بهره وری انرژی، معماری، تحقیق

۱- مقدمه

همه ی انسان ها تا حدی ارتباطی ذاتی با طبیعت دارند. ایده های غریزی ما در مورد زیبایی به اشکال موجود در جهان طبیعی مربوط می شوند. انسان ها کششی غریزی و اولیه به طبیعت دارند زیرا در کل زمانی که روی کره ی زمین بوده اند، ارتباط بسیار نزدیکی با آن داشته اند. تمایل به ارتباط با طبیعت هنوز هم وجود دارد و این اشتیاق نقطه ی آغازی را برای معماری فراهم می کند. زیست شناسی مملو از نظم است. تاثیر آن فراتر از علم گسترده شده و در زمینه هایی گسترش یافته که به نظر نامربوط می آید (مازولنی، ۲۰۱۳: ۲۸).

در حال حاضر و در قرن ۲۱ در سراسر جهان، حجم عظیمی از انرژی به دلیل طراحی ناکارآمد ساختمان‌ها تلف می‌شود. این مسئله علاوه بر نصب تجهیزات مورد استفاده در تبدیل انرژی مورد نیاز خدمات می‌باشد. در نتیجه، افزایش دلگرم‌کننده آگاهی نسبت به حفاظت از انرژی و بازده آن به سرعت در حال رشد است و این موضوع باعث بررسی و تحقیق در خصوص شماری از روش‌ها و راهکارهای طراحی و کاربرد آنها در زمینه غلبه بر مشکلات و مسائل انرژی شده است. یکی از این روش‌ها زیست‌الگو است که به این صورت تعریف می‌شود: زیست‌الگو دانش کاربردی که راهکارهای حل مسائل انسانی را از بررسی طرح‌ها، سیستم‌ها و فرایندهای طبیعی الهام می‌گیرد (Benyus: 1998). مقاله زیر به بحث و بررسی اصول زیست‌الگو به‌عنوان روشی برای ایجاد طراحی پایدار و کارآمد می‌پردازد. هدف این بررسی، ارائه رهنمودهایی برای به‌کارگیری اصول زیست‌الگو در ایده‌های طراحی پوسته ساختمان و فرایند مدیریت مؤثر انرژی است.

۱,۱ مسئله تحقیق:

چون بازده انرژی مسئله‌ای مهم در سراسر جهان محسوب می‌شود، باید گام‌های دیگری در ارتباط با ساختمان‌های کارآمد اتخاذ نمود تا مصرف انرژی در ساختمان‌ها کاهش یابد.

۱,۲ فرضیه‌های تحقیق:

رویکرد زیست‌الگو (بیومیمیکری) می‌تواند رهنمودهایی را برای بهبود بازده انرژی ساختمان‌ها از طریق به‌کارگیری این اصول در طراحی پوسته ساختمان‌ها ارائه کند.

۱,۳ هدف تحقیق:

ارائه ماتریس طراحی برای پوسته ساختمان انرژی-کارآمد بر اساس اصول زیست‌الگو و ارائه پروژه‌ای پیش ساختاری

۱,۴ روش تحقیق:

روش تحقیق به منظور تحقق اهداف تحقیق طرح ریزی شده است. نخست، مروری بر منابع علمی در خصوص زیست‌الگو، روش‌ها و استفاده از آن در طراحی پوسته ساختمان از طریق بررسی منابع علمی موجود. دوم، بررسی تحلیلی نمونه‌های موردی بین‌المللی از لحاظ استفاده از زیست‌الگو و تأثیر آن بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها ارائه و آنالیز خواهند شد. در نهایت، رهنمودهای طراحی پوسته ساختمان به منظور مصرف بهینه و کنترل انرژی در ساختمان ارائه می‌شود.

۲. تاریخچه زیست‌الگو

تاریخچه روش زیست‌الگو به ۵۰۰ سال قبل از میلاد بازمی‌گردد. در آن زمان، فلاسفه یونان موجودات زنده طبیعی را به عنوان مدل‌هایی برای ایجاد تعادل هماهنگ و تناسب بین بخش‌های مختلف طراحی که به لحاظ زیبایی

مشابه با طرح ایده آل کلاسیک باشد، در نظر می‌گرفتند. بعدها در سال ۱۴۸۲، لئوناردو داوینچی از پرواز پرنده‌گان در اختراع ماشین پرنده به عنوان نمونه اولیه بهره‌گیری از زیست الگو الهام گرفت. این ایده به ساخت اولین نمونه هواپیمای برادران رایت در سال ۱۹۴۸ کمک کرد. در سال ۱۹۵۸، جک استیل^۱ عبارت بیونیک^۲ را معرفی کرد و آن را به‌عنوان دانش سیستم‌های طبیعی یا نظایر آن‌ها تعریف کرد (Steadman, 2008). با این حال، عبارت زیست الگو اولین بار در سال ۱۹۸۲ مطرح شد. در سال ۱۹۹۷، دانشمند و نویسنده، جانین بنیوس^۳، عبارت یاد شده را در کتاب خود با عنوان «زیست الگو: نوآوری الهام گرفته از طبیعت» بیشتر مورد استفاده قرار داد. در سال ۲۰۰۵، برونی شاوان^۴ و جانین بنیوس با همکاری یکدیگر مؤسسه زیست الگو را بنیان گذاشتند. در سال ۲۰۰۷، کریس آلن^۵ به بنیوس و شاوان پیوست تا به آنها در راه اندازی کتابخانه «از طبیعت بیوس^۶» که اولین کتابخانه دیجیتالی در جهان به شمار می‌رود، کمک کند. این کتابخانه حاوی فهرستی از راهکارهای طبیعی است. طراحان در این کتابخانه می‌توانند با استفاده از این مجموعه از سیستم‌های طبیعی که مطابق با طرح و مهندسی‌شان دسته بندی می‌شوند، تحقیق و مطالعه کنند.

۳. تعاریف زیست الگو (با یومیمیکری):

واژه بیومیمتیک از ترکیب دو واژه بیولوژی و میمیتیک به معنای تقلید به وجود آمده است. محققان زیادی وجود دارند که زیست الگو را تعریف کرده‌اند. به عنوان مثال، بنیوس زیست الگو را به عنوان «اصل جدیدی که به بررسی بهترین ایده‌های طبیعت و آنگاه، الگو برداری از طرح‌ها و فرایندها به منظور حل مسائل انسانی می‌پردازد»، تعریف کرده است. اما پدرسون زاری^۷ خاطر نشان کرده است که یکی از موانع پیش روی معماران عدم وجود تعریفی مشخص از گزینه‌های متعددی است که آن‌ها می‌توانند از این گزینه‌ها در پروژه خود استفاده کنند. به همین دلیل است که آنالیز روش مناسب برای به کارگیری کامل بهترین روش زیست الگو جهت استفاده از مزایای آن حائز اهمیت است (Zari: 2007). از سوی دیگر، گوبر^۸ زیست الگو را این گونه تعریف کرده است: «بررسی زمینه‌های مشترک زندگی موجودات زنده و معماری است که از پتانسیل نوآورانه برای حل مسائل معماری برخوردارند» (Bar-Cohen: 2005).

۴. روش‌ها و سطوح زیست الگو در به کارگیری آن در طراحی

زیست الگو، یک زمینه تحقیقاتی در حال رشد در معماری، طراحی و مهندسی است چرا که این روش ضمن ارائه راهکارهای جدید و الهام بخش امکان پایداری در محیط ساختمان را فراهم می‌کند. محققان دو رویکرد اصلی به فرایند طراحی در زیست الگو معرفی کرده‌اند که رویکرد مبتنی بر مسئله و رویکرد مبتنی بر راهکار می‌باشند.

¹ Jack E. Steele

² Bionics

³ Janine Benyus

⁴ Bryony Schwan

⁵ Chris Allen

⁶ AskNature

⁷ Pederson Zari

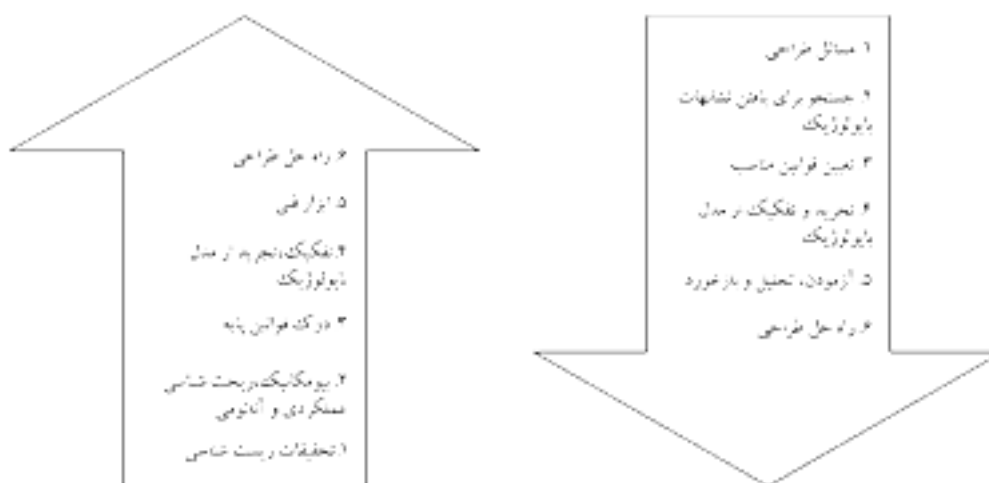
⁸ Guber

علاوه بر این دو رویکرد، سه سطح اصلی برای زیست الگو وجود دارد که این سطوح شامل سطح ارگانیزم، سطح رفتار و سطح اکوسیستم است (Steadman, 2008). سطح اول یعنی ارگانیزم تقلید از ارگانیزم خاص یا تقلید از یک قسمت از کل ارگانیزم را نشان می دهد. سطح دوم، تقلید از رفتار و سطح سوم، تقلید از کل اکوسیستم است که این سطح به عنوان سخت ترین مرحله در نظر گرفته شده است، زیرا بر روی یک مسئله بسیار دشوار برای تقلید و الهام متمرکز می کند. در راستای هر مرحله؛ ۵ بعد که وجود الهام و پیروی را گسترش می دهد، وجود دارد که عبارتند از: طرح بایومیمیکری از نظر شباهت (شکل)؛ از چه چیز ساخته شده (مصالح)؛ چگونه ساخته شده (مراحل ساخت)؛ چگونه کار می کند (فرآیند) و توانایی آن چیست (کارکرد). (خردمند، ۱۳۹۶).

جدول ۱- رویکرد های اصلی در زیست الگو

رویکرد	تعاریف
رویکرد مبتنی بر مسئله	این رویکرد اسامی متعددی دارد، مثل طراحی با نگاه به زیست شناسی، طراحی بر اساس حیات موجودات زنده، رویکرد کل به جز یا روش از بالا به پایین و رویکرد مسئله محور که همگی معنای یکسانی دارند این روش با الهام از زندگی موجودات زنده و در قالب اتخاذ گام هایی که غیر خطی یا پویا هستند، اجرا می شود. این روش بازخورد و همچنین پالایش در چرخه ها را به دست می دهد. در این روش، طراحان از طریق شناخت مسئله به دنبال یافتن راهکارهای حل این مسئله هستند (Yowell, 2011). روش یاد شده زیست شناسان را ترغیب می کند تا مسئله موجود را با موجود زنده ای تطبیق دهند که مسئله ای مشابه با این مسئله را حل کرده است. روش مبتنی بر مسئله متکی بر شناخت اهداف و محدودیت های طرح است (مازولنی، ۲۰۱۳).
رویکرد مبتنی بر راهکار	این رویکرد نیز دارای عناوین مختلفی است که عبارتند از: زیست شناسی متأثر کننده طراحی، طراحی متأثر از حیات موجودات زنده، روش از پایین به بالا یا رویکرد جز به کل و راهکار مبتنی بر طراحی با الهام از زیست موجودات زنده یا رویکرد راه حل محور (گلابچی، خرسند، ۱۳۹۲: ۵۸-۵۹). این روش زمانی استفاده می شود که فرایند طراحی به جای اتکا بر مشکلات طراحی انسانی اساساً به دانش علمی زیست شناسان و دانشمندان وابسته باشد. به عنوان مثال، آنالیز علمی فرایند تمیز شدن سطح گل های نیلوفر از آب مرداب منجر به شکل گیری طرح های جدید زیادی شده است. حاصل این آنالیز، تولید محصول رنگ نمای خارجی ساختمان با عنوان (STOLotusan) است که امکان خود تمیز شونده را برای ساختمان فراهم می کند (Zari, 2007).

منبع بر اساس موارد ذکر شده در جدول از نگارنده، ۱۳۹۶

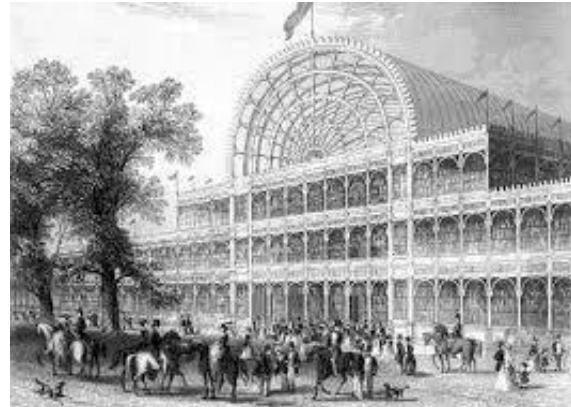


تصویر شماره ۱- مراحل رویکرد های مبتنی بر راهکار (سمت چپ) و رویکرد مبتنی بر مسئله (سمت راست)

۵. کاربرد زیست الگو در زمینه‌های مختلف و معماری

زیست الگو در زمینه‌های زیادی از حمل و نقل و صنعت خودرو گرفته تا الکترونیک و پوشاک به کار رفته است. با تحقیق و بررسی زیستی موجودات زنده، روش زیست الگو می‌تواند راهکارهای تکنولوژیکی و مؤثر جدیدی را ارائه کند و به پیشرفت در زمینه‌های متنوع کمک کند (Rankouhi, 2012).

مثال‌های زیادی از به کارگیری روش زیست الگو در معماری وجود دارند. تاریخ یکی از این مثال‌ها به سال ۱۸۵۱ بازمی‌گردد. در آن زمان، جوزف پاکستون^۱ سیستم سازه قصر بلورین را با مشاهده زنبق‌های آبی بزرگ طراحی کرد. وی همچنین در ساخت خانه زنبق^۲ در استراسبورگ از زنبق‌های آبی الهام گرفت. در اواسط قرن بیستم، رابرت لی ریکولیس^۳، استاد فرانسوی دانشگاه پنسیلوانیا، نیز با الگوبرداری از مدل‌های ساختاری زیست موجودات زنده که در قرن نوزدهم توسط هکل^۴، زیست‌شناس آلمانی، رسم شدند، مدل‌های سازه‌ای نوینی را ساخت. در قرن حاضر، بسیاری از طراحان مانند کوربوزیه^۵ و فرانک لوید رایت^۶ از طبیعت الهام گرفتند. فرانک لوید رایت معماری موجودات زنده را در طرح‌های خود به کار گرفت اما در عین حال، از طبیعت به عنوان عنصری قوی در طرح‌های خود استفاده نکرد. شکل ۲ نشان می‌دهد که چگونه وی از عنصر طبیعی آب در ساخت خانه آبشار استفاده کرد. کل فلسفه او این بود که معماری؛ طبیعت را و طبیعت؛ معماری را می‌پذیرد. کوربوزیه اثبات کرد که زیست‌شناسی «واژه‌ای جدید و مهم در معماری و برنامه‌ریزی» است (Yowell, 2011).



تصویر شماره ۲ - کریستال پالاس (سمت راست)، خانه آبشار (سمت چپ)

¹ Joseph Paxton

² lily house

³ Robert Le Ricolais

⁴ Haeckel

⁵ Corbusier

⁶ Frank Lloyd Wright

جدول ۲- نمونه هایی از کاربرد بیومیمیکری در معماری

نام بنا	تصویر	الهام از	کاربرد در طراحی	حل مسئله	سطح زیست الگو
برج ایفل		استخوان ران	- پوسته رو به بیرون شبیه پوسته استخوان ران است. - شبکه از تیرها و مهاربندهای فلزی ساخته می شود.	- مقاوم در برابر اثرات خمش و برش ناشی از باد - حل مسئله تهویه	سطح ارگانیک
مکعب آبی		حباب های آب	- سطح پوشیده از غشاء حباب های آبی روشن بالشتک پتوماتیک که از ماده ETFE ساخته شده است. این ماده امکان وقوع اثر حباب را فراهم می کند.	- حباب ها انرژی خورشیدی را که استخر آب را گرم می کند، جمع آوری می کنند. - امکان تنظیم دما را فراهم می کند.	سطح ارگانیک
ورزشگاه ملی پکن		آشیانه پرندگان	- حاوی پنل هایی از جنس ETFE است که با انباشتن تکه های کوچک مواد به شکل شاخه شاخه از هم جدا می شوند.	- امکان تهویه از طریق منافذ نمای خارجی - کاهش بار مرده پنل های سقف - کاهش هزینه، و قابلیت بازیابی	سطح رفتار
مرکز خرید استگیت		تپه موریانه	مرکز باز می شود و هوای بیشتری را می کشد تا به فن ها کمک کند و از طریق کانال هایی که در مرکز ساختمان تعبیه شده اند، به سمت بالا کشیده شود.	دما در طول سال بدون نیاز به استفاده از سیستم تهویه مطبوع تنظیم می شود.	سطح رفتار
شهر لاواسا HOK		برگ انجیر	پی ساختمان آب را ذخیره می کند. سیستم آب دهی قطره ای آب لازم را برای تمیز کردن سطح آن تأمین می کند.	پاسخگویی سیلاب های فصلی زیرا آب اضافی را جابجا می کند.	سطح اکوسیستم

منبع گردآوری شده توسط نگارنده، ۱۳۹۵

۶. پوسته ساختمان ابزاری برای مدیریت انرژی

محققان زیادی وجود دارند که پوسته ساختمان را تعریف کرده اند. به عنوان مثال، بر اساس تعریف رانکوهی^۱، پوسته ساختمان عبارت است از «مرزی که ساختمان از طریق آن با محیط ارتباط برقرار می کند». این سطح، لایه ها و فیلترهایی را تشکیل می دهد که به نور، هوا، رطوبت، صدا و حرارت واکنش نشان می دهد. «رایج ترین ویژگی این سطح قابلیت ایجاد شرایط بهینه در داخل ساختمان است که به کارکردهایی که آنها دارند، پاسخ می دهند.» در حالی

¹ Rankouhi

که هوون^۱ پوشش ساختمان را به عنوان پوسته، سازه یا حصار تعریف می‌کند، این پوشش مرزی بین محیط داخل و خارج ساختمان است. از سوی دیگر، کیی ران^۲ پوسته ساختمان را این گونه تعریف کرده است: «بیشترین تبادل انرژی و ماده در پوسته صورت می‌گیرد». این تعریف، تصویری از ماهیت ساختمان به دست می‌دهد. پوسته ساختمان متشکل از نمای بیرونی و سقف می‌باشد. این سطح شامل دیوارهای خارجی، پشت بام، کف ساختمان، سقف‌ها، پنجره‌ها و درهاست.

۷. زیست الگو و پوسته ساختمان

طراحی الهام گرفته از طبیعت گذری به سوی احیا، تجدید و بازسازی محیط‌های موجود است. این امر به نوبه‌ی خود فرصتی را برای طراحان سازه‌های جدید و قدیمی فراهم می‌کند تا توجه شان را از توسعه‌ی ساختمان‌ها به صورت ایزوله برداشته و آن‌ها را به عنوان جزئی از شبکه‌ی سیستم‌ها بدانند که با چندین عامل در پیچیده شده‌اند و محیط را به عنوان یک واحد کامل ایجاد کرده‌اند. به منظور توانایی در تعیین موارد مشابه پوسته ساختمان و زیست الگو، آنالیز مشترکات هر یک از آنها امری مهم است. این کار شامل ارزیابی موارد؛ تشابه اصلی و عوامل محرکه‌ای است که بر طبیعت و فرایند طراحی معماری اثر می‌گذارند. (مازولنی، ۲۰۱۳: ۳۸) پوسته ساختمان غشای نازکی است که اسکلت (سازه) ساختمان را می‌پوشاند، اجزاء (مکانیکی، لوله کشی و برقی) ساختمان را کنترل می‌کند و فضای خارجی ساختمان را مشخص می‌کند. پوسته ساختمان مشابه پوست طبیعی است که متشکل از لایه‌ها و فیلترهای مختلفی است که در برابر نور، هوا، رطوبت، صدا و حرارت واکنش نشان می‌دهد. ویژگی غالب در میان پوست‌های طبیعی، قابلیت آن در حفظ شرایط داخلی و در عین حال، حساسیت آن نسبت به کارکردش می‌باشد. پوسته ساختمان مشابه با پوست طبیعی موجودات زنده مرز بین محیط کنترل شده و کنترل نشده است. این حالت ناشی از الگوی نتایج هر دو نیروی داخلی و خارجی است. این دو نیرو در فرایند اجازه ورود و خروج به موارد مجاز به عنوان عامل پالایش عمل می‌کنند. (Yowell, 2011)

۸. بررسی تحلیلی نمونه‌های موردی

در این بخش از مقاله، بررسی تحلیلی سه نمونه بین‌المللی که در آنها از روش‌های زیست الگو در پوسته ساختمان و به منظور کاهش مصرف انرژی با تمرکز بر تکنیک‌ها و استراتژی‌های مورد استفاده به کار رفته است، ارائه خواهد شد. این کار با هدف دستیابی به ماتریس طرح زیست الگو انجام می‌شود. این ماتریس چکیده‌ای از مشخصات موجودات زنده طبیعی مختلف را به منظور دستیابی به اهداف مورد نیاز ارائه می‌کند.

۸.۱ ساختمان شورای شهر ۲، ملبورن (CH2)^۳

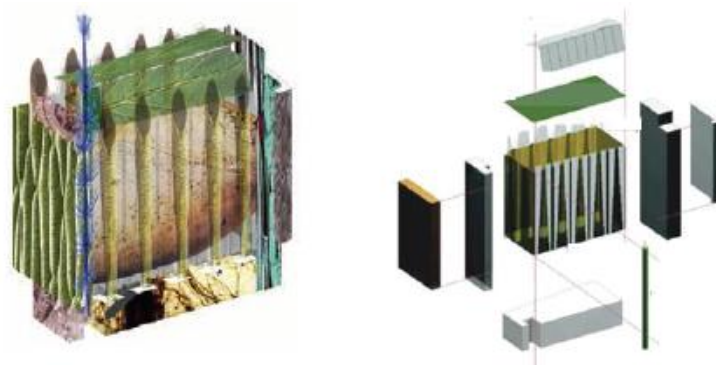
ساختمان (CH2)، یک ساختمان ده طبقه پایدار است که در حال حاضر در شهر ملبورن استرالیا واقع است. این

¹ Hoeven

² Kieran

³ The Council House 2, Melbourne CH2

ساختمان در سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۶ ساخته شده است. ساختمان یاد شده توسط دولت محلی ملبورن و با همکاری شرکت (Mick Pearce in design Inc) طراحی شده است. طرح این ساختمان بسیار خلاقانه بوده است زیرا این طرح رویکردهای سنتی مربوط به پایداری و طراحی ساختمان را به چالش کشیده است و در طراحی آن از پارک جنگلی الگو برداری شده است. روش بیومیمیک مورد استفاده، طراحی بر اساس زیست موجودات زنده بود. رتبه زیست محیطی برای این ساختمان ۶ است. ساختمان CH2 نمادی از هنر و علم است. به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر در این ساختمان، این بنا برای پیوند ساختمان به محیط خارجی و موجودات زنده پیرامون آن طراحی شده است. در نتیجه، این ساختمان در کل به محیط خود واکنش نشان می‌دهد. استفاده از زیست الگو در کل این ساختمان مشهود است. به عنوان مثال، نمای بیرونی غربی این ساختمان لایه نازکی از درخت است. این طرح از این موضوع الهام گرفته است که چگونه نمای بیرونی ساختمان آب و هوای خارج از ساختمان را تعدیل می‌کند. این در حالی است که طرح نماهای بیرونی شمالی و جنوبی ساختمان از نایچه‌های درخت الهام گرفته شده است. این نایچه‌ها به صورت لوله‌های باد اجرا شدند و امکان جریان هوا بر روی سطح خارجی ساختمان شورای شهر ملبورن را که در تصویر (۳-الف) نشان داده شده است، فراهم می‌کنند. هسته شرقی و نمای بیرونی که متشکل از هسته تجهیزات تأسیسات و آبریزگاه‌ها می‌باشند، از پوست درخت الگو برداری شده‌اند. این پوسته مانند لایه‌ای محافظ عمل می‌کند که نور و هوا را در فضاهای تهویه شده ناحیه مرطوب پشت ساختمان تصفیه می‌کند. در نهایت، لایه‌های هم پوشان نمای بیرونی به منظور نصب بادگیرها از فلز سوراخ شده با دیوار پلی کربنات ساخته می‌شوند (Webb, 2005) (تصویر ۳-ب)



تصویر ۳-الف (سمت راست) لایه‌های هم پوشان نمای بیرونی - ب (سمت چپ) لوله‌های باد در نمای شمالی

از آنجایی که فرایند طراحی منجر به ایجاد شکاف بین راهکارهای سنتی صنایع شده است، ارزشمند است. حتی با وجود این که ممکن است ساختمان‌های آینده شبیه ساختمان شورای شهر ملبورن (CH2) نباشند اما این ساختمان نماد نوع زنده‌ای از معماری است. در نتیجه، ساختمان‌های آینده باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- ارتباط با محیط
- بیانگر آب و هوا و فرهنگ
- نماهای بیرونی باید بیانگر تعیین موقعیت باشند.

۸،۲ مکعب آب، پکن^۱

مکعب آب که به مرکز ملی ورزش‌های آبی پکن نیز معروف است، در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ و عمدتاً به منظور برگزاری بازی‌های المپیک سال ۲۰۰۸ ساخته شد. این بنای ۴ طبقه توسط کریس بووس^۲، تریستان کارفرای^۳، معماران PTW، شرکت دولتی مهندسی ساختمان چین (CSCEC)، شرکت معماری CCDL و گروه Arup طراحی شده است. الگوبرداری زیستی در این ساختمان با الگوبرداری از حباب‌های صابون که ایده اصلی برای اشاره به ورزش شنا نیز می‌باشد، نشان داده شده است. روش الگوبرداری زیستی مورد استفاده در این ساختمان همچنین رویکرد طراحی بر اساس زیست است.

پوسته این ساختمان باید قادر به تقسیم فضاها به سلول‌های هم اندازه و حاوی حداقل مساحت می‌بود. در عین حال، پوسته ساختمان باید انرژی خورشیدی را جذب می‌کرد تا پوسته انرژی-کارآمد باشد. تریستان کارفرای، طراح مکعب آب، دریافته بود که دانشمندان قبلی مانند لورد کلونین^۴ در قرن ۱۶ به این نتیجه می‌رسند که شکل هندسی با ۱۴ سطح به عنوان یک فضا این امکان را دارد که به سلول‌های هم اندازه با حداقل مساحت سطح بین آنها تقسیم شود. پلاتو^۵، دانشمند بلژیکی، در مورد حباب‌های صابون و قوانین نحوه اتصال آنها به یکدیگر در سه سطح و تشکیل یک خط تحقیق کرده بود. فیلم‌های صابون در حباب‌ها این قابلیت را دارند که مساحت سطح و انرژی سطحی را کاهش دهند. این موضوع به طور همزمان به سؤال کلونین پاسخ می‌داد چون تنش سطحی بخش‌های مختلف باعث کاهش مساحت سطح حباب‌ها می‌شود. ثابت شده است که هندسه مؤثرترین روش برای تقسیم یک فضا به چند زیر بخش باشد. بنابراین، روش مورد استفاده، تجسم کردن آرایه حباب در جهتی مشخص و آنگاه، حذف بلوک حباب به منظور به دست آوردن هندسه سازه بود. این طرح مبتنی بر یک واحد تکرار شونده است که در فضایی سه بعدی به شکل کاشی قرار گرفته است، چرخیده و آنگاه، محورها را برش داده است تا شکل هندسی مطابق با تصویر ۴ به دست آید. (The China National Aquatic Center, 2007)



تصویر ۴- شکل هندسی مکعب آب

حتی با وجود این که شکل هندسی کاملاً منظم است، هنگامی که از زاویه‌ای مشخص به آن نگاه می‌کنید، این

¹ Water cube
² Chriss Boss
³ Tristram Carfrae
⁴ Lord Kelvin
⁵ Plateau

طرح کاملاً تصادفی و زیستی به نظر می‌رسد. پوسته این ساختمان شفافیت آب را با هنر سیستم‌های حبابی نشان می‌دهد. در نتیجه، این طرح باعث می‌شود تا افراد در داخل و خارج از ساختمان از هر جهت منظره آب را مشاهده کنند.

۸,۲,۲ نتایج زیست محیطی طرح

مکعب آب نتایج زیست محیطی زیادی را دربرداشته است. دستیابی به طرح انرژی-کارآمد و غلبه بر کلیه چالش‌ها و تحقق اهداف از طریق به کارگیری روش بیومیمیک از جمله نتایج ساخت این بنا می‌باشند. نتایج یاد شده عبارتند از:

- کاهش هزینه‌های انرژی تا ۳۰٪
- کاهش تأمین روشنایی مصنوعی تا ۵۵٪
- مشاهده تصویری از شفافیت آب توسط بازدیدکننده‌ها
- آب باران جمع‌آوری و از طریق تصفیه کارآمد و سیستم‌های بازگشت آب بازیابی می‌شود.
- صرفه‌جویی انرژی ورق‌های اتیلن تترافلورو اتیلن (ETFE) معادل پوشش کل سقف با پنل‌های خورشیدی است.
- ۲۰٪ انرژی خورشیدی جذب و برای گرمایش استفاده می‌شود.

در مکعب آب از زیست‌الگو به منظور یافتن یک شکل هندسی که مساحت سطح را در فضایی سه بعدی به حداکثر می‌رساند و در عین حال، امکان کارآمدی انرژی را فراهم می‌کند، استفاده شده است. تجربیات زیادی از به کارگیری زیست‌الگو در این پروژه به دست آمده‌اند که عبارتند از:

- تجربه کردن طبیعت در محیط
- نماهای بیرونی ساختمان باید موقعیت را نشان دهند.
- ایجاد محیطی واکنشی و راحت
- اهمیت هندسه و ایجاد شکل طبیعی

۸,۳ تئاتر ساحلی، خلیج مارینا^۱

این بنا یک ساختمان دو طبقه است که توسط گروه معماران DP، مایکل ویلفورد^۲ طراحی شده است. این تئاتر ساحلی در خلیج مارینا در نزدیکی رودخانه تاریخی سنگاپور واقع شده است. تصمیم به استفاده از روش الگو زیست در طراحی این ساختمان بعد از این اتخاذ شد که طرح اولیه به خاطر این که مستلزم استفاده بسیار زیاد از شیشه بود و یک طرح غربی تلقی می‌شد و همچنین به خاطر این که به آب و هوای گرمسیری سنگاپور حساس نبود، مورد انتقاد واقع شده بود. بنابراین، طرح جدیدی با هدف ایجاد ساختمانی که پاسخگوی ویژگی‌های زیست محیطی و فرهنگی آن کشور بوده و تا حد زیادی سنتی نباشد، انتخاب شد. پوسته ساختمان که مبتنی بر شباهت

^۱ The Esplanade Theatre, Marina bay

^۲ Micheal Wilford

زیستی با میوه گرمسیری دورین^۱ است، منحصربه فرد است چرا که این سطح نیاز به سایه و تکرار سایه در برابر آب و هوای داغ آن را مرتفع می‌کند و نقشه‌های آن از طبیعت الهام گرفته شده‌اند. بنای این ساختمان در سال ۲۰۰۷ تکمیل شد و روش بیومیمیک آن نیز طرحی بر اساس زیست موجودات زنده است. (The China National Aquatic Center, 2007)

۸,۳,۱ مفهوم طرح

به منظور حل مسائل عموم مردم و برای ایجاد سایه از گل میخ‌های روی درخت میوه دورین الهام گرفته شده بود تا از قرار گرفتن بیش از اندازه بنا در معرض نور خورشید جلوگیری شود. گل میخ‌ها مانند لایه‌ای محافظ برای میوه این درخت عمل می‌کنند؛ کاری که سایه‌بان‌های سالن تئاتر ساحلی آن را انجام می‌دهند. هر پوسته حاوی سایه‌بان‌هایی است که با آلومینیم ایجاد شده‌اند. شکل این طرح امکان احساس آرامش را به دست می‌دهد و نوعاً در برخی از فرهنگ‌های سنتی آسیا به چشم می‌خورد. نماهای بیرونی شرقی و غربی ساختمان با جذب بیشترین مقدار نور خورشید و گرما دارای بزرگترین سایه بان‌ها هستند. این در حالی است که نماهای بیرونی شمالی و جنوبی بسیار کوچک‌تر بودند (Bar-Cohen Y., 2005).

تئاتر دارای سازه‌ای فولادی است. این سازه دارای شبکه داخلی و دستگاه مهار بندی است که لایه‌های داخلی و خارجی را به هم وصل می‌کنند. در بسیاری از نواحی تئاتر، از مواد طبیعی مانند چوب ساختمانی و سنگ استفاده شده است. بیشتر سطح کف ساختمان با سنگ؛ فرش شده است. در دیوارهای داخلی نیز از پوشش سنگ ماسه استفاده شده است. سایه بان‌های مثلثی از شیشه عایق با بست‌های آلومینیومی که نقاط میانی را گوشه دار می‌کنند، ساخته می‌شوند.

۸,۳,۲ نتایج زیست محیطی

سالن تئاتر نتایج زیست محیطی زیادی دارد. وجود سایه بان پویا در این ساختمان این امکان را فراهم کرده است که ساختمان تئاتر برجسته به نظر آید و هویت سنگاپور به واسطه الهام زیستی در این بنا هویدا است. در عین حال، روش بیومیمیک موضوعاتی را حل کرده است که دغدغه عموم مردم بودند. نتایج حاصل شامل موارد زیر می‌باشند:

- ایجاد محیطی راحت و آرام برای کاربران
- حفاظت در برابر گرمای سنگاپور
- امکان ورود نور طبیعی به داخل ساختمان و در عین حال، حفاظت فضای داخل ساختمان در برابر گرم شدن بیش از اندازه
- استفاده کمتر از سیستم تهویه مطبوع
- فراگیری درس‌های زیاد از این طرح چرا که استفاده از زیست الگو باعث حل مسائل عمده‌ای شده است که در مراحل اولیه طرح مطرح شده بودند. (Asian building and construction, 2001)

¹ durian

استفاده از زیست الگو امکان تحقق موارد زیر را فراهم کرده است:

- انتقال حس فرهنگ به ساختمان
- استفاده از هندسه و الگوها
- استفاده از مسیر حرکت خورشید برای ایجاد حفاظت در بخش های مورد نیاز

جدول ۳- جمع بندی و مقایسه مطالعات موردی بررسی شده

بنا	ایده و سطح بیومیک	اهداف	دلایل انتخاب شباهت	مواد پوست ساختمان	اثرات پوست ساختمان
ساختمان شورای شهر ملبورن ۲	ایده: درخت سطح: ارگانیک و رفتار	پروژه زیست محیطی روشن و پر نور، خانه سبز، بی رنگ - انرژی کارآمد - بهبود رفاه - حساس به محیط زیست - پایدار	استفاده از راهکارهای یکپارچه. - مدل کارکردی برای مسائل پیچیده. - پوست محافظت میکند و سیستم بادگیر را ایجاد می کند. - درختان بسیار انرژی کارآمد هستند. به دلیل تعدیل آب و هوای بیرونی	همه مواد قابل بازیابی هستند. - چوب ساختمان - فولاد - بتن	- هوا ۱۰۰٪ تصفیه می شود. - نور دهی طبیعی و تهویه با صرفه جویی تا ۶۵٪ - حداکثر تهویه طبیعی - با محیط طبیعی ارتباط دارد. - ایجاد سایه برای راحتی دید
مکعب آب، پکن	ایده: حباب های آب سطح: ارگانیک	- خانه سبز و عایق بندی شده - بازده انرژی - ورود نور طبیعی - جداسازی محیط بیرونی و درونی	- استفاده از شکل ها و قالب های هندسی - تنش سطحی حباب ها باعث کاهش مساحت سطح می شود. - ایجاد تجربه مشاهده شفافیت آب	- فولاد - ورق های اتیلن تترافلورو اتیلن (ETFE)	- کاهش انرژی ۳۰٪ - کاهش نور دهی مصنوعی ۵۵٪ - ماده ETFE انرژی را ذخیره می کند.
سالن تئاتر ساحلی، سنگاپور	ایده: میوه دورین سطح: ارگانیک و رفتار	- در نظر گرفتن آب و هوا - تبعیت از نمودار مسیر خورشید - ایجاد سیستم سایه - بازده انرژی - اهمیت موقعیت	- استفاده از شکل ها و قالب های هندسی - حفاظت گل میخ هادر برابر گرما - شکل میوه دورین امکان دید بهینه خلیج را فراهم می کند.	آلومینیم شیشه عایق فولاد	- راحتی برای کاربران - حفاظت در برابر گرما - نور دهی طبیعی - سطح پایین سیستم تهویه مطبوع

منبع بر اساس (Radwan, Osama, 2016) از نگارنده

۹. ماتریس هدف

گام بعدی در دستیابی به رهنمودهای مربوط به طرح پوست ساختمان مقایسه بررسی های موردی و اهداف آنهاست. همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، آنالیزی از معیارهای مختلف که در هر سه نمونه موردی برآورده شدند، انجام شد تا سطح بازده انرژی و قدرت هر یک از بررسی های موردی تعیین شود.

نمونه موردی ۱: ساختمان شورای شهر ملیورن (CH2)، نمونه موردی ۲: مکعب آب، نمونه موردی ۳: سالن
تئاتر ساحلی

کلید: ■ محقق شده، □ تا حدودی محقق شده، ○ محقق نشده

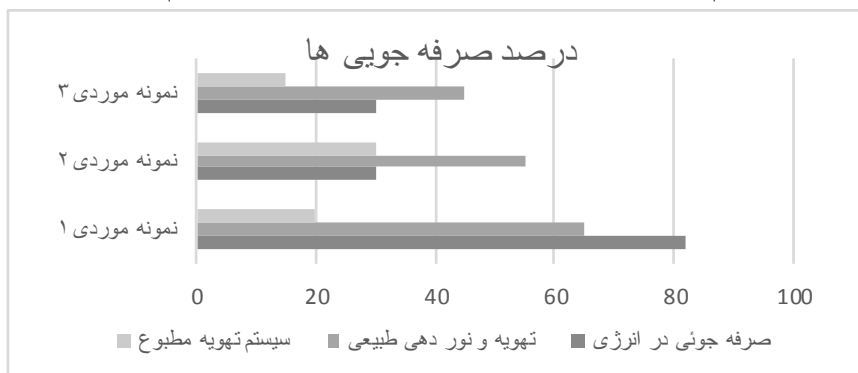
جدول ۴- مقایسه مطالعات موردی بررسی شده

معیارها	موارد بررسی شده	نمونه موردی ۱	نمونه موردی ۲	نمونه موردی ۳
بهره وری	صرفه جوئی در انرژی	۸۲٪	۳۰٪	۳۰٪
	تهویه و نور دهی طبیعی	۶۵٪	۵۵٪	۴۵٪
	تصفیه هوا	■	○	○
	ارتباط با محیط طبیعی	■	■	■
	حفاظت در برابر گرما	■	■	■
	دید راحت	■	■	■
	تبعیت از نمودار مسیر حرکت خورشید	■	■	■
	استفاده از پنل های فتوولتائیک و خورشیدی	■	■	○
مصالح	سطح پایین سیستم تهویه مطبوع	۲۰٪	۳۰٪	۱۵٪
	قابل بازیابی	■	□	□
	تجدید پذیر	■	□	□
رویکرد	زیست شناسی متأثر کننده طراحی	○	○	○
	طراحی با نگاه به زیست شناسی	■	■	■
سطوح زیست الگو	موجود زنده (اگانیزم)	■	■	■
	رفتار	■	○	○
	اکوسیستم	○	○	○

منبع نگارنده، ۱۳۹۶

نتیجه صرفه جویی کل؛ حاصل برآیند مستقیم معیارهای مختلفی است که در سراسر پروژه محقق شدند. به عنوان مثال، استفاده از پنل های خورشیدی، استفاده از نمودار مسیر حرکت خورشید و راحتی دید؛ همگی در محصول نهایی جهت صرفه جوئی در کل انرژی، صرفه جوئی سیستم تهویه مطبوع و طبیعی و نور دهی نقش داشتند. دیاگرام ۱ درصد میزان صرفه جوئی ها را در نمونه های موردی بررسی شده نشان می دهد.

دیاگرام ۱- مقایسه میزان صرفه‌جویی برای مطالعات موردی انجام شده



همان‌طور که از دیاگرام ۱ ملاحظه می‌شود، کارآمدترین و قوی‌ترین نمونه موردی، ساختمان شورای شهر ملبورن بود چرا که این مورد نسبت به دو نمونه موردی دیگر در کل دارای بیشترین صرفه‌جویی در مصرف انرژی بود. در نمونه موردی اول از موادی با بیشترین مقدار بازیافتی و تجدیدپذیری استفاده شده بود. این ساختمان هوای خود را کاملاً تصفیه می‌کند و از نظر بازده انرژی از مشخصه‌های اصلی درخت استفاده کرده است. در این طرح همچنین حداکثر استفاده از شباهت زیستی صورت گرفته است.

۱۰. ماتریس طراحی

پس از آن، ایجاد ماتریس طراحی به منظور تعیین الزامات اصلی پوسته ساختمان ضروری است. این ماتریس شامل معیارهای اصلی مورد نیاز به منظور طراحی پوسته انرژی-کارآمد در هر دسته است. ماتریس یاد شده به عنوان راهنمای طراحی پوشش‌های انرژی-کارآمد به کار خواهد آمد (جدول ۵).

جدول ۵- ماتریس طراحی

مکانیزم	تنظیم حرارتی	بهره‌وری از آب و خواص پایدار	عایق‌سازی و حفظ گرما	رفتار پویا و حساس به محیط زیست	انتقال و جذب رنگ‌ها	جمع‌آوری آب و حفاظت پوسته
سایه		✓	✓		✓	
			✓		✓	
	✓	✓	✓	✓	✓	✓
				✓		
مبارها	✓	✓		✓	✓	
				✓		
				✓		
	✓	✓	✓			

			✓	✓		ذخیره سازی گرما	حفاظت حرارتی
			✓	✓		جمع آوری نور	
			✓			گرمایش داخلی	
			✓			عایق	
				✓		کاهش استفاده از آب	بهره وری از آب
✓				✓		بازیافت آب	
✓				✓		جمع آوری آب	
				✓		تصفیه هوا	
				✓		نمای خود تمیز شونده	تنظیم حرارتی
			✓		✓	تنظیم دما داخلی	
					✓	ایجاد محافظ های خورشیدی با اندازه های مختلف	
	✓	✓			✓	نمودار دنبال کننده مسیر آفتاب	
	✓	✓			✓	نمای پاسخگو	
✓			✓	✓	✓	حفاظت پوسته	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	پاسخ به محیط خارجی	
مارمولک استرالیایی (شیطان خار دار) و سوسک ناسی	الگو های هندسی	مرغ مگس خوار دم پشش	خرس قطبی، سمور های آبی، پنگوئن ها	گل ها و گیاهان	خزندگان (مارها و مارمولک ها)	الهام از	

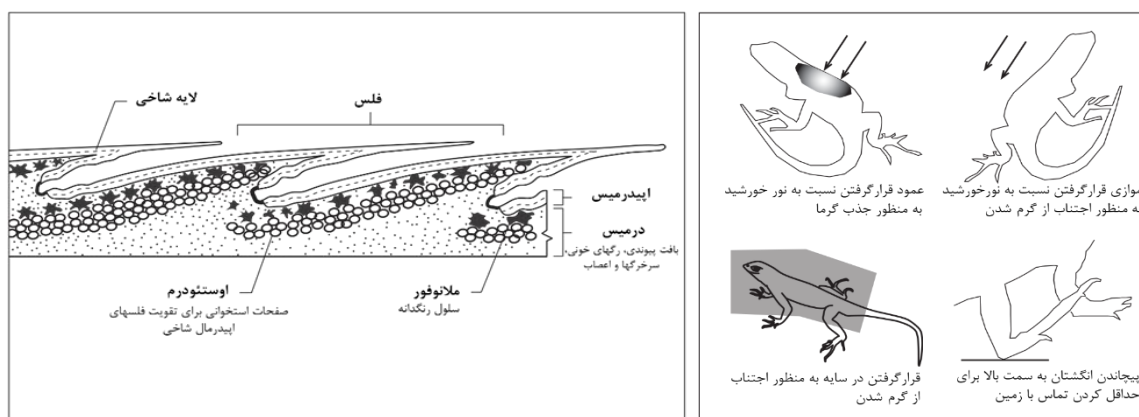
منبع بر اساس نگارنده ۱۳۹۵

۱۱. پروژه پیش ساختاری

با توجه به معیارهای موجود در ماتریس مورد بررسی؛ برای تفهیم بیشتر می توان به مطالعه پروژه های طراحی و الهام گرفته شده از جانوران نام برده در جدول شماره ۵ با توجه به معیار و شاخص مورد نظر پرداخت. در این جا معیار مورد بررسی تنظیم حرارتی با الهام از سوسمار پهلوی-خالدار^۱ (از گروه خزندگان) است. سوسمارها خون سرد هستند؛ یعنی از دمای محیط برای تنظیم دمای بدنشان استفاده می کنند. تنظیم دما در سوسمارها به واسطه ترکیبی از ویژگی های پوستی و رفتاری شان حاصل می شود. سوسمارهای پهلوی-خالدار معمول دارای الگوی رنگ آرایشی پوستی هستند که نوعا در پشت جانور به رنگ تیره است تا نورخورشید را جذب کند، و در ناحیه شکم به رنگ روشن است تا گرمای زمین را بازتاب دهد. سوسمارها با رفتارهایشان گرما را از محیط جذب می کنند یا به آن دفع می نمایند. سوسمار موقعیت بدنش را عمود بر نورخورشید تنظیم می کند تا گرما را

^۱ Side-blotched lizard

جذب کند یا هنگام چنبره زدن موازی با آفتاب قرار می‌گیرد تا با کاهش سطح بدنش که با زمین تماس دارد، از گرم شدن جلوگیری کند. آنها گرم‌ترین ساعت‌های روز را در سایه سپری میکنند تا از گرم شدن بیش از حد جلوگیری کنند. فلس‌های پوست سوسمار برای استتار حائز اهمیت هستند و از خشکی جلوگیری می‌کنند و از او در برابر سنگ‌ها و برگ‌های تیز حفاظت می‌کند.



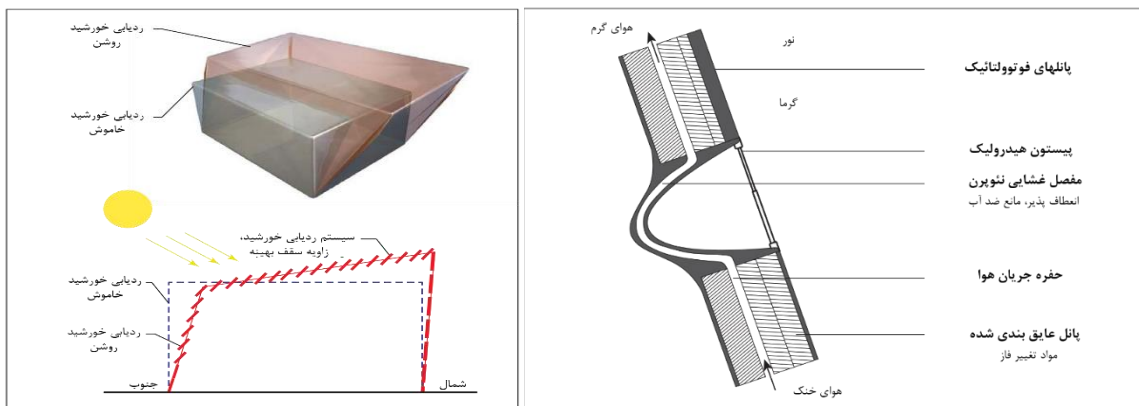
تصویر ۵. بررسی ساختار مارمولک و توانایی آن در تنظیم حرارتی

فلس‌های مارمولک یک سطح کراتینی پیوسته است که از اپیدرمیس شکل گرفته است؛ این فلس‌ها دارای نواحی ضخیم‌شده (لایه شاخی) و نازکی هستند که به لولاهایی اتصال دارند. درمیس حاوی اوستئودرمیس^۱ و سلول‌های رنگدانه (ملانوفور)^۲ است. اندازه‌های متفاوت فلس‌ها به تحرک مارمولک و توانایی آن در تنظیم دمای بدن کمک قابل توجهی می‌کند. تنظیم گرمایی در ارگانسیم‌های ساکن در بیابان (به‌ویژه جانوران خونسرد) نیاز به مراقبت ثابتی دارد. این پروژه به بررسی نحوه پاسخگویی سیستم پوشش ساختمان به تغییر دمای شدید بیابان می‌پردازد تا دمای داخل را سطح آسایش انسان نگه دارد. پروژه بررسی شده گوشه‌گیری هنرمندی در بیابانی بزرگ است که از فیزیولوژی "مارمولک پهلو خالدار" و سازگاری‌های رفتاری‌اش با دمای بیابان الهام گرفته است. تمرکز طرح بر ایجاد سیستمی بسته است که آسایشی ۲۴ ساعته را در طول روزهای گرم و خشک و شب‌های بسیار سرد برای ساکنین فراهم می‌کند. راهبردهای فیزیولوژیکی پوست سوسمار الهام بخش طراحی دیوار بوده و سازگاری‌های رفتاری سوسمار بر سیستم هوشمند «دنبال‌کننده‌ی خورشید» تاثیر گذاشته است (که با سیستم هیدرولیک و سنسورها حرکت می‌کند).

S.C.A.L.E.S (سیستم هوشمند - پیوسته - فعال - لایه - لایه - محیطی) بالاترین سطح تنظیم کارآمد حرارت بدن است که در مارمولک مشاهده می‌شود؛ (S.C.A.L.E.S) رفتار و خصوصیات را که به بقای مارمولک در بیابان کمک می‌کند با هم ترکیب می‌کند و این عوامل را در پوشش ساختمان ادغام می‌کند. این روش سرخ‌هایی از مهارت‌هایی را که مارمولک برای بقا بکار می‌برد استفاده می‌کند و در واقع بقا در بیابان را برای ساختمان راحت می‌کند (مازولنی، ۲۰۱۳).

¹ osteoderms

² melanophores



تصویر ۶. (سمت چپ) سیستم ردیاب خورشید (سمت راست) جزئیات پانل‌های فتوولتائیک

(S.C.A.L.E.S) از پنل‌های تکه‌ای استفاده می‌کند که بسته به کارکردهایشان در سراسر پوشش توزیع شده است (به شیوه‌های مختلف). دیوار جنوبی از سه نوع پانل مختلف تشکیل شده است؛ مات و عایق، فتوولتائیک، پنجره‌ی کنش پذیر. پانل عایق از ماده‌ی تغییر فاز استفاده می‌کند تا در طول روز دمای داخل تثبیت شود. ضمن آنکه داخل خانه خنک است، گرما در طول روز ذخیره می‌شود. گرمای ذخیره شده در طول روز به تدریج آزاد شده و در شب خانه را گرم می‌کند. سیستم پوشش ساختاری از فولاد محکمی ساخته شده تا پانل‌ها به آن متصل شوند. همه‌ی نماها از راهبرد سازمانی مشابهی پیروی می‌کنند، حال آنکه ترکیب پانل ممکن است بسته به نوردهی تغییر کند. پانل‌های فتوولتائیک تشعشعات خورشید را جذب و آن‌ها را به برق کارخانه تبدیل می‌کنند. پانل‌های پنجره امکان دیدن و تهویه را فراهم می‌کنند. این پانل‌ها به صورت استراتژیک به نحوی قرار گرفته‌اند تا عملکردشان حداکثر شود. در بین این پانل‌ها یک غشا انعطاف پذیر وجود دارد که از نئوپرن ساخته شده است. این غشا به پانل‌ها اجازه می‌دهد تا در حال که پیوسته، عایق و مقاوم در برابر آب هستند دامنه‌ای از حرکات را نیز داشته باشند.



تصویر ۷. (سمت راست و وسط) دیواره از پانل‌های متوازی الاضلاعی تشکیل شده است که بر روی سخت‌افزاری سوار شده‌اند که امکان دامنه کوچکی از حرکات را فراهم می‌کند. فلس‌ها بر روی مفاصل قابل تنظیم، جک‌های گازی و انتهای میله‌ها سوار شده‌اند. مفاصل قابل تنظیم به پانل‌ها امکان کج شدن افقی و جک‌های گازی نیز اجازه کج شدن عمودی و حرکت در خلاف جهت یکدیگر را می‌دهند. (سمت چپ) طرح پروژه

این استودیو، درست همانند مارمولک، مستقیماً بر روی کف بیابان قرار دارد. پانل‌های انفرادی در حالیکه انرژی و گرما را جمع‌آوری می‌کنند نور خورشید را بازتاب می‌دهند. سقف و نمای جنوبی این سازه به منظور قرارگیری بهینه نسبت به زاویه خورشید اندکی کج می‌شود.

۱۳. نتیجه‌گیری

در طی دهه‌های گذشته پیشرفت زیادی در درک سیستم‌های بیولوژیکی صورت گرفته و این دانش به رشته معماری نیز وارد شده است. تقلید و الهام از طبیعت بهترین رویکرد برای معماری و طراحی است چراکه بنا جزئی از محیط ساخته شده خود است و همچنین ایده‌های جسورانه‌ای را برای محیط پیرامون خود ارائه می‌دهد. همچنین طبیعت در طول میلیاردها سال پایدار و به لحاظ انرژی، کارآمد بوده است. موجودات طبیعی رشد و نمو کرده‌اند و استراتژی‌هایی را به منظور ایجاد طرح‌های انرژی-کارآمد ایجاد کرده‌اند. به کارگیری این مشخصه‌ها در معماری می‌تواند بسیاری از مشکلات و مسائل انسانی را حل کند. طبیعت الهام بخش از پتانسیل قابل توجهی برای اجرای روشی جدید در طراحی پوشش‌های انرژی-کارآمد ساختمان‌ها برخوردار است. پوشش ساختمان دارای مقدار قابل توجهی از مصرف انرژی است که بهینه ساختن آن مانع هدر رفتن انرژی می‌شود. با شناسایی و الگوبرداری از استراتژی‌های طبیعت و با به کارگیری روش زیست‌الگو می‌توان سطح مصرف انرژی را در ساختمان‌ها کاهش داد.

منابع

- ۱- ایلاریا مازولنی، " معماری از طبیعت پیروی می‌کند، " (۱۳۹۶)، ترجمه خردمند ص.، رحیمی، ه، انتشارات سروش دانش، تهران، ایران
- ۲- خردمند، ص. بایومیمیکری رویکردی برای الهام از ساختارهای زیستی با کمک محاسبات، (۱۳۹۶)، دومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت بحران، تهران.
- ۳- گلابچی، م و خرسند نیکو، م. (۱۳۹۳)، "معماری بایونیک"، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ص ۵۷-۵۹.
- 4- Asian building and construction, 2001. *Esplanade theatres on the bay*. Singapore: DP Architects
- 5- Benyus, J.M., 1998. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Perennial (Harper Collins.)
- 6- Biomimicry Institute., 2011. *AskNature*. Retrieved from http://www.asknature.org/article/view/what_is_ask_nature
- 7- Bar-Cohen Y., 2005 (Ed.), "Biomimetics: Mimicking and being Inspired by Biology," CRC Press, pp. 505
- 8- Gruber, P. 2008. *Biomimetics in Architecture*. Reading, U.K.: The University of reading Institute for Building Construction and
- 9- Technology.
- 10- Hoeven, M., 2012. *Technology Roadmap: Energy Efficient Envelopes*. (Online) Retrieved from
- 11- <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyEfficientBuildingEnvelopes.pdf>
- 12- Ibrahim, M., 2011. *Biomimicry as a tool for sustainable architectural design towards morphogenetic architecture* (Online) Available
- 13- http://www.academia.edu/1739669/BIOMIMICRY_AS_A_TOOL_FOR_SUSTAINABLE_ARCHITECTURAL_DESIGN_towards_

- 14- morphogenetic_architecture
- 15- Kieran, S. & Timberlake, J, 2004. *Refabricating Architecture*. New York: McGraw-Hill.
- 16- Mazzoleni, I., 2013. *Architecture follows nature- Biomimetic Principles for Innovative Design*. CRC Press.
- 17- Rankouhi, A, 2012. *Naturally Inspired Design. Investigation into the application of biomimicry in architectural design*.
- 18- The China National Aquatic Center, 2007. Box of bubble. *Ingenia* Issue 33 December
- 19- The Structural Group. 2008. *The Building Envelope – A Little-Known Key to Energy Efficiency*. Quorum Magazine. Retrieved from
- 20- <http://www.structural.net/tabid/434/contentid/692/Default.aspx>
- 21- Steadman, P. 2008. *The Evolution of Designs-biological Anology in Architecture & Applied Arts*. Oxon: Routledge
- 22- Webb, S., 2005. The Integrated Design Process of CH2. *Environment Design Guide*. CAS 36.
- 23- Yowell, J., 2011. *Biomimetic Building Skin* (Online) Available at <http://tulsagrad.ou.edu/studio/biomimetic/jy-FINAL-thesis.pdf>
- 24- Zari, M.P. 2007. *Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability*. Sustainable Building Confernece.

