مقاله علمی

(بوطیقای معماری، سال اول، شماره اول)

معماری بیومیمکیری و الهام از حشرات برای شهرسازی و معماری پایدار

زمان دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۲/۱۲ زمان پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۶/۱۲

مسعود حاجی‌بگلو[۱]– کارشناس ارشد معماری، واحد مهدیشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، مهدیشهر، ایران

هادی محمودی‌نژاد– دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حمید بیرقی– استادیار گروه عمران، واحد مهدیشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، مهدیشهر، ایران

چکیده

مواد، ساختارها، سطوح و ساختمان بدن حشرات، گرایشات علمی بزرگی هستند، اما چنین دانش‌های بنیادینی در مورد اصول عملکردی این ساختارها برای کاربردهای فنی، به‌ویژه در معماری، بسیار مطرح است. برخی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در معماری امروزی، چندمنظوره بودن، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و پایداری است، مشکلاتی که حشرات در حین سیر تکاملی خودشان تا حدی حل کرده‌اند. حشره‌شناسان مقدار زیادی از اطلاعات درباره ساختار و عملکرد این ساختار و سطوح زنده جمع‌آوری کرده‌اند. از این اطلاعات می‌توان به منظور تقلید برای کاربردهایی در معماری استفاده بهینه کرد. زمینه‌های اصلی تکنولوژی که می‌توان ایده‌های الهام گرفته از حشرات را در آن‌ها به‌کار گرفت، عبارتند از: ۱– مصالح جدید، ۲– ساختارها، ۳– سطح‌ها، ۴– تکنولوژی پیوند و مواد چسباننده، ۵– علوم بصری و فتونیکی. چند نمونه انتخاب شده در این بررسی کوتاه مورد بحث قرار گرفته‌اند، اما با داشتن بیش از یک میلیون گونه حشره توصیف‌شده به‌عنوان منبعی برای الهام‌گرفتن، می‌توان انتظار ایده‌های بسیار زیادی از حشره‌شناسی برای بیومیمتیک‌های الهام گرفته از حشرات را داشت. تلفیق دانش مضاعف زیست‌شناسی حشرات با معماری، عملکرد ساختمان‌های آینده را بهبود خواهد بخشید. هرچند، زیست‌شناسان هنوز درک کاملی از عملکرد ساختاری ماده و ساختمان حشرات ندارند. درنتیجه، زمینه‌های تکنولوژی بسیاری از تحقیقات بنیادی مضاعف حشره‌شناسی سود می‌برند. همچنین آزمایش برای الهامات جدید از حشرات احتمالاً مهمترین زمینه تحقیقاتی در آینده‌ای نزدیک خواهد بود.

واژگان کلیدی: حشره‌شناسی، بیومیمکری، ریخت‌شناسی، فوتونیک.

---

[۱] این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مسعود حاجی بگلو استخراج شده است که از معاونت پژوهشی واحد مهدیشهر تشکر و قدردانی می‌گردد.

نویسنده مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۹۱۵۵۵۱۷۷۰؛ رایانامه: hajibaghlo@yahoo.com

۱- مقدمه و بیان مساله

«حشرات» جزو متنوع‌ترین گروه‌های حیوانات روی زمین و شامل بیش از یک میلیون نمونه توصیف شده و نمایانگر بیش از نیمی از موجودات زنده شناخته شده هستند. تعداد نمونه‌های موجود بین ۶ تا ۱۰ میلیون تخمین زده شده است و نمایانگر تقریبا بیش از ۹۰٪ موجودات زنده[۱] هستند. حشرات در طول سیر تکاملی‌شان، به انواع بسیار زیادی از شکل‌ها و ساختارها تکامل یافتند. علی‌رغم این که اغلب «ظاهر مینیاتوری»[۲] و شکننده دارند، بااین‌حال با بارهای مکانیکی زیادی مقابله می‌کنند. بسیاری از سیستم‌های عملکردی که مسئول موفقیت آن‌ها در تکامل هستند، مبتنی بر تنوع راه‌حل‌های ساختاری و ماده‌های هوشمندانه می باشند. از یک‌سو مطالعاتی که اصول عملکردی ساختارهای حشرات، مواد، حسگرها، محرک‌ها، حرکات و سیستم‌های کنترلی را آشکار می کند، از اهمیت علمی عمده‌ای برخوردار هستند و از این‌رو ما می توانیم در مورد سازوکارهای پشت ساختارها و نقش‌های بیولوژیکی آن‌ها دانش کسب کنیم. از سوی دیگر، این دانش ارتباط بالایی با کاربردهای مهندسی، ازجمله در حوزه معماری دارد. چهار چالش اصلی در طراحی معماری امروزی عبارتند از: *عملکرد چندگانه*، *«استقلال اجزا»*[۳]، *صرفه‌جویی در مصرف انرژی و پایداری*.

موارد بعدی در اینجا به بهره‌وری منابع، تعدیل و تطبیق با تغییرات آب و هوایی و تاب‌آوری در برابر بلایا اشاره دارد. این چالش‌ها را می‌توان با استفاده از مواد بیولوژیکی تجدیدپذیر یا با الهام گرفتن از سیستم‌های بیولوژیکی برطرف کرد. الهامات بیولوژیکی در کشورهای در حال توسعه، در زمینه حمایت از ساختمان‌های پایدار و همچنین استفاده بهینه از مصالح بومی، اهمیت ویژه دارد. برای این اهداف، علم درباره ایده‌های زیست‌الهام برای پروژه‌های معماری آتی باید به‌طور گسترده همه‌گیر شود و در کشورهای کمتر توسعه یافته در دسترس عموم مردم قرار گیرد. اما چرا حشرات؟ حشرات در طی سیرتکاملی‌شان، بسیاری مشکلات مربوط به اسکلت خارجی سبک وزنشان را حل کردند. به‌علاوه، این حیوانات ساخت و سازهای بی‌نظیر بسیاری را برپایه ابریشم، چسب و دیگر مواد غیرزنده اطرافشان ساخته‌اند. حشره-شناسان مقدار زیادی اطلاعات درباره ساختار و عملکرد ساختمان‌هایی که حیوانات ساختند و مواد و سازه‌های استفاده شده در بدنه آن‌ها جمع‌آوری کرده‌اند. از این اطلاعات می‌توان برای تقلید در کاربردهای مختلف در معماری مدرن استفاده کرد. زمینه‌های اصلی معماری که می‌شود از راه‌حل‌های الهام گرفته از حشرات در آن‌ها استفاده کرد، عبارتند از: *۱- مصالح جدید (سبک وزن، پایدار، از نظر زیست‌شناسی تجدیدپذیر)*، *۲- سازه‌هایی با درجاتی از تبدیل‌پذیری*، *۳- سطوح هوشمند*، *۴- تکنولوژی پیوند و مواد چسباننده*، *۵- علوم بصری و فتونیکی و تنظیم حرارت*. برخی نمونه‌های انتخاب شده در اینجا مورد بحث قرار گرفته‌اند، اما با داشتن بیش از یک میلیون نمونه توصیف شده (حدود نیمی از

نشـــریه علمی بوطیقای معماری، سال اول، شماره اول

[۱] Organisms

[۲] Miniature

[۳] Modularity

ارگانیسم‌های «یوکاریوتی»[۱]) به‌عنوان منبعی برای الهام گرفتن در معماری، ایده‌های بسیار بیشتری در تحقیقات عملکرد ریخت‌شناسی حشرات در آینده به‌وجود خواهد آمد.

۲- روش‌شناسی و پیشینه تحقیق

این مقاله در راستای تبیین دانش «بیومیمیکری» در معماری و «الهام از حشرات» است. لذا از نظر ماهیت بنیادی و نظری است که از روش استدلال منطقی و تحلیل کالبدی برای تبیین رویکرد استفاده کرده است. همچنین با لحاظ کردن مبانی نظری و الگوهای دانش بیومیمیکری نسبت به ارائه راهکارها و اصول طراحی بیومیمکری برآمده از ساختار بدن حشرات اشاره شده است.

۳- ادبیات تحقیق

۳-۱ دانش بیومیمیکری

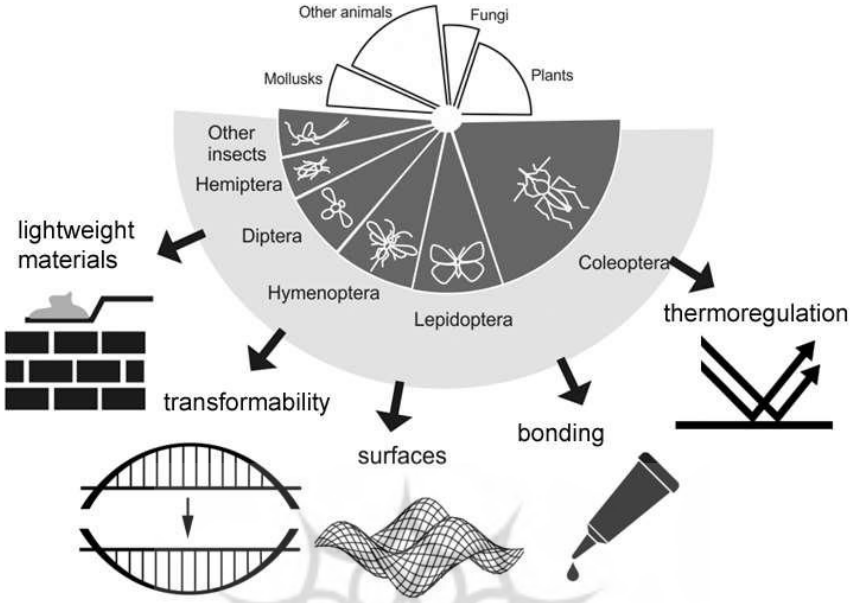
آنتونیادُس در کتاب «بوطیقای معماری» در رابطه با شیوه‌های الگوبرداری از طبیعت، به دوگونه الگوبرداری اشاره می‌کند:

- **«الگوبرداری محسوس از طبیعت»**: به‌عقیده من هیچ‌کس نمی‌تواند طبیعت را به شیوه‌ای پویاتر از معماران ببیند، زیراکه آن‌ها طبیعت را از زوایای دید متعددی نظاره می‌کنند. آن‌ها به روش‌ها و قواعد ساخت عناصر طبیعی مختلف توجه می‌کنند، و به‌همان اندازه به «علل» تغییرات و پویه‌شناسی پدیده های طبیعی می پردازند. ارتباط دوسویه معماران با طبیعت در هر دو سطح نامحسوس و محسوس روی داده‌است. آن‌ها به طبیعت از طرق زیر، به‌طور نامحسوس پاسخ گفته‌اند: «الهام بخشی استعاری»؛ و «ارتباط ذهنی»؛ و «توکل زاهدانه، نیایش شخصی، و حتی قربانی کردن خویش.»
- **«الگوبرداری نامحسوس از طبیعت»**: واکنش محسوس معماران و هنرمندان به طبیعت از طریق رویکردهای زیر حاصل شده است:

«۱. ساختمان‌های درآمیخته با خطوط زمین، در پلان و نیز در برش؛ ۲. ارتقای خطوط زمین از طریق ایجاد تضاد با خطوطی که از قبل در ترکیب‌بندی سایت حضور داشته‌اند؛ یا با خلق تنش با وضعیت‌های طبیعی غیر الهام‌بخش و خنثی، ۳. تضاد مستقیم مصنوع بشر با زمین، در پلان یا در برش؛ ۴. پیروی کامل از طبیعت و دست نخورده نمایاندن زمین، ضمن «دفن» و «غوطه‌ور ساختن» ساختمان در زمین؛ ۵. درهم‌آمیختگی فضای داخلی و خارجی، از طریق تدابیر تداوم دید و تخلخل، یا از طریق درآمیختن عناصر فضای خارجی در فضای داخلی؛ ۶. تاکید و پرداختن به مصالح؛ ۷. واکنش‌های تقلیدی، از قبیل: برداشت‌های صوری از طبیعت، یا برداشت جوهری؛ وجودی از ویژگی‌های قوانین طبیعت؛ ۸. واکنش جامع‌گرا که در آن تمام موارد پیش گفته در

[۱] Eukaryotic

قالب نظام پیوسته‌ای از ارتباطات دوسویه درهم‌می‌آمیزد و همچنین تاملات محسوس و نامحسوس در آن به وحدت می‌رسند» (آنتونیادُس، ۱۳۸۱، ص ۴۱۲).



نشـــریه علمی بوطیقای معماری، سال اول، شماره اول

نمودار ۱. دیاگرام نشان‌دهنده تنوع حشرات (بخش خاکستری تیره) به عنوان منبع ایده‌های زیستی برای کاربرد در معماری؛ ماخذ: Eukaryotic 2021

تصویر ۱. (a) طراحی الهام‌گرفته از لاک‌پشت دریایی؛ (b) طرح الهام‌گرفته از دیاتوم؛ (ج) طراحی الهام گرفته از Snekelocks anemone؛ ماخذ: محمودی‌نژاد: ب، ۱۳۹۸، ص ۴۰.

در زمینه الگوبرداری از قوانین طبیعت، آنتونیادُس در کتاب «بوطیقای معماری»، چنین اشاره می‌کند: می توان از میان قوانین طبیعت که کاملاً با معماری مرتبط هستند، به موارد ذیل اشاره کرد: *«قانون جاذبه»؛ «قانون استفاده از حداقل انرژی»؛ «قانون سکونت» (همزیستی، تکامل از طریق عناصر منطقه‌ای)؛ و «قانون دوران چرخه حیات» (طفولیت، جوانی، تولید مثل، بلوغ، فرسودگی و مرگ)»* (آنتونیادُس، ۱۳۸۱، ص ۴۲۱). در زمینه الگوبرداری از قوانین طبیعت باید گفت که این الگوبرداری می‌تواند در زمینه‌های زیر تحقق پذیرد که عبارتند از:

۱. «سازه و ساختار طبیعت» (جانوران، گیاهان و اُرگانیسم‌های پست) و بهره‌گیری از آن در سازه و ساختار معماری؛ و
۲. «مواد و مصالح طبیعت» و بهره‌گیری از آن در مواد و مصالح معماری؛ و
۳. «ابزار، تکنیک و تکنولوژی طبیعت» و بهره‌گیری از آن در تکنولوژی معماری؛ و
۴. «فیزیولوژی طبیعت» و بهره‌گیری از آن در عملکردهای معماری.

در رابطه با اصول سازه ای مستخرج از طبیعت می‌توان اشاره کرد که در طبیعت فُرم‌های سازه‌ای کارا اولویت بیشتری دارند، زیرا طبیعت می‌تواند بارهای وارده در یک ساختار را به روش حسی انتقال دهد و دیگر اینکه طبیعت با کارایی موثر یک موجود زنده هیچ‌گونه سازشی ندارد؛ این امر یکی از کلیدهای موفقیتی است که طراحان ساختمان سعی در به دست آوردن آن دارند. آیا هدف از طراحی بهینه چیزی جز رسیدن به بهترین دستاورد با صرف کمترین سرمایه‌گذاری است؟ برخی از اصول مستخرج از طبیعت عبارتند از:

۱. **«کمینه استفاده از مصالح در سازه طبیعت»**: هنگامی که به یک گل نگاه می‌کنیم، تحت‌تاثیر بوی خوش و فُرم زیبای آن قرار می گیریم. ولی اگر با دقت بیشتری به آن نگاه کنیم و در مورد فُرم آن تفکّر نماییم، شاید بیشتر تحت تاثیر این موضوع قرار گیریم که چگونه یک گل هنگام وزش نسیم نوسان می‌کند، ولی نمی شکند و دوباره به حالت اول خود باز می گردد. این موضوع در گیاهانی که دارای مفصل هستند، بیشتر به چشم می‌خورد. به دلیل اینکه وجود مفصل، این گیاهان هنگام وزش باد، انعطاف‌پذیر می باشند. موضوع جالب این‌که با اینکه مصالح سخت‌کننده در مفاصل به میزان حداقل می‌باشد، درعین‌حال در کاراترین و موثرترین شکل خود بکار برده شده اند، دلیل این امر این است که طبیعت چیزی را هدر نمی‌دهد (تقی‌زاده، ۱۳۸۵، ص ۷۷). «حصول زیبایی از طریق حداکثر کارایی در مصالح و فُرم»: با کوشش در قوانین طبیعت و دیدن، احساس کردن، شنیدن و یا استشمام فُرم‌های طبیعی، شاید بتوان به زیبایی عملکردی دست یافت.

۲. **«همزمانی روی دادن کارایی سازه‌ای و زیبایی فُرمی»**: شاید آنچه مخلوقات طبیعی را بسیار خاص می‌سازد، این باشد که کارایی سازه‌ای و زیبایی فُرم در آن‌ها همزمان اتفاق می‌افتد. در تمامی سازه‌ها بدون استثناء منطقی روشن وجود دارد که به نوعی در مسیری جادویی، فُرم‌های زیبایی

ایجاد می‌کنند که همگان مشتاق به دیدن و تحسین آن‌ها هستند. تشابه، تناسب و تفاوت‌هایی را می‌توان بین فُرم‌های موجود در طبیعت و فُرم‌های دست ساخته انسان پیدا کرد.

۳. «**ارتباط کامل بین ابعاد وابسته و پیوسته با طبیعت**»: از نظر فلسفی، طبیعت ارتباطی است بین استدلال سازه‌ای، کارایی، بهترین استفاده از مصالح با توجه به خصوصیات آن‌ها، تناسبات عملکردی و زیبایی‌شناسانه، رنگ، شکل و حجم در سطحی که دست ساخته‌های انسان تاکنون به آن حد نرسیده اند (تقی‌زاده، ۱۳۸۵، ص ۷۷).

در همین راستا، «محمد علی آبادی» در رابطه با برخی «اصول سامانه‌ای برداشت شده از توحید مفضل»، در راستای «مطالعه نظام‌مندی در طبیعت و کشف اصولی فارغ از زمان و مکان برای بکارگیری آن اصول در معماری و بنیان‌نهی آفرینشی نظام مند»، به ده اصل اشاره دارد که در ادامه به اجمال به آنها اشاره می‌شود (گلابچی و محمودی‌نژاد، ۱۳۹۸، ص ۸۹):

۱. «اصل اول»: **تنوع و گوناگونی در عین وحدت و یکپارچگی**؛ اصل بنیادین در آفرینش تنوع و یکپارچگی در معماری و صفات کیفی و کمی اجزاء آن چون شکل، جنس، اندازه و عملکرد قانونمندی اجزاء پایه و ترکیب‌های گوناگون و البته قانونمند آن‌هاست.

۲. «اصل دوم»: **ارتباط و نیازمندی اجزاء یک سیستم به یکدیگر**؛ از بنیادی‌ترین شرایط و اصل غیرقابل حذف و دلیل بر وجود نظم در آن است.

۳. «اصل سوم»: شرط لازم در بوجود آمدن وحدت و یگانگی در هر سیستم (یا نظام) یکی بودن علت یا قوه تدبیرکننده و اندازه‌گذار بوده و دوگانگی در مدیریت هر سیستم (یا نظام)، علت اصلی ایجاد اختلاف و فساد در آن سیستم است.

۴. «اصل چهارم»: **تناسب فُرم و عملکرد در یک عضو**؛ فُرم کلی (یا ساختاری) هر عضو و مجموعه ویژگی‌های فُرمی و ساختاری اجزاء آن بایستی با مجموعه عملکردهای آن عضو در سیستم متناسب باشد. بدیهی است این تناسب عملکردی و فُرمی (یا کالبدی) شامل ارتباطات آن عضو با دیگر اجزاء در همان سیستم و نیز فُرم کالبدی و عملکرد اجزاء مرتبط در دیگر سیستم های همجوار نیز می‌باشد.

۵. «اصل پنجم»: **سلسله مراتب**؛ فرآیند یا نظام سلسله مراتبی مراحل مختلف یک عملکرد خود نظامی کالبدی را تعریف می‌کند که در آن تعداد اجزاء و عملکرد هر یک همراه با ویژگی های کیفی و کمی مربوطه تعریف شده و به ترتیب و مرتبط با یکدیگر در جای بایسته و شایسته خود مکان یابی می شوند.

۶. «اصل ششم»: تعامل سیستم‌های طبیعی جدا از هم و جزء سیستم‌های مربوطه بعنوان اجزای یک نظام بزرگتر و الگوپذیری انسان در طرح و آفرینش نظام کالبدی مشابه و توالی و تقابل مراحل مختلف فرآیند سلسله مراتبی رشد و تکامل یک سیستم معماری یا شهری.

۷. «اصل هفتم»: رشد متناسب و همزمان اجزاء از ضروریات بقاء و سلامت یک سیستم است.

نشـــریه علمی بوطیقای معماری، سال اول، شماره اول

۸. «اصل هشتم»: اجزاء یک سیستم از نظر ویژگی‌های کیفی و کمی (صورت و ساختار کالبدی) ضرورتا باید محدود به حدودی خاص و از پیش تعیین‌شده باشند تا: ۱. عملکرد محوله (و تعریف شده توسط مدیریت نظام‌مند سیستم) را به خوبی انجام دهند. ۲. در عملکرد اجزاء پیرامونی و مرتبط اختلالی ایجاد نکنند. ۳. آن دسته از ویژگی‌های شکلی که در تعریف هویت آن اجزاء و کل سیستم دخالت دارند، حفظ شوند.

۹. «اصل نهم»: پیچیدگی یک سیستم و سرعت عمل آن و اجزاء آن بایستی متناسب با توان و به علت درک انسان از محیط دارد.

۱۰. «اصل دهم»: وحدت یا تعدد اجزاء در سیستم؛ ایجاد کامل یک عملکرد اصلی‌ترین عامل در تبیین تعداد اجزاء عامل عملکرد مربوطه است. دیگر عوامل دخیل در این مورد عبارتند از: ۱. هریک از عوامل عمل‌کننده باید نقشی ضروری (غیرقابل حذف) در عملکرد سیستم داشته باشد. ۲. هریک از عوامل عمل‌کننده باید دارای نقشی موثر در حفظ سیستم از ناخوانایی، اسراف (هدر رفتن و یا بی‌استفاده بودن) در سیستم باشد (علی‌آبادی، ۱۳۸۲، صص ۵۸-۷۲).

نمودار ۲. نحوه الگوبرداری از طبیعت در معماری بیونیک؛ ماخذ: گلابچی و محمودی نژاد، ۱۳۹۸، ص ۸۷.

نمودار ۳. رهیافت‌های معماری بیونیک؛ ماخذ: روحی‌زاده و دیگران، ۱۳۹۷، ص ۶۳.

۳-۲ ساختمان‌ها و معماری حشرات

در میان حیواناتی که قادر به ساخت‌وساز هستند، حشرات اجتماعی پیچیده‌ترین ساخت و سازها را ایجاد کرده‌اند. زیستگاه‌های[۱] عظیم حشرات اجتماعی، با پیچیدگی رفتاری کلی، معماری‌های عظیم را ساخته‌اند که کانال‌ها و فضاها درون آن‌ها نفود کرده‌اند و اکسیژن را به هسته مرکزی منتقل و دی اکسید کربن را دور می‌کنند. در پشته‌های موریانه‌ها[۲]، تعدد حفره‌هایی که فضای زندگی هستند توسط دریچه[۳]ها و راهروهای کوتاه به‌هم متصل شده‌اند که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان مویرگ[۴]های سیستم گردش خون[۵] درنظر گرفت. به‌عنوان مثال، سازه‌های ساخته شده توسط موریانه‌ها، الهام‌بخش سیستم‌های تهویه تنظیم حرارت پنل‌های خورشیدی در برخی ساختمان‌ها در اروپا و آفریقا است. یکی از نمونه‌های معروف اخیر سیستم تهویه طراحی شده توسط شرکت Arup برای تالار دروازه شرقی در هراره زیمباوه است که باعث صرفه‌جویی بیشتر در انرژی شده است. سازه‌های لانه‌زنبوری توسط حشرات اجتماعی زیادی مانند زنبورها، از مواد مختلفی مانند موم و کاغذ ساخته می‌شوند. این الگوی هندسی برای ساخت متراکم‌ترین حالت واحدها در فضای دوبعدی بسیار معروف است، که قاعده‌ای جالب برای به‌کارگیری آن در معماری و طراحی است. با استفاده از مصالح متفاوتی مانند پلاستیک، سرامیک و فلز، و با استفاده از تکنیک‌های متنوع مانند بریدن ورق‌های شش ضلعی و چسباندن، وارد کردن نوارهای چسب بین ورق‌ها و کشیدن یا استفاده از تکنیک‌های قالب‌گیری، به‌خصوص هنگام استفاده از پلیمرها، می‌توان ساختارهای لانه زنبوری فنی را ساخت. از مواد سبک وزن لانه زنبوی می‌توان در معماری برای هسته ساندویچ پنل‌ها و طراحی‌های ترکیبی استفاده کرد. به دلیل سطح بزرگ، برای کاربرد به‌عنوان سازه خنک کننده جالب نظر هستند و شاید برای کاربردهایی که نیازمند صرفه‌جویی در انرژی (تنظیم حرارت) و منابع (تراکم کمتر، سبک وزنی) هستند، انتخاب خوبی باشند.

دکتر *Mirtsch GmbH* تنوع گسترده‌ای از پوشش‌های فلزی سه‌بعدی (3D) با ضخامت‌های مختلف را ایجاد کرده است. این ساختارها اغلب از یک روش تولید کاملا خاص با استفاده از خود ساماندهی به‌وجود می‌آیند. این ساختارها نه‌تنها به‌خاطر ظاهر بصری زیبا، بلکه بیشتر به دلیل خواص فنی متقاعد-کننده جالب توجه هستند، که برجسته‌ترین آن‌ها عبارتند از: *۱- قابلیت خمش قوی‌تر در میزان استفاده مواد بسیار کمتر (فوق سبک)، ۲- بهبود خواص مقاومت در برابر شکنندگی ناشی از اتلاف انرژی بیشتر، ۳- افزایش بیشتر سفتی خمشی به دلیل ترکیب در ساختارهای ساندیچی شکل، و ۴- قابلیت ترکیب با مواد دیگر، همچنین مواد غیر مشابه.*

نشـــریه علمی بوطیقای معماری، سال اول، شماره اول

---

۱ Colony

۲ Termite Mounds

۳ Aperture

۴ Capillary

۵ Circulation System

سازه‌های لانه‌زنبوری متعددی را می‌توان در نمای خارجی معماری یافت. هرچند، لانه‌زنبوری‌ها در معماری داخلی هم به‌شکل گسترده، مانند کندو (طراحی شده توسط Kyle Minnock)، استفاده می‌شوند. منابع الهام‌بخشی برای این طرح ساختار، فرم، و خصوصیات مرتبط با حشرات است. این پروژه نه تنها شامل تحقیقات عمیق ساختار کندوی زنبورعسل، بلکه شامل مقدار زیادی از تجربیات عملی با مدل‌های کارتی و دیگر مواد ماکت‌سازی بود. همچنین آزمایش با نور، فرم، رنگ و بافت انجام شد تا مفهوم نهایی به‌دست آید.

بسیاری از حشرات (پشیزبالان[۱]، بال موداران[۲]، پرده‌بالان[۳]، رگ‌بالان[۴]) و دیگر بندپایان[۵] معمولاً برای محافظت ار خودشان در مرحله دگردیسی، پوسته‌های ابریشمی به اسم پیله[۶] می‌سازند. در حشرات، ابریشم معمولا توسط غدد لبی[۷] واقع در قسمت دهان تولید می‌شود. پیله‌ها می‌توانند نرم یا سخت، متراکم یا غیرمتراکم باشند، و رنگ‌ها و تعداد لایه‌های متعددی داشته باشند. پیله‌ها توسط عنکبوت‌ها هم استفاده می‌شود، اما اساسا برای محافظت از شکستگی تخم‌ها استفاده می‌شود. پیله عنکبوت ها معمولاً دو لایه، با یک لایه نرم داخلی و یک لایه سخت‌تر خارجی هستند. به‌علاوه، عنکبوت‌های تارتن سوژه شکار خود را در یک پوسته پیله مانند می‌پیچند تا از تحرک شکار، خصوصا زمانی که شکار بزرگتر از خودشان است، جلوگیری کنند. برای اتصال تارهای شبکه، عنکبوت‌ها معمولاً از چسب مرکب تقویت شده با الیاف استفاده می‌کنند. در زیست‌شناسی، ساختارهای تقویت شده با الیاف با مصالح کاملاً موثر و روشی کارآمد یکپارچه ساخته می‌شوند. به‌منظور انتقال روش ساخت بیولوژیکی به معماری، روند جدیدی در ICD/ITKE (اشتوتگارد آلمان) ایجاد شد: یک ربات صنعتی درون یک پوشش غشایی با پشتیبانی هوا، ساخته شده از پلیمر اتین تترافلوراتیلن، قرار داده شد. این پوسته نرم متورم در آغاز توسط فشار هوا پشتیبانی می‌شد و به تدریج از داخل توسط ربات با الیاف کربن تقویت شد و ربات به تدریج داخل را به شکل یک ساختار تک بدنه[۸] خود پشتیبان تقویت کرد. الیاف کربن تنها در مواردی که برای تقویت سازه مورد نیاز بودند به‌طور انتخابی اعمال شدند. درعین‌حال از چهارچوب بادی[۹] به‌عنوان پوسته یکپارچه استفاده شده است. این نوع از ساخت و سازها ممکن است در ابتدا توسط تکنولوژی‌های پارچه‌ای و با روش‌های پرینت سه‌بعدی ساخته می‌شوند تا بافت یا پرینت ساختمان کامل شود. این روش به خصوص در کشورهای کمتر پیشرفته که چنین تکنولوژی می‌تواند منجر به تولید سریع و انبوه ساختمان‌ها شود، جالب توجه است.

---

۱ Lepidoptera
۲ Trichoptera
۳ Hymenoptera
۴ Neuropteran
۵ Arthropod
۶ Cocoon
۷ Labial Gland
۸ Monocoque
۹ Pneumatic Framework

۴- بیان یافته‌های تحقیق

۴-۱ کامپوزیت‌ها و ترکیب‌های تقویت‌شده با الیاف

اسکلت خارجی بندپایان[۱] از الیاف کیتین[۲] قرار گرفته در قالب پروتئینی ساخته شده است. خواص شیمیایی، ساختاری و مکانیکی چنین مواد مرکبی تا حد زیادی می‌تواند متفاوت باشد، و در نتیجه، امکان سازگاری عملکرد محلی بخش‌های متفاوت بدن حشره را فراهم می‌کند. اسکلت خارجی بندپایان خط اتصالی بین یک حیوان زنده و محیط است و بنابرین، عملکردهای زیادی دارد:

۱- ابعاد اسکلت خارجی را محدود می‌کند و اساس قرارگیری عضلات است (عملکرد مکانیکی و محرک)، ۲- عنصر مهمی در سازمان دفاعی دربرابر عوامل خارجی مانند تنش خارجی و محیط‌های خشک، خیس، سرد یا گرم است. ۳- در حمل ترشحات مختلف پوستی[۳] نقش دارد و به‌عنوان یک مخزن شیمیایی برای ذخیره‌سازی تولیدات سوخت و سازی زائد عمل می‌کند، ۴- ساختار پوستی متنوعی بخشی از گیرنده‌های شیمیایی[۴] و مکانیکی هستند، ۵- الگوی رنگی و اجزای شیمیایی پوشش مویی[۵] برای تنظیم دما مهم هستند و اغلب شامل سیستمهای ارتباطی متنوعی می‌شوند، ۶- برجستگی[۶]های مخصوص پوشش مویی عملکردهای مختلفی مانند نگه‌داری اکسیژن، خرد کردن غذا، تمیز کردن بدن (نظافت) و ... را دارند.

پوشش مویی یک ماده ترکیبی لایه‌ای است که شامل دو جز اصلی: کیتین و پروتئین است. آرایش مولکول‌های کیتین معمولاً در شکل‌های مختلفش تفاوت دارد. الیاف ریز کیتین همیشه به همراه پروتئین در مجموعه کیتین‌پروتئین است. ریزالیاف‌های پوشش مویی کیتین‌دار الگوی پیچیده‌ای از آرایش در فضای سه‌بعدی پوشش مویی دارد. برخی از انواع پوشش‌های مویی نسبتا سخت هستند و انواع دیگر انعطاف‌پذیر هستند. در سیستم‌های کاربردی گوناگون، پوشش مویی طیفی از خصوصیات مواد را نشان می‌دهد که می‌تواند محدوده‌ای از نواحی خیلی سخت کندیل[۷] مفاصل تا نواحی غشایی بین قطعات پا باشد. این طیف‌ها به تراکم الیاف، آرایش الیاف، درجه پیوند صلیبی قالب و ضخامت تک تک لایه‌ها بستگی دارد.

در حال حاضر، مواد ترکیبی (کامپوزیت‌ها) در نواحی مختلفی از تکنولوژی گستردگی دارند. هرچند، قطر الیاف در محدوده میکرومتری باقی می‌ماند. همچنین معمولاً آرایش ترجیحی یا تصادفی در قالب دارند. به‌عنوان مثال با آرایش حلزونی الیاف‌ها در لایه‌های متوالی و با خصوصیات مواد طیف‌مانند آن، پوشش مویی حشرات می‌تواند الهام‌بخش مهندسین باشد. علاوه بر این، آرایش الیاف در پوشش مویی

نشـــریه علمی بوطیقای معماری، سال اول، شماره اول

---

۱ Exoskeleton

۲ Chitin

۳ Epidermal

۴ Chemoreceptor

۵ Cuticle

۶ Protuberance

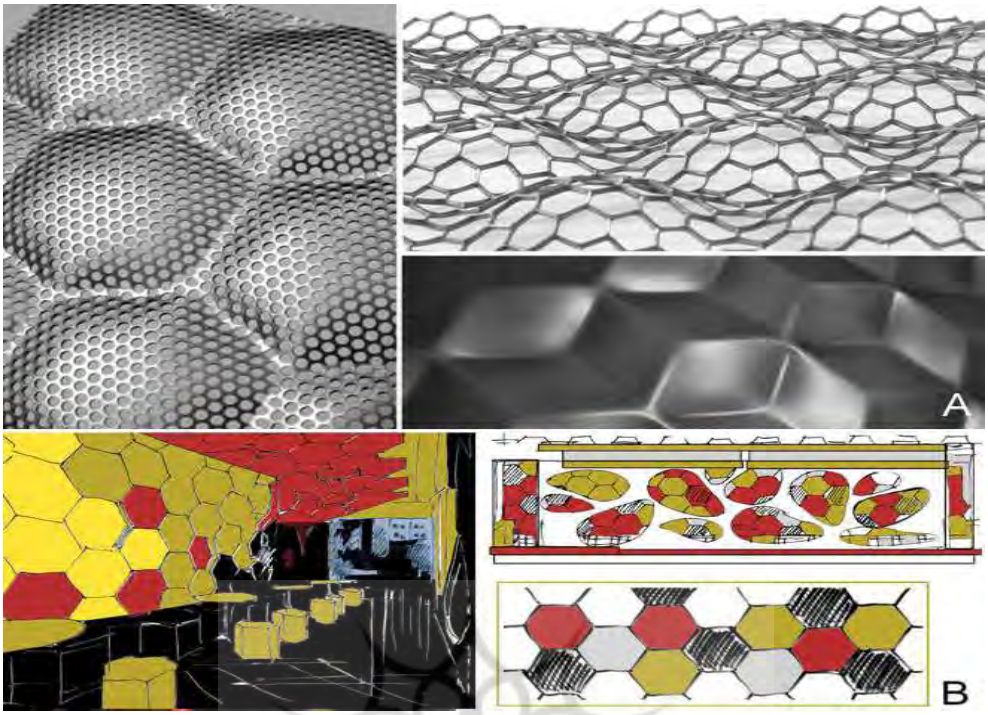
۷ Condyle: برجستگی‌های سر استخوان

حشرات به ساختار موضعی هندسی بستگی دارد. بنابرین، مواد طبیعی تنها از چند جزء اصلی تشکیل شده‌اند که از لحاظ هندسی، فیزیکی، و شیمیایی با هم تفاوت دارند، و از این نظر، با بسیاری از ساخت و سازهای معماری تفاوت اساسی دارند. به‌همین دلیل آرایش‌های مخصوص الیاف در ساختارهای حشرات می‌تواند ساخت‌وسازهای جدید در معماری را الهام ببخشند. یک مثال خوب از آرایش الیاف وابسته به هندسه موضعی، معماری کانال نفوذی است که توسط معماران و مهندسین در انواع جدید ساختمان‌سازی از آن الهام گرفته شده است. انجمن تحقیقاتی ICD/ITKE2013-2014 نتیجه تحقیقات چندجانبه[۱] است. یک راهبرد از پیش انتخاب شده از مدل‌های بیولوژیکی مبتنی بر ساختارهای الیافی سبک وزن با ویژگی‌های ناهمسان[۲]، پروژه را پیش برد و ساختارهای ترکیبی الیاف‌های طبیعی که کانال‌های پوشش مویی حشره را احاطه کرده‌اند، مانند آن‌هایی که در بال[۳] سوسک[۴]ها (بال محافظ جلویی) وجود دارند، یک مدل همه‌کاره[۵] برای ساختارهای عملکردی سبک وزن ارائه کرده است. تاثیر مواد سیستم، براساس ساماندهی ناهمسان مواد ترکیبی الیاف کیتین است، که یک نوع از پوسته دو لایه را تشکیل می‌دهد. معماری بیولوژیکی که در مقیاس میکرو[۶] و نانو[۷] ارائه می‌شوند، به عنوان مقیاس ماکرو[۸] تعبیر می‌شوند. آرایش‌های مختلف الیاف در اطراف سوراخ نه تنها کل ساختار را تثبیت می‌کند، بلکه علاوه بر آن، از افزایش تنش در سوراخ جلوگیری می‌کند. این نوع معماری نه تنها از لحاظ بصری زیباست، بلکه علی‌رغم وجود سوراخ‌ها، میزان پایداری زیادی را با حداقل مصرف مواد[۹]، فراهم می‌کند. در مقیاس مواد، یکپارچگی ساختاری با استفاده از الیاف ماندگار به‌دست می‌آید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

---

۱ Multidisciplinary
۲ Anisotropic
۳ Elytra
۴ Beetle
۵ Versatile
۶ Micro: یک میلیونیم
۷ Nano: یک میلیاردیم
۸ Macro: بزرگ
۹ Expenditure



نمودار ۴. سازه‌های لانه زنبوری فنی برای استفاده در معماری. دکتر Mirtsch GmbH، با مجوز از Frank Mirtsch. و کندو، معماری داخلی با الهام از حشرات طراحی شده توسط Kyle Minnock، لیدز، انگلستان؛ ماخذ: یافته‌های تحقیق.

۴-۲ مکانیزم‌های تاشو و الهام از حشرات

بال‌های حشرات معمولا قسمت‌های نازک و ظریف دیواره بدن هستند. به منظور جلوگیری از صدمه دیدن، برخی گروه‌ها، مانند سوسک‌ها، گوش‌خزه‌ها[۱] یا بالداران[۲]، حفاظ سخت و ضخیمی برای محافظت از بال‌ها دارند. بال‌های عقبی[۳] باید یک منطقه مشخص را نشان دهد تا از نظر آیرودینامیکی[۴] کارایی داشته باشند و قطعا از بال‌های ضخیم جلویی بزرگ‌تر هستند. تنها راه ممکن برای پوشانده شدن کامل بال‌های عقب توسط بال‌های جلو، تا شدن است.

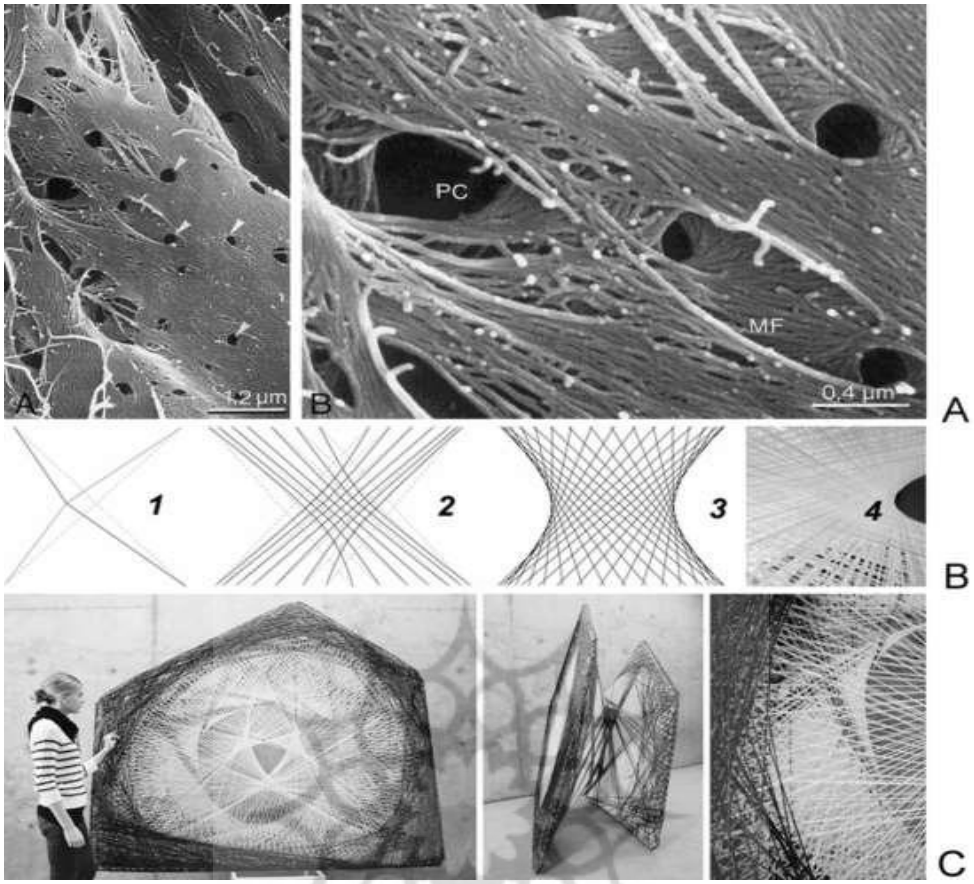
پرتال جامع علوم انسانی

۱ Earwig

۲ Bug

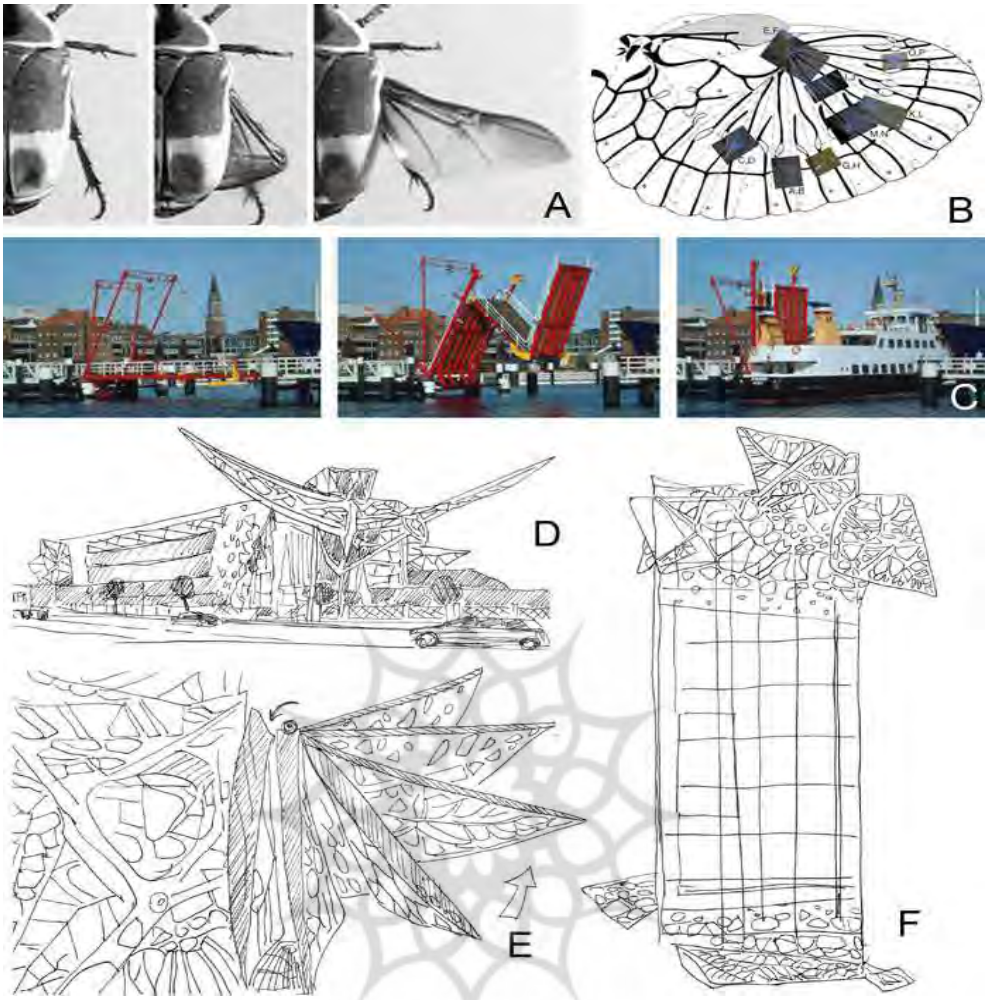
۳ Hid Wing

۴ Aerodynamically: هواپویشی



نمودار ۵. A. آرایش میکروالیافی اطراف کانال‌های متخلخل در پوشش مویی حشرات (اسکن میکروگراف الکترونی): MF، میکروالیافی،PC و فلش‌های سفید، کانال‌های متخلخل. B. سیم‌پیچی بدون هسته: ۱. دو الیاف که چهار نقطه غیر هم‌سطح را به هم متصل می‌کند، ۲. الیافی که تحت تنش الیاف زخمی را تغییر شکل می‌دهند. ۳ و۴. انحنای ضد انعاف ناشی از سیم‌پیچ مارپیچی C. جزییات جزء منفرد و الیاف؛ ماخذ: نگارندگان.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار ۶. AوB. سازه‌های تاشو بال حشرات. A. سوسک پاچنودا مارژیناتا، قاب‌های مفرد از دنباله ویدیویی باز شدن بال. B. توزیع رزیلین، یک پروتئین لاستیکی، در یک بال عقبی گوش‌خره فورفیکولا اریکولاریا. فلورسانس آبی موجود در رزیلین را نشان می‌دهد. C-F. سازه‌های تاشو در معماری. C. پل تاشو در کیل (۱۹۹۸). معمار: ven Gerken Marg و همکاران، مهندس: Schlaich Bergermann و همکاران، D-F. پروژه مرکز نمایشگاهی زوملین در شهر چانگشا (استان هونان چین)؛ ماخذ: عکس از Klaus Frahm

۵- نتیجه‌گیری و جمعبندی

الگوی تاشدن به ترتیب رگه[۱]های و خصوصیات ماده ساختاری بستگی دارد. در نتیجه، ریخت‌شناسی بال حشرات با عملکرد تاشوی اضافه با بال‌های بدون قابلیت تاشدن فرق می‌کند. طراحی بال‌های تاشو یک سازش بین پرواز و تاشدن است، چرا که حین پرواز، رگه‌های طولی[۲] بال باید مقداری سختی داشته باشند، درحالی‌که برای عملکرد تاشدن، رگ‌ها باید مناطق انعطاف‌پذیر را دربرداشته باشد تا خم شدن بدون شکست را امکان‌پذیر کند. به‌عنوان مثال، بال‌های عقبی گوش‌خزه‌ها، به شدت تاشده‌اند و توسط

[۱] Ventation

[۲] Longitudinal

نشـــریه علمی بوطیقای معماری، سال اول، شماره اول

بال‌های جلویی کوچک، ضخیم، و سخت پوشیده شده‌اند. منطقه بال تا نشده ده برابر بزرگ‌تر از بال تاشده است. الگوی تاشدن در گوش‌خزه‌ها نسبتا پیچیده‌تر است و با ترکیب فعالیت عضلات، الگوی چین خوردن[۱] و توزیع خاص رزیلین، یک پروتئین لاستیک مانند، در عمل تاشدن امکان‌پذیر می‌شود. یک الگوی چین خوردن خاص مسئول قابلیت ارتجاعی بال است. بال‌هایی که در فضای سه‌بعدی تا خورده باشد، استحکام پیچشی نامتقارن دارند. مکانیزم دیگری برپایه توزیع طیف‌مانند از سختی و نرمی مواد رزیلینی است. ساختارهای چین خورده، به‌دلیل استحکام خمشی و خصوصیات سبک‌وزنی آن‌ها به شکل گسترده در معماری استفاده می‌شوند. هرچند، تعداد ساختارهای خم‌شونده کاربردی در معماری آنقدر هم زیاد نیست. نمونه بزرگی از چنین سازه جنبشی، پل سه طبقه باسکول در کیل هورن آلمان است. پل با یک سیستم کابلی پیچیده از طناب‌ها، رخ‌ها و غلتک‌های متعدد حرکت می‌کند، و ضمنا، هر تغییر در موقعیت سازه باید تثبیت شود تا با بارهای بالقوه بادهایی که از همه طرف می‌آیند، مقابله کند. هدف معمارانه، ادغام کردن مکانیزم‌های تاشوی واقعی و قابلیت عملکرد آن بود. هرچند، این پل یک مورد منحصر به‌فرد[۲] است.: بدون هیچ پروژه مبنا یا نمونه اولیه برنامه‌ریزی و ساخته شده است. این بدین معناست که طراحی پل الهام گرفته از بیولوژی نیست، گرچه ممکن است مقدار زیادی اطلاعات از مکانیزم ساختارهای تاشوی بیولوزیکی به بهبود نیرومندی، پایداری و ظاهر چنین سازه‌ای در معماری کمک کرده باشد. نمونه جالب توجه دیگری از سازه‌های تاشو، مرکز نمایشگاهی زوملین واقع در شهر چانگشا، استان هونان چین است. ارتفاع کلی ساختمان ۲۶ متر است. از آنجا که زوملین یکی از تولید-کنندگان پیشروی چین در زمینه تجهیزات ماشینی سنگین است، یکی از ضوابط طراحی مرکز نمایشگاهی، تلفیق پویایی الهام گرفته از طبیعت در معماری آن بود. پوسته ساختمان از فولاد و شیشه ساخته شده است. منحصربه‌فردترین جنبه پروژه، قابلیت تغییر شکل ساختمان است. سیستم دو پوسته در سرتاسر ساختمان مسئولیت این تغییرشکل را به‌عهده دارد. پوسته داخلی از سیستم‌های ساختمان و بدنه مراقبت می‌کند، درحالی که پوسته خارجی شامل قسمت‌های قابل کنترل است که می‌تواند با باز و بسته شدن، شکل‌های حیوانات مانند پروانه را تقلید کند. این امر فلسفه شرکت، یعنی نگه‌داری تعادل بین طبیعت و تکنولوژی را بازتاب می‌کند. نمای خارجی از ساختارهای بال حشراتی مانند پروانه‌ها و سنجاقک‌ها الهام گرفته است. به‌منظور دست‌یابی به طبیعت اصولی و بنیانی الگوهای یافته شده در بال این حشرات، معماران ابزار مدل‌سازی شاخصی برای ایجاد و طراحی نمای خارجی استفاده کرده‌اند. هرچند، این روش ممکن است نه تنها برای ساخت ساختمان‌هایی با معانی نمادین خاص، بلکه برای ساختمان‌های با قابلیت تغییر شکل، یا بخشی از ساختمان‌ها با کاربری‌های متفاوت هم‌زمان (فضاهای خواب، غذاخوری، جلسات و ...) نیز مورد استفاده قرار گیرد.

---

۱ Pleating

۲ Unique

(*) اعلام عدم تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است. (تعارض منافع به حالتی گفته می‌شود که منافع شخصی مادی یا غیرمادی نویسنده یا نویسندگان با نتایج پژوهش در تعارض باشد و این موضوع بر روند انجام پژوهش یا اعلام صادقانهٔ نتایج تأثیر بگذارد).

۶- منابع و ماخذ

۱. گلابچی، محمود و هادی محمودی نژاد (۱۳۹۸) بیونیک در طراحی معماری، تهران، انتشارات دانشگاه پارس.

۲. روحی زاده، امیررضا و دیگران (۱۳۹۷) بهره گیری از طبیعت در آموزش طراحی، باغ نظر، سال ۱۶، شماره ۶۸

۳. آنتونیادس، آنتونی (۱۳۸۱) بوطیقای معماری (آفرینش در معماری) تئوری طراحی: راهبردهای نامحسوس به سوی خلّاقیت معماری، ترجمه احمدرضا آی، انتشارات سروش، تهران.

۴. تقی زاده، کتایون (۱۳۸۵) آموزه هایی از سازه های طبیعی، درسهایی برای معماران، هنرهای زیبا، شماره ۲۸.

۵. علی‌آبادی، محمد (۱۳۸۲) جزوه انسان، طبیعت، معماری، برخی اصول سامانه‌ای برداشت شده از توحید مفضل، دانشگاه علم و صنعت ایران.

6. Chapman, A. D. (2006) Numbers of living species in Australia and the World. Canberra: Australian
7. Biological Resources Study. ISBN 978-0-642-56850-2.
8. 2. Erwin, T. L. (1982) Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. Coleopt.
9. Bull. 36: 74–75.
10. 3. Erwin, T. L. (1997) Biodiversity at its utmost: Tropical forest beetles. In: Reaka-Kudla, M. L., and Wilson, D.
11. E., and Wilson, E. O. (eds.) Biodiversity II. Washington, D.C: Joseph Henry Press, pp. 27-40.
12. 4. Novotny, V., Basset, Y., Miller, S. E., Weiblen, G. D., Bremer, B., Cizek, L., and Drozd, P. (2002) Low
13. Host specificity of herbivorous insects in a tropical forest. Nature 416 (6883): 841-844.
14. 5. Schmitt, M., Büscher, T. H., Gorb, S. N., and Rajabi, H. (2018) how does a slender tibia resist buckling?
15. Effect of material, structural and geometric characteristics on buckling behaviour of the hindleg
16. Tibia in stick insect postembryonic development. Journal of Experimental Biology, 221(4):
17. jeb173047.
18. 6. Hansell, M. (2007) Built by animals: The natural history of animal architecture. New York: Oxford
19. University Press.
20. 7. Gruber, P. (2011) Biomimetics in architecture: Architecture of life and buildings. Vienna, New York:
21. Springer.
22. Gorb, S. N., and Gorb, E. V. (2016) Insect-inspired architecture: Insects and other arthropods as a source for creative design in architecture. In: Biomimetic research for architecture and building construction: Biological design and integrative structures (Knippers, J., Nickel, K. G. and Speck, T. eds.). Springer, Cham, Switzerland. pp. 57-83.
23. Gorb, S. N., and Gorb, E. V. (2019) Aquatic Insects as a Source of Biomimetics. In: Aquatic Insects –Behaviour and Ecology (Eds.: Del-Claro, K., Guillermo, R.). Springer, Cham, pp. 401-426.

24. Pohl, G., and Nachtigall, W. (2015) Biomimetics for architecture & design. Springer International Publishing Switzerland. Doi: 10.1007/978-3-319-19120-1_7.
25. Minnock, K. (2016) http://www.benhuckerbydesign.co.uk/team/kyle-minnock
26. Wirth, M., Wolff, J. O., Appel, E., and Gorb, S. N. (2019) Ultrastructure of spider thread anchorages. Journal of Morphology, 280(4): 534–543. DOI: 10.1002/jmor.20962.
27. Hepburn, H. R. (1985) Structure of the integument. In: Kerkut, G.A., and Gilbert, L.I. (eds.) Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. Oxford et al.: Pergamon Press, pp. 1-58.
28. Hepburn, H. R. and Chandler, H. D. (1976) Material properties of arthropod cuticles: the arthrodial membranes. J. Comp. Physiol. A 109: 177-198.
29. Hepburn, H. R., and Chandler, H. D. (1978) tensile mechanical properties and transconformational changes of chitins. In: Muzzarelli, R. A. and Parisier E. R. (eds.) Proceedings of the first international conference on chitin/chitosan. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, pp. 124-143.
30. Vincent, J. F. V., and Wood, S. D. E. (1972) Mechanism of abdominal extension during oviposition in Locusta. Nature 235: 167-168.
31. Vincent, J. F. V. (1981) Morphology and design of the extensible intersegmental membrane of the female migratory locust. Tiss. Cell. 13: 18-31.
32. Büsse, S. and Gorb, S. N. (2018) Material composition of the mouthpart cuticle in a damselfly larva (Insecta: Odonata) and its biomechanical significance. Royal Society Open Science, 5(6): 172117.
33. Wang, L.-Y., Jafarpour, M., Lin, C.-P., Appel, E., Gorb, S. N., and Rajabi, H. (2019) Endocuticle sclerotisation increases the mechanical stability of cuticle. Soft Matter, 15: 8272-8278, DOI: 10.1039/C9SM01687B.
34. Hackman, R. H., and Goldberg, M. (1987) Comparative study of some expanding arthropod cuticles: the relation between composition, structure and function. J. Insect Physiol. 33: 39-50.
35. Gorb, S. N. (2000) Ultrastructure of the neck membrane in dragonflies (Odonata). J. Zool. Lond. 250:479-494.
36. Kovalev, A., Filippov, A., and Gorb, S. N. (2018a) Slow viscoelastic response of resilin. Journal of Comparative Physiology A, 204(4): 409-417.
37. Gorb, S. N. (1997a) Porous channels in the cuticle of the head-arrester system in dragon/damselflies (Insecta: Odonata). Microsc. Res. Techn. 37 (5/6): 583-591.
38. Gorb, S. N. (1997b) Ultrastructural architecture of the microtrichia of the insect cuticle. J. Morphol. 234: 1-10. Dörstelmann, M., Parascho, P., Prado, M., Menges, A., and Knippers, J. (2014) Integrative
39. Computational design methodologies for modular architectural fiber composite morphologies. In: Proceedings of ACADIA 2014. Los Angeles, pp. 219-228.
40. Parascho, S., Knippers, J., Dörstelmann, M., Prado, M. and Menges, A. (2014) Modular fibrous morphologies: Computational design, simulation and fabrication of differentiated fibre composite building components. In P. Block et al. (eds.), Advances in architectural geometry, Springer International Publishing, Switzerland, pp. 29-45. DOI 10.1007/978-3-319-11418-7_3
41. Knippers, J., and Speck, T. (2012) Design and construction principles in nature and architecture. Bioinspir. Biomim. 7015002 (10pp.). doi: 10.1088/1748-3182/7/1/015002.

چـــــــکیده لاتیـــــــــــن

مسعود حاجی‌بگلو- کارشناس ارشد معماری، واحد مهدیشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، مهدیشهر، ایران

هادی محمودی‌نژاد- دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حمید بیرقی- استادیار گروه عمران، واحد مهدیشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، مهدیشهر، ایران

Biomimicry Architecture and Immigration for Sustainable Urban development

Abstract

The materials, structures, planes and structures of the insect body are great scientific trends, but such basic knowledge about the operational principles of these structures is very important for technical applications, especially in architecture. Some of the most challenging challenges in today s architecture are versatility, in energy consumption and sustainability, problems that bugs have partially resolved during their evolution. The researchers have collected a large amount of information about the structure and function of this structure and living levels. This information can be optimized in order to. The main areas of technology, which can be used for insects inspired by insects, are: 1. new materials, 2 - structures, 3 - level technologies, 4 - link technology and, 5 - visual and non - visual sciences. Several selected samples are discussed in this short study, but with more than one million species described as a source for inspiration, the expectation of many of the insects is inspired by insects in architecture. The integration of the insects with architecture will improve the performance of future buildings. However, do not yet have a complete understanding of the structural function of matter and the structure of insects. Therefore, many of the most fundamental research researches have been applied. Also, testing for new revelations of insects is likely to be the most important research field in the near future

Keywords: *insect, biomimicry architecture, morphology, structure.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی