فرهنگ و زیست فناوری معماری

نشریه علمی فرهنگ و زیست‌فناوری معماری

پاییز ۱۴۰۲، سال ۳، پیاپی ۱۰

بررسی سایبان‌های قابل تطبیق بایونیکی در معماری واکنشی و سینتیک

زمان دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۱، زمان پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۱، زمان انتشار: ۱۴۰۲/۵/۲۲

منصور یگانه[1]- دانشی‌ار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

خسرو دانشجو- دانشیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

معماری واکنشی، نوعی معماری است که شرایط واقعی را با استفاده از حسگرها اندازه‌گیری می‌کند تا ساختمان بتواند خود را با شرایط اطراف از نظر فرم و شکل و رنگ و مشخصات به‌طور واکنشی مطابقت دهد. این پژوهش بر پوشش‌های قابل تطبیق بایونیکی (سایبان) بکاررفته در معماری واکنشی معاصر را ارائه داده و به بررسی رویکردهای مختلف طراحی و تحلیل مختصری از مطالعات موردی می‌پردازد. هدف پژوهش، گردآوری نمونه‌های ساخته‌شده مجموعه نماهای قابل‌تطبیق، مطابق با آخرین پیشرفت‌های مدرن و نیز درک عملکرد زیست‌محیطی آن‌ها است. روش تحقیق توصیفی و تحلیل کالبدی نمونه‌های کاربردی بوده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که سیستم‌های نمای تطبیقی به مقدار زیادی انرژی نیاز دارند تا حسگرها و محرک‌ها را فعال کنند که باید به‌طور ایده‌آل کم‌تر از صرفه‌جویی در انرژی باشد. این جنبه‌ها باید برای تضمین پایداری سیستم‌ها در نظر گرفته شوند. از یک‌سو، افزایش عملکرد با کاهش مصرف انرژی با بهینه‌سازی پوشش ساختمان و در طرف دیگر، به حداقل رساندن مصرف انرژی و مصرف مواد خام (با درنظرگرفتن انرژی نهفته اجزای ساختمان) به دست می‌آید.

واژگان کلیدی: سایبان انطباقی، معماری پاسخگو، معماری جنبشی.

[1] مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۹۱۲۸۹۵۵۳، رایانامه: yeghane.mn@gmail.com

در زمانه‌ای که وجه نمایشی معماری غالب است، آقای دکتر هلندر و خانم دکتر ساسمن در کتاب معماری شناختی به ما یادآوری می‌کنند که چگونه ساختمان‌ها و شهرها عمیقاً بر زندگی‌مان تأثیر میگذارند. طراحی بر حواس، روان و طبع ما تأثیرگذار است و از تاریخ و تکامل ما به عنوان یک گونه زیستی بهره می‌گیرد. این کتاب ما را به اصول بنیادینی باز می‌گرداند که در آن طراحی معماری باید به احساسات و ادراکات اساسی انسان‌ها توجه کرده و پاسخ دهد. این موضوع، گفتمان معماری را به نقطه‌ای بازمی‌گرداند که عموم مردم قادر به مشارکت در ارزیابی محیط مصنوع هستند(موشه صفدی بنقل از متکی و دیگران، ۱۳۹۹).

۱. مقدمه و بیان مساله

عبارت «معماری واکنشی» اولین‌بار توسط «نیکولاس نگروپونت» در سال ۱۹۶۰ استفاده شد که در آن زمان مشکلات طراحی فضایی توسط اِعمال سایبرنتیک گسترده بر معماری درحال بررسی بود. «نگروپونت» اشاره کرد که معماری واکنشی، محصول طبیعی حاصل از ترکیب توان رایانه‌ای با سازه‌ها و فضاهای ساختمانی است و این روش بازده بیشتری داشته و ساختمان‌های بهتری می‌توان با آن ساخت. «معماری واکنشی»[1] یکی از شاخه‌های درحال پیشرفت در معماری عملی و نظری است. معماری واکنشی، نوعی معماری است که شرایط واقعی را اندازه‌گیری می‌کند (با استفاده از حسگرها) تا ساختمان بتواند خود را با شرایط اطراف از نظر فرم و شکل و رنگ و مشخصات، به‌طور واکنشی مطابقت دهد (به‌وسیله عملگر مکانیکی) (Datta, Hanafin, Pitts, 2009, 132). نماهای متحرک به‌منظور حفظ و کاهش مصرف انرژی در ساختمان قابلیت تطبیق با شرایط محیطی را داشته و شرایط آسایش کاربران را نیز در مواردی با تنظیم میزان حرارت خورشید، نور ورودی، کنترل تهویه طبیعی و دربرخی از حالات تولید انرژی فراهم می‌کنند. این نماها می‌توانند با توجه به شرایط مختلف محیطی تغییر حالت دهند و زمینه کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها را فراهم کنند. نمونه‌های زیادی از این دست نماها وجود دارد که به‌خوبی به کاهش مصرف و در برخی از حالات به تولید انرژی در ساختمان‌ها کمک کرده‌اند (ساسمن، ۱۳۹۹، ص ۳۶). مکانیسم حرکتی در نماهای متحرک نیز مسئله‌ای مهم می‌باشد. از گذشته تا به امروز برخی از این نماها با مکانیسم‌های دستی باز و بسته می دند. با پیشرفت فن‌آوری، سیستم های الکترومکانیکی و هوشمند جایگزین سیستم‌های دستی شده‌اند. نحوه کنترل این مکانیسم‌ها نیز با روش‌های مختلفی مانند روش‌های مستقیم، غیرمستقیم و ... کنترل می‌شوند. در برخی از حالات هوشمند سازی این نوع نماها بـا استفاده از حـس‌گرهای خاص انجام پذیرفته است. در نمونه‌های پیشرفته‌تر امروزی سیستم‌های کاملاً هوشمندی وجود دارد که با تغییر در خصوصیات ذاتی مصالح‌شان تغییر حالت می‌دهند. این مصالح با تغییر در شبکه کریستالی‌شان تغییر حالت می‌دهند و مکانیسم حرکتی هوشمندی برای نماها ایجاد می‌کنند. با توجه به پژوهش موسسه فیزیکی در ملدوژم، نماهای ساختمانی، مسئول بیش از ۴۰ درصد از تلفات گرما در زمستان و و همچنین مسبب گرمایش بیش از حد در تابستان هستند که

[1] Responsive architecture

باعث بکارگیری سیستم‌های تهویه هوای لازم برای تضمین آرامش درونی مناسب می‌شود. به‌همین دلیل بخش ساختمانی بالاترین میزان مصرف انرژی، حتی بزرگ‌تر از صنعت و حمل و نقل را ثبت می‌کند. استفاده از سیستم‌های سایه‌دهی انطباقی، می‌تواند در کاهش تقاضای انرژی ساختمان‌ها به دو روش موثر باشد: با توجه به مقاومت حرارتی مکمل در موقعیت پوشش آن‌ها ممکن است نیاز انرژی حرارتی را در فصل زمستان کاهش دهند، درحالی‌که در تابستان آن‌ها از نما در برابر افزایش گرمای خورشید محافظت می‌کنند و نیاز به انرژی خنک‌کنندگی را کاهش می‌دهند. این امر، بر پتانسیلی که در زمینه سیستم‌های طراحی نمای خارجی وجود دارد، تاکید می‌کند. روند فعلی معماری در جهت پوشش‌های پویا و سازگار است که خود را برای تغییرات خارجی و داخلی در شرایط آب و هوایی و رفتار کاربران، تغییر می‌دهد (Datta, Andrei, Chang, 2016, 76). علی‌رغم پیشرفت‌های اخیر و برخی از پروژه‌های برجسته، بازار در جایی قرار دارد که هنوز هم تحت سلطه کرکره‌ها و پرده‌های سنتی قرار دارد. با این حال، این سیستم‌ها در سرعت‌های بالای باد شکست می‌خورند و به نماهای خارجی و شبکه‌های مستطیلی محدود می‌شوند. با این‌حال، معماری بلندپروازانه امروزی، گرایشی به سمت مجموعه نماهای منحنی و مثلثی پیچیده دارد. این روند به‌ویژه در خاورمیانه به‌چشم می‌خورد، به‌خصوص این‌که در آن نیاز به وسایل سایه‌اندازی خارجی ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله به بررسی پوشش‌های قابل تطبیق زیست‌محیطی در معماری واکنشی و سینتیک پرداخته شده و نکاتی چند در این رابطه مورد اشاره قرار می‌گیرد.

۲. روش‌شناسی و پیشینه تحقیق

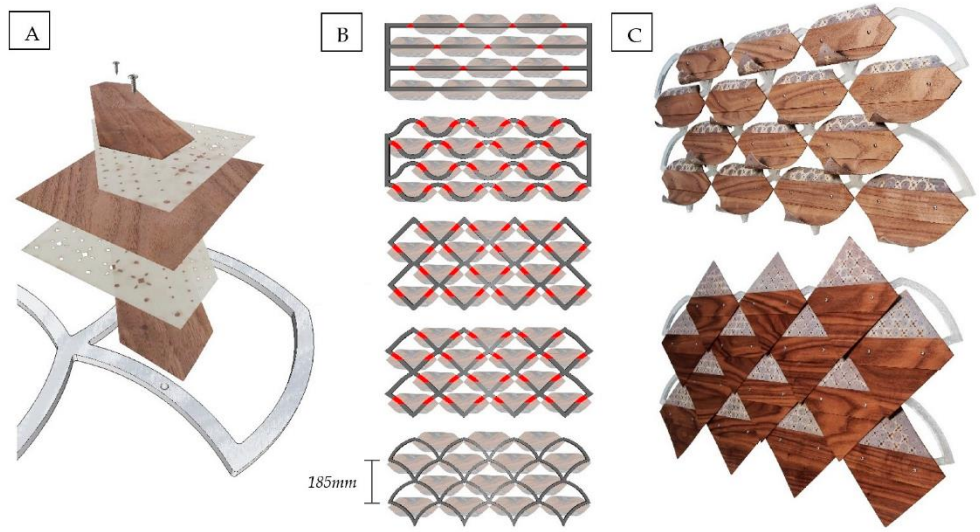
برای مقابله با این مشکلات برای صرفه‌جویی انرژی، دو روش مناسب وجود دارد که ممکن است متمایز باشند. در یک طرف، وسایل سایه‌اندازی مکانیکی وجود دارند، درحالی‌که در طرف دیگر راه‌حل‌های شیمیایی وجود دارند که به اصطلاح پوشش‌شیشه‌ای بازتابنده نامیده می‌شوند. در حالت اول، المان‌های مکانیکی اضافی به نمای خارجی یا داخلی نما اضافه شده یا به صورت نمای خارجی یکپارچه (دو لایه پوسته) اضافه می‌شوند و به تنظیم انعکاس نور و تابش خورشیدی از طریق حرکات مکانیکی و روش‌های کنترلی (رویکرد مکانیکی)، کمک می‌کنند. در حالت دوم از انواع نوآوریهای امروزی استفاده می‌شود، که ویژگی‌های نوری آن‌ها را نسبت به متغیرهای خارجی یعنی اشعه خورشید، کاربرد ولتاژ DC کم (شیشه الکتروکرومیک) یا با استفاده از هیدروژن (شیشه‌های گازوکرومیک) تغییر می‌دهد. باید اذعان داشت که بر طبق رویکرد اتخاذی، بررسی چگونگی مسیر تکامل در عملکرد انسان‌ها و تعامل او با محیط همچون راه رفتن، فکر کردن، ادراک، اولویت نظر به محیط پیرامون و حس زیبایی شناختی، همه ریشه در علوم زیست‌شناختی دارند که طی هزاره‌ها تکامل یافته است. سؤال مهم در این میان، شناخت سمت‌وسوی تکامل ادرا کی شناختی است.

براساس آنچه در فوق گفته شد، روش تحقیق توصیفی و تحلیلی است که با ابزار مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی به بررسی پوشش‌های متحرک واکنشی در معماری پرداخته است.

۳. ادبیات تحقیق

۳-۱ معماری پاسخده و واکنشی

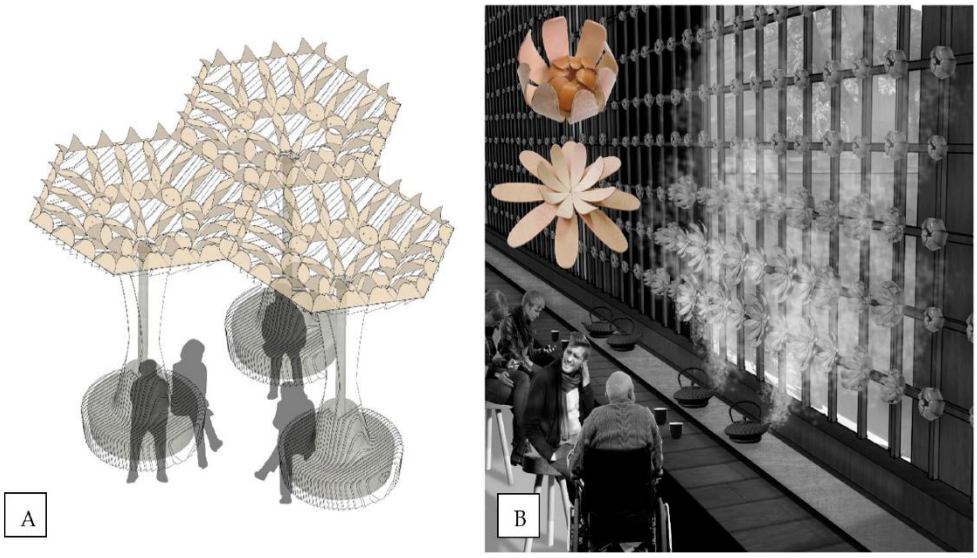
معماری‌های واکنشی این مهم را هدف گرفته‌اند که روش‌های معماری را به وسیله افزایش بازدهی ساختمان‌ها با سیستم‌های کنترلی واکنشی (حسگر، سیستم‌های کنترلی و عملگر مکانیکی) تصحیح کرده و توسعه دهند و همچنین ساختمان‌هایی بسازند که شرایط مربوط به فناوری و فرهنگ پیرامون ما را منعکس کند. وجه تمایز معماری‌های واکنشی با طراحی‌های تعاملی دیگر، به‌کارگیری «فناوری-های هوشمند» و واکنشی در بافت‌های اصلی ساختمان است. به‌عنوان مثال در استفاده از فناوری واکنشی در سیستم ساختاری یک ساختمان، معماران این توانایی را دارند که شکل ساختمان را به شرایط محیطی آن پیوند دهند. این مسئله معماران را قادر می‌کند تا روشی را که در طراحی و ساخت فضا استفاده می‌کنند مورد تجدیدنظر قرار داده و قوانین و روش‌های اصلی را به پیش ببرند، نه این که فناوری هوشمند را به ذهنیتی که از «ساختمان» داریم سنجاق کنند و کار را سرهم‌بندی کنند (Datta, Andrei, Chang, 2016, 124).



تصویر ۱. نمونه پوسته‌های انطابق پذیر در معماری واکنشی؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.

عبارت «معماری واکنشی» اولین‌بار توسط «نیکولاس نگروپونت» در سال ۱۹۶۰ استفاده شد که در آن زمان مشکلات طراحی فضایی توسط اِعمال سایبرنتیک بر معماری در حال بررسی بود. نگروپونت اشاره کرد که معماری واکنشی، محصول طبیعی حاصل از ترکیب توان رایانه‌ای با سازه‌ها و فضاهای ساختمانی است و این روش بازده بیشتری داشته و ساختمان‌های بهتری می‌توان با آن ساخت. وی همچنین این ترکیب را شامل مفاهیم تشخیص، هدف، نوسانات وابسته به بافت، مفهوم، استفاده از رایانه و ترکیب موفق آن با معماری (درحال حاضر) دانست. نتایج مثبت حاصل از ترکیب این چند

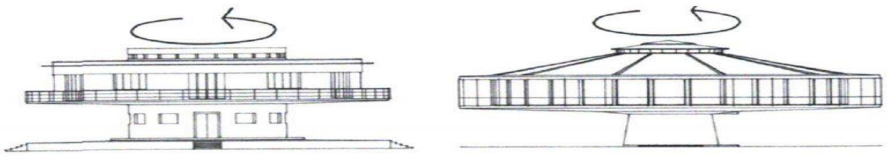
ایده به مدت حدود هشت سال دوام داشت. چند تئوری مهم دیگر که از این ایده‌ها نشأت گرفته بود، اما امروزه تلاش‌های نیکولاس نگروپونت در حوزه معماری کاملاً ملموس است. کارهای او، معماری را به موضوعی فنی، مثمر ثمر و کاربردی تبدیل کرد (Bullivant, Lucy, 2007). از زمان نگروپونت تا به حال، کارهای زیادی در مورد معماری واکنشی انجام شده‌است، اما بیشتر جنبه زیبایی داشته‌است تا جنبه کارکردی. کارهای Diller و Scofidio و-Aegis Hypo(dECOi) Surfaceو (NOX)The Freshwater Pavilion, NL را می‌توان به عنوان معماری واکنشی در نظر گرفت. تمام این کارها، نوسانات پیرامون ساختمان را در نظر می‌گیرند و شکل ساختمان را متناسب با این نوسانات، تغییر می‌دهند (Sevtsuk, Kalvo,2014, 76). پروژه Blur که توسط Diller و Scofidio انجام شد مبتنی بر مشخصه واکنشی ابر است که وقتی باد می‌وزد شکل خود را تغییر می‌دهد. در کارهای dECOi واکنشی بودن به وسیله نماهایی از جلو ساختمان که قابل برنامه نویسی هستند انجام می‌شود و نهایتاً در کارهای NOX قسمت‌های داخلی ساختمان به صورت دیداری‌شنیداری طراحی شده‌است (Bullivant, Lucy, 2005). تمام این کارها بستگی به قابلیت رایانه دارد که که مدل‌های دیجیتال قابل برنامه‌نویسی را به‌طور پیوسته محاسبه کرده و به دنیای واقعی و رویدادهای آن که به این مدل شکل می‌دهد متصل کند. در نهایت، توسعه استفاده از سیستم واکنشی و تاریخچه آن در رابطه با تئوری معماری سال‌های اخیر را می‌توان در سخنرانی Tristan d'Estree Sterkدر افتتاحیه ACADIA 2009 یافت. این سخنرانی با عنوان «اندیشه‌هایی درباره Gen X» تفکراتی در مورد رشد اندازه‌گیری پیوسته در معماری ارائه شده‌است (Datta, Andrei, Chang, 2016, 76).



تصویر ۱. نمونه سایبان‌های بایونیکی با الهام از فرم گل در معماری واکنشی؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.

۳-۲ معماری متحرک سینتیک

تعاریف ساده وزیادی برای معماری متحرک وجود دارد. «ویلیبیام زوک و راجرد کلارک» معماری متحرک را این‌گونه تعریف کرده‌اند: معماری که شکل آن ذاتاً می‌تواند دگردیس‌پذیر، بسط‌پذیر و یا قادر به حرکت جنبشی باشد. آن‌ها همچنین مفهوم معماری متحرک را تبدیل معماری به یک فرایند مداوم حرکتی، حتی زمانی که ساختمان کاملا ساخته شده باشد توصیف کرده‌اند (Zuk & Clark, 1970). یکی از ساده‌ترین تعاریف در این زمینه را «رابرت کروننبرگ» بیان کرده است، او معماری متحرک را معماری بیان می‌کند که در آن ساختمان یا اجزای آن دارای قابلیت تغییر محل و یا تغییر هندسه باشند (Kronenberg, Lim and Chii, 2003). «مایکل فاکس» معماری متحرک را معماری با قابلیت جابه‌جایی و قرارگیری متنوع شکلی تعریف کرده است. بنابراین چنین سیستم‌هایی می‌تواند در مکان‌های مختلف و با اهداف متفاوت مورد استفاده قرار گیرند که علاوه بر جنبه عملکردی‌شان جنبه سمبلیک نیز داشته باشند. سازه‌های متحرک موضوع جدیدی در معماری نیستند. «لئوناردو داوینچی» در سال ۱۴۰۰ میلادی چندین سازه متحرک جرثقیلی برای جابه‌جایی اشیاء سنگین طراحی کرد. معماری متحرک به معنای امروزی در سه دهه اول قرن بیستم میلادی ظاهر شدند. یکی از اولین نمونه‌های معماری متحرک خانه گردان طراحی شده توسط «پیر نروی» در سال ۱۹۳۴ میلادی بود که نمونه‌ای شبیه به آن در سال ۱۹۶۰ توسط «ریچارد فاستر» ساخته شد. غرفه جنرال الکتریک در سال ۱۹۶۴ نیز یک مثال خوب از معماری متحرک می‌باشد (El-Zanfaly, 2010). «سانتیاگو کالاتراوا» با الهام از بال پرندگان موزه میلواکی را طراحی کرد، وی در این موزه از بال‌های مفصل‌دار که به دکل اصلی اتصال داده شده‌اند استفاده کرده است. این بال‌ها به خوبی حس پرواز را در موزه ایجاد کرده و چشم اندازهای متفاوتی را در طول روز و شب به وجود می‌آورند، همچنین آن‌ها برای کنترل نور و حرارت باز و بسته می شوند. این ساختمان یک نمونه عالی از معماری متحرک در کنترل شرایط محیطی و همچنین ایجاد حس زیبایی‌شناسی است.



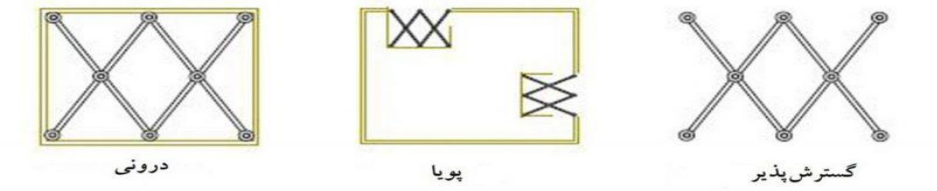
تصویر ۳. خانه گردان نروی که در سال ۱۹۶۰ نمونه‌ای شبیه به آن توسط ریچارد فاستر ساخته و نمونه واکنش معماری به نحیط و اقلیم است.

تصویر ۴.. موزه میلواکی با بال های متحرک طراحی شده توسط کالاتراوا؛ ماخذ: آرشیو نگارنده.

۳-۳ گونه‌شناسی معماری متحرک

حرکت از گذشته تا به امروز در معماری وجود داشته است. درها و پنجره‌ها نمونه سنتی حرکت عناصر در معماری به‌صورت دستی هستند. از آن به بعد سیستم‌ها در انواع دستی، مکانیکی، الکترونیکی و هوشمند توسعه زیادی را تجربه کرده‌اند و در بخش‌هایی از سیستم‌های سیرکولاسیون، سیستم‌های خدماتی و یا بخش‌هایی از پوشش ساختمان در اشکال مختلف در معماری ظاهر شده‌اند. تکنیک‌های ساخت این نوع سیستم‌ها در نیمه‌دوم قرن بیستم میلادی با پیشرفت سیستم‌های الکترونیکی و دیجیتال توسعه چشمگیری پیدا کرد. استفاده از سیستم‌های متحرک در معماری دلایل مختلفی دارد و این نوع سیستم را می‌توانند تاثیر بسیار زیادی درکیفیت ساختمان‌ها داشته باشند. از لحاظ طبقه بندی، سیستم‌های حرکتی در معماری به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند:

- سازه‌های متحرک گسترش پذیر یا قابل توسعه؛
- سازه‌های متحرک پویا؛ و
- سازه‌های متحرک درونی یا جاسازی شده.



نمودار ۱. گونه شناسی معماری متحرک؛ ماخذ: ترسیم نگارنده.

۳-۲ سایه‌اندازی تطبیقی

نما، به‌طور سنتی صفحه عمودی ساخت‌وساز را توصیف می‌کند، درحالی‌که اصطلاح پوشش اخیرا بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌طور کلی به فضای کلی ساختمان اشاره دارد. در گذشته، پوسته ساختمان، بر تمایز بین روکش و بخش ساختاری تاکید می‌کرد، اما اخیرا بحث مرتبط با پوشش به عنوان یک سیستم هوشمند محیطی، قادر به تبادل انرژی، مواد و اطلاعات است (Velikov, 2020, 87).

۳-۲ سینماتیک و سینتیک

علم «سینتیک»[۱](جنبشی) را مطالعه قوانین حرکت با توجه به نیروها و توده‌های درگیر در آن می‌دانند. اگر علت حرکت سیستم یک تغییر شکل الاستیکی باشد، سیستم تحت دسته‌بندی سینتیک الاستیکی قرار می‌گیرد. سینماتیک[۲] نیز مطالعه حرکت بدون در نظر گرفتن توده یا نیروهای خارجی که ممکن است باعث حرکت شود، دانسته شده است (Datta, Andrei, Chang, 2016, 76). مطالعه سیستم‌های جنبشی با توصیف هندسی سیستم و شرایط اولیه مرتبط با ارزش‌های مکان ،آغاز می‌شود. در رشته‌های مهندسی، از سینماتیک (جنبش‌شناسی) برای توصیف قوانین حرکت سیستم‌های ترکیب-شده با قطعات پیوسته و گاهی اوقات به عنوان «هندسه حرکت» استفاده می‌شود.

۳-۳ انطباق و پاسخگویی در معماری

قابل تغییرشکل به معنی مشابه با قابلیت تبدیل، قابل تغییرشکل می‌باشد که می‌تواند مربوط به اشیا یا ساختارهایی باشد که ویژگی ذاتی تغییر کنترل‌شده‌ای را دارند. اجسام با قابلیت تغییر شکل، می‌توانند جابه‌جا شوند، و قابلیت جمع شدن یا تغییر شکل را داشته باشند و کنشی[۳] بودن معماری،

---

[۱] Kinetics سینتیک (مکانیک)، شاخه‌ای از دانش دینامیک که به بررسی حرکت اجسام با در نظر گرفتن نیروهای وارده می‌پردازد

[۲] **سینماتیک** (Kinematics از واژهٔ یونانی κινεῖν یا kinein به معنای حرکت‌کردن) شاخه‌ای از دانش مکانیک کلاسیک است که حرکت اجسام و سامانه‌ها (گروهی از اجسام) را بدون درنظرگرفتن نیروهای عامل حرکت بررسی می‌کند.

[۳] Performative

توانایی ایجاد پوسته برای وساطت بین راحتی مورد نیاز کاربران و محیط اطراف آن است. پوشش‌های کنشی، ظرفیت کنترل عوامل خارجی در رابطه با عملکردهای از پیش تعیین‌شده معماری را دارند. انطباقی بودن در معماری، به معنای توانایی تنظیم و انطباق با تغییر شرایط به خودی خود است و پوشش‌های انطباقی، قابلیت تغییر رفتار، ویژگی‌ها یا پیکربندی‌های خود را در رابطه با تغییرات خارجی دارند (Sevtsuk, Kalvo,2014, 23). درباره معماری پاسخگو[1] هم باید گفت که این عبارت به یک سیستم واکنشی اشاره دارد، یعنی سیستمی که حرکت می‌کند و مخالف اصطلاح دستکاری است که به این معنی است که سیستم از بیرون حرکت و کنترل می‌شود و به محیط‌های غیر فعال اشاره دارد. تعریف «نیکلاس نیگروپونت» از این اصطلاح به صورت زیر است: اصطلاح پاسخگو یا واکنشی به این معنی است که محیطی که دارای نقش فعال است، به تغییرات درجه کم‌تر یا بیشتر به عنوان نتیجه و عملکرد محاسبات پیچیده یا ساده، پاسخ می‌دهد.

۳-۴ رویکردهای سینماتیک برای انطباق

این نسل جدید نماهای خارجی (یا پوشش‌های ساختمانی) متشکل از سیستم‌های چند کاربردی و بسیار تطبیقی است که در آن جدا کننده فیزیکی، یا بخشی از آن، بین محیط داخلی و خارجی قادر به تغییر عملکردها، ویژگی‌ها یا رفتار در طول زمان در پاسخ به الزامات عملکردی گذرا و شرایط مرزی، با هدف بهبود عملکرد کلی ساختمان است. علاوه بر بهینه‌سازی استفاده از انرژی، سیستم‌های سایه‌انداز تطبیقی به نظر یک جواب با ارزش برای افزایش پیچیدگی در معماری معاصر می‌باشد. « کارایی دستگاه سایبان‌آفتاب»[2] مربوط به زاویه ارتفاع خورشید است و در طول روز و سال تغییر می‌کند. بنابراین سیستم‌های تطبیقی نسبت به سیستم‌های ثابت مناسب‌تر به نظر می‌رسند، زیرا آن‌ها را می توان در رابطه با تغییر تابش خورشیدی تنظیم کرد، که به کنترل انفرادی، سایه‌اندازی بهینه و ماکزیمم کردن استفاده از نور روز کمک می‌کند. به نظر می‌رسد که سیستم‌های سایه‌اندازی تطبیقی ممکن است تاثیر قابل‌توجهی بر عملکرد تهویه یک ساختمان داشته باشند، اگرچه هنوز به طور گسترده استفاده نمی‌شوند. نماهای ساختمان مدرن با هندسه پیچیده خود، محدودیت‌های هندسی و مکانیکی را برای طراحی سیستم‌های سایه افکنی، ایجاد می‌کنند (Sterk, T. 2009).

۴. بیان یافته‌های تحقیق

۴-۱ سایبان الاستیکی بایونیکی

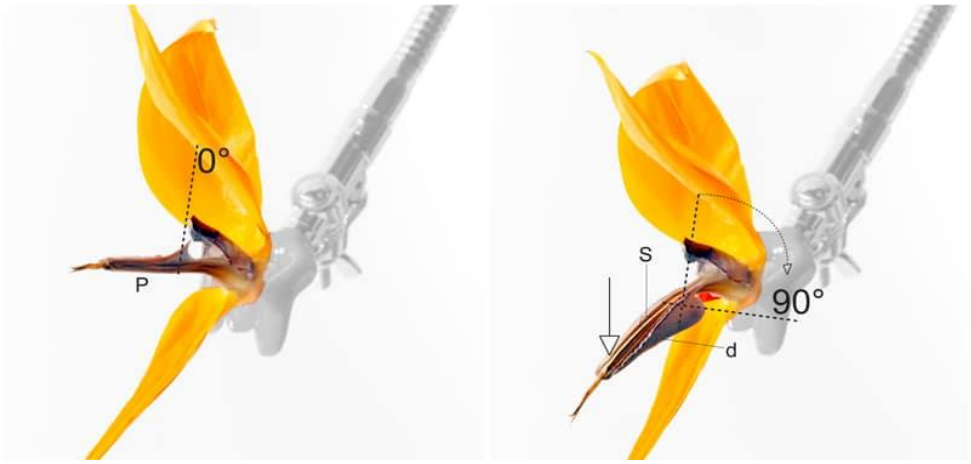
این سایبان‌ها به‌عنوان یک روش جدید برای سازگاری بدون نیاز به سیستم‌های پیچیده سینتیک الاستیکی، استفاده می‌شوند. در اینجا سازگاری مبتنی بر تغییرشکل خمشی الاستیکی سایبان برمبنای الگوهای طبیعی است. «فلاکتوفین»، یک نمونه از سیستم سایه‌بان الاستیکی الهام‌گرفته شده زیستی

---

[1] Responsive

[2] sunshading

(بایونیکی) است. اصل تغییر شکل از طریق تحلیل بیولوژیکی تغییر شکل‌های برگشت‌پذیر در حرکات گیاهان بدست می‌آید و سپس به یک ساختار قابل‌انعطاف که منجر به ساخت تکنیکی یک ابزار سایه‌بان بدون لبه می‌شود، کشیده می‌شود. سایه‌افکنی توسط دو باله محصور شده به یک عنصر میله‌ای به کار گرفته شده‌است. یک ویژگی مهم این است که سایه می‌تواند ثبات ساختاری نیز در پیکربندی‌های واسط بین موقعیت‌های باز و نزدیک بدست آورد (Datta, Andrei, Chang, 2016, 54). مکانیزم فلاکتوفین از قانون تغییر فرم گل مرغ بهشتی الهام گرفته است. ساختار این گل به صورتی میباشد که برای گرده افشانی باید دریچهٔ مخزن میل‌های بر روی گل باز شود. این بخش با واردشدن نیرویی بر روی آن که غالباً در اثر نشستن یک پرنده ایجاد می‌شود خم شده و با این خم شدن دریچهٔ مخزن گرده باز می شود. با بررسی و شناخت ویژگی هندسی موجود در این گل، ایدهٔ فلکتوفین در انستیتوی سازهٔ دانشگاه اشتوتگارت شکل می‌گیرد (Radford, Gero, 1988). با استفاده از مکانیزم تاشدن بدون لولا و بهره‌گیری از ویژگی خیز ناشی از انعطاف پذیری جسم میتوان تنوع اجزای سازندهٔ یک ساختار خمشو را کاهش داد. فلکتوفین می‌تواند در حوزه‌های معماری، هوافضا، پزشکی، مهندسی مکانیک و موارد دیگر کاربرد داشته باشد. استفاده‌ای که توسط مبتکرین این ایده در معماری پیشنهاد گردیده سایه‌بان‌های تغییرپذیر پوششی برای نمای ساختمان‌ها خصوصاً ساختمان‌های با فرم آزاد می باشد.



تصویر ۵. نمونه فلاکتوفین و فرم سایه اندازی در معماری؛ ماخذ: آرشیو نگارنده.

یک اصل مشابه در مقیاس ساختمان با سیستم نمای الاستیک جنبشی برای غرفه نمـــای تغییرپذیـــر تماتیـــک پاویـــون در اکســـپو ۲۰۱۲ در شـــهر یئوســـو در کرهٔ جنوبی که توسط شرکت ســـازهای کنیپرزهلبیگ توســـعه یافتـــه اســـت، اعمال می‌شود. پاویون، توسط باله‌های تکی از پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف شیشه‌ای (GFRP) تشکیل شده‌است که نوردهی خورشیدی و شرایط نوری را کنترل می‌کنند درحالی‌که یک نمای زنده بصری ایجاد می‌کنند. محرک‌ها، اسپیندل‌ها که توسط یک سروموتور الکتریکی گردانده می‌شوند، بر روی لبه‌های فوقانی و پایینی باله‌ها قرار می‌گیرند تا

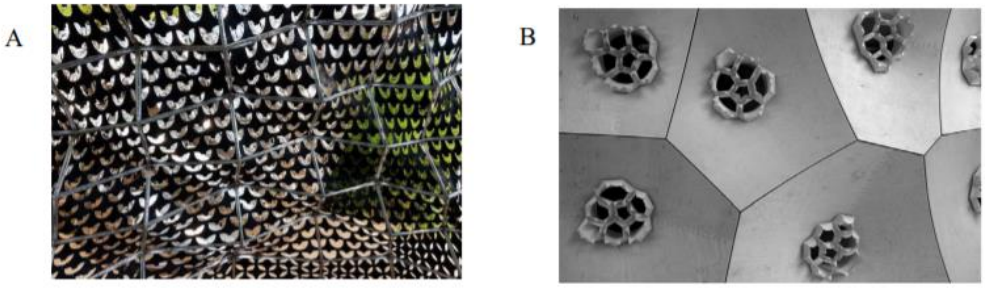
نیروهای فشاری ایجاد کنند که باعث تغییر شکل الاستیکی می‌شوند (Sevtsuk, Kalvo,2014, 22). انرژی فعال‌سازی به انرژی کشسانی تبدیل می‌شود که در دریچه‌های نامتقارن ذخیره‌شده و در طول فرآیند بسته شدن با استفاده از موتور به‌عنوان ژنراتورهای الکتریکی، به توان الکتریکی تبدیل می‌شود. به لطف این سیستم می‌توان انرژی را ذخیره کرد. زاویه باز شدن دریچه‌ها به طول آن‌ها مربوط می‌شود: هر چه طول باله بلندتر باشد، دریچه بزرگ‌تر است و منظره قابل دید آن، افزایش می‌یابد.

۲-۴ سنسورها و محرک‌ها

سیستم‌های کنترلی مبتنی بر عملگرها، حسگرها و پردازنده‌ها در نشریات علمی به عنوان کنترل بیرونی یا سیستم‌های فعال شناسایی می‌شوند. علاوه بر این، کنترل درونی یا سیستم‌های غیرفعال یا توانایی سیستم‌ها در واکنش به محرک‌های محیطی مانند دما، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و غیره بدون استفاده از منابع الکتریکی خارجی وجود دارد. مواد هوشمند نمونه‌هایی از سیستم‌های کنترل درونی هستند. مطالعات موردی زیر در زمینه مطالعه سیستم‌های سینتیک الاستیک و رویکرد طراحی آن‌ها در مورد بررسی ویژگی‌های مواد و رفتارها انجام می‌شود. برای ایجاد هر سیستم سازگار و پاسخگو باید تحریک شود، یعنی یک ورودی از حرکت باید به سیستم انتقال یابد تا بتواند عملکرد مورد نیاز را برآورده کند. این به‌طورکلی از طریق کنترل بارهای خارجی، نیروهای داخلی یا تغییر شکل بدست می‌آید. محرک‌ها، به یک سیستم کنترلی نیاز دارند که سیگنال‌های ورودی را از تعامل کاربر یا تغییرات آب و هوایی به دستورهای تحریک تبدیل کند. سنسورها، ارتباطی بین فضای محیطی و سیستم تطبیقی هستند. آن‌ها تغییرات خارجی را ثبت می‌کنند، با حالت تمایل (مجموعه نقطه) مقابله می‌کنند و اطلاعات را به پردازنده انتقال می‌دهند و همه تاثیرات را بر ساختار و واکنش‌های آن نظارت می‌کنند. محرک‌ها عناصری هستند که انرژی را به حرکت تبدیل کرده و یک واکنش در سیستم ایجاد می‌کنند، مشخصات هندسی یا خصوصیات اصلی یعنی اندازه یا سختی را در ارتباط با محرک‌ها که توسط حسگرها درک شده و توسط پردازنده شرح داده می‌شود، تغییر می‌دهند. پردازنده یک واحد کنترل‌کننده (سیستم کامپیوتری) است که در آن داده‌های ورودی پردازش می‌شوند و در پاسخ مناسبی که به الزامات طراحی اولیه احترام می‌گذارد، توضیح داده می‌شوند (Chang, T.W.; Datta, 2018, 12).

دو پروژه آزمایشی جالب که پتانسیل حافظه شکلی را در معماری مورد بررسی قرار می‌دهند، در سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند. بلوم، یک سیستم طراحی شده توسط دوریس سونگ (شکل A) و هیروسکین (شکل B) است که در غرفه تحقیقاتی در موسسه طراحی محاسباتی (ICD) دانشگاه اشتوتگارت ایجاد شده‌است. این سیستم به‌وسیله قطعات برش لیزری متشکل شده در پانل‌های انباشت شده، تشکیل شده‌است که ساختار پوسته دارای قابلیت خودحمایتی، را تشکیل می‌دهند. بلوم، که از نقطه‌نظر زیست‌محیطی راجع به آن صحبت می‌شود، یک سیستم غیر فعال است، زیرا به

طور خودکار باله‌های خود را براساس گرمایش خورشیدی، بدون کمک انرژی مصنوعی، باز و بسته می‌کند.



تصویر ۱۶ نصب معماری بلوم، لوس‌آنجلس (عکس از دوریس سونگ)؛ B. غرفه هیدروکسین. جزئیات سیستم تهویه سازگار.

براساس رویکرد منفعل اما مرتبط با رفتار هیروسکوپی، هیدروکسین نتیجه یک فرآیند تحقیق است که هدف آن عمیق‌تر کردن ظرفیت ذاتی چوب برای رسیدن به تغییرات رطوبت نسبی است. یکی از مواد ساختمانی سنتی در اینجا عنصری نوآور – پاسخگو، می‌باشد. مخروط‌های چوبی که وقتی رطوبت نسبی افزایش می‌یابد و وقتی رطوبت داخلی کاهش می‌یابد، سیستم انطباقی را کاهش می‌دهد. هر دو پروژه امکان بهره‌برداری از تغییر ویژگی‌های ذاتی مواد برای ایجاد سیستم‌های وفقی انرژی صفر را نشان می‌دهند. اگر در یک سمت، مواد هوشمند راه‌حل‌های مناسبی از نقطه‌نظر زیست محیطی هستند چون دارای ویژگی تأمین انرژی و خود فعالی هستند، از سوی دیگر، محدودیت بزرگی در ارتباط با عدم توانایی مداخله دستی دارند (Sevtsuk, Kalvo,2014, 33). درواقع، در این سیستم‌ها، کنترل فردی از طرف کاربر غیر عملی یا محدود است. به همین دلیل است که مواد هوشمند تاکنون تنها در یک مقیاس نمونه با کاربرد محدود، توسعه‌یافته اند. کاربرد آن‌ها در ساختمان‌ها دشوار است، مگر برای برخی از مجموعه‌های عمومی یعنی فرودگاه‌ها، ایستگاه‌های قطار، موزه و غیره که در آن کاربر به طور مستقیم با سیستم کنترل آسایش درونی مداخله‌ای ندارد. مطالعات متعددی انجام شده‌است که سطوح درک شده و کنترل شخصی افراد ساکن و محیط‌های کاری، تعیین‌کننده‌های مهم رفاه، آسایش و عملکرد هستند. بنابراین، تعامل کاربر و رضایت عوامل مهمی هستند که نمی توان آنها را نادیده گرفت.

۴-۳ فیزیک ساختمان و بهره‌وری

به نظر می‌رسد که انتخاب نوع شناسی سیستم سایه‌بان، تحت‌تاثیر عوامل مختلفی است: هندسه نما (نما مسطح یا آزاد)، مفهوم طراحی، کارایی زیست‌محیطی، عملکردهای تکنولوژیکی و غیره. علاوه بر جاه‌طلبی‌های معماری، چندین مطالعه ثابت می‌کنند که برخی راه‌حل‌ها بسیار موثرتر از دیگر راه‌حل‌ها هستند (Chang, T.W.; Datta, 2018, 12). تاکنون آزمایش شده‌است که پنجره‌های خارجی

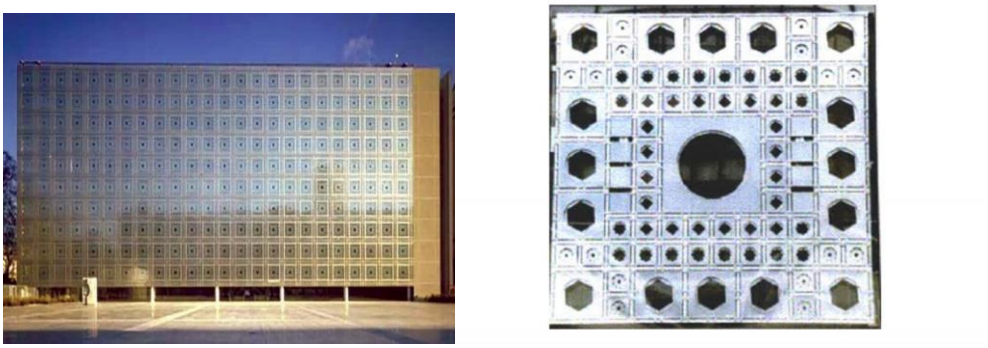
و داخلی تاثیر یکسانی روی تقاضای گرمایش در فصل زمستان دارند، در حالی که تاثیرات خارجی در فصل تابستان موثرتر هستند و تقاضای انرژی خنک کنندگی را کاهش می‌دهند. این به خاطر این واقعیت است که عناصر سایه‌بان آفتابی داخلی اشعه خورشید را بر روی نمای خارجی فیلتر نمی‌کنند، که باعث جذب نور خورشید و انتقال آن به داخل اتاق می‌شود، که این امر منجر به بارهای خنک‌کننده اضافی می‌شود. با این حال، سیستم‌های سایه‌بان نصب‌شده در داخل ساختمان‌ها از بارهای باد بیرونی و هوازدگی محافظت می‌شوند. بنابراین آن‌ها می‌توانند سبک‌تر ساخته شوند و نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری داشته باشند. حتی اگر کاربردهای عمومی کمتری در ارتباط با سایه‌افکنی تطبیقی داخلی وجود داشته باشد، برخی نتایج مطالعه موردی ارزشمند هستند. *سیستم StrataTM که توسط ABI3 (طرح ساخت‌وساز انطباقی) توسعه داده شد و به عنوان یک سیستم سایه‌اندازی سقف در شهر جاستیک در مادرید استفاده شد، مثالی دیگر است.* واحدهای ضد آفتاب شش‌گوشه با استفاده از موتورهای سروموتور به‌طور مستقل حرکت می کنند و وقتی که عقب می‌روند، درون یک لایه ی کوچک پنهان می‌شوند. این سیستم را می توان با توجه به شرایط و الزامات طراحی سفارشی کرد و می‌تواند با مواد مختلف (فلزی، پلاستیک، چوب) تحقق یابد. ABI[1]، در هم‌کاری با شرکت Zahner، تکنولوژی‌های دیگر نمای تطبیقی را توسعه داده‌است. یک مثال دیگر، tessellate است که یک صفحه مشبک مستطیلی و قاب‌دار است که متشکل از پانل‌های انباشته است که حرکت و همپوشانی می‌کنند، الگوهای کالیوودوسکوپی ایجاد می‌کنند، که نور و بهره انرژی خورشیدی، تهویه و هوادهی، حریم خصوصی و دیدگاه‌ها را کنترل می‌کنند. موتور حرکت دورانی ورق‌ها را فراهم می‌کند که منجر به تغییر مداوم انتشار نور می‌شود. این سیستم بر روی نمای داخلی مرکز سیمونز برای هندسه و فیزیک (SCGP، دانشگاه استونی بروک)، پیاده‌سازی شد و با دریچه‌های افقی خارجی برای تضمین کارایی حداکثری ترکیب‌شده است. درنهایت، قطعات سایه‌بان منطبق، می‌توانند در مجموعه نما قرار گیرند. این مورد قبل از معرفی پوشش قابل تعویض و پوسته‌های دولایه، سازگار است. احتمالا معروف‌ترین مثال سیستم جنبشی که با لایه‌های شیشه‌ای ادغام شده‌است، موسسه جهان عرب است که توسط «ژان ناول» در اوایل دهه ۹۰ طراحی شده‌است. این پروژه پیشگام، مثالی از معماری مبتنی بر تغییر است: نمای غربی ساختمان با مجموعه‌ای از دیافراگم‌های حساس به تصویر تشکیل شده‌است که به طور خودکار برای تنظیم خودکار نور روز و افزایش گرمای خورشید به داخل بسته می‌شوند. مربع‌های صیقلی فلزی که سیستم کرکره‌های دوربین را تشکیل می دهند در یک شبکه ۲۴ × ۱۰ تشکیل شده اند. هر مجرا توسط موتورهای متصل به یک سیستم کامپیوتری مرکزی کنترل می‌شود که امکان بهره‌برداری از امکانات مختلف را فراهم می‌کند. اگرچه این سیستم

[1] ابتکار ساختمان انطباقی (ABI)،شرکتی است که در سال ۲۰۰۸ تاسیس شد تا به تجارب و مهارت‌های شرکت Buro Happold و Hobermann در توسعه و طراحی سیستم‌های سازه‌ای تطبیقی بپیوندد.

بین دو صفحه شیشه‌ای قرار می‌گیرد، مکانیزم‌های حساس و کنترل‌ها بدون محافظ و در معرض قرار گذاشته شده‌اند که این موضوع منجر به لزوم نگهداری دائم و مشکلات مکانیکی می‌شوند. ژان نوول در طراحی این بنا با الهام از یک سری موتیف های تکرار شونده مختص جهان عرب و المان‌های هنری اعراب و تلفیق ذوق و خلاقیت هنرمندانه خود آن را طراحی و از بابت خلق چنین اثر زیبا و فاخری جایزه معتبر «آقا خان» را ازآن خود کرده است. در نمای بیرونی موسسه فرهنگی جهان عرب از ۲۴۰ دیافراگم استفاده شده که کنترل میزان نور ورودی به ساختمان را به‌عهده دارند. این دیافراگم-ها مانند لنز دوربین هر یک به طور مستقل میزان ورود نور به بنا را تنظیم نموده و در داخل نیز سایه‌هایی با نقوشی هندسی ایجاد می کنند.

تصویر ۷. موسسه جهان عرب و سایبان قابل تغییر؛ ماخذ: ارشیو نگارنده.

ساختمان انستیتوی عرب نمونه مهم دیگری از معماری متحرک است که در دهه ۱۹۸۰ توسط ژان نوول طراحی شد. در این نما حرکت عناصر خطی به صورت کشویی باعث ایجاد سیستم لغزشی می‌شود. این حرکت لغزشی می‌تواند به صورت تکی و یا در شکل پیچیده آن به صورت چندتایی در این نما تکرار شود. فن آوری به‌کار رفته در سیستم‌های کشویی می‌تواند بسیار ساده و یا پیچیده باشد، اما به هیچ‌وجه چیزی جدید است. سیستم‌های پیچیده کشویی زیبا هستند، اما در عین حال دارای قابلیت پیچیدگی بیش از حد نیز می باشند. در انیستیتوی عرب نوول از هزاران پانل کشویی برای ایجاد حرکت در نمای این ساختما استفاده کرده است. حس‌گرهای مختلف میزان نور ورودی به داخل ساختمان را کنترل می‌کنند. نوول ضمن استفاده از یک الگوی حرکتی جذاب در این نما از مکانیسم الکتروپنوماتیکی پیچیده‌ای برای به حرکت در آوردن پانل‌های این نما استفاده کرده است. اما پیچیدگی این نما در نوع خود جذاب است.



تصویر ۸. ساختمان انیستیتوی عرب به‌عنوان یک نمونه شاخص از معماری متحرک؛ ماخذ: آرشیو نگارنده.

۵. نتیجه‌گیری و جمعبندی

در آغاز تحقیق، هدف ارائه یک روش طبقه‌بندی برای سیستم‌های سایه‌افکن براساس هر دو عملکرد آن‌ها در سلسله‌مراتب ساختمان (سقف و یا پوشش) و ویژگی‌های حرکتی آن‌ها بود. در طول کار مشخص شد که طبقه‌بندی پوشش‌های تطبیقی، به‌هیچ نتیجه علمی یا عملی منجر نمی‌شود. در حال حاضر هیچ توافق عمومی برای ارزیابی نماهای خارجی وجود ندارد. نشریات علمی، به طور علمی با نمای خارجی سروکار دارند و در بهترین زمان بر روی پروژه‌های منفرد متمرکز هستند. به‌طورکلی، هنوز نیاز به تعریف این سیستم‌ها وجود دارد. روند معماری اخیر به هندسه‌های پیچیده‌ی فزاینده‌ای منجر می‌شود که شامل یک انقلاب در مفهوم سلسله‌مراتب سیستم ساختمان می‌شود. تمایز دقیق سقف و نما را اغلب نمی توان تفکیک کرد. به همین دلیل، واژه‌هایی مانند پوشش یا پوسته، بیشتر و بیشتر رایج می‌شوند. به‌رغم مزیت‌های استفاده از سیستم‌های سایه‌بان داخلی، به نظر می‌رسد که عناصر سایه‌افکن خارجی در حال حاضر کارآمدترین گزینه برای جلوگیری از دستاوردهای نامطلوب گرمایی هستند. تا کنون، این‌ها راه‌حل غالب مورد استفاده در نماهای خارجی پاسخگو، به‌ویژه در رابطه با ساختمان‌های بلندمرتبه هستند. از تحلیل نمونه‌های نشان‌داده‌شده قبلی، مشخص است که سیستم‌های نماهای خارجی اعمال‌شده به صورت خارجی اغلب به عنوان بهانه‌ای برای طراحی نماهای پویا و منحصر به فرد پویا به کار می‌روند که مشخص‌کننده این است که برجسته شدن اهمیت نشانه‌های ظاهری معماری بیشتر از سیستم‌های ذخیره انرژی می‌شوند. علاوه بر این، کار نماهای خارجی به ویژه در مورد مجتمع‌های بزرگ ساختمان، در بیشتر موارد با سیستم‌های یک نوع ساختمان پایان می‌یابد. این احتمالا مربوط به قصد حفظ اصالت و ارزش معماری راه‌حل‌هایی است که با به کاربردن محصولی جدید، به خطر افتاده‌اند. انگیزه دیگر می‌تواند مربوط به این واقعیت باشد که سیستم‌های انطباقی، در مقایسه با نماهای خارجی ایستا، به زمینه آب و هوایی که در آن اعمال می‌شوند، مرتبط هستند. عاملی که میزان تاثیرگذاری آن‌ها را تا حد زیادی تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. علاوه براین، افزایش پاسخ‌دهی، با افزایش پیچیدگی سیستم، افزایش هزینه‌های ساخت‌وساز، نصب

و نگهداری را افزایش می‌دهد. ضعف اجزا در طول عمر سیستم‌ها تاثیر می‌گذارند و باعث ایجاد مشکلات مکانیکی می‌شوند که قابلیت استفاده را کاهش می‌دهند. اما در نهایت، سیستم‌های نمای تطبیقی به مقدار زیادی انرژی نیاز دارند تا حسگرها و محرک‌ها را فعال کنند که باید به‌طور ایده‌آل کم‌تر از صرفه‌جویی در انرژی باشد. این جنبه‌ها باید برای تضمین پایداری سیستم‌ها در نظر گرفته شوند. از یک‌سو، افزایش عملکرد با کاهش مصرف انرژی با بهینه‌سازی پوشش ساختمان و در طرف دیگر، به حداقل رساندن مصرف انرژی و مصرف مواد خام (با در نظر گرفتن انرژی نهفته اجزای ساختمان) به دست می‌آید. بسیاری از ساختمان‌ها در خارج از پنجره‌ها دارای نمای انطباقی با کرکره‌های لولایی و دریچه ها هستند. این دستگاه‌ها، که اگر به صورت دستی فعال شوند، کم‌هزینه و کم‌مصرف هستند، راه‌حل‌هایی را نشان می‌دهند که هنوز در معماری معاصر جایگاهی دارند و قابلیت انطباق در ساختمان‌ها را فراهم می‌کنند. مکانیزم‌های لولای معمولی، اگر به روش‌های نوآورانه به کار روند، می‌توانند به ایجاد محیط‌های تطبیقی بدون سیستم‌های خودکار پیچیده ،منجر شوند. بنابراین چالش‌های آینده در توسعه تجهیزات سایه‌افکن انطباقی یا پوشش‌های پاسخگو قرار دارند که آن‌ها در مکانیزم با کم تکنیک هستند، اما در کاربردهای خود با تکنولوژی پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرند.

(*) 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).

منابع و ماخذ

۱. ســـاســـمن، آن (۱۳۹۹) معماری شـــناختی، ترجمه زهیر متکی و دیگران. تهران: انتشـــارات جهاد دانشگاهی.

2. Sterk, T. : 'Thoughts for Gen X— Speculating about the Rise of Continuous Measurement in Architecture' in Sterk, Loveridge, Pancoast "Building A Better Tomorrow" Proceedings of the 29th annual conference of the Association of Computer Aided Design in Architecture, The Art Institute of Chicago, 2009. ISBN 978-0-9842705-0-7
3. Beesley, Philip; Hirosue, Sachiko; Ruxton, Jim; Trankle, Marion; Turner, Camille: Responsive Architectures: Subtle Technologies, Riverside Architectural Press, 2006, 239 p. , ISBN 0-9780978-0-7
4. Bullivant, Lucy, '4dspace: Interactive Design Environments'. London: AD/John Wiley & Sons, 2005. An in-depth, multi-author investigation of the factors leading to and shaping the evolution of this hybrid field, featuring international practitioners. ISBN 0-470-09092-8
5. Bullivant, Lucy, 'Interactive Design Environments'. London: AD/John Wiley & Sons, 2007. The follow-up to '4dspace', '4dsocial' is similarly a group of essays by different authors. It accents the creative role of museums in

incubating new practices, terminology in this field, and the impact of interactive media installations in public spaces with a social message. ISBN 978-0-470-31911-6
6. Chang, T.W.; Datta, S. Dynamic Envelopes: Structural and Interactive transformations. In Proceedings of the 7th CUTSE Conference, Sarawak, Malaysia, 1 August 2012; pp. 89-98.
7. Chen, X. Interactive Pavillions: Responsive Transformation of Structure Systems. Thesis Prep, School of Architecture, Syracuse University, Syracuse, NY, USA, 2015.
8. Datta, S.; Andrei, S.; Chang, T.W. Responsive Interaction in Dynamic Envelopes with Mesh Tessellation. In CAADence in Architecture International Workshop and Conference; Szoboszlai, M., Ed.; Dept. of Architecture and Interior Architecture: Budapest, Hungary, 2016; pp. 241-246.
9. Datta, S.; Hanafin, S.; Pitts, G. Experiments with stochastic processes: Facade subdivision based on wind motion. Int. J. Arch. Comput. 2009, 7, 389-402.
10. El Sheikh, M.M. Intelligent Building Skins: Parametric-Based Algorithm for Kinetic Facades Design and Daylighting Performance Integration; University of Southern California: Los Angeles, CA, USA, 2011.
11. El-Zanfaly, 2010, 'Responsive Environments: architecture, art and design', V&A Contemporary, 2010. London:Victoria and Albert Museum. A detailed analysis of the emergence of responsive environments as a multidisciplinary phenomenon, nurtured by museums, arts agencies and resulting from self-initiated activities by practitioners working in different cultural contexts. ISBN 1-85177-481-5
12. Hanafin, S.; Pitts, G.; Datta, S. Non-Deterministic Exploration through Parametric Design. Int. J. Arch. Comput.2009, 7, 605-622.
13. Makeblock Co., Ltd. Makeblock. Available online: http://learn.makeblock.com/en
14. Negroponte, N. : Soft Architecture Machines, Cambridge, MA: MIT Press, 1975. 239 p. , ISBN 0-262-14018-7
15. Pitts, G.; Datta, S. Parametric Modelling of Architectural Surfaces. In Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Yunlin, Taiwan, 22-25 April 2009; Chang, T.W., Champion, E., Chien, S.F., Chiou, S.C., Eds.; CAADRIA: Yunlin, Taiwan, 2009; pp. 635-644.
16. Radford, A.D.; Gero, J.S. Design by Optimization in Architecture, Building, and Construction; Van Nostrand Reinhold: New York, NY, USA, 1988.
17. Sevtsuk, A.; Kalvo, R. A freeform surface fabrication method with 2D cutting. Simul. Ser. 2014, 46, 138-145.
18. Shaviv, E. Integrating energy consciousness in the design process. Autom. Constr. 1999, 8, 463-472

چکـــــیده لاتین

Mansour yegane- *associate professor, faculty of art and architecture, TMU University, Tehran Iran*
Khosro Daneshjo- - *associate professor, faculty of art and architecture, TMU University, Tehran Iran*

Investigating bionic adaptable canopies in reactive architecture

Abstract

Responsive architecture is a type of architecture that measures real conditions (using sensors) so that the building can adapt itself to the surrounding conditions in terms of form, shape, color, and features. This research presents the environmentally adaptable coatings used in contemporary reactive architecture and examines different design approaches and brief analysis of case studies. The aim of the research is to collect the built examples of the set of adaptable facades, in accordance with the latest modern developments and also to understand their environmental performance. Descriptive research method and anatomical analysis of applied samples. Research findings show that adaptive vision systems require a large amount of energy to activate sensors and actuators, which should ideally be less than energy saving. These aspects must be considered to ensure the stability of the systems. On the one hand, increasing performance is achieved by reducing energy consumption by optimizing the building envelope, and on the other hand, minimizing energy consumption and consumption of raw materials (taking into account the latent energy of building components).

Keywords: *adaptive canopy, responsive architecture, kinetic architecture*

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the BOTHIGHA Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

نحوه ارجاع به مقاله:
یگانه، منصور. دانشجو، خسرو (۱۴۰۲) **بررسی سایبان‌های قابل تطبیق بایونیکی در معماری واکنشی.** بوطیقای معماری، ۳(۱۰)، ۸۳-۱۰۰.

DOI: 10.52547/ijba.10.5.5
DOR: 20.1001.1.28212398.1402.5.5.5.5
URL: www.ijba.ir/fa/downloadpaper.php?pid=154&rid=18&p=A