فرهنگ و زیست فناوری معماری

نشریه علمی فرهنگ و زیست‌فناوری معماری

ویژه‌نامه پاییز ۱۴۰۲، سال ۳، پیاپی ۱۰

طراحی مورفینگ بیومیمتیکس در پوسته ساختمانی اوریگامی سقف با فرآیند بهینه‌سازی VGS برای آکوستیک معماری

زمان دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۱، زمان پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۰، زمان انتشار: ۱۴۰۲/۵/۲۱

زمان دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۱، زمان پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۰، زمان انتشار: ۱۴۰۲/۵/۲۱

علیرضا صادقی- دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

کورش مؤمنی[۱]- دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.

وحید وحدت- استادیار دانشگاه ایالتی واشنگتن، واشنگتن، آمریکا.

چکیده

مفهوم ساختارهای «انطباقی متحرک و مورفینگ» در سال‌های اخیر در بسیاری از زمینه‌های مهندسی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌است. با این‌حال، در مهندسی عمران، کاربردهای عملی بسیار کمی گزارش شده‌است. مفاهیم ساختاری غیرمرسوم مانند قابل تحویل، قابل تورم و ساختارهای مورفینگ ممکن است درواقع راه‌حل‌های نوآورانه برای برخی از مشکلاتی که صنعت ساخت‌وساز نامیده می‌شود، بواسطه دانش بیومیمتیکمس باشند. هدف اصلی این مقاله ارائه یک طراحی اولیه مورفینگ رایانشی برای پوسته ساختمانی بیومیمتیکس در راستای آکوستیک کردن ساختمان است. روش تحقیق توصیفی- تحلیلی است که از ابزار گردآوری داه مشتمل بر مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی بهره برده است. یافته‌های تحقیق نشان داده است که هسته این کاربرد، استفاده از یک فرآیند بهینه‌سازی جدید است که منجر به جستجوی راه‌حل بهینه با استفاده از یک تکنیک تکاملی می‌شود، درحالی‌که سازگاری پیکربندی‌های به‌دست‌آمده از پوشش سازگار با روش تراکم نیروی مجازی تضمین می‌شود. این بدان معناست که می‌توان به راحتی مجموعه وسیعی از راه‌حل‌های تکنولوژیکی مختلف برای یک سیستم VGS را مطالعه کرد و درنهایت تنها یک الگوریتم کنترلی بر روی سینماتیک هندسه ساختمان ایجاد کرد که در معماری بیونیک قابل تعمیم است.

واژگان کلیدی: آکوستیک، معماری رایانشی، پوست ساختمان، بیومیمتیکس.

[۱] مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۹۱۲۲۲۷۵۵۱۵، رایانامه: moemeni_k@yahoo.com

۱. مقدمه و بیان مساله

مفهوم «پوست ساختمان» تنها پس از قرن نوزدهم ایجاد شد؛ زمانی‌که انقلاب صنعتی به جهان مواد جدید و روش‌های تولید را به‌طور فزاینده‌ای آزاد و معماری را از محدودیت‌های دیواره مقاوم بار آزاد کرد. درخواست‌های معاصر برای پوسته‌های پاک انطباقی مبتنی بر دانش بیومیمتیکس توسط بحران‌های نفتی دهه ۱۹۷۰ مطرح شد، زمانی‌که آگاهی از کارآیی انرژی برای اولین‌بار مهم شد (Gruber, 2011) و متعاقباً اهمیت توابعی از قبیل صرفه‌جویی در انرژی، تهویه طبیعی، عایق و حفاظت خورشید نیز افزایش یافت. نورپردازی، حفاظت نور، حفاظت از صدا، کارایی آکوستیکی، حفاظت از آتش، تعامل انسان و ساختمان و غیره نیز به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی از این تغییر را می‌توان با ساختارهای وزنی نظیر کاخ «کریستال پاکستون» (۱۸۵۱) و سپس در ساختمان‌های بلند آمریکایی که توسط «والتر گروپیوس» و «میس ون‌دررو» در دهه ۱۹۲۰ طراحی شده‌بود، یافت (گروبر، ۱۳۹۹، ص ۱۲۱). از آنجاکه پوست ساختمان به یک پرده پوست پاک تبدیل شده‌است، امکانات جدید در استفاده از آن مجاز بوده و وظایف جدید با آن مرتبط هستند. بنابراین، شبیه به پوست انسان، ایده ایجاد پوسته ساختمانی– داخلی یا خارجی، به عدم تمایز بین دیوارها و سقف اشاره دارد که تا اندازه‌ای یا کلاً هدف ساختاری خود را از دست می‌دهد تا از یک رفتار متقابل کاربردی ارگانیک استفاده کند (Enshassi, Kochendoerfer, Rizq, 2014). این ایده به‌عنوان کاربردی از مفهوم انرژی پایدار با پیچش ساده و دریچه‌های کشویی و یا با دریچه‌های متحرک شروع شد و با چندین ابزار برای سایه‌اندازی و حفاظت نور، خیز سبک، گرما و مدیریت انرژی ادامه یافت. این روند به دلایلی پدید آمد که از رشته‌های مختلف می‌آمدند، اما بالاتر از همه، از معماری فرم آزاد، پایداری و کنترل ساختاری بهره می‌گرفت (Cheung, Calisch, Miura. 2014.). حرکت و مورفینگ نمایانگر آخرین مرحله در فرآیند ایجاد اشکال بیشتر و بیشتر است درحالی‌که ویژگی‌های سازگار با هدف افزایش عملکرد و ارضای دامنه وسیعی از ضروریات هستند. مطالعات ساختارهای فعال (نیمه‌فعال)، ساختارهای مورفینگ و قابل تاشو، مواد هوشمند و غیره را با تکنولوژی موردنیاز تامین می‌کند (Stroble Nagel. 2010). در این مقاله، وضعیت ساختار هندسی متغیر (VGSها) و سپس دو مورد از مکانیزم‌های ارزیابی شده به‌عنوان نمونه موردی مساله معماری واقعی به‌کار گرفته شده و الگوریتمی برای مدیریت فرآیند بهینه‌سازی VGSها پیشنهاد شده‌است.

۲. روش‌شناسی و پیشینه تحقیق

روش تحقیق «توصیفی و تحلیلی» است که برای تقویت عملکرد آکوستیکی یک فضای معماری عمومی پیشنهاد شده‌اند. به‌طورخاص، این مطالعه شامل استفاده از یک اریگامی سفت و محکم و یک «سیستم ام. اس. یی» به‌عنوان سقف‌های تطبیقی است و از این فرض شروع می‌شود که آکوستیک

مطلوب یک اتاق به سطح جمعیت و محل شنوندگان داخل آن بستگی دارد. هدف از این دو کاربرد، ارایه یک اعتبار سنجی عددی از الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی است. هیچ ارزیابی مقایسه‌ای بین دو گزینه ایجاد نشده است. ایده مطرح‌شده برای الگوریتم بهینه‌سازی و جفت‌سازی یک فرآیند مورفوژنیک محاسباتی سنتی است که با استفاده از الگوریتم میمتیک (MA) با روش تراکم نیروی مجازی (VFDM) انجام می‌شود. VFDM که به‌عنوان یکی از اپراتورها در داخل MA کار می‌کند، امکان‌پذیر بودن جابجایی از یک پیکره بندی متحرک به دیگری را تضمین کند. هندسه با استفاده از نرم‌افزار NURBS تجاری Rhinoceros انجام شده‌است که VFDM به مثابه مدل انتشار آکوستیک در پایتون اجرا شده‌اند.

۳. ادبیات تحقیق

۳-۱ مورفینگ

«سازه‌های مورفینگ» (سازه‌های هوشمند متحرک‌شو) به سازه‌هایی اطلاق می‌شود که قادرند شکل و هندسه خود را با توجه به شرایط مختلف تغییر دهند و از این طریق سبب افزایش عملکرد سازه‌ها شوند. در سال‌های اخیر فناوری مورفینگ توجه مهندسان پرواز و متخصصان علم آیرودینامیک را به خود جلب کرده است (Stroble Nagel, 2010). «مورفینگ» در لغت به معنی تغییر شکل از حالتی به حالتی دیگر بدون ایجاد گسستگی است.

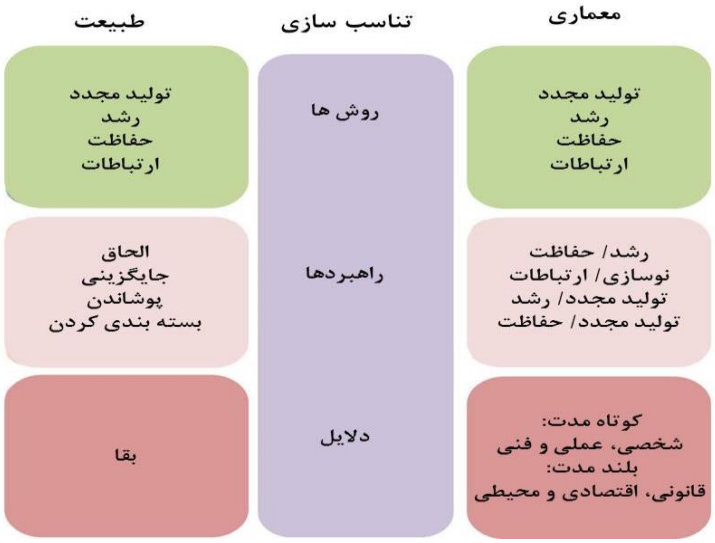
ایده استفاده از فناوری مورفینگ مانند بسیاری از فناوری‌های دیگر ریشه در طبیعت دارد. یکی از مشخصات قابل توجه پرندگان توانایی آن‌ها در انطباق هندسه بال‌هایشان با توجه به شرایط مختلف پرواز می‌باشد. این قابلیت سبب افزایش عملکرد پرندگان می‌شود و کمک می‌کند که به آسانی بتوانند مراحلی مانند اوج گرفتن، تغییر جهت پرواز و تغییر سرعت را به بهترین صورت کنترل کنند. به دلیل این که برای انجام یک پرواز خوب و ایده‌آل لازم است بال هواپیما در هر یک از شرایط پرواز هندسه متفاوتی داشته باشد متخصصان پس از مطالعه و بررسی شیوه‌های پرواز پرندگان تصمیم به تولید بال‌هایی با توانایی عملیاتی بالا به‌منظور جایگزینی با بال‌های هواپیماهای کنونی گرفته‌اند، ایده ساخت بال‌های قابل تغییر که بال مورفینگ نامیده می‌شود، برای نخستین‌بار در سال ۱۹۲۰ میلادی توسط ناسا مطرح شد (GRUBER, 2011).

امروزه استفاده از این سازه‌ها که به آن‌ها سازه‌های هوشمند نیز گفته می‌شود، در صنایع مختلف به ویژه صنایع هوایی، مورد علاقه طراحان قرار گرفته است. از فناوری مورفینگ در چهار هواپیما تامکت، لنسر، هرنت و ماو استفاده شده است. طراحان به‌منظور ایجاد سازه‌ای یکپارچه از ترکیبی از مواد خاص و پیچیده در طراحی بال مورفینگ استفاده کرده‌اند. استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار در این فناوری به دلیل امکان ترکیب سیستم عملگری با سازه اصلی موجب کاهش بسیاری از محدودیت‌ها و در نتیجه افزایش کارایی می‌شود. یکی از اولین کاربردهای آلیاژ حافظه‌دار در مقیاس انبوه، استفاده

در لوله‌های هیدرولیک هواپیمای اف۱۴ بوده است (Mertins, 2004). آلیاژهای حافظه‌دار به دسته-ای از آلیاژها گفته می‌شود که قادرند تغییر شکل و کرنش‌های دائمی اعمال شده را بازیابی نمایند و در نهایت به شکل اولیه خود بازگردند. این مواد برای نخستین‌بار در سال ۱۹۳۲ میلادی کشف شد و به‌عنوان اولین نمونه آلیاژ طلاکادمیوم در سال ۱۹۵۱ ساخته شد. سپس این خاصیت در سال ۱۹۵۳ در ایندیم‌تیتانیم نیز مشاهده شد. این مواد دارای دو فاز ثابت‌اند: فازِ در دمای بالا آستنیت و فاز با دمای پایین مارتنزیت نامیده می‌شود. در رفتار آلیاژهای حافظه‌دار بر اساس یک دگرگونی فازی و تغییر ساختار بلوری که در آن‌ها رخ می‌دهد، سبب می‌شود که از یک ساختار پایدار و مستحکم در دمای بالاتر به یک ساختار تغییر فرم پذیر پایدار در دمای پایین‌تر تبدیل گردد. ساختار مارتنزیتی در دمای پایین با افزایش دما به ساختار آستنیتی تبدیل می‌شود و در هنگام سرد کردن فرایند عکس رخ خواهد داد.

۳-۲ تناسب‌سازی انطباقی

در این تحقیق موضوع *«تناسب‌سازی در معماری با ارجاع به طبیعت»* به صورت رابطه‌ای تشریح می‌شود که تناسب با نیازمندی‌های شرایط فعلی را تعریف می‌کند. همانطور که اشاره شده است، چنین توصیفی از تناسب‌سازی بیانگر مفاهیم معاصر در ارتباط با تغییر مثل تناسب‌سازی مجدد، انطباق، پاسخ، کارایی و عملکرد می‌باشد. این مفاهیم منطق یکسانی دارند: متناسب شدن که می‌تواند به خوبی از طبیعت یاد گرفته شود (Cheung, Tachi, Calisch, Miura. 2014). در طبیعت ارگانیسم‌ها باید خود را با تغییرات پیرامون خود تعدیل کنند تا به بیشترین تناسب انطباقی دست یابند. در ساختمان‌ها، نوع و سطح تغییر در صورت لزوم برنامه‌ریزی و اجرا می‌شود، درحالی‌که ارگانیسم‌های طبیعی اطلاعاتی از تغییر دارند که شامل واحدهای کوچک کد است که با قوانین ترکیبی مرتبط و همبسته هستند. در ساختمان‌ها تناسب‌سازی مکانیکی است چون از نیروهای خارجی بهره‌مند می‌شوند. در مقابل در طبیعت تناسب‌سازی به صورت ذاتی است و از درون صورت می‌گیرد و به‌طور همزمان منجر به توسعه ارگانیسم می‌شود. تناسب‌سازی در طبیعت لزوما به شرایط قبلی باز نمی‌گردد. بلکه شرایط بهتر آتی را با توجه به اطلاعات ناشی از تغییر و خصوصیات محیطی ایجاد می‌کند. تناسب‌سازی در معماری مستلزم ایده بازگرداندن ساختمان‌ها به حالت اصلی خود می‌باشد.



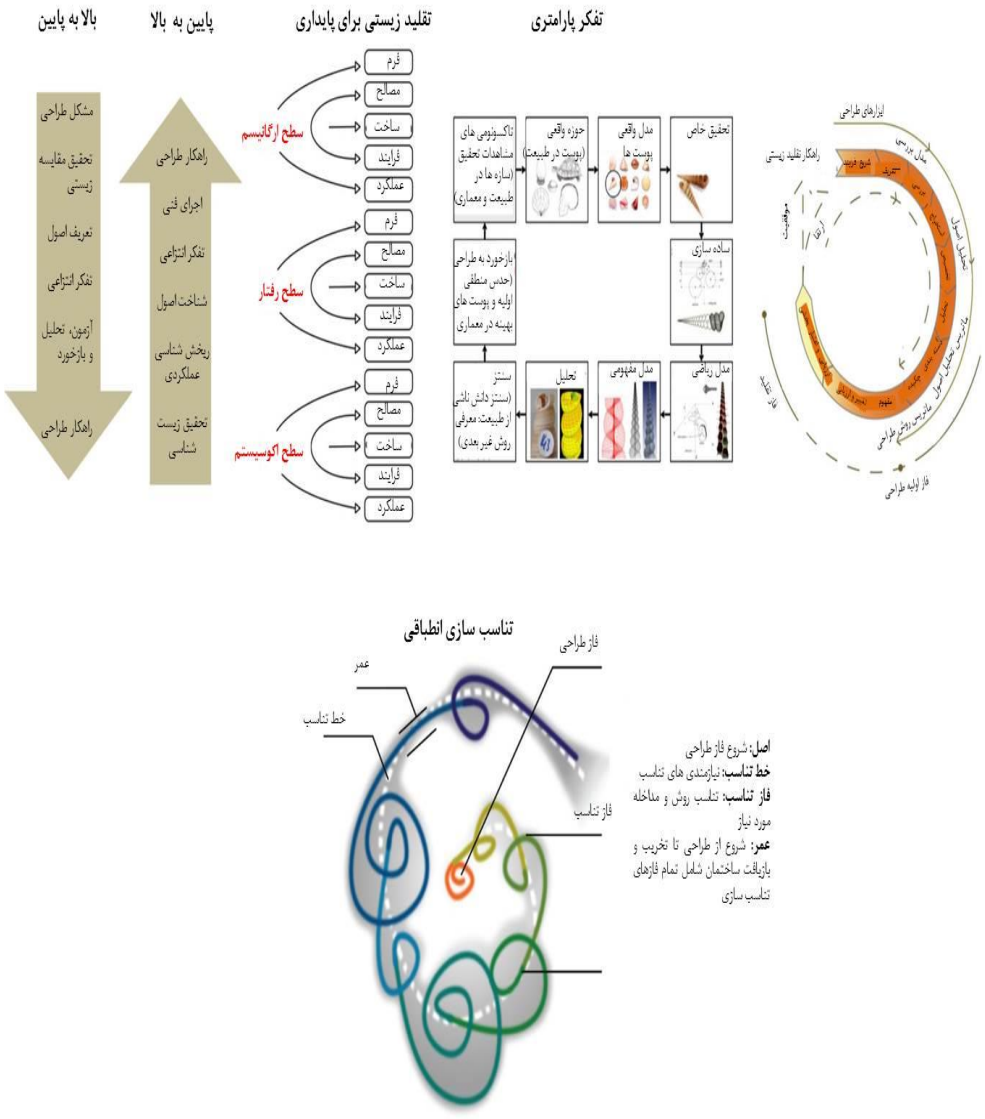
نمودار ۱. تناسب‌سازی تطبیقی بیومیتیکس با تقلید زیستی؛ ماخذ: ترسیم نگارندگان براساس Mertins, 2004

از طرف دیگر صحبت کردن درخصوص حالت اصلی در ارگانیسم‌های طبیعی دشوار می‌باشد چون آن‌ها پیوسته در حال تکامل مداوم هستند:

- **در تناسب‌سازی انطباقی یک تداوم وجود دارد:** شرایط قدیمی، شرایط جدید را ایجاد می‌کند. زمانی که شرایط قدیمی به‌طور کامل فرسوده می‌شود و شرایط جدید آماده شکل‌گیری است، آنچه که برای شرایط قدیمی رخ می‌دهد، برنامه‌ریزی شده و یکپارچه با طراحی است. مانند طبیعت، شرایط قدیمی ساختمان اطلاعاتی در مورد ساختمان دارد و می‌داند که چگونه باید یک شرایط جدید ایجاد شود اما نمی‌داند چه چیزی ایجاد می‌شود.
- **تناسب‌سازی انطباقی چرخه عمر ساختمان را در یک حالت چرخه‌ای تعریف می‌کند.** چرخه عمر یک ساختمان اغلب یک جهت خطی دارد که در آن سیستم‌های مصالح کهنه می‌شوند. این چرخه اغلب به صورت یک سیستم خطی یک طرفه تعریف می‌شود که از پردازش مصالح، سرهم‌بندی آن، استفاده و تخریب آن عبور می‌کند. در این چرخه یک هدف از سناریوی عمر به‌صورت تخریب ساختمان می‌باشد. اگر به طبیعت نگاه کنیم، درخواهیم یافت که اکوسیستم‌ها در یک دوره بلند مدت به‌صورت سیستم‌های چرخه‌ای کامل تکامل یافته‌اند. چون طبیعت همه‌چیز را بازیافت می‌کند، منابع و ضایعات در آن نامعلوم هستند. ضایعات یک بخش از سیستم، منابع بخش دیگر محسوب می‌شوند. تعریف ماهیت روش‌های تناسب‌سازی پوست، بررسی الگوهای تناسب‌سازی و تغییر این الگوها به راهبردهای طراحی که بتواند هم در پوشش‌های فعلی ساختمان و هم در پوشش‌های جدید به‌کار رود، چرخه عمر ساختمان را در حالت چرخه‌ای تغییر می‌دهد.

- **تناسب‌سازی انطباقی قادر به رمزی کردن ظرفیت تناسب‌سازی در ساختمان در هر دو حالت درازمدت و کوتاه‌مدت است.** در تناسب‌سازی انطباقی، الگوها در طبیعت در فرایند طراحی در معماری قرار می‌گیرند. از طرف دیگر، تناسب‌سازی انطباقی به تغییر زودگذر نیازها و خواسته‌های ساکنین پاسخگو می‌باشد. بنابراین در کوتاه‌مدت تغییرات اعمال می‌شود. از طرف دیگر هدف تناسب‌سازی انطباقی استفاده بلندمدت از ساختمان است بنابراین به الگوهای تغییر بلندمدت توجه می‌کند.
- **تناسب‌سازی انطباقی به فضاهای تعریف‌کننده نیاز دارد تا تغییر کند یا تغییر نکند.** سیستم‌های طبیعی الگوهای قدیمی اطلاعات را می‌سازند و از آن حفاظت می‌کنند و به‌طور همزمان با اضافه کردن انطباق‌های نوین به تغییرات پاسخ می‌دهد. در حالت مشابه، ساختمانی که با رویکرد تناسب‌سازی انطباقی طراحی می‌شود، از وضعیت فعلی ساختمان در هنگام نیاز به تغییر، به وضعیت جدید تغییر داده می‌شود (Mertins, 2004).
- **تناسب‌سازی انطباقی به یک دستورالعمل جدید مصالح و سازه نیاز دارد.** اقدام استاندارد به طرح‌ها و مهارت‌های چندگانه و تخصصی در هر مداخله‌ای نیاز دارد. در مقابل ایده تناسب‌سازی انطباقی به تکنیک‌هایی اتکا می‌کند که قادر به انجام مداخلات الحاقی با گذر زمان و با فرایندهای ساده هستند. ساده‌ترین راه، استفاده از اصلاحات و تغییرات ساخت فعلی به صورت ساده و تکنیک‌های ساخت قوی بر اساس اصول سبکی و انعطاف‌پذیری همراه با امکان دستیابی به مداخلات برگشت‌پذیر و قابل حذف می‌باشد. این مسائل مرتبط با دستورالعمل مصالح، سازه و فنی باید بعدا در زمینه رویکرد تناسب‌سازی انطباقی بحث شود.

تصویر ۱. سازه مورفینگ متحرک که براساس سنسورها به محیط واکنش می‌دهد؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.



نمودار ۲. تناسبسازی تطبیقی بیومیتیکس با تقلید زیستی، چارچوب مفهومی طراحی مورفیگ سازه اوریگامی.

۳-۳ طراحی سازه اوریگامی

در ۲۰ سال گذشته، دانشمندان، مهندسین و ریاضی‌دانان دائماً به موضوع پیشبرد فن «اوریگامی» علاقه نشان داده اند. بنابراین، تفکر کلی و زیربنایی اوریگامی در بسیاری از رشته‌ها به کار گرفته شد. طراحی الهام‌گرفته از اصول و قواعد اوریگامی به اتخاذ رویکردهای فرارشته‌ای نیاز خواهد داشت تا با استفاده از این رویکردها غلبه بر دشواری‌های موجود در فرآیند ساخت و کنترل مصالح ممکن گردد (لنگ، ۲۰۰۴، ۲۰۰۷؛ سورگس، هاگیوارا و سلچوک، ۲۰۰۹). به‌طور ویژه، اوریگامی روش‌هایی بدیع برای ساخت، نصب، نگهداری و شکل دادن به سازه‌ها در اختیار مهندسین قرار می‌دهد. اخیراً، سازه‌های تاشده به‌عنوان سیستم‌هایی کارا و پربازده شناخته شده اند، به دلیل این که راهکارهایی تطبیقی و مقرون به‌صرفه از نظر میزان مصرف مصالح برای مسائل پیچیده طراحی ارائه

می‌دهند. استراتژی‌های فولدینگ اوریگامی که اصول و قواعد سازه‌ای و ویژگی‌های مصالح را در نظر می‌گیرند، محیط های انعطاف‌پذیر، انسان‌محور و پایدارتری را خلق می کنند (همرلینگ، ۲۰۱۰؛ جیا، ۲۰۱۴؛ پرازا– هرناندز و دیگران. ۲۰۱۴). معماران عاشق اوریگامی هستند زیرا می‌تواند مزایایی ارائه دهد که سایر سیستم‌های ساختمانی از آن برخوردار نیستند، فضایی ساختارمند با استفاده از ابزاری شدیداً مقرون به صرفه. اگرچه، هدف اصلی ایجاد این سبک جنبه‌های هنری و سرگرمی بوده است نه مسائل عملکردی. این روش به‌طور ویژه هنر تازدن ورق‌های کاغذ برش نخورده و تبدیل آن به اشکال تعریف شده و دکوراتیو بوده و هست یا به‌صورت فرمی انتزاعی و یا به صورت تندیسی از اشیاء واقعی که در طبیعت یافت می شود. از سوی دیگر، در مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد اوریگامی در معماری، یک رویکرد میان‌رشته‌ای، دیدگاه های ریاضی، معماری و سازه‌ای درباره سازه‌های تاشده را مورد بررسی قرار می‌دهد که این امر به درک این موضوع کمک می‌کند که چگونه فولدینگ (تازدن) کاغذ می‌تواند به عنوان ابزاری برای حل مسائل سازه ای و زیبایی شناختی مطرح گردد. در این متن، اوریگامی زمینه‌ای را برای دستیابی به تجربه‌ای شناختی در زمینه پیکربندی‌های فضایی و فرم‌یابی فراهم آورده و به عنوان یک ابزار مفید برای تحقیقات مورفولوژیکی بیشتر در زمینه پروسه طراحی معماری عمل می‌کند. بر اساس اطلاعات جمع آوری شده توسط دانشجویان معماری، اوریگامی به عنوان منبعی غنی و الهام‌بخش مطرح شده و در طیف گسترده‌ای از طرح‌ها مورد استفاده قرار گرفته و حتی باعث کشف فرم‌ها و متدهای ساخت جدید شده است. اوریگامی هنر تازدن کاغذ است که اولین بار در ژاپن ابداع شد و اکنون در سراسر جهان رواج دارد. این هنر در علوم و مهندسی مورد توجه قرار گرفت و در طرح های بدیع بسیاری به‌کار گرفته شده است. از زمان پیدایش این هنر تاکنون، هنرمندان و دانشمندان بسیاری به این شیوه علاقمند شده و تلاش کردند تا اصول بنیادین آن را آشکار ساخته و مورد بررسی قرار دهند. هدف این هنر ارائه تصویری از یک شیء با استفاده از تازدن و ایجاد الگوهایی بر روی یک تکه کاغذ است. فرآیندی که ترجیحا بهتر است بدون چسب زدن یا برش کاغذ صورت گیرد. هنر ژاپنی تازدن کاغذ (فولدینگ) نیازمند درک عمیق و کاربرد دقیق تبدیلات هندسی برای رسیدن از یک سطح صاف به یک سازه سه بعدی می باشد. درک ویژگی‌های هندسی و توپولوژیکی اوریگامی چالشی بود که تعدادی از مهندسین به منظور فرمول‌بندی اصول و قوانین فولدینگ با آن روبرو شدند. مهندسین همچنین برای این که بتوانند از این روش در طرح‌های خود استفاده کنند به یادگیری این هنر باستانی علاقمند شدند. بیشتر مردم اوریگامی را ساخت ماهرانه فرم‌های سه بعدی از موجودات زنده یا اشیاء موجود در طبیعت یا محیط مصنوعی می‌دانند. با این‌حال، ریاضی‌دانان، دانشمندان و مهندسین کشف کرده‌اند که در تئوری، تعداد اشکال قابل ساخت با استفاده از مفهوم سنتی اوریگامی نامتناهی است. این اکتشافات رویکردهای جدیدی برای ساخت، نصب و شکل دادن به دستگاه‌ها و سازه‌ها بر اساس

اصول و قواعد ساخت اوریگامی به دست می‌دهد. این مسئله به خوبی در روند رو به رشد توجه به تئوری‌ها و ابزار مرتبط با موضوع اوریگامی در چهار دهه گذشته به چشم می‌خورد. این توجه فزاینده در به چالش کشیدن فرم‌های اوریگامی نهایتا به بررسی بیشتر ویژگی‌های هندسی، مشخصات توپولوژیکی و قابلیت‌های سازه‌ای فولدینگ با کاغذ منجر شد که ابزاری با ارزش برای الهام‌گیری در اختیار معماران برای خلق آثار متنوع با کاربری‌های متفاوت قرار می دهد.

تصویر ۲. نمونه کاربرد سازه اوریگامی در معماری؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.

۳-۴ ساختارهای هندسی متغیر (VGSها)

ساختارهای هندسی متغیر (VGSها) عملکرد واکنش به تغییر موقعیت‌ها در استفاده، عملکرد یا مکان خود را با تغییر پیکربندی خود دارند. این مکانیزم توسط محرک‌های متشکل از مواد هوشمند یا بیشتر موتورهای هیدرولیکی مرسوم هدایت می‌شود، اما تحلیل جامع این روش‌ها از محدوده این مقاله خارج خواهد بود. یک جنبه مهم دیگر که همیشه هنگام برخورد با چنین سازه‌هایی مورد استناد

قرار می‌گیرد، ثبات است. بحث در مورد پایداری نیز خارج از محدوده حال است اما چند منبع در مورد مکانیسم‌های چند پایدار ذکر شده‌است. VGSها را می‌توان براساس سیستم ساختاری آن‌ها طبقه‌بندی کرد. در انجام این کار، چهار گروه اصلی را می توان متمایز کرد:

- ساختارهای نوار فضایی متشکل از میله‌های لولا،
- ساختارهای صفحه شطرنجی که شامل صفحات لولا،
- ساختارهای کابل - تیرکوب (کششی) و
- ساختارهای غشایی هستند.

این سیستم‌های سازه‌ای با ویژگی‌های مورفولوژیکی و جنبشی شان توسط «هانوآر»[1] و دیگران در سال ۲۰۰۱ طبقه‌بندی شده‌اند. در این مقاله تمرکز بر روی سینماتیک است، درنتیجه چنین ساختار-هایی براساس فرآیند تبدیل می‌توانند به دو دسته اصلی تقسیم شوند. اولین مقوله تغییر شکل پذیر شامل آن‌هایی است که به ویژگی ذاتی مواد خود برای تغییر شکل متکی هستند، مانند بالن‌های مهندسی که با هوای گرم منفجر می‌شوند، درحالی‌که طبقه دوم لینک‌های صلب متشکل از آن دسته از آن‌ها هستند که به اتصال هندسی عناصر خود برای تغییر پیکربندی تکیه می‌کنند. این دسته اخیر معمولاً شامل تعدادی از اجسام شبه مقاوم است که توسط لولا به‌کار گرفته می‌شوند تا حرکت در امتداد یک یا چند درجه آزادی را میسر سازند.

۳-۵ سازه پوسته‌ای تغییرشکل‌پذیر

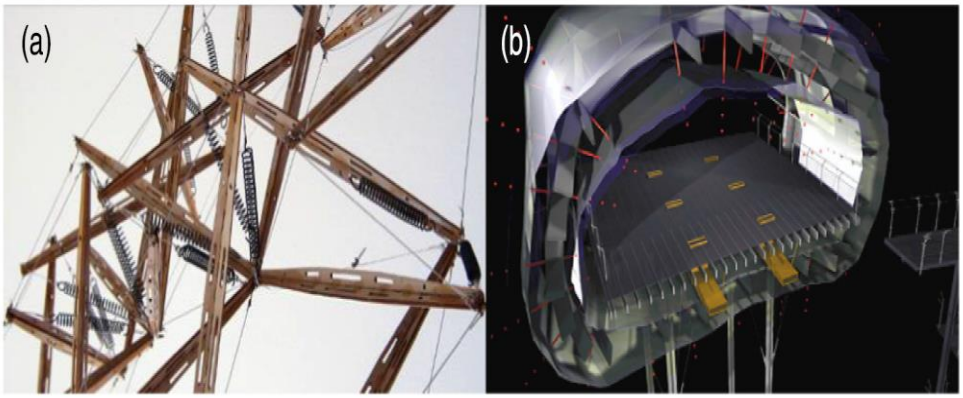
مکانیسم‌های بالا، به‌خاطر ماهیت تاق بی‌مفصل و مکانیسم‌های سازگاری مزیت‌های فراوانی را نسبت به مکانیسم‌های سنتی ارایه می‌دهند. توانایی ذخیره انرژی کرنشی در مکانیسم‌های سازگار، نیاز به بازگشت فنرها را از بین می‌برد و می‌تواند برای طراحی مکانیزم پایدار مورد استفاده قرار گیرد. این ویژگی یکپارچه، تعداد اتصالات و بست‌ها در مونتاژ را کاهش می‌دهد که منجر به کاهش وزن می‌شود. علاوه بر این، نبود اتصالات در مکانیزم‌های سازگار، واکنش‌های شدید مشاهده‌شده در مفاصل سینماتیکی را از بین می‌برد. درنتیجه دقت بالا و حرکت بسیار تکراری را فراهم می‌کند. نویز و سایش مربوط به اتصالات سینماتیکی نیز حذف می‌شوند که هزینه تعمیر و نگهداری را بیشتر کاهش می‌دهد و عملکرد را افزایش می‌دهد. اگر مکانیسم سازگار، یک مکانیسم کاملاً توزیع‌شده باشد، کاهش محسوس در تمرکز تنش وجود دارد و تغییر شکل هموار در سراسر ساختار ممکن است و به‌ویژه برای شکل دادن کاربردهای مورفینگ جذاب است. علاوه بر این، به دلیل نبود واکنش شدید و سایش، یک مکانیسم سازگار به ویژه برای کار با جابجایی‌های کوچک (۱ تا ۱۰۰ میکرومتر) که معمولاً توسط عملگر هوشمند تامین می‌شود، موثر است. علی‌رغم مزیت‌های بالقوه و تعدادی از

[1] Hanaor

مطالعات و کاربردها در زمینه‌هایی مانند مهندسی دقیق و مهندسی هواپیما، هیچ مطالعات مرتبط با کاربرد در معماری وجود ندارد.

۳-۶ ساختارهای کش‌بستی (تنسگریتی)

سازه‌های کش‌بستی دارای تاریخچه طولانی هستند که از بارهای سخت و کابل‌ها به عنوان استخوان‌ها و اعصاب در بدن تشکیل شده‌اند و آن‌ها نیز متعلق به طبقه «بیوساختارها» هستند. با توجه به کابل‌ها امکان اصلاح و بهینه‌سازی شکل ساختار و حتی به دست آوردن سیستم‌های کاملاً قابل گسترش وجود دارد. شکل زیر نمونه اولیه از یک ساختار فضایی نوع قابل گسترش را نشان می‌دهد. انواع مختلفی از کاربردها در مهندسی هوافضا و رباتیک پیشنهاد شده‌است. ساختارهای کوچک و بزرگ نیز در زمینه مهندسی عمران پیشنهاد شده‌اند. مطالعه اشکال یکی از جنبه‌های مهم در طراحی سازه‌های کش بستی است و در برخی موارد ناپایداری می‌تواند بوجود آید. این موقعیت‌ها را می‌توان با اضافه کردن کنترل فعال، همانطور که در ارجاع پیشنهاد شد، برطرف کرد. شکل زیر یکی از اولین انواع این نوع ساختمان‌ها است. اگر چه به طور گسترده برای کاربرد در معماری و موضوع اختراعات مختلف مورد مطالعه قرار گرفت، هیچ سند قابل‌توجهی با یا بدون ویژگی‌های سازگار تا به امروز صورت نگرفته است.



تصویر ۳. از چپ به راست: (a) نمونه اولیه فشردگی توسط تریستان Estree Sterk و ORAMBRA، ۲۰۰۹ و (b) پاکت پاسخگو توسط تریستان d' Estree Sterk در دفتر رسانه معماری Robotic و دفتر معماری ۲۰۰۳.

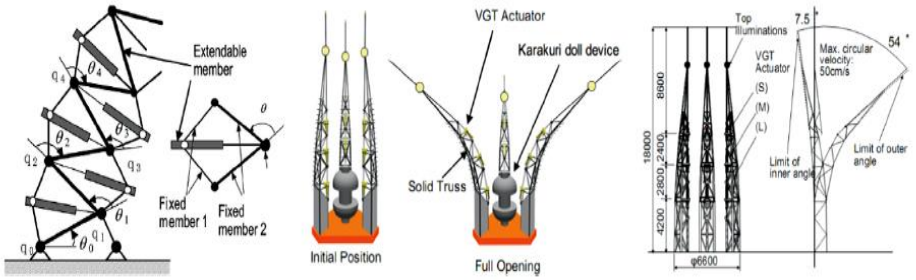
۳-۷ سازه‌های بادی

در سازه‌های ساختمانی مهندسی سازه به‌عنوان ساختارهای بادی و پشتیبانی هوایی شناخته می‌شوند؛ درحالی‌که در سازه‌های تقویت‌شده با هوا، فشار هوا بین سطح و زمین اعمال می‌شود. در سازه‌های بادی – هوایی و فشار هوا در یک کوسن {لایه هوا} یا لوله‌ای بسته می‌شود. توسعه سازه‌های پنوماتیک با ساختارهای پشتیبانی شده از هوا آغاز شده است، اما آن‌ها باید با مشکلات متعددی مانند حجم هوای بزرگ و فشار کم هوا مقایسه شوند، زیرا این محدودیت به دلیل استفاده داخلی از سوی مردم است. از طرف دیگر، ساختارهای تورمی فشار را با یک غشا پیوسته محصور می‌کنند به

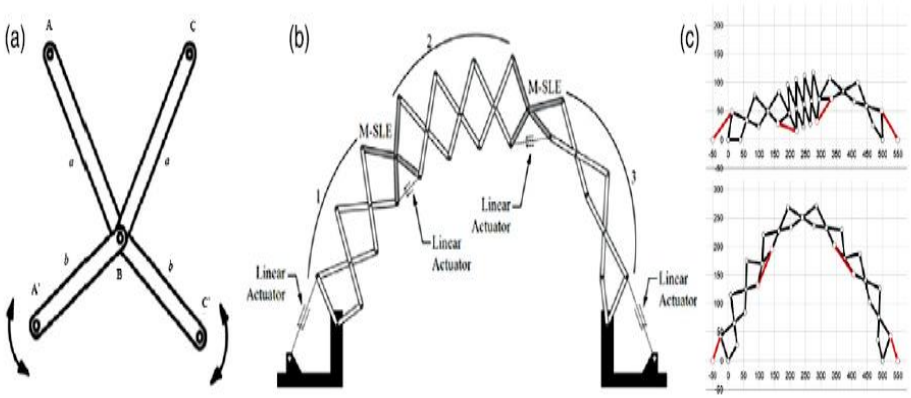
طوری که داخل آن از فشار جدا شود. به نظر می‌رسد که با نگاهی به پتانسیل تطبیقی سازه‌های بادی، به نظر می‌رسد که سازه‌های بادی – بادی مناسب‌تر هستند چون مقدار کوچکتری از فشار هوا وجود خواهد داشت و سازگاری با محدودیت‌های انسانی، یعنی تاثیر فشار هوا بر روی بدن انسان، ضروری است.

۳-۸ اریگامی‌های قابل انعطاف

چندین کاربرد سطوح چین‌خورده را می‌توان در معماری یافت. با این حال، تنها در چند سال گذشته، رفتار سینماتیک اریگامی در مورد معماری تطبیقی سازگار مورد توجه قرار گرفته است. نمونه‌های غیرایستا از ساختارهای اریگامی به‌طور عمده از مهندسی فضایی می‌آیند که در آن سطوح قابل گسترش از مدت‌ها پیش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. یک نوع خاص از اریگامی، اریگامی به اصطلاح سفت و سخت است که به‌طور گسترده در تئوری ریاضی مورد مطالعه قرار گرفته است و همچنین در مهندسی فضا موفقیت آموخت. اریگامی کشویی سفت و سخت یک سطح قابل انعطاف بسته بندی شده خطی است که می‌تواند یک مکانیزم استقرار را تحقق بخشد، در صورتی که بخش‌ها و خطوط برابر با پانل‌های سخت و لولا جایگزین شوند. چنین مکانیسم استقرار همچنین در یک بافت معماری جالب به نظر می‌رسد، زیرا ساختار آن بر پایه یک سطح واحد، برای ساخت یک پاکت یک فضا مناسب است، و به این دلیل که مکانیسم کاملاً هندسی آن متکی بر کشش مواد نیست.



تصویر ۴. تصویر سه برج مورفینگ در نمایشگاه بین‌المللی نمایشگاه بین‌المللی اکسپو ۲۰۰۵، Aichi ژاپن.



تصویر ۵. از سمت چپ به راست: (a)– مکان اصلاح‌شده (M - SLE)، (b)– مکان‌های M-SLFها و عملگرها

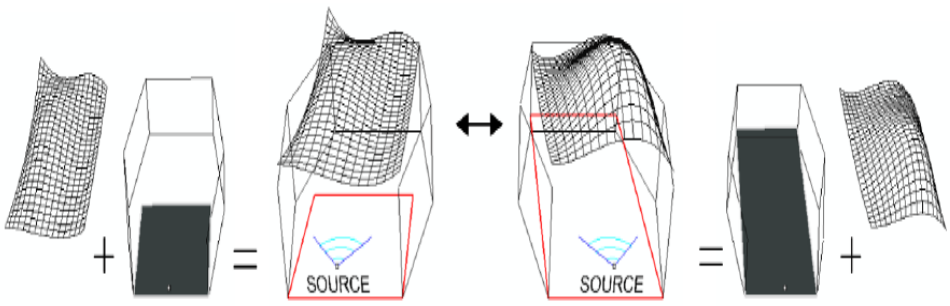
در یک ساختار هندسی تصادفی در یک پیکره بندی هندسی تصادفی و (c)- تنظیمات هندسی متوالی ساختار (آکگام و همکاران).

۳-۹ مورفینگ

مورفینگ به عنوان یک سیستم سه‌بعدی از میله‌های متصل به گره‌های خود توسط مفاصل لولا یا مفاصل تعریف می‌شود که در معرض نیروهای اعمال‌شده فقط در مراکز مشترک است. بند متعارف فضای ثابت، متشکل از واحدهای خرپای چهاروجهی است که سختی و استحکام بالایی را برای وزن فراهم می‌کند. آن‌ها را می‌توان به‌عنوان سیستم‌های ساختاری خمیده دوگانه مانند سقف ساختمان پروژه ادن و «گنبد جغرافیایی فولر» در مونترال طراحی کرد. سختی ویژه بالای خرپاهای فضایی آن‌ها را برای ساختارهای فضایی بزرگ بسیار مناسب می‌سازد، جایی که هزینه بالای درج اوربیتال، طراحی مفاهیم کارآمد و کارآمد را به وجود می‌آورد. مورفینگ {شبیه‌ساز کامپیوتری} را می‌توان به راحتی از سازه‌های خرپایی سنتی شناخته‌شده با جایگزینی برخی از خرپاهای با عملگرهای جابجایی خطی، ساخت. از طرف دیگر مفاصل یکی از مهم‌ترین چالش‌ها هستند. اولین کاربرد یک ساختار انطباقی با استفاده از یک مکانیزم بسته هندسه متغیر (VGT)در نمایشگاه بین‌المللی نمایشگاه بین‌المللی ۲۰۰۵ ژاپن نشان داده شد. این بنای تاریخی متحرکاز سه برج متحرک یک‌سان تشکیل شده‌است. هر یک از این برج‌ها شامل چهار عضو خرپایی ویژه است و شکل آن می‌تواند با کنترل طول هر یک از عملگرهای توسعه‌پذیر، متغیر باشد.

۴- بیان یافته های تحقیق

در این بخش از مقاله دو مورد از VGSها که قبلا مورد بحث قرار گرفته بودند برای تقویت عملکرد آکوستیکی یک فضای معماری عمومی پیشنهاد شده‌اند. به‌طورخاص، این مطالعه شامل استفاده از یک اریگامی سفت و محکم به‌عنوان سقف‌های تطبیقی است و از این فرض شروع می‌شود که آکوستیک مطلوب یک اتاق به سطح جمعیت و محل شنوندگان داخل آن بستگی دارد. هدف از این دو کاربرد، ارایه یک اعتبارسنجی عددی از الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی است. هیچ ارزیابی مقایسه‌ای بین دو گزینه ایجاد نشده است.



تصویر ۶. پوست با تغییرات در استفاده از اتاق سازگار می‌شود؛ ترسیم با نرم افزار نگارندگان.

از طریق یک سیستم حسی که هدف آن زمان تغییر شکل سقف است تا این امکان وجود داشته باشد که صدا درون اتاق بر روی مناطقی متمرکز شود که شنوندگان به‌طور موثر با توزیع همگن در آن قرار می‌گیرند. این کار منجر به چالش پیدا کردن یک پوشش منحصر به‌فرد می‌شود که قادر به تغییر در میان تنظیمات بهینه مختلف است. از آنجا که در مطالعه موردی نشان‌داده‌شده، تمرکز بیشتر بر روی تاثیر روش بهینه‌سازی نسبت به ارزیابی همه ترکیب‌های ممکن موقعیت‌های شنونده درون اتاق است، تنها دو شرایط ممکن در نظر گرفته خواهد شد:

- یک اتاق کاملاً شلوغ و
- یک اتاق که تنها در نیمه اول آن قرار دارد.

ایده مطرح‌شده برای الگوریتم بهینه‌سازی و جفت‌سازی یک فرآیند مورفوژنیک محاسباتی سنتی است که با استفاده از الگوریتم ممتیک(MA) با روش تراکم نیروی مجازی(VFDM) انجام می‌شود. VFDM که به‌عنوان یکی از اپراتورها در داخل MA کار می‌کند، امکان پذیر می‌سازد که امکان پذیر بودن جابجایی از یک پیکره‌بندی به دیگری را تضمین کند. هندسه با استفاده از نرم‌افزار NURBS تجاری Rhinoceros انجام شده‌است. از آنجایی که قرار است پوست از سقف اتاق آویزان شود، دامنه درون آن توسط حجم خاکستری بین بالا و حداقل ارتفاع داخلی اتاق نمایش داده می‌شود. تابع هدف که MA مبتنی بر عملکرد آکوستیکی اتاق است، برای تحلیل آن، یک شبیه‌ساز آکوستیک در داخل Rhinoceros با استفاده از روش رهیاب پرتو اجرا شده‌است. در این روش انرژی صوتی توسط ریخته‌گری یکنواخت اشعه، از یک منبع صوتی، به سمت شی، به دنبال اصول آکوستیکی صوت شبیه‌سازی می‌شود. خواص صوتی مواد نیز در مدل در نظر گرفته شده‌است (Cheung, Tachi, Calisch, Miura 2014). هر پرتو بخشی از انرژی آکوستیک را نشان می‌دهد. این انرژی هر باری ضعیف‌تر می‌شود که شعاع به یک سطح می‌رسد و تمام انرژی وقتی به سطح دریافت مطلوب می‌رسد، به آن افزوده می‌شود. این پرتو بازتابی درنهایت به ناحیه عمومی یا شنوندگان خواهد رسید که در آن ارزش انرژی آن تعیین می‌شود. با استفاده از بسیاری از اشعه‌ها و نقشه‌برداری مکان‌هایی که بازتاب آن‌ها به آن پایان می‌یابد امکان ارزیابی یکنواختی انعکاس صدا در یک سطح داده‌شده وجود دارد (Njoo, 2008). به‌ویژه برای این مورد مطالعه موردی انرژی آکوستیکی اشعه در آغاز تا ۱۰۰ ٪ تنظیم شده‌است و هر انعکاس در دیواره‌های مرزی و یا بر روی سقف تطبیقی به ترتیب ۱۵ و ۳۰ درصد انرژی پرتو را جذب می‌کند. اشعه‌های ساطع شده توسط منبع از ارتفاع ۲,۷ متر، در یک زاویه افقی و عمودی ۹۰ (هر دو طرف) منتشر می‌شوند. رهیاب پرتو هر ۲ را در داخل این حوزه ایجاد می‌کند تا در مجموع افق افق ۱۴۰۴ را نشان دهد. ناحیه حضار یا شنوندگان به دو بخش تقسیم می‌شود. معمولاً در نرم‌افزار شبیه‌سازی آکوستیکی این فضاها تنها یک شنونده را نشان می‌دهند، بنابراین ابعاد آن‌ها باید حدود ۵۰ * ۵۰ سانتی متر باشد. سپس سطح

یکنواختی توزیع صدا در ناحیه شنوندگان را تعیین می‌کنیم و مقدار انرژی که به یک شنونده منفرد می‌رسد را با وضعیت توزیع یکنواخت صدا مقایسه می‌کنیم. انحراف استاندارد که بین پاسخ آکوستیکی هر سطح و یک تصویر ایده‌آل محاسبه می‌شود، خوانده می‌شود.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[e_i - \mu_e]^2} \qquad (1)$$

که n = تعداد بخش‌ها در سطح شنوندگان هستند؛ سطح ei = سطح انرژی که به شنونده می‌رسد، سطح متوسط انرژی را در کل منطقه به خود اختصاص می‌دهد. سرانجام، تناسب افراد در MA به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{fitness} = 1/\mu_e + \delta^2 \to 0. \qquad (2)$$

روش تراکم نیروی مجازی (VFDM) یک فرمت از روش تراکم نیروی اولیه (FDM)، همانطور که توسط Linkwitz و Schek در سال ۱۹۷۱ ارائه شده است، از طریق تفسیر مجدد ماتریس اتصال و قانون نسبیت بردار و با موفقیت به مسائل هندسی مربوط به اشکال پیچیده در معماری پیوسته است (Njoo, 2008). VFDM در مقاله حاضر، همراه با یک MA، برای اطمینان از اینکه پیکربندی‌های بهینه VGS یافت‌شده از طریق MA همچنین نشان‌دهنده انرژی جنبشی سازگار با سیستم VGS اولیه هستند، پیشنهاد شده‌است. مزیت روش این است که هیچ مراقبتی در تحلیل سینماتیکی در طول این فرآیند مورد نیاز نیست چون امکان‌سنجی خود فرآیند همیشه تضمین می‌شود. عناصر اصلی الگوریتم عبارتند از:

(۱)مجموعه نقاط n (گره‌ها) $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots p_k) \in \mathbb{R}^n_3$ که در آن p_k یک آرایه ی 3 * 1 نشان-دهنده آرایه‌های نقطه شرطی k برای $k = 0, 1, \dots, n;$ هستند

(۲)یک ماتریس اتصال M

(۳)شرایط مرزی C

(۴)یک قانون تولید بردار r

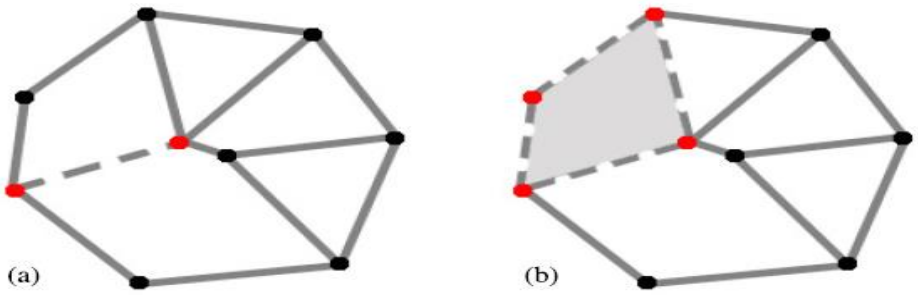
(۵)یک تابع هدف f.

P و M از نقطه‌نظر کلاسیک تعریف هندسی شبکه را کنار هم قرار می‌دهند. باید تاکید کرد که شکل M در الگوریتم می‌تواند به‌عنوان تابعی از طرح اتصال تغییر کند که به نوبه خود به هدف تعیین‌شده بستگی دارد. دو طرح اتصال جایگزین در شکل ۱۲ گزارش شده‌اند. C به شدت ضروری نیست زیرا از نقطه‌نظر ریاضی موقعیت اولیه گره‌ها می‌تواند نشان‌دهنده شرایط مرزی کافی باشد (به عبارت دیگر ممکن است که C = p). با این حال، زمانی‌که با پروژه‌های واقعی سر و کار دارید، نمی‌توانیم از تعریف محدودیت‌های بیشتر برای مختصات گرهی اجتناب کنیم. به طور کلی r می‌تواند تابعی

از p، M و در نهایت پارامترهای دیگر باشد (به‌عنوان مثال میدان نیرو) در صورتی که تنها هندسه، f باشد، کنترل‌کننده الگوریتم است.

$$r = r(\mathbf{p}, \mathbf{M}) \qquad (3)$$

ارزیابی تناسب در هر مرحله معیاری برای توقف تکرار است. این امکان پذیر و گاهی راحت است که از خود تابع هدف به عنوان قاعده تولید برداری استفاده کنید. در این مورد r و f با هم منطبق می‌شوند (r = f).



تصویر ۷. از سمت چپ به راست: (الف)اتصال بین دو راس مش – رابط یک کادر است؛ (b)یک اتصال جایگزین ممکن بین بیش از دو راس – رابط یک صورت است.

۵. نتیجه‌گیری و جمعبندی

هنر اوریگامی نه تنها از نظر کیفیت زیبایی‌شناختی به‌طور گسترده‌ای مورد تحسین قرار گرفته است بلکه امروزه به عنوان چارچوبی برای طراحی سازه‌ای و معماری مطرح می باشد. این هنر از پتانسیل-های الهام‌بخشی برای دستیابی به طرح‌هایی بدیع برخوردار است. با همکاری و تعامل، دانشجویان معماری توانستند از تکنیک اوریگامی به منظور پیشبرد مهارت‌های خود بهره برده و درک فضایی خود را ارتقاء بخشند. با ایجاد هماهنگی میان فعالیت‌های دست و ذهن، دانشجویان موفق شدند طرحی رضایت‌بخش، قابل اجرا و بدیع ارائه دهند. با این روش تولید اشکال و فرم‌های بی‌شماری ممکن شد که این امر مفاهیم مرتبط با بحث پیکربندی‌های فضایی را گسترش خواهد داد. با انجام چنین تمرینی و از طریق کار مداوم بر روی کاغذ و تبدیل آن به یک اثر هنری، امکانات بی شماری بر اساس تبدیلات و تغییر شکل‌هایی که تکنیک اوریگامی ارائه می‌دهد، در دسترس خواهد بود. به همین دلیل، فولدینگ با استفاده از کاغذ باید در بعضی از دوره‌های آموزشی طراحی معماری گنجانده شود تا از این طریق بتوان از این روش به عنوان ابزار و دستورالعملی نه تنها برای خلق فرم‌های جدید بلکه برای دستیابی به پتانسیل‌های آن در زمینه کاربردهای متنوع معماری بهره برد. علاوه بر این می توان گفت، چکیده‌ای از ماهیت هنر اوریگامی در طراحی معماری می‌تواند روند منطقی حل مسائل معماری مانند مسائل مربوط به مصالح، منطق ساخت، ایستایی سازه‌ای، عملکرد زیست‌محیطی و بهره‌وری انرژی را ارتقاء بخشد. محرک‌های طراحی مختلف بر فرآیند طراحی مانند معیارهای معماری یا مسایل زیست‌محیطی تاثیر می‌گذارند. بیشتر این شرایط وابسته به زمان هستند که منجر

به این چالش می‌شود که سیستم ساختمان باید قادر به واکنش به یا تعامل با این شرایط، به منظور ایجاد سیستم‌های عملکرد بالا باشد. این امر منجر به چارچوب کلی سیستم‌های سازگار یا بیونیک {داشتن قطعات بدن مصنوعی، به‌ویژه الکترومکانیکی.} می‌شود و از آنجایی که پوست ساختمان رابط بین کاربر، محیط و خود ساختمان است، این یک عنصر منطقی است که باید در فرآیند در نظر گرفته شود. تحقیقات کنونی پتانسیل متعددی را ارایه کرده‌است اما به ندرت در این جهت راه‌حل‌های کاربردی ارایه می‌دهد. چالش‌ها هنوز هم زیاد هستند و با توجه به رویکرد انتخابی متفاوت هستند. در این زمینه، دو مثال از رویه‌های تطبیقی، شامل یک اریگامی انعطاف پذیر و یک مجموعه توانی حافظه خود توانی ارائه شده‌است. به‌ویژه دو کاربرد، یک روش نوآورانه برای مدیریت یک فرآیند بهینه‌سازی را نشان می‌دهند که می‌تواند شامل چنین ساختارهایی شود. نتایج به‌دست‌آمده هم کارایی روش پیشنهادی و تطبیق‌پذیری آن را نشان می‌دهند. علاوه بر این، باید تاکید کرد که چگونه سهولت نسبی الگوریتم به راه‌حل منجر می‌شود تا از هر یک از ملاحظات صریح و صریح اجتناب شود. در حقیقت، تنها زمانی که پیکربندی بهینه پاسخ به مجموعه داده‌شده شرایط مرزی پیدا می‌شود، امکان حل یک مساله سینماتیک معکوس وجود دارد. به عنوان مثال، این بدان معناست که می‌توان به راحتی مجموعه وسیعی از راه‌حل‌های تکنولوژیکی مختلف برای یک سیستم VGS را مطالعه کرد و در نهایت تنها یک الگوریتم کنترلی بر روی سینماتیک هندسه ساختمان ایجاد کرد.

(*) 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

1. Asefi, M., and A. Foruzandeh. 2011. "Nature and Kinetic Architecture:The Development of a New Type of Transformable Structure for Temporary Applications." Journal of Civil Engineering and Architecture 5 (6):513-526.
2. Ban, S., R. Miyake, I. Luna, and L. A. Gould. 2009. Shigeru Ban: Paper in Architecture. New York: Rizzoli International Publications.
3. Belova A House-egg in Moscow: the Most original and prohibitively expensive symbol of "Luzhkov era" https://kulturologia.ru/blogs/230818/40209/
4. BerlogosSpotcampYalta 2015: Conference Follow-up http://www.berlogos.ru/news/spotcampyalta-2015-itogi-konferentsii/
5. Bianchini, M., I. Siliakus, and J. Aysta. 2009. The Paper Architect: Fold-It-Yourself Buildings and Structures. New York: Potter Craft, Spi edition.
6. Buri, H., and Y. Weinand. 2008. "Origami – Folded Plate Structures, Architecture." The Proceeding of 10th World Conference on Timber Engineering (WCTE), Miyazaki, Japan, June 2-5.

7. Cheung, K., T. Tachi, S. Calisch, and K. Miura. 2014. "Origami Interleaved Tube Cellular Materials." Smart Materials and Structures 23 (9): 094012.
8. Enshassi, A.; Kochendoerfer, B. & Rizq, E. (2014) "Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción". Rev. ing. constr. [online]. vol.29, n.3, pp.234-254.
9. Escolano, D. (2018) "Sistemas De Protección Solar Dinámicos". de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/1910
10. Falk, A., and P. von Buelow. 2011. "Form Exploration of Folded Plate Timber Structures Based on Performance Criteria." The 35th Annual Symposium of the IABSE 2011, the 52nd Annual Symposium of the IASS 2011 and incorporating the 6th International Conference on Space Structures
11. Fan Shu-Yang, B. F., and Raymond Cote (2004) "Principles and practice of ecological design.
12. Gentner, D. (1981). Generative Analogies as Mental Models. Third Annual Conference of Cognitive Science Society. Gerardin, L. (1968). Bionics, McGraw-Hill.
13. GRUBER, P. (2011). BIOMIMETICS IN ARCHITECTURE ARCHITECTURE OF LIFE AND BUILDINGS. R. B. Jo Lakeland, Petra Gruber. Verlag/Wien, SpringerWienNewYork.
14. GRUBER, P. (2011). BIOMIMETICS IN ARCHITECTURE ARCHITECTURE OF LIFE AND BUILDINGS. R. B. Jo Lakeland, Petra Gruber. Verlag/Wien, SpringerWienNewYork.
15. Hvattum, M. (2004). Gottfried Semper and the problem of historicism. Cambridge, Cambridge University Press.
16. K. Dorst, N. C. (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution." Design Studies 22(5): 425-437.
17. López, M.; Rubio, R.; Martín, S. & Croxford, B (2017) "How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes" de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1
18. M. Adj b (2009). "Thermal optimization of multilayered walls using genetic algorithms." Energy and Buildings (41): 1031–1036.
19. Mertins, D. (2004) "Bioconstructivisms." Departmental Papers (City and Regional Planning).
20. Negroponte, N. (1970). The architecture machine, MIT Press.
21. Njoo, A. H. G. (2008). ORGANIC ARCHITECTURE: ITS ORIGIN, DEVELOPMENT and IMPACT ON MID 20th CENTURY MELBOURNE ARCHITECTURE. School of Architecture and Design, RMIT University. Master of Architecture.
22. Pawlyn, M. (2011). b iomimi c r y in a r c h i t e c t u r e. R. publication.
23. Philippe Marin, J.-C. B., Hervé Lequay (2008). "A Genetic Algorithm for use in Creative Design Processes." Potoghesi, P. (2000). "Nature and Architecture."
24. Rossi, A. (1976). "An Analogical Architecture." Architectura and Urbanism (56): 74-76.
25. SANDEEP ARORA, S. S. (2009). An Evolutionary Architecture: Adapted, interactive, and effectively integrated design. PLEA2009 - The 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada.
26. Steadman, P., Ed. (2008). The Evolution of Designs Biological analogy in architecture and the applied arts. New York, London, Routledge, Taylor & Francis e-Library.

27. Steenson, M. W. (2010). Artificial Intelligence, Architectural Intelligence: The Computer in Architecture, 1960–80. School of Architecture, Princeton University M.A.
28. Stroble Nagel, R. B. S. a. D. A. M. A. (2010). "Function-Based Biology Inspired Concept Generation." Artificial Intelligence for
29. The new "Ark" will save people from flooding http://zele.ru/novosti/arhitektura/novyynavodneniya-
30. Umorina Z 2017 Peculiarities of natural technology application in architecture International Conference on Construction, Architecture
31. Victor Olgyay, A. O. (1963). Design with Climate: School of Architecture, Princeton University.

چکـــــیده لاتین

Alireza Sadeghi – *Associate Professor, Architecture and Urbanism Faculty, Shiraz University, Shiraz, Iran*
Kourosh Momeni –*Associate Professor of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran, and Corresponding Author: K_Momeni@jsu.ac.ir*
Vahid Vahdat- *Associate Professor of Architecture and Interior Design, Washington State University, Washington, USA*

Biomimetic morphing design in roof origami construction shell with VGS optimization process for architectural acoustics

Abstract

The concept of "adaptive moving and morphing" structures has received much attention in recent years in many engineering fields. However, in civil engineering, very few practical applications have been reported. Unconventional structural concepts such as deliverable, inflatable, and morphing structures may actually be innovative solutions to some of the problems the construction industry faces, thanks to biomimetic knowledge. The main purpose of this paper is to present a basic computational morphing design for the biomimetic building shell in order to the building. It is a descriptive-analytical research method that has used data collection tools including library and documentary studies. Research findings have shown that the core of this application is the use of a new optimization process that leads to the search for the optimal solution using an evolutionary technique, while the consistency of the configurations obtained from the adaptive coverage is guaranteed by the virtual force density method. This means that one can easily study a wide set of different technological solutions for a VGS system and finally create only one control algorithm on the kinematics of the building geometry that can be generalized in bionic architecture.

Keywords: *acoustics, computational architecture, building skin, biomimetic.*

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:
صادقی، علی. مومنی، کورش. وحدت، وحید. (۱۴۰۲) طراحی مورفینگ بیومیمتیکس در پوسته ساختمانی اوریگامی سقف با فرآیند بهینه‌سازی VGS برای آکوستیک معماری، ۳(۱۰)، ۱-۲۰.
DOI: 10.52547/ijba.11.1.1
DOR: 20.1001.1.28212398.1402.5.1.1.1
URL: www.ijba.ir/fa/downloadpaper.php?pid=149&rid=18&p=A