فرهنگ و زیست فناوری معماری

نشریه علمی فرهنگ و زیست‌فناوری معماری

ویژه‌نامه زمستان ۱۴۰۱، سال ۲، پیاپی ۷

بررسی دانش بوتانی در معماری با تاکید بر ساختارهای الهام‌گرفته از درخت از دهه ۱۹۳۰ تا دوران معاصر

زمان دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۱، زمان انتشار: ۱۴۰۲/۳/۲۳

شاهین ایلکا[1]- گروه معماری، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

شهاب ایلکا- گروه معماری، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

بیومیمکیری منبع الهام طراحی معماری با رویکردهای مختلفی است که توسط معماران و مهندسان به‌کار گرفته می‌شود که به طبیعت ارجاع می‌دهند. شکل درختان بسیار پیچیده و مقطعی است و مجموعه‌ای از عملکردهای فیزیکی، مکانیکی و بیولوژیکی دارند. رابطه بین آن‌ها همیشه توجه انسان‌ها را در طول تاریخ جلب کرده‌اند و با تمرکز بر رابطه بین شکل و قدرت ساختاری، معماران تعدادی سازه درختی‌شکل را طراحی کرده‌اند که به «درخت‌سان» منسوب هستند. تکرار و پذیرش الگوهای درختی‌شکل برای ساخت سازه‌های معماری در دوره‌های زمانی مختلف براساس دانش و تکنولوژی‌های موجود و پیشرفته متفاوت بوده‌است. این مقاله، با بحث مختصری درباره عملکرد بیولوژیکی و ویژگی‌های مکانیکی درختان با توجه به شکل آن‌ها، تکامل ساختارهای درخت‌سان در معماری را با اشاره به برخی از ویژگی‌های مهم تاریخی و نمونه‌های معاصر مورد بررسی قرار می‌دهد. همچنین در دوران معاصر تحقیقات بر روی خواص درختان و گیاهان، ازجمله فرکتال‌ها و دیگر ویژگی‌های هندسی و هندسی زمینه‌ای، چشم‌انداز جدیدی را برای ابداعات اشکال و ساختارهای معماری به خاطر پیشرفت سریع علم و تکنولوژی باز کرده‌اند. درک عمیق‌تر از شکل مقطعی و رفتار ساختاری مرتبط با آن می‌تواند حقایق ناشناخته و مکانیسم‌های اشکال و عملکرد درختان را آشکار کند؛ بنابراین، با استفاده از تکنولوژی‌های نوظهور، محققان می‌توانند ساختارهای ساده‌تر و خلاقانه‌تر، بهتر و بسیار کارآمد را ارایه کنند که نه تنها می‌تواند مشکلات ساختاری و فضایی در معماری را حل کند، بلکه دارای طرح‌های نوآورانه نیز باشد.

واژگان کلیدی: بیونیک، بوتانی، درخت و سازه درخت‌سان.

[1] مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۹۱۲۳۰۷۱۶۳۲، رایانامه: shahin.ilka@yahoo.com

۱. مقدمه و بیان مساله

دنیای پدیده‌های طبیعی توجه ما را به‌عنوان یک منبع الهام جلب می‌کند. اگرچه یادگیری از طبیعت مفهوم جدیدی نیست، اما با پیشرفت فن‌آوری، یک رویکرد دوباره درحال ظهور در گستره وسیعی از رشته‌ها است. مفهوم «بیومیمیکری»[1]، به‌عنوان علم و فلسفه یادگیری از طبیعت درنظر گرفته می‌شود (Benyusis، ۲۰۰۲)، منبع الهام طراحی معماری با رویکردهای مختلفی است که توسط معماران و مهندسان به‌کار گرفته می‌شود که به طبیعت ارجاع می‌دهند. اغلب، طبیعت به عنوان الهام با ریاضیات ترکیب می‌شود تا فراتر از الهام سطحی حرکت کند و سازه‌های منطقی ساختاری را تحقق بخشد. ریاضیات، قوانینی را ارایه می‌دهد که معماران و مهندسان را هدایت می‌کند تا پیچیدگی اشکال طبیعی را درک کنند. هندسه غیر اقلیدسی درختان طبیعی درحال حاضر برای توضیح از طریق ریاضیات توسط مفهوم هندسه‌های پیچیده، غیر خطی و مقطعی امکان‌پذیر شده‌است (casti, 1989). فراکتال که در دهه ۱۹۷۰ توسط «مندلوبروت»[2] ابداع شد، می‌تواند به طور نظری هندسه بسیاری از اشیا طبیعی را تعریف کند (Mandelbrot, 1982). از دوران پیش از تاریخ تا دوران معاصر، درختان و گیاهان عمدتاً برای هدف تزئینی در معماری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در دوره‌های کلاسیک و رومی (۵۰۰ پیش از میلاد تا ۴۰۰ بعد از میلاد)، شکل‌های گیاهی و گل که با جزئیات کوچک طراحی شده‌بودند، با تمرکز بر نسبت‌های زیبایی طراحی برای غنی‌سازی تزئینات معماری، ویژگی-های برجسته معماری شدند. تاکید ویژه‌ای بر بی‌نقصی طراحی حتی برای کوچک‌ترین جزئیات داده شد، و تنها تعداد معدودی از نوابغ انتخابی این توانایی را داشتند. با این حال، علاقه معماران به شکل درخت منحصر به اهداف تزیینی نبوده است. از گذشته‌های دور، معماران و سازندگان تلاش کردند که یکی از مهم‌ترین جنبه‌های اشکال درختی شکل را تقلید کنند مانند ویژگی‌های ساختاری و مکانیکی، کاربرد فراوان و توسعه مفاهیم ریاضی خاص. ساختارهای درختی در دوران قرون‌وسطی در چارچوب و طاق‌های سنگی ساخته شدند که تکنیکی پیشرفته و بنیادی در آن زمان بود. در قرن نوزدهم، در دوران هنر آرت‌نوو، علاقه به شکل‌های گیاهی و گل به اوج خود رسیده بود، به ویژه هنگامی که معماران، مهارت‌های استفاده از آهن چدنی را در ساخت‌وساز توسعه دادند و به طراحان اجازه دادند تا طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های گیاهی را که دارای برخی ویژگی‌های ساختاری نیز هستند را اجرا کنند و در همان قرن، پیشرفت استاتیک گرافیکی به عنوان یک رویکرد نظری، به درک ارتباط بین شکل‌های ساختاری و تعادل نیروها کمک کرد و به معماران قرن ۱۹ اجازه داد تا چندین ساختار منحصر به‌فرد را بسازند. در دوران مدرن و اواسط قرن بیستم، معماران فرم تشکیل درخت‌های پیچیده را به‌عنوان هندسه ساده اقلیدسی و هندسه هیپربولیک، و ساختارهای درخت‌سان را با استفاده از یک تکنولوژی بتن مسلح پیشرفته ساختند. امروزه تقلید از اشکال پیچیده و تقریباً

[1] biomimicry
[2] Mandelbrot

وصف‌ناپذیر اشکال گیاهی در یک زمان کوتاه، با استفاده از فرآیندهای محاسباتی پیشرفته و الگوریتم‌های ساده ریاضی، ممکن شده‌است. انقلاب ریاضی و توسعه تکنولوژی کامپیوتر، معماران و مهندسان را قادر ساخت که معماری و درختان را به شکل پیچیده‌تر و منطقی‌تر از لحاظ ساختاری به یکدیگر متصل کنند. ابزارهای نمونه‌برداری سریع و چاپگرهای سه‌بعدی امکان ساخت طرح‌های دیجیتالی پیچیده را به آسانی و سریع به وجود آوردند. این مقاله با بررسی ویژگی‌های هندسی اساسی شکل درختی و با بحث در مورد هندسه مقطعی که دارای ویژگی اساسی از خودهمانندی است و سپس با بررسی عملکرد بیولوژیکی، ساختاری و مکانیکی آن‌ها با ارجاع به پیکربندی‌های مانند فراکتال، بحث را آغاز می‌کند. سپس مثال‌هایی از مثال‌های مهم را که به دو بخش تقسیم می‌شوند، مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد.

۲. روش‌شناسی و پیشینه تحقیق

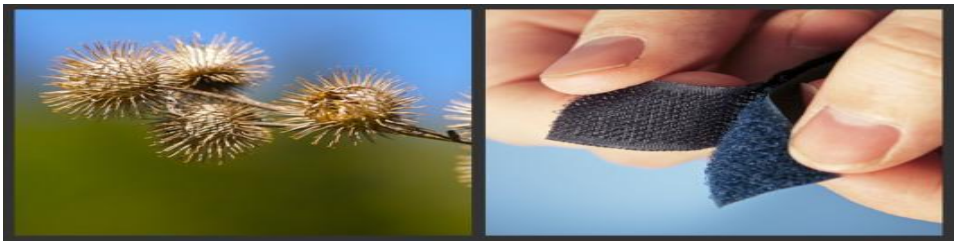
روش تحقیق توصیفی و تحلیلی است که از روش تحلیل منطقی استدلالی برای دسته‌بندی انواع روش‌های الگوبرداری از درختان در معماری دوران معاصر استفاده شده است. در این راستا، به بررسی سازه‌های معماری که با الهام از درخت ساخته و طراحی شده‌اند، پرداخته شده و اصول آن‌ها بیان شده است.

۳. ادبیات تحقیق

۳-۱ دانش بوتانی

کشف قوانینی که بر تغذیه گیاه و رشد و نمو آن حکومت می‌کند، شناخت توانایی واقعی سلول‌ها در انجام فعالیت‌های بیولوژیک و همچنین ارائه روش‌هایی که ظهور یکی از توانائی‌های سلولی را امکان‌پذیر می‌سازد، هدف اساسی «فیزیولوژی گیاهی» محسوب می‌شود. گیاه‌شناسی، زیست-شناسی‌گیاهی (به انگلیسی *Botany*) یکی از رشته‌های زیست‌شناسی است که به‌مطالعه و بررسی زندگی و رشد و نمو گیاهان می‌پردازد. گیاه‌شناسی دربرگیرنده شاخه‌های بسیاری از علوم زیستی است که به بررسی گیاهان، جلبک‌ها و قارچ‌ها می‌پردازند. از زیرشاخه‌های گیاه‌شناسی می‌توان به ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و گرده‌شناسی اشاره نمود. اولین اقدامات مربوط به گیاه‌شناسی که در حدود ۳۰۰ سال قبل از میلاد نوشته شده دو رساله بزرگ توسط تئوفراستوس (فیلسوف یونانی) دیده می‌شود: درباره تاریخچه گیاهان و درباره اهداف گیاهان. این دو کتاب روی هم بیشترین تأثیر را در دوران باستان و قرون وسطی در علم گیاه‌شناسی داشته‌اند. «رابرت هوک» در سال ۱۶۶۵ با استفاده از یک میکروسکوپ ابتدایی، سلول را در چوب پنبه و اندک زمانی بعد در بافت گیاه زنده کشف کرد. او با نگاه به یک برش باریکی از چوب پنبه نوشت: من توانستم تعداد بسیار زیادی منفذ و سوراخ در آن مشاهده کنم که بیشتر شبیه کندوی عسل هستند. این روزنه‌ها یا سلول‌ها عمق زیادی نداشتند اما تعداد بسیار زیادی جعبه کوچک محسوب می‌شوند.

تصویر ۱. الگوبرداری از کاکتوس در طراحی برج کاکتوس؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.



تصویر ۲. طراحی زیپ‌های چسبان با تقلید از گیاهان چسبان؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.

تصویر ۳. همزیستی گیاهان و معماری؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.

۳-۲ فیزیولوژی گیاهی

فیزیولوژی گیاهی را می‌توان مطالعه اعمال حیاتی گیاه، فرایندهای چرخه‌ای متحرک رشد، متابولیزم و تولیدمثل دانست. مباحث زیادی در فیزیولوژی گیاهی بحث می‌شود و در هیچ علمی نحوه پیشرفت واضح‌تر از زمینه فیزیولوژی گیاهی نیست. از مباحثی که در فیزیولوژی گیاهی بحث می‌شود، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- یاخته کوچک‌ترین واحدی است که همه ویژگی‌های حیات را دارد.

۲- تعدادی یاخته با یکدیگر همکاری می‌کنند و یک بافت را به وجود می‌آورند.

۳- هر اندام از چند بافت مختلف تشکیل می‌شود؛ مانند استخوانی که در اینجا نشان داده است.

۴- بدن این گوزن از چند دستگاه و هر دستگاه از چند اندام تشکیل شده است؛ مثلاً دستگاه حرکتی از ماهیچه‌ها و استخوان‌ها تشکیل شده است.

۵- جانداری مانند این گوزن، فردی از گونه گوزن‌هاست.

۶- افراد یک گونه که در یک‌جا زندگی می‌کنند، یک جمعیت را به وجود می‌آورند.
۷- در هر بوم‌سازگان جمعیت‌های گوناگون با هم تعامل دارند و یک اجتماع را به‌وجود می‌آورند.
۸- زیست‌بوم از چند بوم‌سازگان تشکیل می‌شود.
۹- زیست‌کره شامل همه جانداران، همه زیستگاه‌ها و همه زیست‌بوم‌های زمین است.

تصویر ۴. الهام از درختان در معماری؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.

۳-۳ معماری فراکتال

فراکتال‌ها شکل‌هایی هستند که برعکس شکل‌های هندسه اقلیدسی به هیچ وجه به معنی متعارف، منظم نیستند، این شکل‌ها اولاً سراسر نامنظم‌اند؛ ثانیاً میزان بی‌نظمی آن‌ها در همه مقیاس‌ها یکسان است یعنی به‌نوعی دیگر منظم‌اند (خاک‌زند و احمدی، ۱۳۸۶، ص ۳۹). فراکتال‌ها دارای فُرم و ساختار اولیه هستند که در راستای همسازی سلولی آن‌ها شکل می گیرد، یعنی فُرم اولیه شهر را می‌توان از فرم نخستین هسته شهر پیش‌بینی کرد که تا حدودی مورد توافق اندیشمندان شهرسازی قرار می‌گیرد. «ادوارد لارنز» استاد علوم هواشناسی در دانشگاه ام.آی. تی در آمریکا، «نظریه آشفتگی» را در ده هفتاد میلادی مطرح کرد. وی در سال ۱۹۷۲ مقاله‌ای با عنوان «آیا حرکت بال پروانه در برزیل باعث به وجود آمدن گردبادهای عظیم در تگزاس می‌شود؟» را منتشر نمود. این مقاله به نام «اثر پروانه» شهرت یافت. بر اساس این نظریه، اتفاقات کوچک موجب رخ دادن اتفاقات بزرگ می‌شود. به‌نظر لارنز، به دلیل وجود آشفتگی، تغییرات آب و هوایی را نمی‌توان پیش‌بینی کرد و همیشه این پیش‌بینی‌ها تقریبی‌است. کاربست مفاهیمی همچون روابط غیر خطی پیچیدگی و فرایندهای تکرار و تداوم، در معماری پست مدرن از کارکردهای هندسه فراکتالی در معماری بشمار می‌روند که در آثار معماران دیکانستراکشن مانند زاها حدید و فرانک گری مشهود است. طراحی موزه بیلبائوی فرانک گری نمونه آشکار بهره گیری از سیالیت فضایی و تکرار و تداوم فُرم‌های سیال با پیچیدگی و روابط آشفتگی ویژه‌ای است یا طراحی زاها حدید برای اپرای «کاردیف بای» با استفاده

از «هندسه فرکتالی» برای بکارگیری حس «تداوم» در سطوح حامل تغییر را می‌توان نمونه آشکار کاربست هندسه فراکتالی شمرد. برخی بناهای سنتی مانند اپرای پاریس «شارل گارنیه» (۱۸۲۵–۱۸۹۸) دارای مقیاس‌های فراکتالی ویژه‌ای هستند (سردار و آبرامس، ۱۳۷۹) که دارای جزییاتی هماهنگ با بنا هستند که با نزدیک شدن جزییات بیشتری جلوه می‌کند. فراکتال‌ها دارای دو ویژگی و مشخّصه وابسته به هم هستند:

۱. «آن‌ها دارای لبه‌ها و وجوه منفذدار تاب‌خورده و غیرمستقیم هستند»؛

«از چند ساختار متّصل به هم، با مقیاس‌های مختلف و متفاوت شکل گرفته‌اند» در ساختار شهرهای تاریخی، مقیاس‌های متعددی وجود دارد. کلونادها، رواق‌ها، ردیف‌های ساختمان‌ها و مسیرهای متقاطع مربوط به یک سطح نفوذپذیرند که امکان تبادل را ممکن می‌سازد. این می‌تواند یک فراکتال باشد. نکته مهمّی که در ابعاد فراکتال مطرح است، مقیاس فراکتال‌هاست. معماری و شهرسازی در مقیاس بشری فراکتال‌ها را بکار می‌گیرند؛ به‌عنوان نمونه در یک کلوناد زمانی که فاصله ستون‌ها بین ۱ تا ۳ متر باشد، مفید است و بیشتر از آن خارج از احساس انسانی است (سالینگاروس، ۱۳۸۲ ص ۲۷–۲۸).

۳-۴ هندسه مقطعی و فرم طبیعت

هندسه مقطعی، شاخه‌ای از ریاضیات است که در دهه ۱۹۷۰ توسعه یافت و توسط الگوهای تشابه و رشد بازگشتی توصیف شد (Mandelbrot، ۱۹۸۲). اگرچه از نقطه‌نظر ریاضی، اشیا مقطعی دارای ابعاد کسری هستند به‌طوری‌که آن‌ها میانی بین یک و دو شکل یک بعدی یا دو بعدی هستند (Falconer، ۲۰۰۳)، اما درحالت کلی، اشیا مقطعی ویژگی‌های دقیقاً یا تقریبا یک‌سان بودن در هر مقیاس فزاینده را نشان می‌دهند. با با این حال، در تعریف ریاضی، هیچ شی طبیعی صرفاً یک فرکتال نیست، بلکه می‌تواند به عنوان یک مقطع تقریبی یا مقطعی که خودهمانندی و خودوابستگی را بیش از مقیاس محدود اما محدود نمایش می‌دهد، نامیده شود (Bovill، ۱۹۹۹). فرم، شکل و الگوی یک شی طبیعی نتایج پدیدارشناختی آن هستند و بنابراین درک می‌شود که همبستگی قوی بین شکل‌های زیستی و ویژگی‌های مکانیکی وجود دارد (تامپسون، ۱۹۹۲). بر این اساس، هندسه مقطعی طبیعت، احتمالاً ارتباطی با رفتار ساختاری و مکانیکی طبیعی دارد. با این‌حال، بحث جدیدی در مورد هندسه مقطعی و تعریف آن برای توضیح شکل و الگوی طبیعت وجود دارد (Bejan 2000). در قانون ساختاری خود استدلال می‌کند که این قوانین ترمودینامیک است که هندسه و شکل اشیا طبیعی را کنترل می‌کند و هیچ ارتباط عملکردی بین اشکال هندسی و هندسه مقطعی وجود ندارد. چندین قرن، انواعی از اشکال طبیعی که در بسیاری از موارد هندسه مقطعی را در ظاهر ساختاری خود نشان می‌دهند، مانند درختان، سلول‌ها، کریستال‌ها، و غیره، به طور خلاقانه توسط معماران و مهندسان در پروژه‌هایی مانند پوسته‌ها، سازه‌های سبک، قوس‌ها، خیمه‌ها و پل‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در

گذشته، چندین روش تکنیکی برای اتصال مفاهیم مقطعی با معماری به روش مبتنی بر فرآیند مدل‌سازی فیزیکی به کار گرفته شد. اما امروزه، رویکرد زایشی رویه‌ای مبتنی بر ترکیب توابع ریاضی می‌تواند با استفاده از مزایای تکنولوژی کامپیوتر معاصر برای اتصال مفهوم مقطعی با معماری انجام شود (Huylebrouck، ۲۰۰۶).

۳-۵ درختان فراکتال (درختان برخالی)

درختان با شاخه‌های آن‌ها یکی از زیباترین نمونه‌های تقریبی فراکتال‌های طبیعی هستند که خودمشابه و بسیار نامنظم هستند. توضیحات مختلفی در مورد هندسه شاخه‌های فراکتال شکل از زوایای مختلف رشته‌هایی مثل بیولوژیکی، ساختاری و مکانیکی وجود دارد. با این‌حال، توضیح اولیه از نیازهای عملکردی است. برگ‌های درختان که برای تولید مواد غذایی ضروری هستند، به مقدار زیادی نور خورشید برای فتوسنتز نیاز دارند و این دلیل گسترش آن‌ها و در معرض نور خورشید تا حد ممکن است. اکثر درختان، شکل بیرونی آن یعنی تاجی را شکل می‌دهند، به‌طوری‌که برگ‌ها می‌توانند در تمام ساعات روز با تغییر مسیر خورشید از صبح تا غروب در معرض نور خورشید قرار بگیرد؛ اما درعین‌حال برای نیازهای اساسی زیستی، تمام برگ‌ها در سطح بزرگ به مایعات و آب نیاز دارند. آرایش انشعاب شبکه بهینه‌شده برای انتقال سیال‌ها به برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها است. به علاوه، به دلیل الگوی انشعاب، برگ‌های جدید به گونه‌ای رشد می‌کنند که از سایه گرفتن برگ‌های پیرتر از نور خورشید خودداری می‌کنند. زیست‌شناس «لئوپولد» (۱۹۷۱) تلاش کرده‌است تا توضیح علمی بیشتری در مورد انگیزه الگوی انشعاب درختان بدهد. با توجه به او، به‌نظر می‌رسد که الگوهای شاخه‌ای درختان با تمایلات متضاد که مشابه با حداقل هزینه انرژی و استفاده از انرژی یکنواخت هستند، کنترل می‌شوند. در مورد درختان، می‌توان فرض کرد که حداقل هزینه انرژی شامل به حداقل رساندن طول کل شاخه‌ها و ساقه‌ها است، درحالی‌که استفاده از انرژی یکنواخت ممکن است باعث ایجاد یک سطح فتوسنتزی شود که تمایل دارد به بیش‌ترین استفاده از نور خورشید تحت محدودیت-های خاصی دست یابد. با این وجود، از نقطه‌نظر ساختاری، تبیین‌های مختلفی از الگوی انشعاب درختان در رابطه با جنبه مکانیکی ساختار آن ها وجود دارد.

۳-۶ مکانیک درخت و کارایی الگوی شاخه

درختان، ارگانیسم‌هایی هستند که توسط خودشان می‌ایستند، بنابراین شکل آن‌ها یک عقلانیت ساختاری ذاتی دارد. درختان در معرض انواع مختلفی از بارهای خارجی و داخلی قرار دارند. باد یکی از اصلی‌ترین بارهای خارجی است که در مقابل آن درخت می‌تواند شکل خود را پیکربندی کند به‌طوری‌که بتواند در برابر نیروی باد قوی مقاومت کند و گشتاور خمشی حاصل را برطرف کند. فشردگی محوری ناشی از وزن مخصوص خود، بار دیگری است که توسط ساقه‌ها و تنه درخت انجام می‌شود. در شرایط خمش، وقتی درخت در معرض باد قرار می‌گیرد، تنش‌ها از کشش در

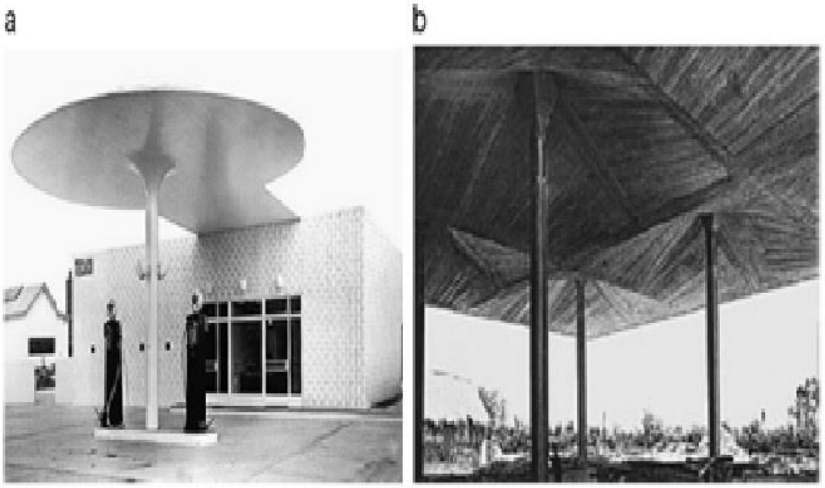
سمت محدب یک مولفه تغییر می‌کند. از طرف دیگر، تنش برشی داخلی مانع از لغزش قطعات جدا شده روی سطوح برشی می‌شود. از لحاظ ساختاری، برای عملکرد خوب، این تنش‌ها باید برای توزیع یکنواخت بارهای یکنواخت همگن باشند. درختان شکل خود را برای دنبال کردن این تقاضای ساختاری بهینه می‌کنند (Mattheck، ۱۹۹۱). شاخه‌های فراکتال شکل سهم بزرگی در مقابله با بارهای باد دارند. نوسان یک درخت تحت بار سنگین باد هماهنگ نیست، اما به دلیل اندرکنش دینامیکی شاخه‌ها بسیار پیچیده است. تحت نیروی بارگذاری باد، گروهی از شاخه‌های طرح دار پیچیده به عنوان یک جرم منجر به میرایی دینامیکی که به عنوان میرایی جمعی شناخته می‌شود، برای کاهش حرکت نوسان هارمونیکی خطرناک در تنه عمل می‌کند و بنابراین پایداری مکانیکی درخت را به حداقل می‌رساند و باعث افزایش ثبات مکانیکی درخت می‌شود (Jamesetal، ۲۰۰۶). اسکلت مقطعی یک درخت، باد سنگین را واگرا می‌کند تا تاثیر روی تنه درخت آن را کاهش دهد (Eloy، ۲۰۱۱). علاوه بر این، ابعاد مقطعی بالاتر شاخه‌ها به افزایش نیروها و اصطکاک‌ها در درختان کمک می‌کند، بنابراین سرعت باد را در مسیر خود به‌ویژه در طی طوفان کاهش می‌دهد (کانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

۴- بیان یافته‌های تحقیق

۴-۱ درخت چتری (۱۹۳۰-۱۹۷۰)

پیشرفت تکنولوژی بتن مسلح در آغاز قرن بیستم، کار معماران و مهندسان را آسان ساخت و راه‌حل‌های ساختاری متعددی برای دستیابی به فرم‌های ساختاری انتزاعی و ساخته‌شده ارایه کرد. در نیمه اول قرن بیستم، بسیاری از معماران و مهندسان سازه، در طول روند مینیمالیسم ساختاری با تکنیک‌های محدود، اما نسبتاً پیچیده، عملکرد ساختاری درختان را پذیرفتند. پیشرفت تکنولوژی بتن مسلح در آغاز قرن بیستم، کار معماران و مهندسان را آسان ساخت و راه‌حل‌های ساختاری متعددی برای دستیابی به فرم‌های ساختاری انتزاعی و ساخته‌شده ارایه کرد. در گذشته، بتن تقویت‌شده توسط معماران در رم باستان به طور عمده به عنوان مواد برای ستون‌های نگهدارنده مورد استفاده قرار گرفت. در آن زمان با آهن مسلح شد، اما دانش رسانه در طول قرون‌وسطی از دست رفت. پس از سال‌ها شکاف، آزمایش استفاده از بتن مسلح دوباره در قرن نوزدهم در فرانسه آغاز شد. در دهه ۱۸۸۰ مهندسان از بتون مسلح در پایه‌های پل و دیگر کاربردهای غیر معماری استفاده کردند. در آغاز دهه ۱۹۹۰ فولاد به صورت گسترده در دسترس قرار گرفت و جایگزین آهن ضعیف‌تر برای تقویت بتون شد. در ۱۹۰۸، ترنر در شیکاگو و رابرت میلارت در سوئیس به طور مستقل پیشگام استفاده از بتن مسلح زمان اول برای ساخت سازه‌های ساختمانی بودند (Lipman، ۱۹۸۶). برای تقویت تنش‌های برشی که در غیر این صورت تمایل دارند تا آن‌ها را از طریق قطعات خرد کنند، پست‌های پیش‌ساخته برای حمایت از دال‌های کف سیمانی طراحی شده‌اند. بعدها این نوع ستون

به‌عنوان ستون‌های قارچ و یا سازه‌های چتری شناخته می‌شد چون شبیه قارچ و چتر به نظر می‌رسیدند. ۱۹۳۰ یکی از قدیمی‌ترین نمونه‌های ساختار قارچ بتن مسلح، که به معنی ایجاد اشکال مانند قارچ و یا چتر است، ایستگاه بنزین *Skovshoved* در دانمارک است که توسط *Jacobsen* در سال ۱۹۳۶ طراحی شده‌است.

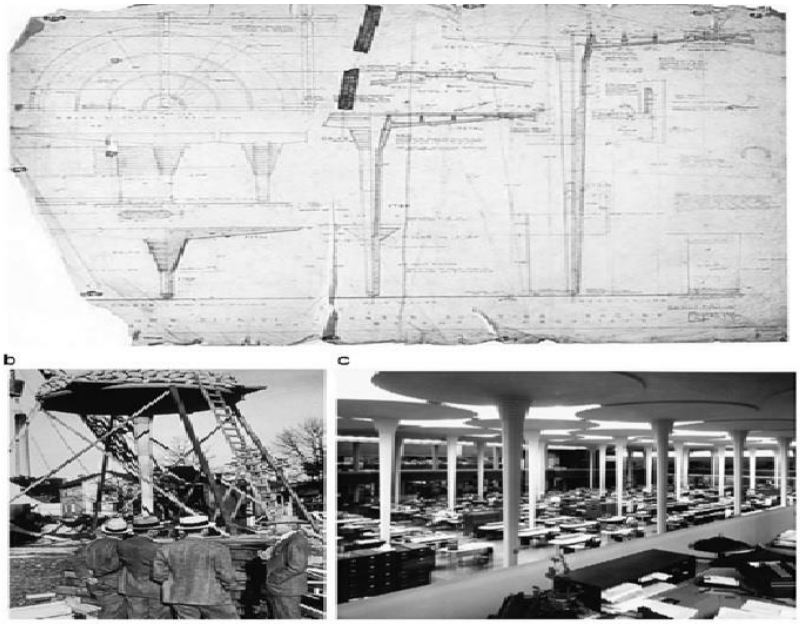


تصویر ۶. استگاه بنزین دانمارک؛ ماخذ: آرشیو نگارندگان.

۴-۲ درخت قارچی رایت (۱۹۳-۱۹۶۰)

«جورجیو بارونی»، مهندس ایتالیایی، به‌طور مستقل ساختارهای چتر قارچ را که به نام درخت Baroni's در سال ۱۹۳۸ شناخته شده‌بود، طراحی کرد. در همین زمان، یک معمار برجسته آرژانتینی به نام آمانیکو ویلیامز، که از سال ۱۹۳۹ آغاز شد، و با هم‌کاری مهندس ایتالیایی جولیو پزتی، پروژه سقف صدفی با ضخامت کم را آغاز کرد. شکلی که ویلیامز پیشنهاد داده بود، از مخروط با ظاهری منحصر به فرد از لبه‌های مواج، که کاملاً متفاوت از اشکال منظم بود، به دست آمد. مطالعه شکل بهینه و آرایش تقویتی بهینه به ضخامت حدود ۵ سانتی‌متر منتهی شد که در آن زمان برای یک ساختار معلق بسیار غیر معمول بود. ویلیامز ساختار چتری خود را برای طراحی بنای یادبود برای آهنگساز معروف آرژانتینی آلبرتو ویلیامز در صدمین سالگرد تولد خود به کار گرفت. در سال ۱۹۶۶، ویلیامز یک راه‌حل مشابه برای ساخت غرفه برای نمایشگاه بورن در پالرمو به دست آورد و برای اولین بار به‌عنوان سازه‌های واقعی از چترها استفاده کرد، اما پایه و ضخامت آن‌ها را کاهش داد.این ساختمان تقریبا به‌طورکامل در بتن مسلح ساخته شده‌بود، اما این غرفه پس از دو ماه، با وجود تلاش‌های ویلیام برای جلوگیری از وقوع این حادثه تخریب شد. با این‌حال، سه دهه پس از آن در سال ۱۹۹۹، پسرش «کلادیو ویلیامز» با مهندس معمار کلادیو برای طراحی بنای یادبود آلبرتو ویلیامز در بوینس‌آیرس، آرژانتین، به عنوان نشانه برتری ویلیامز به مناسبت پایان هزاره ساخته شده‌بود.

در همان دهه ۱۹۳۰، تحولات ستون‌های قارچ به سرعت به راس خود در ساختمان حکومتی واکس جانسون رسید که توسط رایت طراحی شد و در سال ۱۹۳۹ ساخته شد (نمونه‌ای از ساختارهای قارچ بتنی). در دهه ۱۹۳۰، در یکی از گفتگوهای اولیه خود با هربرت جانسون، مالک کارخانه واکس جانسون، رایت به او قول داده بود یک ساختمان زیبا ایجاد کند که در آن فرد می‌توانست احساس کند که در میان درختان کاج است که هوای تازه و نور خورشید را تنفس می‌کند. بدون شک، استفاده رایت از ستون قارچی لوله‌ای به سبک منحصر به فرد، هم از لحاظ فنی و هم مکانی، یک نوآوری مهم در معماری‌های قرن بیستم بود و رایت ستون‌های درخت‌سان نامگذاری کرد.



تصویر ۷. نمونه‌ای از درخت‌سان رایت؛ ماخذ: ارشیو نگارنده.

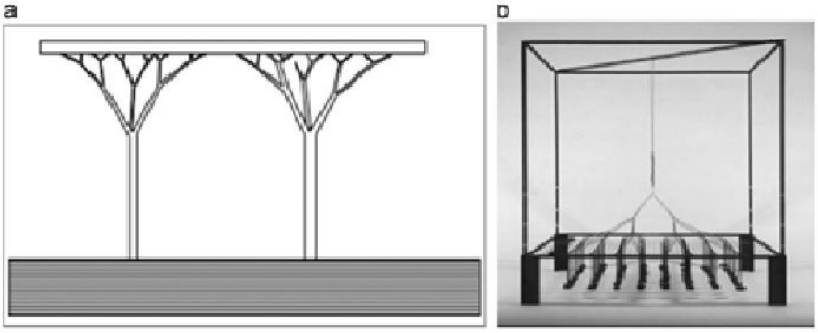
۴-۳ درخت چتری کاندلا (۱۹۶۰ – ۱۹۵۰)

در دوره ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰، یکی از پیشروترین طراحان سازه‌های جدار نازک، مهندس سازه اسپانیایی، «فلیکس کندلا»، تعدادی از پوسته‌های ستون چتری را طراحی کرد که می‌تواند به‌عنوان جانشین ستون‌های قارچ رایت در نظر گرفته شود. ستون کاندلا – الهام‌گرفته از درخت، نه تنها به عنوان یک پشتیبان ساختاری بلکه به عنوان ساختار پوسته مانند چتری عمل می‌کند که محدوده وسیعی از منطقه را پوشش می‌دهد و در آن زمان یک نوآوری ساختاری بسیار پیشرفته در نظر گرفته می‌شد .بعد از انقلاب مکزیک و در طول مرحله بازسازی کشور در دهه ۱۹۵۰، تقاضای گسترده ساخت فضاهای جدید بازار و انبارها، سازه‌های این نوع، فرصتی برایک ندلا برای ایجاد فضاهای سرپوشیده بزرگ فراهم کرد. ظرف چند سال، او مجموعه‌ای از چترهای بتنی در مناطق صنعتی جدید مکزیک ساخته بود. این طرح با ساخت اولین ساختار چتر آزمایشی خود در سال ۱۹۵۲ آغاز شد. کندلا ایده ساختار چتر خود را از طرحی که در مقاله‌ای توسط یک فرانسوی به نام اف. آیموند مطرح شده بود، گرفت.

در محل پروژه دیگری در والجو در مکزیکو، کندلا یک چتر آزمایشی دوم را در سال ۱۹۵۳ ایجاد و او به این آزمایش به عنوان درسی برای پیدا کردن افزایش بهینگی اشاره کرد که به منطقه پوشیده از چترها بستگی دارد. این تناسب ساده به موفقیت در طراحی این ساختارها بستگی دارد چون محاسبات لازم ابتدایی هستند (Gralock و Billington ، ۲۰۰۸).

۴-۴ درخت نروی با ستون های پیچیده (۱۹۶۰)

در سال‌های بعد، «پیر لوییجی نروی» معمار و مهندس سرشناس ایتالیایی، چندین ساختار چتر را با یک رویکرد ساخت‌وساز جدید طراحی کرد و ساخت و برخی اوقات از فولاد به عنوان شاخه‌های اصلی شعاعی بجای ساختار یکپارچه بتون استفاده کرد. این ستون‌ها با پشتیبان‌های مختلف و هندسه‌های پیچیده آن‌ها، دارای کارایی ساختاری با ظرفیت متفاوت با توزیع گشتاور خمشی هستند. با این حال، پیشروترین رویکرد، با الهام از ساختار کاربردی گائودی بارسلونا که در سال ۱۹۱۵ بنا نهاده شد، تنه‌های ستون چتری را با حرکات رسمی پیچیده، مانند استفاده مکرر از سطوح مختلف، طراحی کرد که در پروژه‌های بسیاری دیده می شود. از دهه ۱۹۵۰، جدای از ساختارهای چتر نروی، ما تعدادی از ساختارهای درختسان دیگر را پیدا می‌کنیم که در طراحی و اصالت در تکنیک‌های ساخت‌وساز با هم تفاوت دارند.



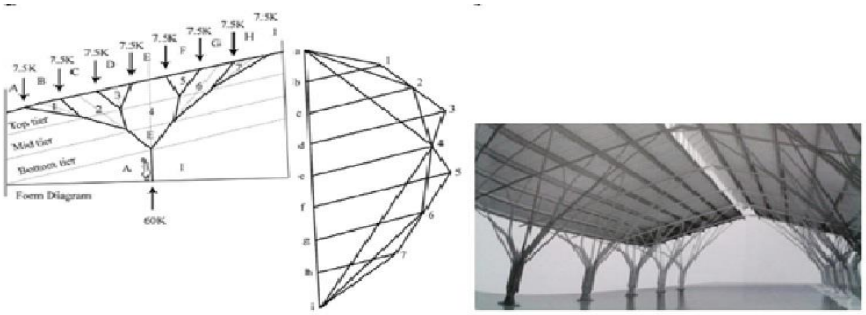
تصویر ۸ طراحی درختی فرای اوتو؛ ماخ: آرشیو نگارندگان.

۴-۵ سازه درختسان از ۱۹۷۰ تاکنون

در زمان‌های اخیر، پیچیدگی به یک گرایش طراحی در بسیاری از زمینه‌های خلاقانه از هنر و طراحی صنعتی گرفته تا طراحی داخلی و معماری تبدیل شد. در طول این مرحله، معماران و مهندسان که مجذوب شکل و ساختار درختان شده بودند، شروع به طراحی درخت‌سان با پیکربندی‌های مختلط و مقطعی – مانند کردند. در اواخر قرن بیستم، جدای از بهبود تکنولوژی بتن و چوب‌های با کیفیت بالا با پیشرفت فولاد سبک اما بسیار قوی به عنوان یک ماده، معماران و طراحان فرصت زیادی را برای کشف طرح‌های پیچیده در معماری ارایه کرد.یکی از سازندگان اولیه کشف سازه‌های شاخه‌ای با استفاده از فولاد، معمار آلمانی فری اوتو بود.

۴-۶ آزمایش‌های اُوتو باساختار انشعاب(۱۹۷۰)

ساختار شاخه‌ای دارای مزیت مکانیکی خاص خود از نظر قدرت ساختاری با نیازهای عملکردی یک تاج درخت عریض است. اهمیت ساختاری الگوی انشعاب درختان هنوز در ساخت درختسان ساختاری تا زمان آزمایش مورد توجه قرار نگرفته بود تا اینکه کارهای تجربی پیشروی قرن بیستم، فری اوتو، معمار آلمانی که تحقیقات منظمی را در زمینه ساخت‌وساز سبک و سازگار با در نظرگرفتن جنبه‌های اساسی رابطه بین معماری و طبیعت، انجام گرفت. اوتو جدا از کاره‌ای برجسته خود که شامل ساخت معلق، پوسته گنبد و پوسته‌های توری است؛ به طور سیستماتیک تحقیق کرده و بر روی مدل ساختارهای شاخه درختی شکل کار می‌کند (Nerdinger , 2005). ساختارهای انشعابی در ساخت‌وساز، هم در ظاهر کلی و هم در ماهیت خود ساختار، رابطه بسیار نزدیکی بین مسیر نیروها و شکل آن‌ها را نشان می‌دهند.این رابطه یک ترکیب کارکردی بین ساختار سقف و سازه‌های پشتیبان است. یکی از مزیت‌های ساختاری اصلی سیستم شاخه درختی شکل داشتن فواصل کوتاه از نقاط مختلف بارگذاری به تکیه‌گاه است. اوتو براساس مطالعات مدل خود از ستون‌های درختی شکل و ساختار شاخه ستون‌های نگهدارنده یک پوسته شبکه شش زاویه را در دفتر اصلی شورای وزیران در ریاض در سال ۱۹۷۹ طراحی کرد.

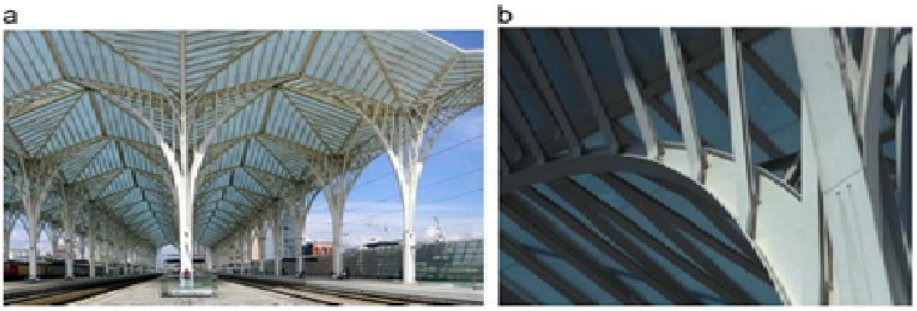


تصویر ۹. آزمایش اوتو در طراحی درختسان ترمینال؛ ماخذ: zalewski, 1998

۴-۷ ساختارهای انشعابی برای دهانه بزرگ (دهه ۱۹۹۰)

پس از کار اتو، مفصل‌بندی معماری در چندین ساختمان و شاهکارهایی رخ می‌دهد که دارای ساختارهای سبک هستند (Charlson، ۲۰۰۵). طی سی سال گذشته، پیشرفتی عظیم در طراحی ساختارهای دندریتی و شاخه دهی وجود داشت. در دهه اخیر همین روش از ستون درختی شکل با ساختار انشعاب با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و به کمک روش‌های محاسباتی و شبیه‌سازی در کامپیوتر به روش منطقی و پیشرفته انجام شده‌است. در اواخر قرن بیستم، Zalewski و آلن (۱۹۹۸) قدرت وسیع‌تر روش استاتیک گرافیکی در ساختارهای استاتیکی را معرفی کردند. بعدها، به عنوان مشاوران گروه ساختار بوستون، از کامپیوتر گرافیکی پشتیبانی شده برای پیدا کردن فرم

بهینه برای ساختارهای تراکمی – ساخته‌شده از فولاد و برای دستیابی به حداکثر تعادل نیرو در طراحی یک سقف بازار بلند مدت استفاده کردند (آلن وZalewski ، ۲۰۰۹).



تصویر ۱۰. سازه های درختسان زالنسکی و آلن؛ ماخذ: zalewski, 1998

علاوه بر این، یکی از بهترین نمونه‌های ساختار درختسان سه‌بعدی با استفاده از روش‌های محاسباتی برای شکل‌یابی و بهینه‌سازی در داخل ساختمان پایانه فرودگاه اشتوتگارت در سال ۱۹۹۲ دیده می‌شود. در این ساختار به جای استاتیک گرافیکی، از الگوریتم جستجو برای شکل یابی در فرآیند بهینه‌سازی استفاده شد (Charlson، ۲۰۰۵). یک مثال دیگر را می توان در ورودی اصلی دادگاه ملون در فرانسه که در دهه ۱۹۹۰ ساخته شد، مشاهده کرد. در مورد پایانه اشتوتگارت، چهار عضو فولادی جداگانه از پایه به عنوان یک تنه و سپس هر عضو به یک ساقه جداگانه تبدیل می‌شوند، و در نهایت هر کدام از شاخه‌های منشعب شده به چهار شاخه دیگر تقسیم می‌شوند که به دنبال ویژگی‌های مقطعی همانندی و تکرار مانند شاخه‌های درخت هستند.

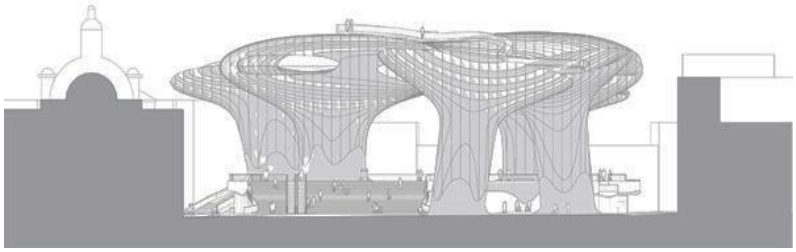
۴-۸ طراحی ساختارهای انشعابی به کمک رایانه

در آغاز قرن بیست و یکم، الگوریتم‌های مبتنی بر کامپیوتر و تکنیک پارامتری، طراحی و ساخت ساختارهای دندریتی را پیش برد. اعداد انشعاب یابی، زوایا، طول و سایر پارامترهای مرتبط را می‌توان پارامتربندی کرد و با استفاده ازالگوریتم‌های جستجو مختلف بهینه‌سازی کرد. الگوریتم‌های جستجوی متفاوتی دارند. با استفاده از الگوریتم ژنتیک، از جمله یک مطالعه مدل فیزیکی، برای ایجاد ساختارهای انشعابی برای کوتاه‌ترین مسیر تحت فشار آزمایش شد و به طور جداگانه تحت کشش، در نتیجه یک طرح پیدا کردن فرم برای استفاده از مواد کم‌تر اما رسیدن به حداکثر قدرت را ایجاد کرد. کامپیوتر همچنین به ما کمک کرده‌است تا فرم‌های انشعابی مشابه با درختان طبیعی را بازسازی کنیم. جدا ازIFS، همانطور که قبلا گفتیم، سیستم یک مولد دیجیتال الگوریتمی دیگر است که مبتنی بر سیستم بازنویسی موازی است، نوعی دستور زبان رسمی، که می‌تواند به طور بالقوه قالب‌های طبیعی تولید کند. در طراحی یک جفت ستون ساختاری، یک شکل اولیه و پارامترهای طراحی به عنوان نقطه شروع در نظر گرفته شدند و در طول فرآیند طراحی تغییر یافتند.بنابراین، به

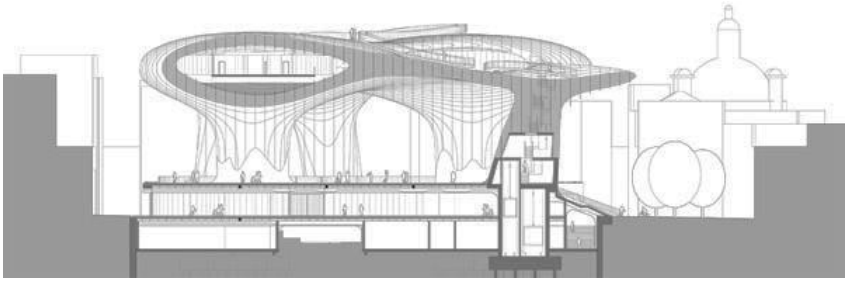
عنوان پارامترهای طراحی، شرایط اولیه از نظر ارتفاع، حجم، بار، نقاط پشتیبان یا الزامات عملکردی ایجاد شدند. سپس، با استفاده از روش‌های آنالیز شکل، سیستم اولیه به چندین جهت با هدف بهینه‌سازی رفتار ساختاری خود تبدیل شد.پارامترهای طراحی در طول این مرحله تغییر داده شدند و ساختار بهینه با جالب‌ترین شکل از جمعیت تمامی شکل‌های نهایی ساختارهای بهینه انتخاب شد. در این پروژه، هدف ایجاد ساختار بهینه برای یک یا همه مشکلات نیست، بلکه برای اعمال تحلیل کامپیوتری براساس کارایی رفتار ساختاری به عنوان ابزار طراحی در اکتشاف فرم‌های جدید معماری است (Sasaki، ۲۰۰۷).

۴-۸ تحقیقات اخیر

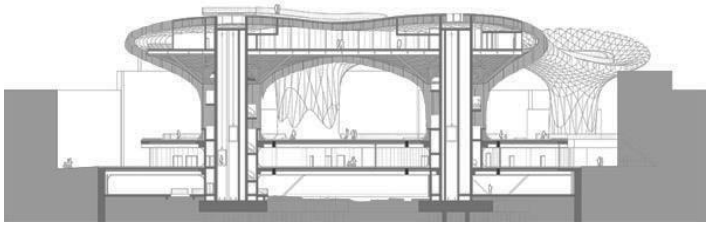
درهای بزرگترین بنای چوبی جهان با نام متروپل پاراسول (Metropol Parasol) در شهر سویل اسپانیا برای بازدید عموم گشوده شد. درواقع ایده ساخت این سازه چوبی از انجا آغاز شد که طراحان سایتی که این سازه در آن قرار گرفته در ابتدا قصد ساخت پارکینگ خودرویی مناسب برای این سایت بودند که با بررسی بیشتر متوجه فضای مناسب موجود جهت این کار شدند و به ساخت این فضا برای موزه و همچنین اهداف تجاری اقدام کردند. با نگاه اول می‌توان دریافت که فضای فوقانی این سازه بهترین مکان برای بهره برد از چشم‌انداز محیط اطراف سایت است.



تصویر ۱۱. سایبان متروپل: بزرگترین سازه چوبی دنیا در اسپانیا؛ مأخذ: آرشیو نگارندگان.



تصویر ۱۲. سایبان متروپل: بزرگترین سازه چوبی دنیا در اسپانیا؛ مأخذ: آرشیو نگارندگان.

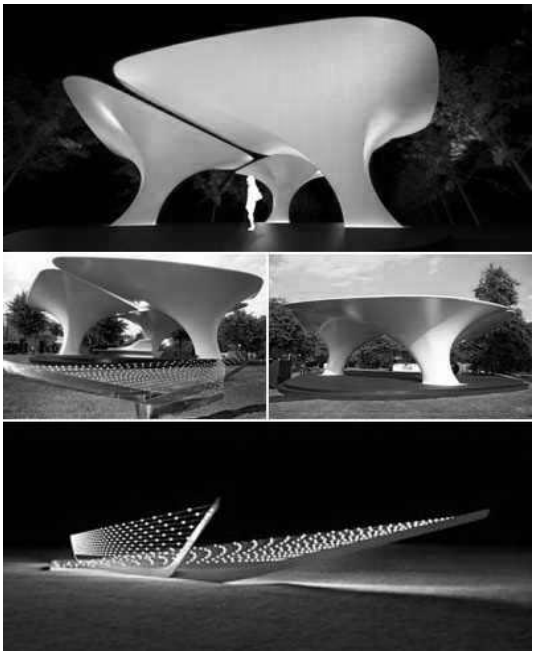


تصویر ۱۳. سایبان متروپل: بزرگترین سازه چوبی دنیا در اسپانیا؛ مأخذ: آرشیو نگارندگان.

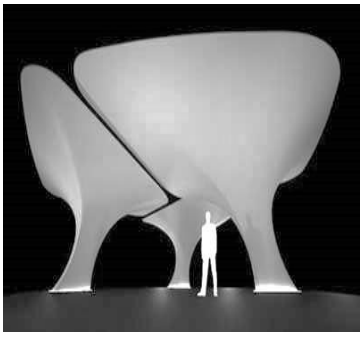
تصویر ۱۴. سایبان متروپل: بزرگترین سازه چوبی دنیا در اسپانیا؛ مأخذ: آرشیو نگارندگان.

تصویر ۱۵. سایبان متروپل: بزرگترین سازه چوبی دنیا در اسپانیا؛ مأخذ: آرشیو نگارندگان.

لایلس (یاس بنفش)؛ زاها حدید، پاتریک شوماخر و همکارانشان، جدیدترین کار خود لایلس را ارائه نمودند. این ساخته معاصر برای فضای باز طراحی شده و از سه قسمت تشکیل گشته است. لایلس در ارتفاع ۵,۵ متر، در عرض و عمق ۲۲,۵ متر ساخته شده است، کل مساحت اشغال شده ۳۱۰ مترمربع می‌باشد. هر یک از این سه قسمت مانند یک سایه‌بان، تندیس وار از یک پایه و فضای کوچک شروع شده و در انتها با سطحی وسیع در کنار هم قرار گرفته‌اند. در این کار از مجموعه‌ای از عناصر طبیعی و هندسی مانند گلبرگ‌های گل و برگ دادن درختان الهام گرفته شده است. خود کلمه لایلس نیز به معنی «یاس بنفش» می‌باشد.



تصویر ۱۷. ساختمان لایس با الهام از یاس بنفش؛ مأخذ: آرشیو نگارندگان.



تصویر ۱۸. ساختمان لایس با الهام از یاس بنفش؛ مأخذ: آرشیو نگارندگان.

ایجاد مجموعه‌ای متقارن، در هم تنیده شدن اجزاء، امکان هوارسانی و عبور نور و صوت از سایر خصایص این کار می‌باشد. در ساختار طرح از سازه کششی استفاده شده است. در طول روز می‌توان از سایه اندازی آن بهره‌برد، در طول شب ساختار دستخوش تغییر شده و تبدیل به منبعی نورانی

می‌گردد. نورهای پیوسته‌ای که از پایه شروع شده و به صفحات پوشاننده نازکی می‌رسد، نور را پیرامون سایبان پراکنده می‌کند و تصویری از رگبرگ‌های گل را روی آن ایجاد می‌نماید. این ساختار در گالری سرپنتاین لندن و در محل تجمع‌های تابستانی باغ کنسینگتون به اجرا در آمده است. زاها حدید معماری است که کرانه‌های معماری، شهرسازی و طراحی را همواره گسترش داده و به جلو می‌برد. کار او محصول تجاربی است دربردارنده مفاهیم فضائی نوین در منظر شهری و به دنبال آن ایجاد زیبائی‌هایی که غیرعملی و رویائی به نظر می‌رسند و تمامی زمینه‌های طراحی در مقیاس‌های خرد و کلان احاطه می کند.

۵. نتیجه‌گیری و جمعبندی

در این پژوهش در مورد این که چگونه هندسه اصلی درختان ممکن است با مفاهیم هندسه و هندسه غیر اقلیدسی توضیح داده شود، به عنوان منبع الهام توسط معماران و سازندگان مورد استفاده قرار گرفت که ویژگی‌های نیرومند خودشباهت را به‌عنوان راهی برای بهبود و بهینه‌سازی راه‌حل‌های ساختاری و معماری خود به کار بردند. این تحقیق از تحلیل مجموعه‌ای از درختسان از زمان‌های تاریخی تا معاصر تلاش کرده است تا سیر تحول طرح درختسان را به عنوان نتیجه منطقی درک روابط درونی بین شکل و ساختار در درختان و گیاهان، و به عنوان تاثیر پیشرفت‌ها در علوم ساختاری، نظری، گرافیکی، فنی و محاسباتی در دوره‌های زمانی مختلف روایت کنیم. تاکید بر این است که واژه‌هایی مانند درختسان‌ها، ستون درختی شکل یا ساختار انشعاب در میان جامعه مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند که عمدتاً بر ظاهر و شباهت رسمی بین ساختارهای معماری و اشکال طبیعی تمرکز دارند. با این‌حال، الهام‌بخش‌ترین ویژگی یک درخت طبیعی بدون شک ظرفیت آن برای حمل یک سطح بزرگ است که توسط یک عنصر باریک (تنه) از طریق پیکره‌بندی مقطعی – مانند ایجاد می‌شود. چنین ایده‌ای معماران را به منظور بهبود کارایی تحقق طراحی خود، با درک اشکال پیچیده طبیعی آموزش داده و هدایت می‌کند. اگرچه سیستم سازه‌ای درختی شکل در معماری از اشکال و هندسه درختان برداشته می‌شود آن‌ها اغلب رفتارهای مکانیکی متفاوتی را نشان می‌دهند. درحالی‌که در مورد درختان درحال رشد طبیعی، شاخه‌ها عمدتاً گشتاورهای خمشی را حمل می‌کنند، در ساختارهای ساخته‌شده از انسان، خم شدن به طور سیستماتیک توسط نیروهای محوری جایگزین می‌شود تا تنش‌های داخلی کاهش یابد. دلیل، متکی بر این واقعیت است که سیستم سقف سازی که در سازه‌های ساخته دست انسان جایگزین روکش می‌شود، می‌تواند عناصر ساختاری درون آن را داشته باشد و انتهای شاخه‌ها را به یکدیگر متصل کند. در زمان‌های اخیر تحقیقات بر روی خواص درختان و گیاهان، ازجمله فرکتال‌ها و دیگر ویژگی‌های هندسی و هندسی زمینه‌ای، چشم‌انداز جدیدی را برای ابداعات اشکال و ساختارهای معماری، به خاطر پیشرفت سریع علم و تکنولوژی، باز کرده‌اند. درک عمیق‌تر از شکل مقطعی و رفتار ساختاری مرتبط با آن می‌تواند حقایق ناشناخته

و مکانیسم‌های اشکال و عملکرد درختان را آشکار کند؛ بنابراین، با استفاده از تکنولوژی‌های نوظهور، محققان می‌توانند ساختارهای ساده‌تر و خلاقانه‌تر، بهتر و بسیار کارآمد را ارایه کنند که نه تنها می‌تواند مشکلات ساختاری و فضایی در معماری را حل کند، بلکه دارای طرح‌های نوآورانه نیز باشد.

(*) 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- خاک زند، مهدی و امیر احمد احمدی (۱۳۸۶) نگاهی اجمالی به رویکرد میان طبیعت و معماری، نشریه باغ نظر، شماره ۸.

۲- سالیگاروس، نیکوس (۱۳۸۷) یک نظریه معماری، ترجمه سعید زرین‌مهر و زهیر متکی، تهران، مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.

۳- سردار، ضیا الدین و ایوانا آبرامس (۱۳۷۹) آشوب: قدم اول، ترجمه آرام قریب، تهران، اتشارات شیرازه.

۴- مندلبروت، بنوا (۱۳۷۰) هندسه برخالها، توصیفگر طبیعت، ترجمه باقری، مجله دانشمند، شماره ۱۰.

5- Allen, E., Zalewski, W., 2009. Formand Forces: Designing Efficient, Expressive Structures. JohnWiley & Sons, NewYork.

6- Miguel Fisac, Bridges 2011: Mathematics, Music, Art, Architec- ture, Culture. Tessellations Publishing, 65–72. The University of Melbourne, Melbourne.

7- Bejan, A., 2000. Shape and Structure, from Engineeringt o Nature. Cambridge University Press, Cambridge.

8- Benyusis, J.M., 2002. Biomimicry: Innovation Inspired by Nature revised ed. Prennial, NewYork.

9- Block, P., Ochsendorf, J.,2008. Lower-boundanalysisofmasonry vaults. In: Proceeding soft he 6th International Conferenceon Structural Analysis of Historical Construction. Bath, UK.

10- Bovill, C.,1996. Fractal Geometry in Architecture and Design. Birkhauser, Boston.

11-Buelow,P.,2007.AGeometricComparisonofBranchingStructures in Tensionand in Compression versus Minimal Paths.

12- Manitoba. Callegari, G.,Iasef, M.R., etal.,2013. Monalisa wood pavillon: optimization and parametric design by using poplar engineered components. In: Proceedings of the ISCHP2013. Florence, Italy. Casti, J.L., 1989. Alternate Realities:MathematicalModelsof Nature andMan.JohnWiley&Sons,NewYork. Cement andConcreteAssociation,1960. The Palzzodel Lavoro: Pier Luigi Nervi.Concr.Q.47,17–20.

13-Charlson, A.W., 2005.StructureasArchitecture.Elsevierand Chiorino M.A.,

14-Sassone,M., 2010. Themorphogenesis of shell structures: a conceptual, computationala constructional challenge.

15-Eloy, C.,2011.Leonardo'srule,self-similarity,andwind-induced stresses intrees.Phys.Rev.Lett.107(25),258101.

16-Falconer, K.,2003.Fractal Geometry, MathematicalFoundations and Applications2nded.Wiley,London.

17-Garlock, M.E.M.,Billington,D.P.,2008. :Engineer, Builder, Structural Artist. Princeton University Art Museum Monographs, Yale University Press, Yale..
18-Gawell, E.,2013.Non-Euclidean geometry in the modeling of contemporary architectural forms. J.Pol. Soc. Geom. Eng.
19-C.A.J.,2002.Gaudí:Geometria,EstructuraiConstrucció, en Gaudí2002.Miscel·lània, pp.144. Greco, C.,2001.GiorgioBaroni,coperturesottiliincemento armato informadiparaboloideiperbolico.Area57(XII),24–31 (Italian).
20-Huerta, S.,2006.StructuraldesignintheworkofGaudi.Archit.Sci. Rev.49(4),324–339. Huylebrouck,D.,Hammer,J.,2006.Fromfractalgeometryto fractured architecture:thefederationsquareofMelbourne.
21-Math. Intell.28(4),44–48. James, K.R.,Haritos,N.,Ades,P.K.,2006.Mechanicalstabilityof trees underdynamicloads.Am.J.Bot.93(10),1522–1530.
22-Kang, H.S.,Dennis,D.,Meneveau,C.,2011.Flowoverfractals: drag forcesandnearwakes.Fractals19(04),387–399.
23-Kull,U.,Herbig,A.,1994.Leafvenationpatternsandprinciplesof evolution. Stuttg.:Mitt.SFB230,167–175.
24-Larena, A.B.,2009.Shapedesignmethodsbasedontheoptimisa- tion ofthestructure.Historicalbackgroundandapplicationto contemporaryarchitecture.In:ProceedingsoftheThirdInter- national CongressonConstructionHistory,Cottbus.
25-Leopold, L.B.,1971.Treesandstreams:theefficiency ofbranching patterns. J.Theor.Biol.31(2),339–354. Lipman, J.,
26-Wright,F.L.,2003.FrankLloydWrightandtheJohnson WaxBuildings.CourierDoverPublications. Lipman, J.,
27-Wright,F.L.,1986.FrankLloydWrightandtheJohnson WaxBuildings,CourierDoverPubliction,NewYork.
28-Mandelbrot,B.B.,1982.TheFractalGeometryofNature.W.H. Freeman andCo.,NewYork. Martinell, C.(1951,GaudiIlaSagradaFamiliaComentadaperall Mateix,Ayma,S.L.(Ed.),S.L.Editores;Barcelona.
29-Mattheck, C.,1991.Trees:TheMechanicalDesign.Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg,NewYork. Mattheck, C.,Kubler,H.,1997.Wood – The InternalOptimizationof Trees.Springer-Verlag,Berlin,Heidelberg,NewYork.
30-Metzger, K.,1893.DerWindalsmaûgebenderFaktorfurdas WachstumderWaldbaÈume.MuÈndenderForstl.Hefte3,35–86.
31-Moore, R.,2012.MetropolParasol,SevillebyJürgenMayerH – Review.ArtandDesign.TheObserver.Guardian.
32-Nerdinger, W.,2005.FreiOttoCompleteWorks:Lightweight ConstructionNaturalDesign.Birkhäuser,Basel;Boston;Berlin. Orman, B.,2013.ArtNouveau&Gaudí:Thewayofnature.JCCC Honor.J.4(1),2.
33-Pasquero, C.,Poletto,M.,andKozikoğ lu, N.,2007.Fibrous StructuresWorkshopEvaluationReport.URL: ⟨http://work shop.
34-Yan,S.,Zhao,Hongtie,Jianyang,X.,2010.Experimentalstudyon lateral stiffnessofDougonglayerinChinesehistoricbuildings. Engi. Mech.27(3),74–78.
35-Zalewski, W.,Allen,E.,1998.ShapingStructures:StaticsWiley,New York

چکـــــــیده لاتین

Shahab Ilka-*Department of Architecture, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran*
Shahin Ilka- *Department of Architecture, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran*

A survey of Bhutanese knowledge in architecture with an emphasis on tree-inspired structures from the 1930s to contemporary times

Abstract

Structural strength, architects have designed a number of tree-shaped structures that are attributed to "trees". The repetition and acceptance of tree-shaped patterns for the construction of architectural structures in different periods of time has been different based on existing and advanced knowledge and technologies. This article, with a brief discussion about the biological function and mechanical characteristics of trees according to their shape, examines the evolution of tree-like structures in architecture by referring to some important historical features and contemporary examples. Also, in the contemporary era, researches on the properties of trees and plants, including fractals and other geometrical and geometric features, have opened a new perspective for the innovations of architectural forms and structures due to the rapid progress of science and technology. A deeper understanding of cross-sectional shape and related structural behavior can reveal unknown facts and mechanisms of tree shapes and functions; Therefore, by using emerging technologies, researchers can provide simpler and more creative, better and highly efficient structures that can not only solve structural and spatial problems in architecture, but also have innovative designs.

Key words: *bionics, botany, tree and tree-like structure.*