



مرکز آموزش علمی - کاربردی
گروه بین‌المللی ره‌شهر (کوییک بیلد)
تحت نظارت دانشگاه جامع علمی - کاربردی

- ساخت و ساز دیجیتال
- الزامات معماری دیجیتال
- ربات‌ها در معماری
- نمونه موردی

نگاهی به معماری دیجیتال و نقش ربات در ساخت و ساز و معماری

نشریه شماره ۱۴۵، بهار ۱۳۹۳



RAH SHAHR
International Group
گروه بین‌المللی ره‌شهر



به نام خداوند جان و خرد

آدرس: تهران، خیابان آفریقا، نرسیده به
چهارراه جهان کودک، کوچه سپر غربی، پلاک ۸
کدپستی: ۱۵۱۸۶۴۳۳۳۵

info@rahshahr.com
www.rahshahr.com

تلفن: ۸۸۷۸۲۲۰۰
دورنگار: ۸۸۲۰۲۶۹۳

شماره سند: 01 09653 O PB 0145 00

یکصد و چهل و پنجمین نشریه علمی، فنی و مهندسی
آدرس وبسایت نشریات
<http://bulletins.rahshahr.com>

فهرست

- ۴ • مقدمه
- ۴ • تاریخچه و معرفی ساخت دیجیتال
- ۹ • الزامات معماری دیجیتال
- ۲۶ • رُبات‌ها در معماری
- ۳۸ • جمع‌بندی
- ۳۸ • طراحی پارامتریک
- ۳۹ • نمونه مدل‌سازی پارامتریک طرح شمسه
- ۳۹ • مدل‌سازی پارامتریک

ناشر

مرکز آموزش علمی- کاربردی
گروه بین‌المللی ره‌شهر (کوییک بیلد)

ترجمه و تالیف:

نسترن رضوی
راضیه پوینده
عالیه مختاری
سبا رئیسی
آرش تقی‌پور
حوریه مشهدی‌باقر موخر

ویرایش:

رایا خلیلی
فرهاد مالکی

امور هنری

آوا ذاکری فردی



- ۱۰۵- احداث سامانه‌های گرمایش شهری (اردیبهشت ۱۳۸۸)
 - ۱۰۶- روند توسعه در خلیج فارس و دریای عمان بخش هفتم (خرداد ۱۳۸۸)
 - ۱۰۷- بحران جهانی و چشم‌انداز آینده (تابستان ۱۳۸۸)
 - ۱۰۸- حمل و نقل همگانی (تابستان ۱۳۸۸)
 - ۱۰۹- نانوفناوری ایمن (فرصت‌ها و چالش‌ها) (تابستان ۱۳۸۸)
 - ۱۱۰- از شهر فرودگاهی تا منطقه فرودگاهی (بخش اول)
 - ۱۱۱- از شهر فرودگاهی تا منطقه فرودگاهی (بخش دوم)
 - ۱۱۲- بندر خشک (پائیز ۱۳۸۸)
 - ۱۱۳- شرق ایران خاستگاه توسعه ترانزیت منطقه‌ای (پائیز ۱۳۸۸)
 - ۱۱۴- صنعتی سازی ساختمان گامی بلند برای تامین مسکن مردم (زمستان ۱۳۸۸)
 - ۱۱۵- مدیریت هوشمند خوردگی، حفاظت کاتدیک، حفظ ثروت ملی (بهار ۱۳۸۹)
 - ۱۱۶- بیوگاز ثروتی نهفته در پسماندها (بهار ۱۳۸۹)
 - ۱۱۷- اکو هتل حرکتی جهانی به سوی گردشگری پایدار (تابستان ۱۳۸۹)
 - ۱۱۸- فتوولتاتیک تلفیقی، انرژی در کالبد معماری (تابستان ۱۳۸۹)
 - ۱۱۹- اصلاح الگوی استقرار جمعیت، گامی به سوی توسعه پایدار (پاییز ۱۳۸۹)
 - ۱۲۰- نانوفناوری در معماری (زمستان ۱۳۸۹)
 - ۱۲۱- مدیریت حمل بار، گامی بلند در جهت توسعه اقتصادی کشور (زمستان ۱۳۸۹)
 - ۱۲۲- بازار مسافر هوایی بین‌المللی، گامی بلند در جهت توسعه اقتصادی کشور (زمستان ۱۳۸۹)
 - ۱۲۳- نقش طراحی معماری در کاهش مصرف انرژی در ساختمان "معماری همساز با اقلیم و مشکلات ناشی از عدم توجه به آن" (بهار ۱۳۹۰)
 - ۱۲۴- شهر فرودگاهی بستر توسعه گردشگری، گامی بلند در جهت توسعه پایدار اقتصاد کشور (بهار ۱۳۹۰)
 - ۱۲۵- آرایه ضوابط و پیشنهادات طراحی برای افراد دارای کهولت، ناتوانی، اختلال و معلولیت در بخش زمینی فرودگاه (بهار ۱۳۹۰)
 - ۱۲۶- نقش طراحی معماری در کاهش مصرف انرژی در ساختمان "نور روز در معماری" (تابستان ۱۳۹۰)
 - ۱۲۷- شهر فرودگاهی بستر توسعه تجارت، چشم‌انداز تجارت جهانی، چالش‌ها و فرصت‌های ایران (تابستان ۱۳۹۰)
 - ۱۲۸- توسعه صنایع نوین، گامی بلند در جهت توسعه اقتصادی کشور "شهر فرودگاهی بستری مناسب برای استقرار صنایع نوین" (تابستان ۱۳۹۰)
 - ۱۲۹- نقش طراحی معماری در کاهش مصرف انرژی در ساختمان "انرژی باد در معماری" (تابستان ۱۳۹۰)
 - ۱۳۰- روند خصوصی‌سازی فرودگاه‌ها در جهان (پاییز ۱۳۹۰)
 - ۱۳۱- شهر فرودگاهی بستری مناسب برای توسعه ورزش ملی و بین‌المللی "شهر ورزشی" (پاییز ۱۳۹۰)
 - ۱۳۲- معرفی پاک‌کننده‌های طبیعی و سازگار با محیط‌زیست "بخش اول" (بهار ۱۳۹۱)
 - ۱۳۳- معرفی پاک‌کننده‌های طبیعی و سازگار با محیط‌زیست "بخش دوم" (بهار ۱۳۹۱)
 - ۱۳۴- معرفی پاک‌کننده‌های طبیعی و سازگار با محیط‌زیست "بخش سوم" (تابستان ۱۳۹۱)
 - ۱۳۵- شهر فرودگاهی بستری مناسب برای توسعه صنایع دستی (تابستان ۱۳۹۱)
 - ۱۳۶- خطاهای انسانی؟ حوادث سازمانی! (پاییز ۱۳۹۱)
 - ۱۳۷- سیر تحول برنامه‌ریزی اقتصاد فضایی (پاییز ۱۳۹۱)
 - ۱۳۸- نقش دلار آمریکا در اقتصاد جهانی، گنج‌های پنهان ۳۰ تریلیون دلاری آسیا (زمستان ۱۳۹۱)
 - ۱۳۹- بام سبز گامی بلند در جهت توسعه پایدار (بهار ۱۳۹۲)
 - ۱۴۰- نوآوری برای تاسیسات پایانه فرودگاه (بخش اول) (تابستان ۱۳۹۲)
 - ۱۴۱- نوآوری برای تاسیسات پایانه فرودگاه (بخش دوم) (تابستان ۱۳۹۲)
 - ۱۴۲- چالش فراوری ایران در عرصه انرژی: توسعه بهره‌برداری از منابع نفت و گاز شیل (پاییز ۱۳۹۲)
 - ۱۴۳- نوآوری برای تاسیسات پایانه فرودگاه (بخش سوم) (زمستان ۱۳۹۲)
 - ۱۴۴- کشورهای مستقل هم‌سود- نگاهی به دگرگونی‌های جغرافیایی سیاسی/اقتصادی منطقه (بهار ۱۳۹۳)
- نشریه‌های تخصصی منتشر شده بخش‌های مختلف گروه بین‌المللی رده‌شهر**
- ۱- بازارچه صنایع دستی در کوهپایه‌های شمال تهران (بخش شهر سالم) تیر ماه ۱۳۷۴
 - ۲- بهینه‌سازی خدمات پرواز (بخش شهر سالم) - (دی ماه ۱۳۷۳)
 - ۳- بهینه‌سازی بار ترافیکی بزرگراه‌ها (بخش شهر سالم) (دی ماه ۱۳۷۳)
 - ۴- پارک انرژی‌های نو (بخش شهر سالم) - (شهریور ماه ۱۳۷۳)
 - ۵- استفاده از مولتی ویژن در مراکز پرتدد شهری (بخش شهر سالم) (اردیبهشت ماه ۱۳۷۳)

- ۶- سازماندهی کارکردهای بهینه‌ی نمایشگرهای دیجیتالی (بخش شهر سالم) اسفند ماه ۱۳۷۲
- ۷- شهرک ترافیکی کودکان (بخش شهر سالم) - (آذر ماه ۱۳۷۲)
- ۸- پارک پویش: اندیشه سالم / بدن سالم در شهرک فاطمیه منطقه ۲۰ شهرداری تهران (بخش شهر سالم) - (آذر ماه ۱۳۷۲)
- ۹- پژوهش در تاریخچه، مفهوم و سیر تحول "شهرسازی" و "شهر سالم" در فرهنگ ایران و اسلام (بخش شهر سالم) - آبان ماه ۱۳۷۲
- ۱۰- اصول طراحی مراکز دیسپاچینگ (بخش انرژی) زمستان ۱۳۷۲
- ۱۱- تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های شمالی تهران (بخش عمران آب) بهار ۱۳۷۳
- ۱۲- انتخاب محل و نوع سد براساس شرایط ژئومورفولوژی و ژئولوژی (بخش عمران آب) زمستان ۱۳۷۲
- ۱۳- حقایق در مورد شرکت‌های بزرگ (بخش تحقیق و توسعه) زمستان ۱۳۷۲
- ۱۶- ترجمه کتاب شهرهای فرودگاهی قرن ۲۱ (۱۳۹۰)
- ۱۷- منظرسازی پایدار برای همه (پاییز ۱۳۹۰)
- ۱۸- مواد هوشمند و فناوری نانو (کاربرد در معماری و طراحی داخلی) (۱۳۹۰)
- ۱۹- ترجمه شهرهای فرودگاهی جهان (۱۳۹۱)
- ۲۰- ترجمه هفت قانون طراحی شهری پایدار، راهبردهای طراحی برای دنیای پُست-کربن (۱۳۹۲)
- ۲۱- طراحی، برنامه‌ریزی و ساخت هتل‌ها
- کتاب‌های زیر نیز توسط گروه بین‌المللی ره‌شهر در دست چاپ است:**
- ۱- برنامه‌ریزی شهری در اقلیم‌های گرمسیر
- ۲- بام سبز

ضمناً کتاب‌های زیر توسط گروه بین‌المللی ره‌شهر منتشر گردیده

است:

- ۱- بازنگری استانداردهای صنعت آب کشور با همکاری وزارت نیرو و سازمان برنامه و بودجه (۲۵ جلد)
- ۲- صرفه جویی در انرژی (۲۰ جلد)
- ۳- ترجمه کتاب "سازه پارکینگ‌های طبقاتی" (۱۳۷۲)
- ۴- ترجمه کتاب "سازه‌های آبی" (۱۳۷۳)
- ۵- تدوین کتاب "خودآموز اتوکد ۱۲" (۱۳۷۳)
- ۶- ترجمه کتاب "برنامه‌ریزی و طراحی هتل" در سال ۷۶ توسط سازمان برنامه و بودجه چاپ و توزیع شد.
- ۷- تدوین کتاب راهنمای برنامه‌نویسی سه بعدی OpenGL (۱۳۸۲)
- ۸- ترجمه کتاب "تنظیم شرائط محیطی"
- ۹- ترجمه کتاب "چگونه هوای پاکیزه بکاریم"
- ۱۰- HSE در سفر (۱۳۸۵)
- ۱۱- با گیاهان آب را تصفیه کنیم
- ۱۲- نانوفناوری برای همه (۱۳۸۷)
- ۱۳- درختان در منظر شهری (۱۳۸۹)
- ۱۴- آشنایی با راهکار مدیریت پروژه جامع (بهار ۱۳۸۹)
- ۱۵- کتاب آموزش نرم‌افزار Revit architecture 2009 (۱۳۸۹)

سخنی با خوانندگان

با نگاهی به معماری روز دنیا و مشاهده فرم‌های پیچیده و نامتعارف ساختمان‌هایی مانند خانه اپرای سیدنی، نخستین پرسشی که به ذهن بیننده متبادر می‌شود این است که ساخت، طراحی و اجرای چنین پروژه‌هایی چگونه تحقق می‌یابد؟ از سوی دیگر، واقعیت بخشیدن به سطوح و منحنی‌های آزاد ذهن طراح، به کمک چه ابزارهایی امکان‌پذیر است؟ ابزارهای رایانه‌ای در چه بخش‌هایی از طراحی و تولید این بناها نقش دارند؟ و سؤالاتی از این قبیل.

به منظور افزایش توانایی معمار در طراحی و تولید صنعتی و امکان تجسم احجام و فرم‌های نامتعارف معماری، باید ابزاری مناسب برای خلق فضا و معماری در اختیار او قرار گیرد که امروزه این ابزار با استفاده از فناوری و امکانات پیچیده برنامه‌نویسی در رایانه تحت عنوان معماری دیجیتال فراهم شده‌است. معماری دیجیتالی جنبشی در عرصه معماری است تا با ارتباط معماری و علوم دیجیتال زمینه برای خلق و نوآوری بیشتر فراهم گردد و معمار در فضای دیجیتال از قید و بندهای طراحی فضای معماری با روش‌های رایج گذشته و کندی کار با ابزارهای ترسیمی قبلی در عصر کنونی، رها گشته و جزئیات تصور شده یک طرح را پیشاپیش به تصویر می‌کشد.

امروزه، ابزارهای رایانه‌ای و دیجیتال، سهم عمده‌ای در معماری فرم‌های آزاد و پیچیده بر عهده دارند. دنیای تجزیه و تحلیل دیجیتال تقریباً از دهه ۱۹۶۰ در زمان احداث پروژه‌هایی مانند خانه اپرای سیدنی وارد عرصه معماری شده و به تدریج و با ورود بیشتر امکانات و فناوری‌ها به این عرصه، طراحی معماری نیز دستخوش تغییراتی شده و فرم‌ها به سمت احجامی که تقریباً هیچ محدودیتی در ساخت آن‌ها وجود ندارد، پیش رفتند.

در نشریه حاضر، معماری دیجیتال از گذشته تا امروز، زیرمجموعه‌ها، تکنیک‌ها و فن‌آوری‌های طراحی و ساخت در این نوع معماری مطرح شده و به منظور درک کامل‌تر موضوع نمونه‌های برتر این نوع گرایش در معماری در هر بخش ارائه شده است.

از آنجا که گروه بین‌المللی ره‌شهر در راستای اهداف تعیین‌شده سازمانی، خود را موظف می‌داند که همواره پیشرفته‌ترین روش‌ها و فناوری‌های طراحی و ساخت‌وساز در دنیا را مدنظر قرار داده و با استفاده از آن‌ها طراحی و ساخت‌وساز در ایران را توسعه دهد و همگام با پیشرفت فناوری و ابزارهای آن در دنیا، سطح معماری کشورمان را ارتقا بخشد، لذا در جهت آگاهی‌رسانی به همکاران و هموطنان، اقدام به گردآوری، ترجمه و تدوین مطالبی در زمینه معماری دیجیتال و ساخت‌وساز با رُبات نموده است که این مطالب در قالب نشریه‌ای برای اطلاع و استفاده همه عزیزان منتشر می‌شود.

امید است که این نشریه در جهت افزایش آگاهی و پیشرفت فناوری ساخت‌وساز مفید واقع شود و بتواند گامی کوچک در جهت هماهنگ‌سازی سطح دانش و توان معماری ایران با دستاوردهای علمی و استانداردهای روز دنیا بردارد.

گروه بین‌المللی ره‌شهر

مقدمه

دیجیتال سازی است. در این خلال، روش های ساخت و ساز رباتیک به عنوان یکی از برجسته ترین کاربردهای معماری دیجیتال مطرح است چرا که ساخت احجام و فرم های پیچیده را با سرعت عمل و دقت بیش تر و هزینه ی کم تر امکان پذیر می سازد.

با توجه به اهمیت موضوع و نیاز جامعه معماری امروز، در بخش اول این نشریه به طور مختصر به معماری دیجیتال پرداخته شده و در بخش دوم، ساخت و ساز به وسیله ربات ها شرح داده شده است.

۱- ساخت و ساز دیجیتال

یک فرایند تولید را وقتی می توان دیجیتال نامید که در آن از تکنیک هایی استفاده شود که بین مدل رایانه ای و دیجیتال ساخته شده از محصول و فرایند از یک سو و مراحل تولید آن از سوی دیگر، رابطه ای خودکار (به معنای دخالت نداشتن انسان) وجود داشته باشد. فرایند تولید در معماری می تواند طیف گسترده ای از فعالیت ها را در بر گیرد. این طیف می تواند از تولید جزیی ترین قطعات در یک ساختمان تا سوار کردن اجزای اصلی آن برای دستیابی به فرم نهایی را شامل شود.

ممکن است در مواردی یک فرایند به طور کامل دیجیتال نباشد و بخشی از آن توسط انسان و بخشی دیگر به وسیله رایانه انجام شود. به عبارت دیگر، در یک فرایند طراحی و تولید دیجیتال، انسان به منظور کنترل و نظارت بر فرایند طراحی و تولید و حتی در برخی موارد، هدایت آن حضور داشته باشد. همچنین، برای آن که یک فرایند دیجیتال معنا پیدا کند، انجام آن باید توجیه مناسب داشته باشد. این توجیه می تواند "انجام کار در زمان کم تر یا اقتصادی کردن و پایین آوردن هزینه یا بالا بردن دقت اجرا باشد" (دکتر محمود گلابچی، ۱۳۹۱).

۱-۱- تاریخچه و معرفی ساخت دیجیتال

به تدریج از دهه ۱۹۶۰ به بعد با ورود بیش تر امکانات و فناوری ها، طراحی معماری نیز دست خوش تغییراتی شد و فرم ها به سمت احجام و سطوح آزادی پیش رفتند و بسیاری از محدودیت های

یکی از مهم ترین دستاوردهای سال های اخیر در راستای بهبود کیفیت فرآیند طراحی و افزایش بهره وری، کاربرد روزافزون رایانه در زمینه های طراحی، معماری و مهندسی در مراحل مختلف از طراحی تا اجرای پروژه ها است. امروزه، رایانه ها نه تنها امکان طراحی در فضای مجازی قبل از خلق واقعیت را فراهم می سازند، بلکه از طریق ساخت و ساز دیجیتال، اجرای تجسم ذهنی طراح را نیز ممکن می سازند.

کاربرد رایانه و دنیای وسیع و پیچیده تجزیه و تحلیل دیجیتال تقریباً از دهه ۱۹۶۰ به کمک طراحی آمد. در آن زمان پروژه هایی نظیر خانه اُپرای سیدنی در مرحله طراحی با دشواری هایی روبرو بودند که برای برطرف کردن نیاز آن در مدل سازی و برنامه ریزی نحوه اجرای آن، استفاده از امکانات رایانه ای ضروری می نمود. به تدریج و با ورود بیش تر این امکانات و فناوری ها به معماری، طراحی معماری نیز دست خوش تغییراتی شد و فرم ها به سمت احجامی که تقریباً هیچ محدودیتی در ساخت آن ها وجود نداشت، پیش رفتند.

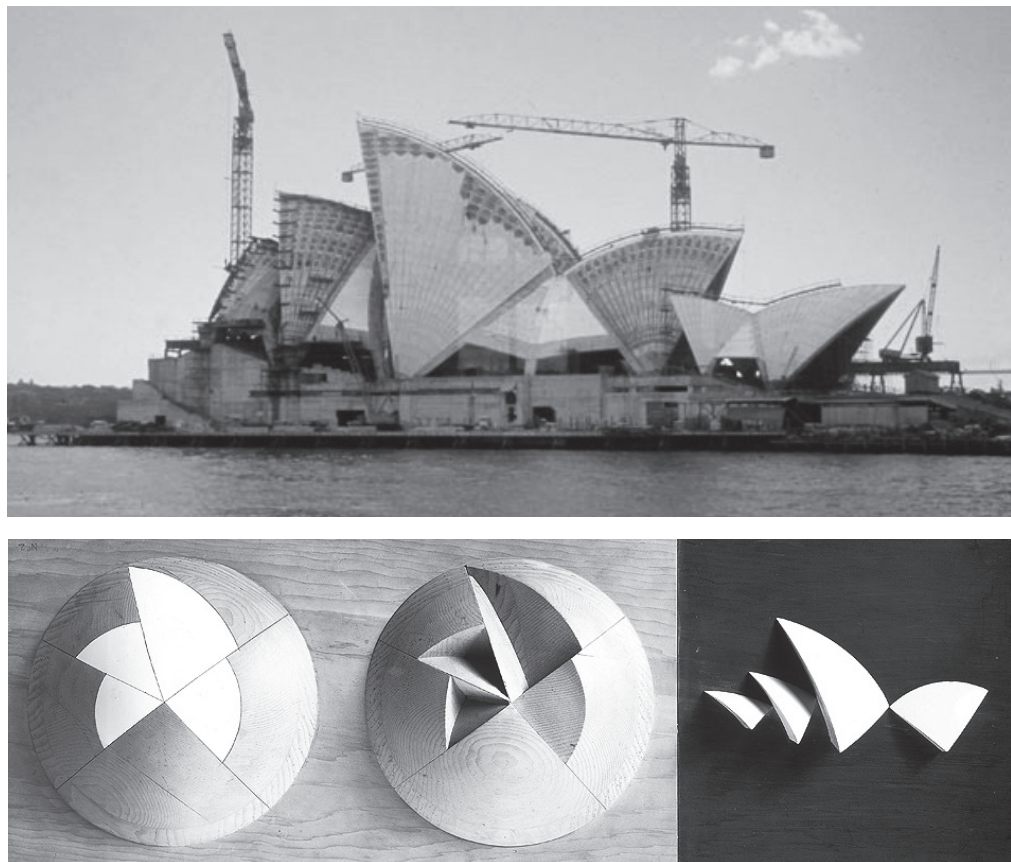
در حال حاضر، فرآیند طراحی معماری با توجه به نقش مهم و موثر ساخت دیجیتال در مدل های معماری تحت الشعاع این مقوله قرار دارد. ساخت دیجیتال، انقلابی در طراحی به وجود آورده است که به موجب آن ابداعات و اختراعات متعددی در معماری وارد شدند. در واقع علم دیجیتال، فاصله بین نمایش و ساخت و ساز را کم کرده است. هم زمان، استفاده از ابزارهای ساخت دیجیتال نیز به دلیل کاهش هزینه های ساختمان در طراحی های پیچیده معماری، بسیار ضروری به نظر می رسد.

به طور کلی نمی توان مرز مشخصی را بین روند طراحی و تولید دیجیتال تعیین کرد، چرا که از یک سو، اصولاً طراحی دیجیتال به منظور بهره گیری از ابزارهای دیجیتال در تولید و ساخت صورت می گیرد و از سوی دیگر، تولید دیجیتال بدون طی شدن فرآیند طراحی دیجیتال امکان پذیر نیست.

در قرن حاضر، معماری به سرعت در حال سازگار شدن با فرآیند

سطوح شیاردار پوسته‌ها، سامانه سازه فولادی، قطعات شیشه‌ای و قطعات پیش‌ساخته سقف با جزییات کامل مدل‌سازی شدند. از سال ۱۹۹۸، در پی پیشرفت ابزارهای دیجیتال، گروه مدل‌سازان متخصص^۲ در دفتر معماری فاستر^۴، با بهره‌گیری از ابزارها، پروژه‌های منحصر به فرد فراوانی را طراحی، تحلیل و اجرا کردند. فلسفه کاری آن‌ها این بود که طرح‌های پیچیده و فرم‌های خیره‌کننده را نیز می‌توان به وسیله احجام اولیه هندسی تحلیل کرده و از این راه قابلیت اجرای طرح را افزایش و هزینه‌های ناشی از عدم یکسان و هم‌اندازه بودن قطعات را کاهش داد. از جمله‌ی

قبلی از پیش رو برداشته شد. طراحی و اجرای چنین پروژه‌هایی، تنها از طریق ابزارهای رایانه‌ای و دیجیتال امکان‌پذیر می‌شد. از نخستین طرح‌هایی که با استفاده از معماری دیجیتال اجرا شده است، می‌توان به طرح خانه آپرای سیدنی در ۱۹۷۳ (یورن/تزون)^۱ اشاره کرد. پروژه خانه آپرای سیدنی و روش معماری ساخت آن توسط شرکت آروپ^۲ آرایه شد. مدل‌سازی دیجیتال، امکان تحلیل آسان‌تر این سازه پیچیده (در حد پرداختن به جزییات قطعاتی که بعدها قرار بود به یکدیگر متصل شوند) را فراهم کرد. تمامی اجزای بنا، اعم از قطعات پوشش‌دهنده



شکل ۲- مدل چوبی آرایه شده توسط «تزون» و راه‌حل برای اجرای سقف منحنی توسط شرکت «آروپ»

- 1- Jorn Utzon: Sydney Opera House(Sydney Australia, 1956-1973)
- 2- ARUP
- 3- Specialist Modeling Group
- 4- Foster



شکل ۵- مدل حجمی پروژه مجموعه مسکونی ساحلی - استفاده از هندسه یک لوله مدور

در دهه‌های اخیر، یکی دیگر از معمارانی که در موضوع رویکرد دیجیتال به معماری و فضا سازی، ایده‌های جالبی را ارائه کرده است، برنهارد فرانکن^۶ است. پروژه‌های اجرا شده توسط او برای شرکت «بی.ام.و» از نظر نوع و شکل قطعات و تنوع فرمی منحصر به فرد هستند. «فرانکن» فرایند تصمیم‌گیری دفتر خود را چنین شرح می‌دهد: «زنجیره تولید ما متشکل از ۵ مرحله است: اول برگزاری جلسات توجیهی، دوم پردازش اطلاعات به‌دست‌آمده، سوم فرم، چهارم تولید دیجیتال و پنجم آزمایش و تجربه.» از آنجا که هدف نهایی در طراحی دیجیتال ساخت بنا است، شرکت «برنهارد فرانکن» سعی کرده تا به‌طور مستقیم با بهره‌گیری از خروجی‌های نرم‌افزارهای مورد استفاده در طراحی، دقت و نظارت بر اجرای صحیح این پروژه پیچیده را تضمین کند. در پروژه غرفه «بی.ام.و.» در نمایشگاه ۹۹۹۱ فرانکفورت، به‌دلیل منحصر به فرد بودن قطعات آکرلیکی سطح خارجی حجم، ابتدا

نمونه کارهای این گروه، می‌توان به پروژه‌هایی چون موزه هوایی آمریکا^۱، مرکز فرهنگی دبی^۲، مرکز موسیقی سیج^۳، مجموعه مسکونی ساحلی انگلستان^۴ و ساختمان سوییس آرایبی^۵ اشاره کرد.

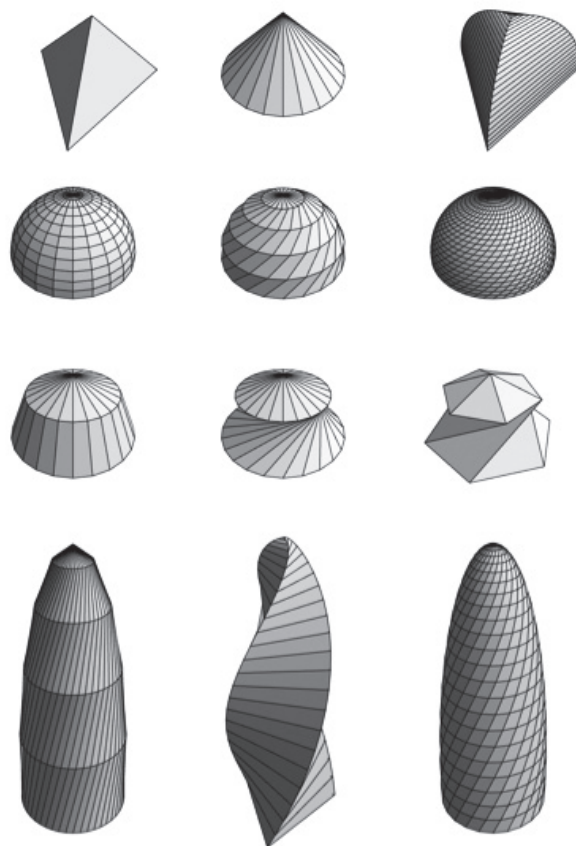


شکل ۳- ساخت بام موزه هوایی

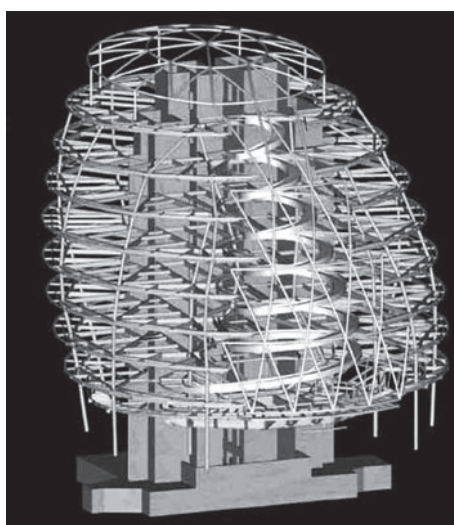


شکل ۴- نمای بیرونی پروژه مرکز موسیقی «سیج» - ترکیب کره‌هایی با شعاع‌های متفاوت

- 1- American Air Museum (Duxford, UK, 1987-1997, Foster and Partners)
- 2- Dubai Cultural Center (Dubai, UAE, 1995-1998, Foster and Partners)
- 3- Saeg Music Center (Gates Head, UK, 1997-2003, Foster and Partners)
- 4- Albion Riverside (London, UK, 1999-2003, Foster and Partners)
- 5- Swiss-RE Headquarters (London, UK, 1997-2004, Foster and Partners)
- 6- Bernhard Franken



شکل ۶- ساده سازی و تکرارپذیری در طرح پوشش شیشه ای ساختمان «سوییس آرایبی» - استفاده از شیوه تکرار دورانی



شکل ۷- شهرداری شهر لندن- مدل فیزیکی ساخته شده از پروژه

با استفاده از فایل‌های تولیدشده و به وسیله دستگاه برش «سی.ان.سی.» برش و با فشار آب صورت پذیرفت.

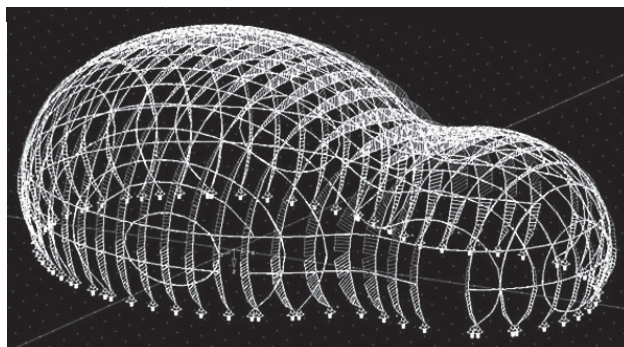
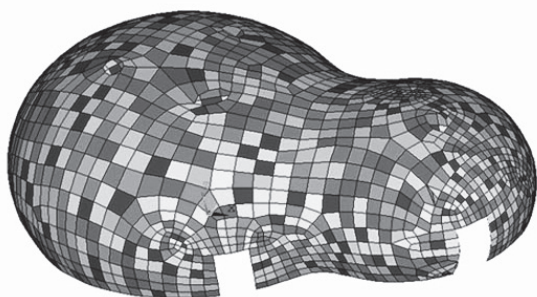
قالب این قطعات با استفاده از ماشین‌های برش خودکار تولید شده و سپس صفحات اکریلیکی بر مبنای آن قالب‌گیری شدند. همچنین، برش ۳۵۰ قطعه آلومینیومی سازه نیز به‌طور مستقیم



شکل ۸- نمای بیرونی پروژه حباب - متشکل از ۳۵۰ قطعه متفاوت از جنس شیشه اکریلیک



شکل ۹- نمای داخلی پروژه حباب- غرفه نمایشگاهی شرکت «بی.ام.و» در نمایشگاه سال ۱۹۹۹ فرانکفورت



شکل ۱۰- محاسبات سازه‌ای و تحلیل تنش‌ها در مدل اصلی

برخی از معماران معاصر ایران نیز به بررسی معماری دیجیتال و تاثیر آن بر روند طراحی پرداخته‌اند که از این میان می‌توان رضا دانشمیر را نام برد. وی در رابطه با فرایند طراحی پارامتریک به‌عنوان شاخه‌ای از معماری دیجیتال می‌گوید: «تفکر پارامتریک، زبان نسبتاً جدید و پیچیده‌ای است که بر مبنای فناوری دیجیتال و پروسه تحلیل داده، عمل کرده و هدف آن شبیه‌سازی طبیعی و تولید پدیده‌های ارگانیک و نرم است. این تکنیک هوشمند است و کوچک‌ترین تغییر در یکی از داده‌ها سبب ایجاد تغییر در کل مجموعه می‌گردد. بنابراین، دارای قابلیت تغییر شکل با حفظ یکپارچگی و پیوستگی است و می‌توان آن را جایگزین مناسبی در برابر «کلاژ» و خرد یا تکه‌تکه شدن^۱ به‌شمار آورد. این تکنیک همانند سیستم مدیریت ساختمان^۲ قابلیت به‌کارگیری در سطوح مختلف را دارد، یعنی همان‌گونه که می‌توان در یک پروژه لایه‌های مختلفی از BMS را تعریف و به‌کار گرفت، به همان ترتیب نیز می‌توان در جریان طراحی یک پروژه، سطوح مختلفی از فناوری پارامتریک را فعال گردانید.»

۱-۲- الزامات معماری دیجیتال

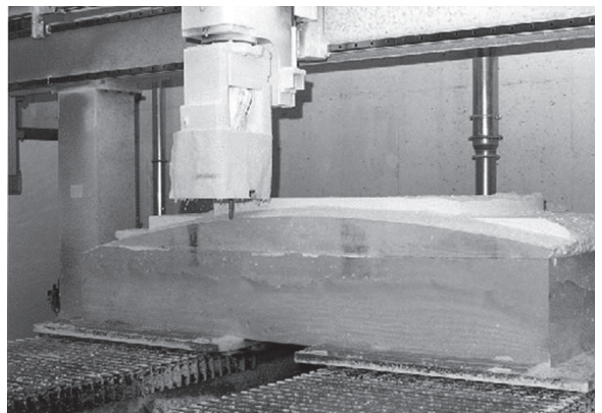
سه بخش عمده مورد بحث در رابطه با الزامات معماری دیجیتال عبارتند از: مدل‌سازی دیجیتال، ابزار مدل‌سازی و دستگاه‌های ساخت دیجیتال.

مدل‌سازی دیجیتال بر پایه طراحی الگوریتمی شکل می‌گیرد و از طریق ابزار طراحی معماری دیجیتال به فرم نهایی دست می‌یابد. در این بخش به معرفی تکنیک‌های طراحی الگوریتمی و دو نوع آن پرداخته شده است.

ابزار طراحی معماری دیجیتال در واقع محیط‌های برنامه‌نویسی گرافیکی هستند که در آن با سهولت می‌توان به ساخت گرافیکی پرداخت. نرم‌افزارهای سامانه CAD به طراحان و معماران برای



شکل ۱۱- سازه طرح



شکل ۱۲- ساخت و بُرش سازه نمایشگاه «بی.ام.و» با استفاده از ابزار «سی.ان.سی»

به‌تدریج انواع ماشین‌آلات ساخت دیجیتال، راه خود را به دانشگاه‌ها و شرکت‌های معماری باز نموده و به مجموعه ابزارهای معماران افزوده شدند. فناوری‌های ساخت برای حرفه‌هایی غیر از معماری، از قبیل طراحی صنعتی و مهندسی مکانیک توسعه یافته‌اند؛ لذا زمانی که معماران شروع به استفاده از آن‌ها کردند، مجبور شدند از روش‌هایی متفاوت از آنچه در فرآیند طراحی معماری رایج است، پیروی نمایند. آشنایی با این موارد به معماران کمک می‌کند تا بتوانند از این فناوری‌ها بهتر استفاده کنند.

1- Fragmentation

2- BMS: Building Management System

به‌طور خلاصه شرح داده شده است و در ادامه، به سه دسته اصلی روش‌های تولید دیجیتال در معماری پرداخته شده است.

۱-۱-۲-۱- معماری الگوریتمی

فرآیند حل مساله با پیروی از تعدادی دستورالعمل را الگوریتم می‌نامند. در واقع الگوریتم حل کردن مساله از روشی نظام‌مند به‌منظور تعمیم آن روش به مسائل مشابه است. در طول تاریخ طراحی، الگوریتم‌هایی به‌صورت گسترده در معماری استفاده شده‌اند. نکته جالب توجه این است که قبل از این که مفهوم الگوریتمی با رایانه پیوند بخورد، دستورها و قواعدی در معماری وجود داشتند که در واقع همان الگوریتم‌ها بوده‌اند. برای عقلانی و منطقی کردن فرآیند طراحی در حرفه معماری، چاره‌ای جز استفاده از دستورهای ساختارهای ساختارمند و منطقی نبوده است. به این ترتیب، می‌توان گفت معماری الگوریتمی یعنی فرآیند طراحی با ایجاد پارامترهای گوناگون برای رسیدن به فرم مطلوب و موردنظر طراح.

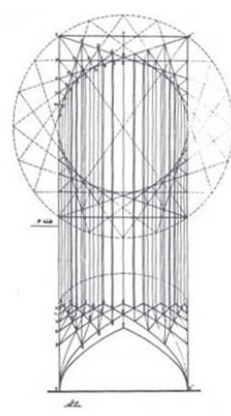
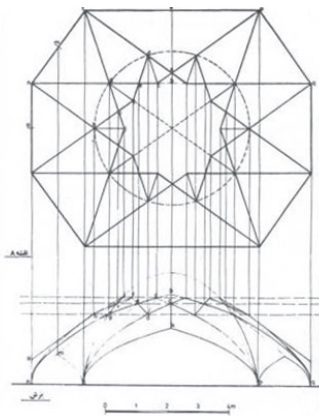
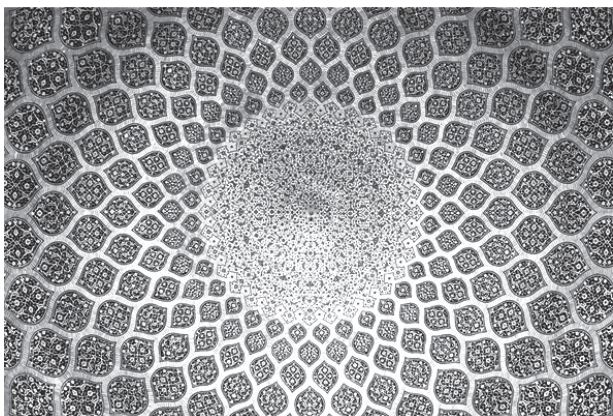
در طراحی دیجیتال با استفاده از فرآیندهای تصادفی، می‌توان از دو نوع الگوریتم استفاده کرد: الگوریتم‌های وراثتی (ورونئی) و

خلق ساختارهای واقعی به شکل مجازی کمک می‌کنند، در نتیجه، طراح پیش از ساخت و اجرای طرح از طریق مدل‌سازی می‌تواند در فضای داخلی حرکت کرده و آن را تجربه کند.

پس از مدل‌سازی یک طرح، ساخت آن به‌صورت واقعی از طریق دستگاه‌های ساخت دیجیتال مانند «سی.ان.سی»، دستگاه لیزر، فریز «سی.ان.سی.» و چاپ‌گر سه‌بعدی قابل اجرا است. در دنیای امروز، ربات‌های صنعتی نیز به این مجموعه افزوده شده‌اند و نه تنها المان‌های سازنده بلکه کل طراحی از طریق جاگذاری قطعات بر اساس محاسبات دقیق امکان‌پذیر است. در این بخش هر یک از آن‌ها به همراه نمونه‌های مربوطه توضیح داده شده‌اند.

۱-۲-۱- مدل‌سازی دیجیتال

معماری الگوریتمی، نوعی استفاده از رایانه در طراحی معماری است که می‌تواند تا حدودی به‌طور خودکار به طراحی و برنامه‌ریزی شهری و معماری بپردازد. در این قسمت، ابتدا تعریف معماری الگوریتمی ارائه شده و سپس مفهوم دو روش وراثتی (الگوریتم ورونئی)^۱ و تکنیک‌های جذب‌کننده^۲ (که از جمله مهم‌ترین روش‌ها در فرایند تصادفی الگوریتمی هستند)



شکل ۱۳- طراحی الگوریتمی گنبد شیخ لطف الله

1- Voroni Algorithms

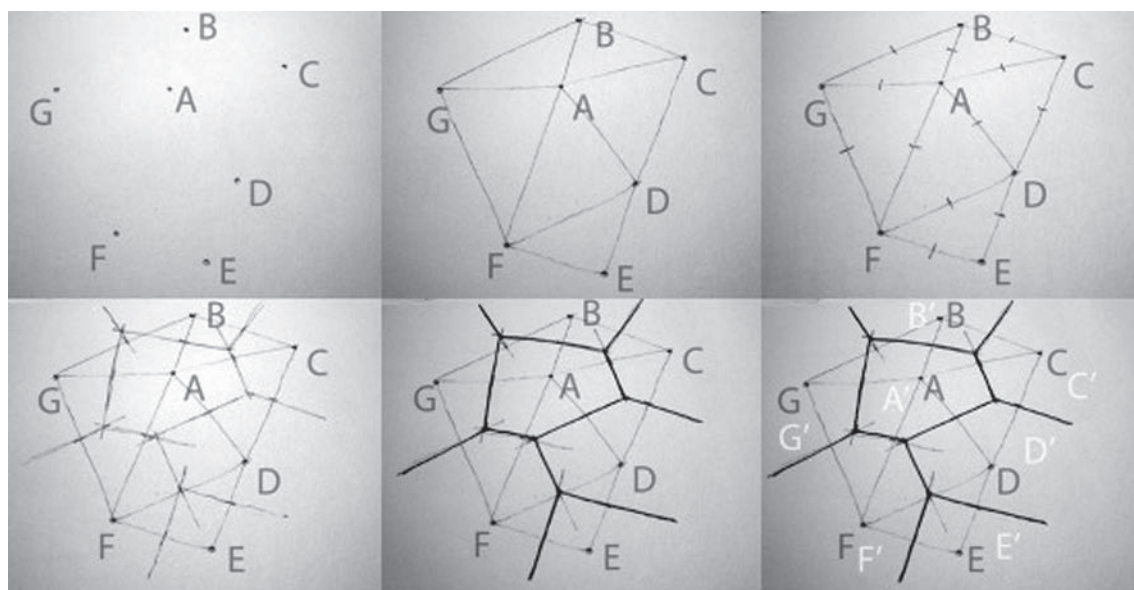
2- Attractors Algorithms

الگوریتم‌هایی با تکنیک‌های جذب‌کننده.

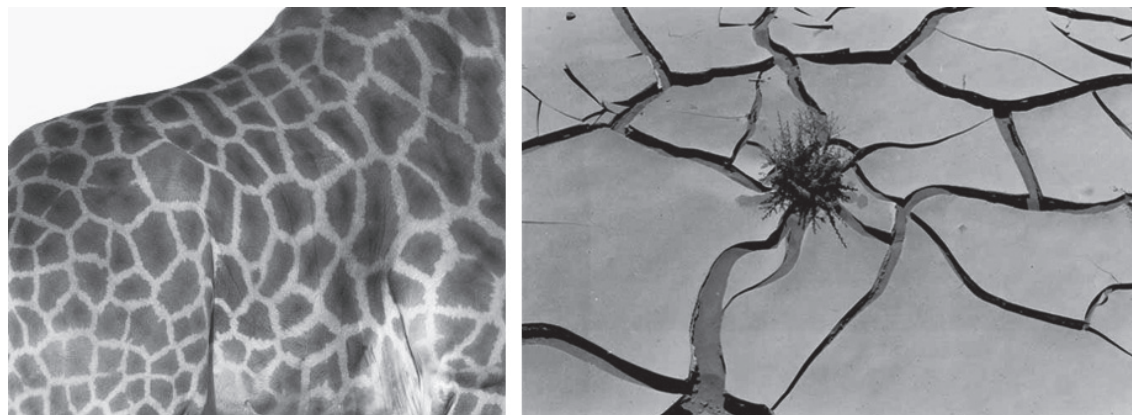
نزدیک‌ترین جواب‌های با احتمال بالا را به دست می‌آورد. برای محاسبه‌ی ناحیه یک نقطه، تمام پاره‌خط‌های بین آن نقطه و سایر نقاط در نظر گرفته می‌شوند؛ سپس عمودمنصف‌های این پاره‌خط‌ها ترسیم می‌شوند. این عمودمنصف‌ها ناحیه‌ای دورتادور این نقطه به وجود می‌آورند که همان ناحیه موردنظر برای این نقطه است.

الگوی وراثتی

در الگوهای وراثتی، نوعی الگوریتم هندسی به کار می‌رود که مجموعه‌ای از نقاط را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و منجر به خروج یک سری از نواحی در صفحه می‌شود و با توجه به مساله،



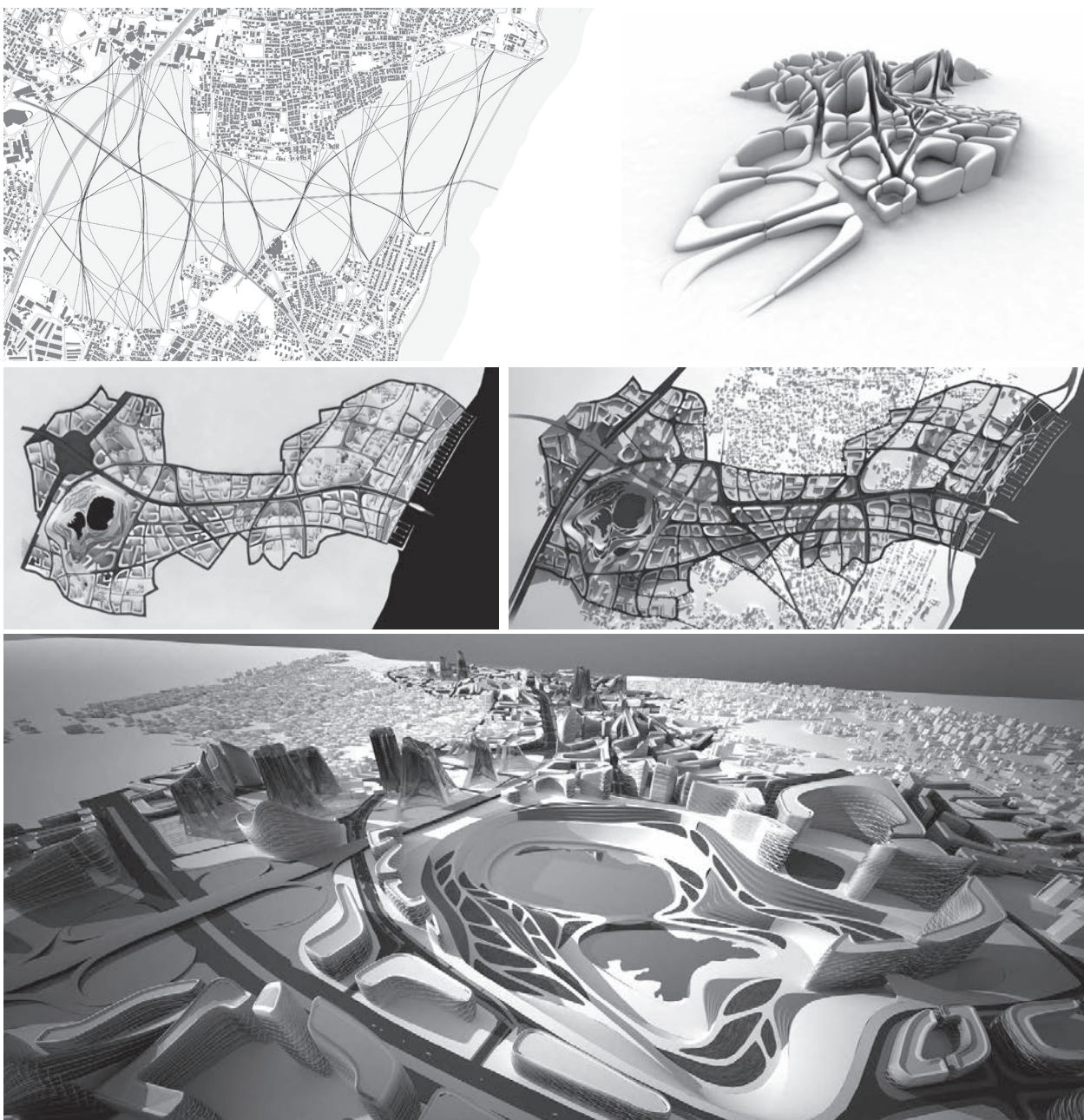
شکل ۱۴- مراحل ترسیم ناحیه نقاط بر اساس الگوریتم ورونئی



شکل ۱۵- نمونه‌هایی از الگوریتم ورونئی در ساختارهای طبیعی

یکی از نمونه‌های موردی الگوریتم وراثتی در مقیاس شهری، طراحی بافت شهری استانبول است که در سال ۲۰۰۶ در یک پروژه پژوهشی در دفتر معماری زها حدید^۱ در لندن، برای یک

امروزه ثابت شده است که بسیاری از ساختارهای طبیعی از این الگوریتم پیروی می‌کنند، به‌ویژه ساختارهای ریز طبیعت مانند شکاف‌های کویر یا نقش بدن زرافه.

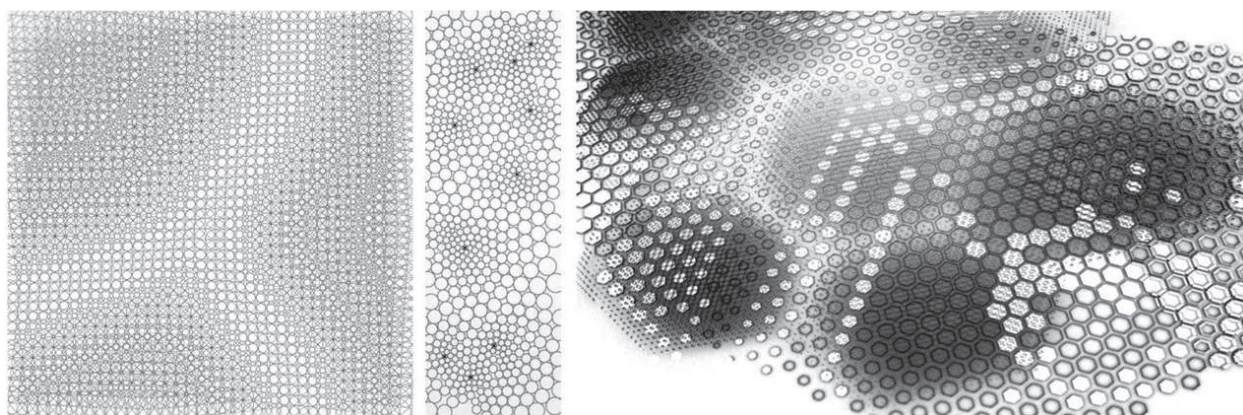


شکل ۱۶- پروژه بافت شهری استانبول

الگوریتم با تکنیک‌های جذب‌کننده

در الگوریتم‌های با تکنیک‌های جذب‌کننده نیز اساس کار ایجاد بی‌نظمی در فرم یا صفحه، بدون تداخل در نظم نسبی و منطقه‌ای شکل و فرم نهایی است. مهم‌ترین این الگوریتم‌ها،

بافت شهری پرجمعیت پیشنهاد شد. یک مدل سه‌بعدی فضایی در محیط مجازی که مدل‌سازی احجام ساختمانی آن بر اساس مورفولوژی و ریخت‌شناسی ناحیه موردنظر و ایجاد پارامترهای آب و هوایی منحصر به فرد صورت می‌گیرد.



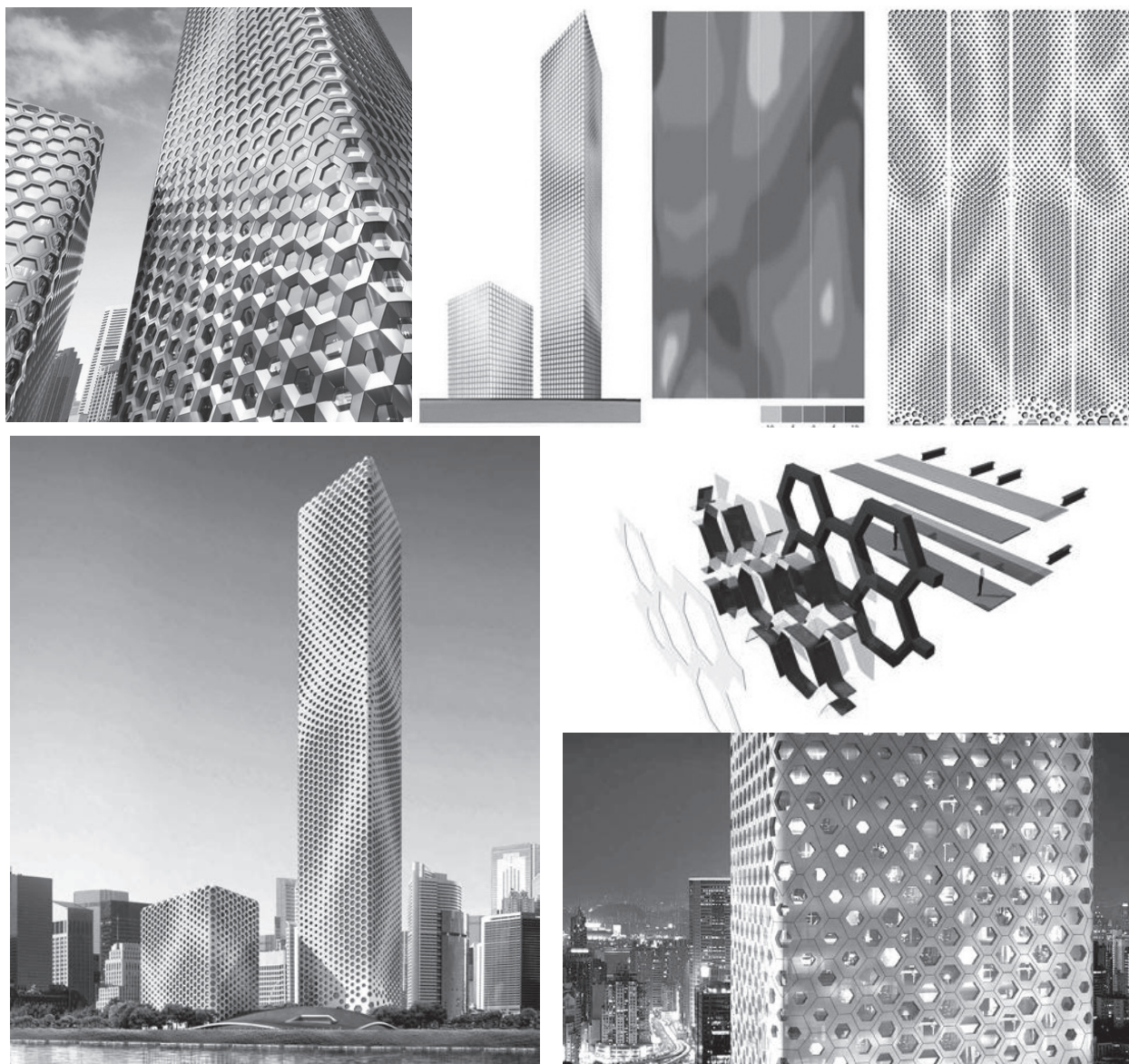
شکل ۱۷- نمونه‌هایی از الگوریتم با تکنیک جذب‌کننده

نما، فرم لانه زنبوری متشکل از پنجره‌های شش ضلعی در ۵ اندازه مختلف است و اندازه پنجره‌ها و فرم چیدمان شش ضلعی‌ها به گونه‌ای بر اساس جهت باد و نور خورشید مرتب شده‌اند که دمای درون برج‌ها را در فصول مختلف سال تنظیم کنند. در این طرح، پنجره‌ها دارای الگویی نامنظم مانند سلول‌های طبیعی است که در ابتدا تصادفی به نظر می‌آیند؛ اما در واقع، به دقت و با توجه به موقعیت خورشید و جهت وزش باد نسبت به ساختمان طراحی شده‌اند. با این روش اتلاف گرما در زمستان و جذب گرما در تابستان به حداقل می‌رسد.

نوعی است که در آن پارامترهای جذب‌کننده تابعی از پارامترهای محیطی مانند میزان دریافت نور خورشید، باد و غیره است. با این روش می‌توان ساختمان‌هایی را طراحی کرد که فرم آن‌ها با توجه به شرایط محیطی تغییر می‌کند.

یکی از نمونه‌های جالب توجه استفاده از الگوریتم‌های با تکنیک‌های جذب‌کننده، برج ساینو/استیل^۱ در شهر «تیانجین» چین است که توسط استودیوی طراحی MAD طراحی شده است. در این پروژه که شامل یک برج اداری به ارتفاع ۳۵۸ متری و یک هتل به ارتفاع ۸۸ متری در جوار آن است، فرم کلی سازه

1- Sino-Steel Tower



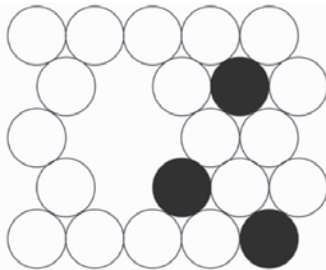
شکل ۱۸- پروژه «ساینو استیل» در شهر «تیانجین» چین

۲-۱-۲-۱- روش‌های مدل‌سازی دیجیتال

مدل‌سازی دیجیتال و ساخت^۱ با استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی سه‌بعدی و فرایندهای افزودن^۲، کاستن^۳ و سرهم‌بندی^۴ یا تغییر

فرم^۵ طراحی، انجام می‌شود. این روش‌ها به طراحان اجازه می‌دهند که به تولید فیزیکی طرح دیجیتال که چیزی بیش از یک تصویر بر روی صفحه نمایش است، بپردازند. در این فرایند،

- 1- Digital Modeling and Fabrication
- 2- Additive
- 3- Subtractive
- 4- Assembly
- 5- Formative Fabrication

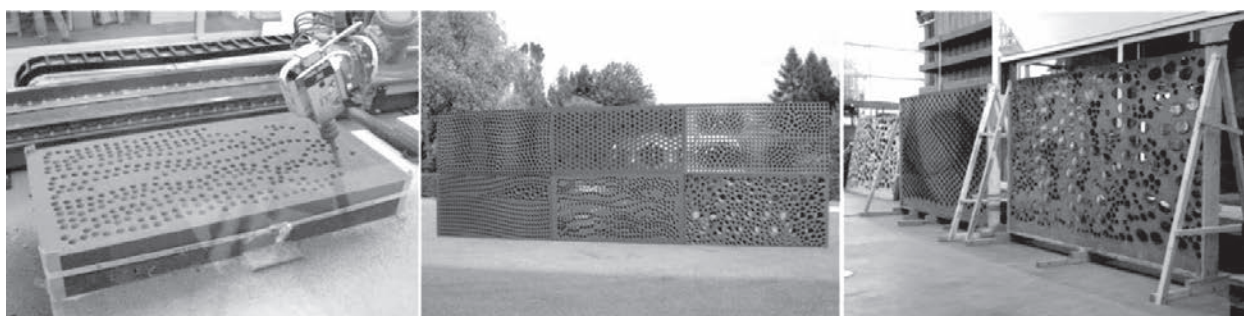
فرایند طرحواره	شرح نمونه	نمونه	اصول
	مصالص و اجزا از واحدهای کوچکتر شکل گرفته‌اند تا فرم اصلی را شکل دهند	استریولیتوگرافی (چاپ سه‌بعدی)	افزودن
	با شروع از یک بلوک، اجزا به تدریج کاسته می‌شوند تا فرم دلخواه را شکل دهند	فرز کردن، برش	کاستن
	نیروها به نقاط مختلف یک مصالح قابل انعطاف وارد می‌شود تا شکلی خاص را فرم دهند	پرس خمشی	تغییر فرم

شکل ۱۹- سه اصل عمده در فناوری ساخت دیجیتال

معماران می‌توانند به طراحی سطوح پیچیده، که خواص مصالح گوناگون نیز در آن بسیار موثر است، بپردازند. سه اصل عمده ساخت دیجیتال (افزودن، کاستن، تغییر فرم) در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش کاستن

در این روش، فرایند دیجیتال عبارت است از دادن فرم نهایی به رایانه و اتصال آن به رباتی که می‌تواند با تراشیدن قسمت‌هایی که در فرم نهایی نباید وجود داشته باشند، فرم نهایی را تولید کند (دکتر محمود گلابچی، ۱۳۹۱) (شکل ۲).



شکل ۲۰- دیوارهای مجوف- ایجاد سوراخ‌هایی غیر عمود بر سطح؛ عمق سوراخ‌ها و زاویه آن‌ها می‌تواند بسته به قابلیت‌های ربات انجام‌دهنده تغییر کند.

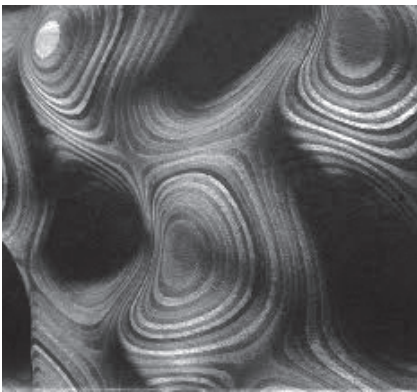
روش افزودن

در این روش، لازمه فرایند دیجیتال این است که نقاط اتصال و ترتیب اتصال آن‌ها به یکدیگر به وسیله رایانه محاسبه و به رُبات یا دستگاه سازنده ارسال شود (دکتر محمود گلابچی، ۱۳۹۱) (شکل ۳).

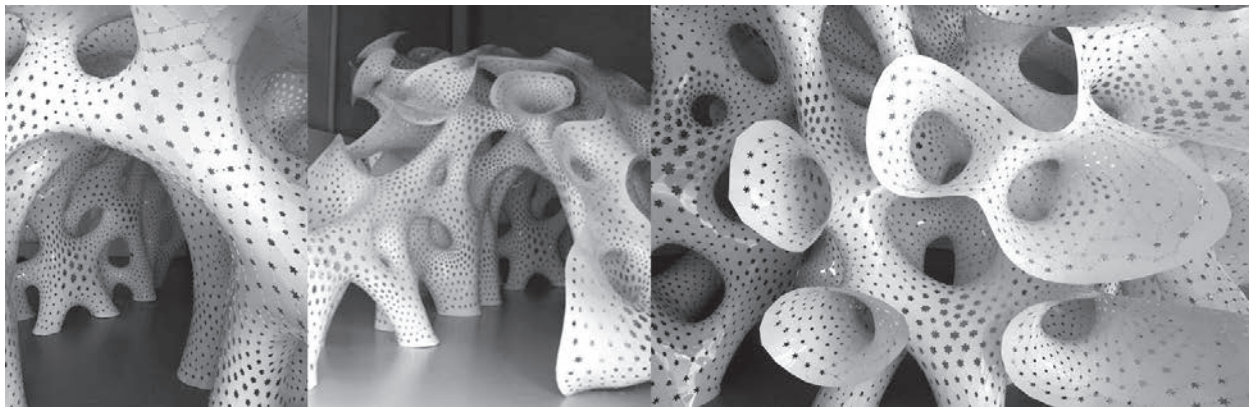


روش تغییر دادن فرم

منظور از تغییر فرم در این روش، تغییری بازگشت‌ناپذیر است. این گونه تغییرات نیازمند ایجاد تغییراتی در ساختار فیزیکی و شیمیایی ماده مورد نظر است (دکتر محمود گلابچی، ۱۳۹۱) (شکل ۴).



شکل ۲۱- نمونه‌ای از حجم ایجادشده به کمک روش افزودن. در این تکنیک از روی هم قرار دادن لایه‌ها، فرم نهایی به دست می‌آید.



شکل ۲۲- نمونه‌ای از حجم ایجادشده به کمک روش تغییر دادن فرم

۱-۲-۲- ابزارهای مدل‌سازی دیجیتال

ساخت اشیاء دیجیتالی از طریق انواع بسته‌های نرم‌افزاری CAD^۱، از طرح‌های بُرداری دو بُعدی و مدل‌سازی سه بُعدی

صورت می‌گیرد. به‌طور معمول، انتقال اطلاعات دیجیتال از ذهن انسان به زبان ماشین، رویه‌ای است که توسط CAD/CAM انجام‌پذیر است.

1- Computer-Aided Drafting
2- Computer-Aided Manufacturing

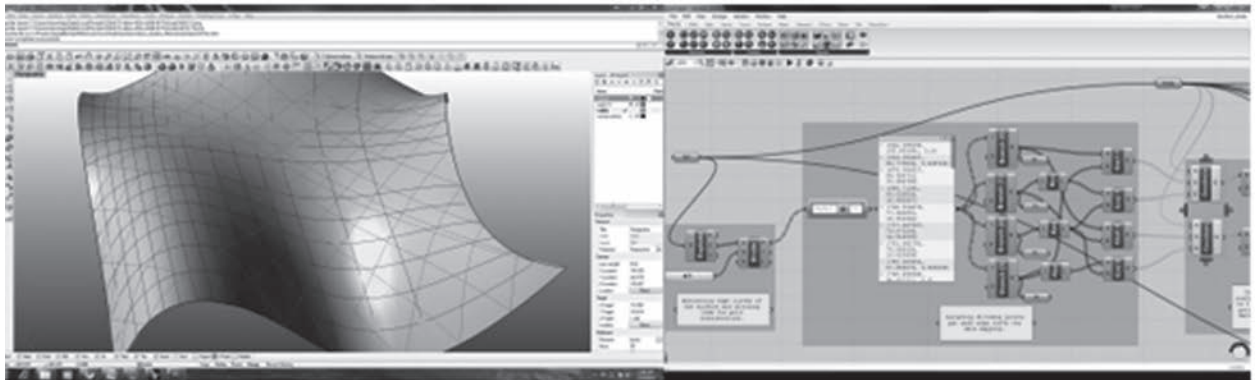
دارای مشخصات زیر است:

- مدول‌های منحصر به فرد
- ابزارهای تولید مسیر خودکار
- شبیه‌سازی و دیدن خروجی در یک زمان
- استفاده از محیط طراحی پارامتری به‌عنوان یک ابزار طراحی سفارشی که در آن تغییرات بر اساس واحد هندسی تعریف می‌شوند.

در نرم‌افزار «گرس‌هاپر» نمایش الگوریتم‌ها به‌صورت گرافیکی و فلوچارت^۵ است. بنابراین برای کسانی که به‌صورت تخصصی به محیط‌های برنامه‌نویسی کامپیوتر تسلط ندارند نیز قابل فهم است.

برای طراحان و معماران بهترین حالت این است که از قابلیت‌های گرافیکی یک نرم‌افزار مدل‌سازی در کنار یک محیط برنامه‌نویسی استفاده کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان از محیط جانبی لیسپ^۱ در کنار نرم‌افزار «اتوکد» یا محیط راینو/اسکرپت^۲ و گرس‌هاپر^۳ (که عموماً معماران از آن‌ها برای مدل‌سازی دیجیتال استفاده می‌کنند) در کنار نرم‌افزار راینو^۴ نام برد.

نرم‌افزار «گرس‌هاپر»، افزونه نرم‌افزار «راینو» است و این امکان را برای معماران فراهم می‌کند که بدون نیاز به آموختن برنامه‌نویسی، به اکتشاف فرم‌های خلاقانه بپردازند؛ همچنین، این امکان برای طراح فراهم می‌شود که به‌طور هم‌زمان بر طراحی و فرایند تولید نظارت داشته باشد. انجام این فرایند توسط ربات‌ها



شکل ۲۳- محیط کار برنامه «گرس‌هاپر» که بیش‌تر شبیه به زبان تصویری الگوریتم‌ها و فلوچارت است تا برنامه‌های متنی.

Boolean, List و ... هر یک از این مولفه‌ها عمل مشخصی را انجام می‌دهند. در مجموع، با کنار هم گذاشتن و ارتباط دادن مناسب این مولفه‌ها می‌توان خروجی نهایی ماشینی یا مدار را از ورودی‌های اولیه آن تولید کرد.

منوی اصلی این نرم‌افزار منوی مولفه‌ها نام دارد که دارای دسته‌بندی خاصی است نظیر Params, Logic, Scalar و... است که هر کدام از این دسته‌ها نیز به دسته‌های کوچک‌تری طبقه‌بندی می‌شوند. این زیر دسته‌ها عبارتند از Script,

- 1- Lisp
- 2- Rhinoscript
- 3- Grasshopper
- 4- Rhino
- 5- Flowchart

محصول از طریق حذف مصالح در قسمت‌هایی از بلوک، میله یا ورق اولیه ایجاد شده است. در این بخش به معرفی دستگاه‌های دیجیتال که در ساخت به کار می‌روند پرداخته شده است.

۱-۳-۲-۱- دستگاه برش لیزری^۲

لیزر^۴ به معنای تقویت نور توسط تشعشع تحریک‌شده است. به عبارتی، لیزر نوعی فناوری است که توسط تقویت نوری بر پایه فوتون‌های تحریک‌شده، نور تولید می‌کند. در صنعت، از این فناوری برای برش و حکاکی مواد و مصالح استفاده می‌شود. دستگاه‌های لیزر صنعتی خود به دو دسته لیزر فلزات و لیزر غیرفلزات تقسیم می‌شوند. دستگاه‌های لیزر فلزات برای انواع حکاکی، برش لیزر و جوش لیزری روی فلزات مختلف به کار می‌رود و نوع دیگر یا همان دستگاه لیزر غیر فلزات برای حکاکی و برش روی مواد مختلفی مانند چوب، پلکسی‌گلاس، شیشه، پارچه و ... کاربرد دارد.



شکل ۲۴- دستگاه لیزر

به عبارت دیگر، نوع کاری که باید انجام داد شبیه ساختن یک الگوریتم است، با این تفاوت که زبان بیان الگوریتم در اینجا مولفه‌ها و نحوه اتصال آن‌ها به هم هستند. به عنوان مثال، یکی از مولفه‌های «گرس‌هاپر»، مولفه تعریف نقطه بر اساس مختصاتش است، که ورودی آن سه عدد x ، y و z هستند و خروجی آن نقطه‌ای با مختصات سه عدد است.

نرم‌افزار «گرس‌هاپر» به کاربر اجازه می‌دهد که یک گراف برای مدل هندسی بسازد. این راه از طریق دیداری با کشیدن سیم از خروجی یک مولفه به ورودی یک جزء دیگر امکان‌پذیر است. که از جمله راه‌های شهودی برای روش‌های برنامه‌نویسی است. تغییرات هندسی بلافاصله در پنجره نمایش منعکس می‌شوند و به کاربر اجازه تغییر بدون نیاز به تنظیم مجدد را می‌دهد.

۱-۳-۲-۳- دستگاه‌های ساخت دیجیتال^۱

در طول تاریخ بشر، ابزارهای ساخت به تدریج تکامل یافته‌اند تا بتوانند هزینه و دخالت انسان در ساخت را کاهش دهند و امکان ساخت طرح‌ها و ایده‌های نوین و پیچیده‌تری را فراهم سازند. بر این اساس، ابزار ساخت را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم کرد:

- ابزارهای دستی مانند اره
- ماشین‌آلات متعارف که در آن به جای هدایت یک ابزار دستی، کاربر مواد و مصالح را از طریق دستگاه هدایت می‌کند: مانند انواع مختلف اره، پرس مته، ماشین آلات فرز و غیره.
- روش ساخت دیجیتال، که در آن نقشه‌ها به طور مستقیم به یک ابزار کنترلی رایانه‌ای^۲ منتقل شده و در لحظه‌ای که دستگاه شروع به کار می‌کند کاربر، دیگر کنترلی بر روی چگونگی کار دستگاه ندارد. فرایندهای CNC اصطلاحاً بر اساس روش‌های ساخت کاستنی عمل می‌کنند، که در آن

1- Machines for digital fabrication

2- CNC

3- Laser Cutter

4- LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

۱-۲-۳-۲- دستگاه CNC

دستگاه کنترل عددی یا دستگاه «سی‌ان‌سی»، به دستگاهی گفته می‌شود که با برنامه‌ریزی قبلی به‌طور خودکار بر روی مواد مختلف عملیات انجام می‌دهد. از این دستگاه‌ها که در اوایل دهه ۵۰ میلادی ظهور کردند، می‌توان در صنایع بی‌شماری استفاده کرد. ماشین‌های CNC بر حسب نوع‌شان، عملکردهای متفاوتی دارند که از جمله‌ی آنها می‌توان به ماشین‌های ۳ محوره، ۴ محوره و ۵ محوره اشاره کرد. در این دستگاه‌ها که توسط رایانه هدایت می‌شوند، ابتدا طرح موردنظر تولید شده و در رایانه به جی‌کد^۲ (سه محور افقی X، عمودی Y و عمقی Z) تبدیل می‌شوند و پس از قرار دادن مصالح موردنظر، طرح مورد نظر توسط دستگاه روی مصالح پیاده می‌شود. ماشین‌های «سی‌ان‌سی» انواع مختلفی دارند که معروف‌ترین آنها، دستگاه‌های لیزر و فرز CNC هستند.

در دستگاه فرز CNC به‌جای لیزر از تیغه یا نوک فرز استفاده می‌شود. این ماشین‌ها نیز توسط رایانه کنترل شده و می‌توانند روی چوب، سنگ و فلزات، انواع برش و حکاکی را انجام دهند. مزیت دستگاه فرز «سی‌ان‌سی» نسبت به دستگاه CNC لیزر غیرفلزات، عمق برش و حکاکی آن است که با آن می‌توان وسایل زیادی مانند کابینت، درب، میز، کمد و ... را تولید کرد.



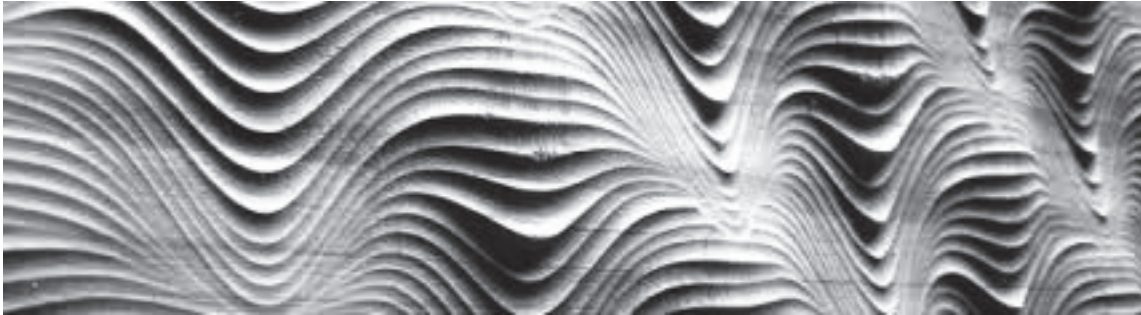
شکل ۲۶- دستگاه فرز «سی‌ان‌سی»



شکل ۲۵- ماشین «سی‌ان‌سی»

سی‌ان‌سی فرز^۳ برای ایجاد فرم استفاده می‌شود. این فرآیند بیش‌تر برای ایجاد اجزای کوچک و منحصر به‌فرد معماری کاربرد دارد. با استفاده از فرز چوب‌های^۴ ۴ و ۵ محوری می‌توان اشکال منحنی پیچیده چوبی و یکپارچه را با دقتی بالا و در زمانی بسیار کوتاه‌تر از گذشته ساخت.

- 1- Computer Numerical Control
- 2- G-Code
- 3- CNC Milling
- 4- Milling Wood



شکل ۲۷- طرح ایجادشده توسط ماشین «سی‌ان‌سی فِرَز»



شکل ۲۸- شکل منحنی چوبی ایجادشده توسط فِرَز چوب ۴ و ۵ محوری

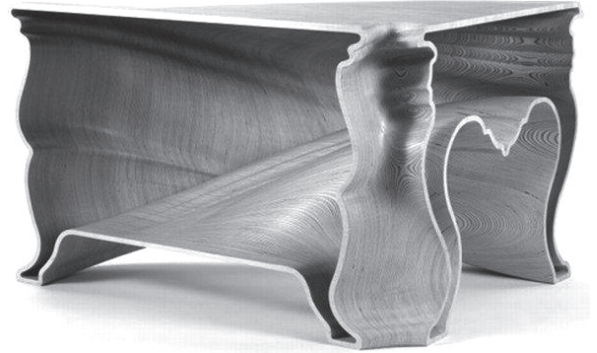
سی‌ان‌سی مسیریاب^۲ و سی‌ان‌سی واترجت^۳، مشابه کار «سی‌ان‌سی» فِرَز را در ابعاد بزرگ‌تر انجام می‌دهند و برای بریدن صفحات بزرگ و تخت استفاده می‌شوند. این دستگاه علاوه بر تخته سه‌لا و فوم برای برش فلز، سنگ، شیشه، لاستیک، مواد کامپوزیت و غیره استفاده می‌شود. نازکی برش و فرم‌هایی که توسط لیزر به دست می‌آید، توانایی معماران را در این زمینه به‌طرز قابل توجهی افزایش داده است.

به جز دستگاه‌های «سی‌ان‌سی» پیشرفته، می‌توان با «سی‌ان‌سی»‌هایی که تنها ورق‌های مسطح را برش می‌دهند نیز حجم‌های پیچیده‌ای ایجاد کرد. در ابتدا مدل سه‌بعدی در CAD ساخته می‌شود و سپس لایه‌لایه منطبق بر ضخامت قابل برش دستگاه بریده می‌شود. طرح تخت^۱ هر کدام از لایه‌ها، به‌صورت مجزا برای دستگاه فرستاده می‌شود و پس از اتمام برش، لایه‌ها به هم چسبانده شده و طرح نهایی را تشکیل می‌دهند. مرحله نهایی برای رسیدن به یک حجم نرم و یک‌دست، سنباده زدن و محو کردن اثر گذار از یک لایه به لایه دیگر است.

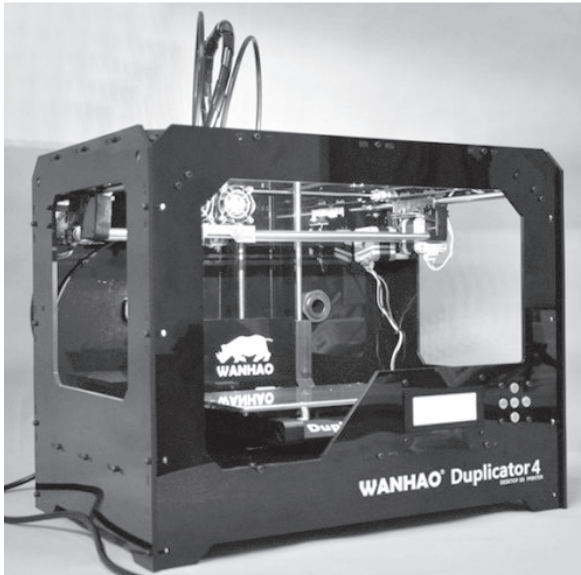
1- Flat Drawing
2- CNC Routing
3- CNC Waterjet

۱-۲-۳- چاپگر سه‌بعدی^۱

چاپگرهای سه‌بعدی دستگاه‌هایی هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان از عکس‌های موجود، نمونه سه‌بعدی واقعی ساخت. چاپگرهای سه‌بعدی به‌طور معمول با احداث یک لایه نازک از یک شی و سپس ایجاد لایه دیگری از همان شی بلافاصله در بالای لایه قبل به ساخت فیزیکی اشیاء دیجیتال می‌پردازند.



شکل ۲۹- ایجاد شکل منحنی چوبی با استفاده از دستگاه «سی‌ان‌سی»
محوری (به‌صورت لایه‌لایه)



شکل ۳۱- چاپگر سه‌بعدی



شکل ۳۰- ماشین «سی‌ان‌سی واتر‌جت»

۱-۲-۳-۴- نمونه‌های موردی ساخت با دستگاه‌های

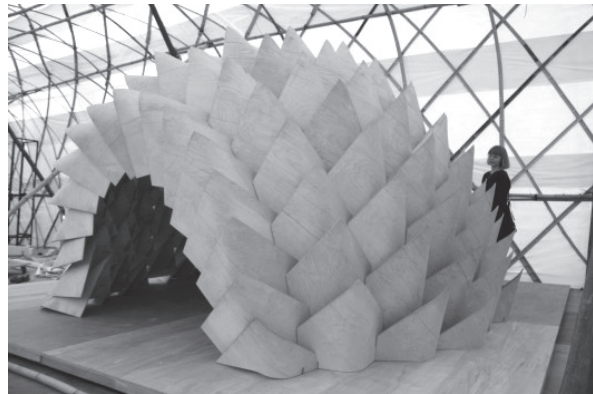
دیجیتال

از دستگاه‌های ساخت دیجیتال می‌توان برای ساخت و تولید انواع مصالح ساختمانی استفاده کرد. از آنجا که چوب یکی از مصالحی است که بیش‌ترین کارایی و کاربرد را در این زمینه دارد، چند نمونه غرفه ساخته‌شده از چوب توسط دستگاه‌های دیجیتال در ادامه آمده است.

انواع دیگر ماشین‌های CNC دستگاه برش پلاσμα، دستگاه هوابرش و ... هستند که کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارند.

۱-۲-۳-۴-۱ ساخت غرفه با ایجاد انحنا در چوب

چوب ماده‌ای با کارایی بالا، قدرت‌مند، سبک وزن و تجدیدپذیر است. با این حال، تغییر شکل و رفتار ناهمگون چوب در جهات مختلف^۱ نسبت به بارهای وارده، استفاده از آن را به عنوان مصالح ساختمانی استاتیک و همگن دشوار کرده است. با توجه به ویژگی‌های فوق، ایجاد انحنا در چوب برای ساخت‌وساز بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. هندسه منحنی چوب را می‌توان به



شکل ۳۲- غرفه Dragon Skin

روش‌های مختلف به دست آورد. ورقه‌های نازک چوب را می‌توان به راحتی در یک جهت خم کرد و برای خم کردن قطعات ضخیم‌تر می‌توان از گرما و رطوبت استفاده نمود. به‌طور مثال در غرفه Dragon Skin (شکل شماره ۳۲)، قطعات تخته سه‌لای^۲ منحنی‌شکل استفاده‌شده در کار، پیش از برش توسط دستگاه CNC، تحت تاثیر بخار قرار گرفتند.

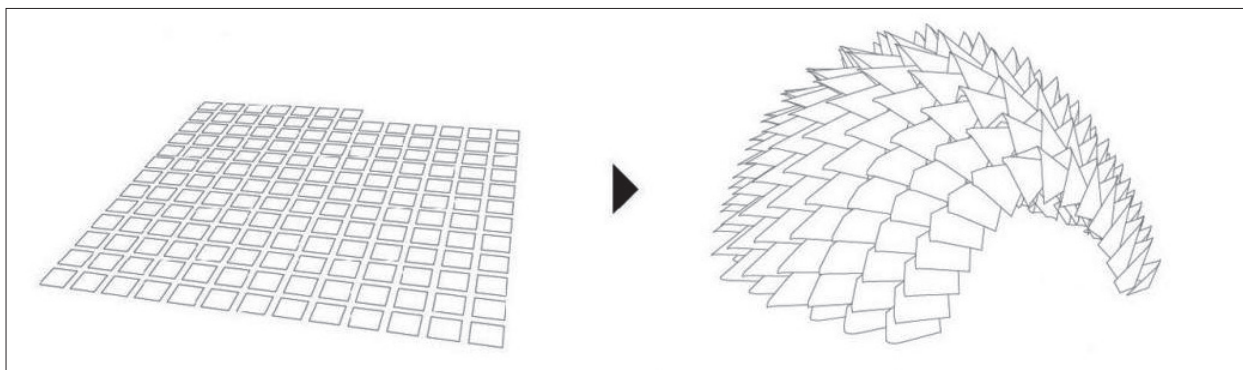
در این غرفه، هنر معماری با استفاده از فناوری ساخت دیجیتال تولید و ارایه گردیده است. پوسته چشم‌گیر و متخلخل ایجادشده با این تکنیک، مفهوم فضایی مرز را به چالش می‌کشد و در عین حال که ورود نور و دید به داخل از بیرون غرفه محدود شده است، از طریق زوایای ایجادشده، دید از داخل به خارج امکان‌پذیر است.

الگوی ارائه‌شده در این غرفه، فرضیه ساختار در مقابل تزئینات را به چالش می‌کشد، چرا که در این روش پیشرفته، ساخت سازه و الگوی ساخت به نوعی است که دیگر نیازی به تزئینات الحاقی نیست. این طرح با استفاده از مصالح نوین و روش‌های طراحی و ساخت دیجیتال شکل گرفته است و طراحان را با الگوهایی نوین روبه‌رو می‌کند.

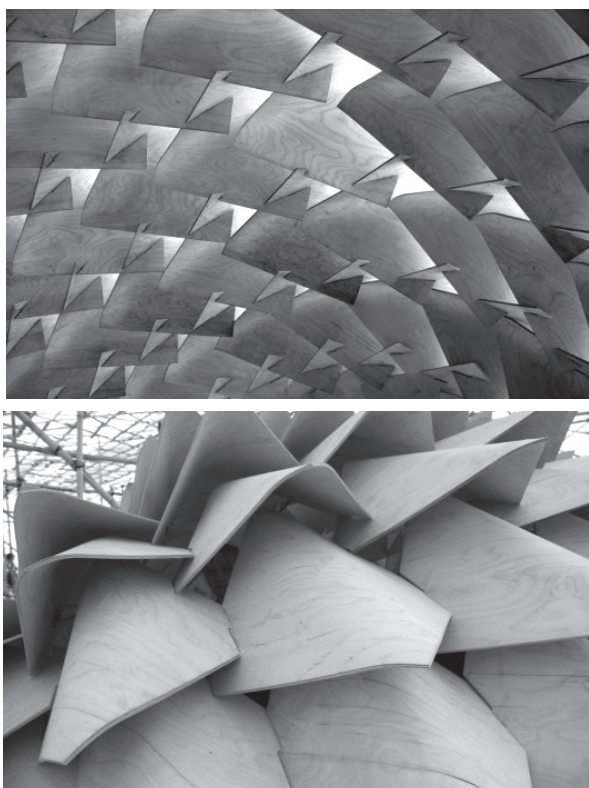


شکل ۳۳- نحوه فرم‌دهی به پوشش چوبی غرفه

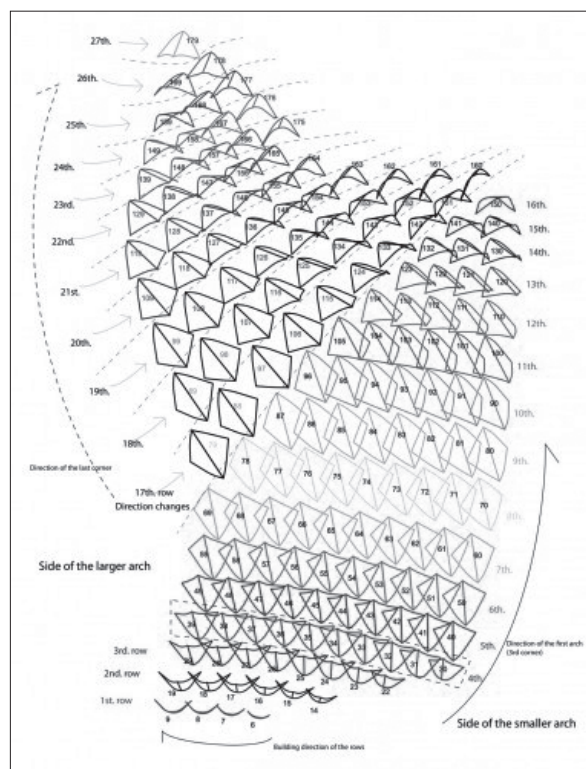
1- Anisotropic
2- Plywood



شکل ۳۴- شبکه‌بندی منحنی غره



شکل ۳۶- نحوه پوشش غره با مدول‌های چوبی



شکل ۳۵- طرح ساخت غره

توسط رایانه طراحی شده و بر اساس الگوریتم آن، هر قطعه مستطیلی شکل در ابعاد دقیق و با زاویه مشخص بریده می‌شود. هر کدام از قطعات، منحصر به فرد و دارای برجسب مشخص است که در مجموع برای این غره ۱۶۳ قطعه در کارخانه TUT فنلاند تولید شد.

ساخت ابتدایی این غره، در مجموع هشت روز به طول انجامید. مصالحی که در ساخت این غره استفاده شد، نوع خاصی از تخته سه‌لا است که به راحتی خم می‌شود و قابل انعطاف است و برای برش آن هم پیش از گرما دیدن و خم کردن از «سی‌ان‌سی» مسیر یاب استفاده شده است. مدل سه‌بعدی پیشرفته آن



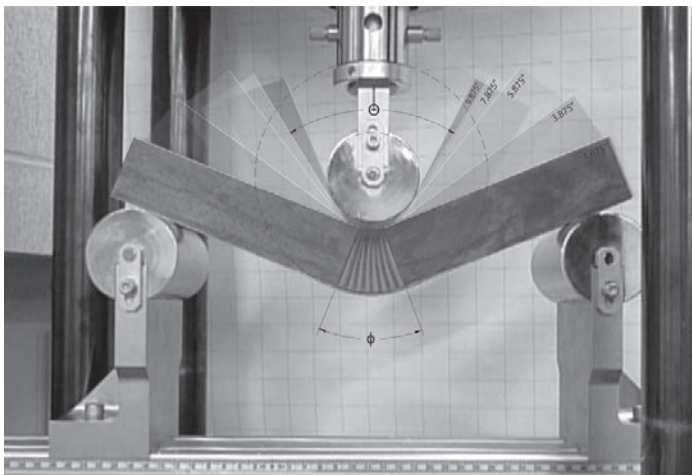
شکل ۳۷- خم کردن چوب به روش چاک زدن

۱-۲-۳-۴-۲- تولید به روش چاک زدن چوب^۱

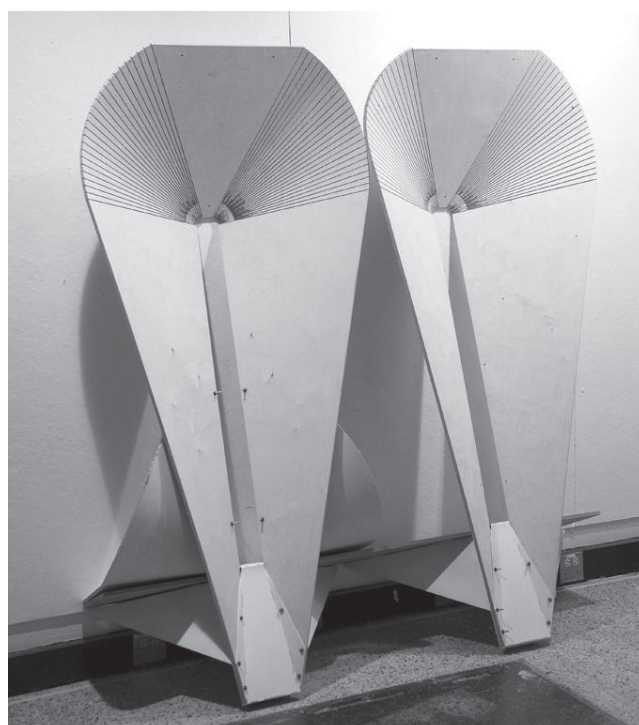
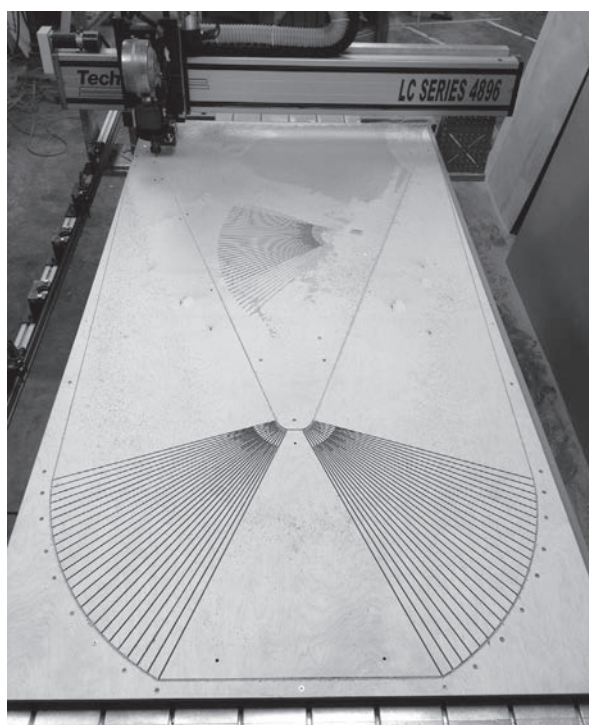
چاک زدن چوب به معنی ایجاد برش‌های نزدیک به هم بر روی سطح چوب است که به واسطه آن خم کردن چوب آسان می‌گردد. این روش در بین ماکت‌سازان برای ایجاد انحنا در مصالح گوناگون رایج است ولی در حال حاضر در مقیاس بزرگ و حقیقی با استفاده از دستگاه‌های خاص، به‌ویژه برای چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، عمق برش‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. در صورت عمیق بودن برش بر روی چوب، ترک ایجاد می‌شود و در صورت عمق کم در هنگام خم کردن، چوب می‌شکند و در نتیجه، مقاومت آن بسیار کاهش می‌یابد. نکته حائز اهمیت دیگر، نقاط برش است. چوب باید در نقاطی بریده شود که فیبرهای مانده، آزادی خمش در آن محل را داشته باشند.



شکل ۳۸- استفاده از روش چاک زدن برای ساخت ماکت‌های چوبی



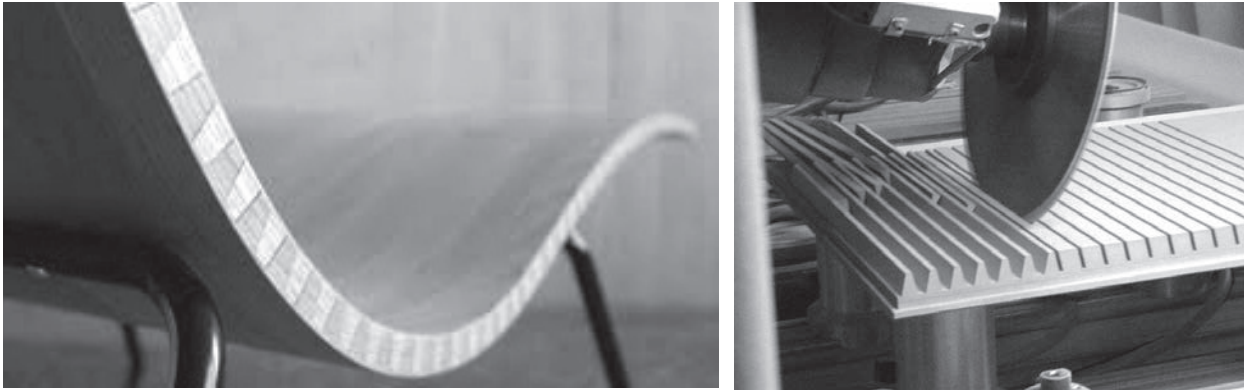
شکل ۳۹- استفاده از ربات برای خم کردن چوب به روش چاک زدن



شکل ۴۰- ساخت یکپارچه صندلی چوبی به روش چاک زدن

خورده و با انحنای از پیش تعریف شده خم شده‌اند، با هم درگیر می‌شوند و چوب توسط یک رایانه که اره گرد را کنترل می‌کند، بریده می‌شود. در این روش، تمام برش‌ها و انحناها از قبل در برنامه تعریف شده است.

در سال ۲۰۰۷، این روش پیشرفت کرد و پس از آن برای ساخت پانل‌های تک انحنای بدون نیاز به قالب و برای مصالح گوناگون مورد استفاده قرار گرفت. در این روش که به سیستم زیپ‌شکل معروف است، دو صفحه جداگانه که هر کدام از پیش برش



شکل ۴۱- ساخت پانل‌های تک انحنای بدون نیاز به قالب (سیستم زیپ‌شکل)

۱-۳- ربات‌ها در معماری

هنرمندان، طراحان، تولیدکنندگان و راهبران صنعتی را به منظور پیشبرد گفتمان در زمینه ساخت ربات گرد هم آورد و به بحث سفارشی‌سازی^۴، یکی از موضوعات مهم در معماری، پرداخت. به این دلیل که از لحاظ زیبایی‌شناسی، به جای طرح‌های تولید انبوه، معماران بیش‌تر روی نمونه‌های فردی کار می‌کنند، در واقع از طریق سفارشی‌سازی ابزار فیزیکی توسط ربات‌های صنعتی، معماران می‌توانند نمونه‌های سفارشی را توسط ربات طراحی کرده و به مشتریان ارائه کنند.

استفاده از ربات‌ها به معنی بهره‌وری بیش‌تر است، بنابراین می‌توان از آن‌ها در جاهایی که نیاز به ساخت‌وساز ارزان‌قیمت و سریع است استفاده کرد (مانند ساختن پناهگاه‌های اضطراری و پیش‌ساخته هنگام بروز وقایع غیرمنتظره طبیعی یا اردوگاه‌های پناهندگان و سازه‌های موقت برای بی‌خانمان‌ها). مسلماً، این موضوع به سرمایه‌گذاری بازار در توسعه فن‌آوری ربات بستگی دارد.

سازه‌های پیش‌ساخته، چه در محل سایت سوار شوند، چه از قبل سوار شده و سپس به سایت حمل شوند، به راحتی توسط ربات‌ها

روش‌های ساخت‌وساز رباتیک می‌تواند بسیار کارآمد باشد. ربات‌ها می‌توانند بیش‌تر از آن‌چه که انسان می‌تواند انجام دهد را با دقت بیش‌تر و همان هزینه و یا حتی کم‌تر بدون دردسرهای قانون کار انجام دهند. اگر لازم باشد، آن‌ها می‌توانند ۲۴ ساعت در شبانه‌روز و ۷ روز در هفته کار کنند. به لحاظ کمی، این بدان معناست که یک ربات می‌تواند چهار برابر یک کارگر در هفته کار کند. هم‌چنین، نیازی به پرداخت دستمزد به ربات وجود ندارد (به جز پرداخت قبوض انرژی).

انجمن ربات‌ها در معماری^۱ که ارتباط‌دهنده این صنعت با موسسات تحقیقاتی مرتبط است، ساخت رباتیک^۲ در معماری، هنر و طراحی (ROB/ARCH)^۳ را به صورت یک سری کنفرانس‌های جدید در زمینه استفاده از ربات در این زمینه‌ها آغاز کرد. در دسامبر ۲۰۱۲، این کنفرانس با میزبانی بیان‌گذاران این انجمن در «وین»، پایتخت اتریش، آغاز و در سال ۲۰۱۳ مجدداً در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه «میشیگان» برگزار شد. این کنفرانس پیرو همکاری‌های بین‌المللی قبلی،

1- Association for Robots in Architecture <http://www.robotsinarchitecture.org/>

2- Robotic Construction

3- ROB/ARCH, Robotic Fabrication for Architecture, Art, and Design <http://www.robarch2012.org/>

4- Customization

امروزه دانش روز دنیا در زمینه کنترل رباتیک تا حدی پیشرفت کرده که تنها با تهیه نقشه دوبعدی یا سه‌بعدی از هر قطعه، امکان اجرا و پیاده‌سازی آن توسط ربات وجود دارد. انواع ربات‌های صنعتی موجود در بازار و ربات‌هایی که مجهز به نرم‌افزارهای پیشرفته در زمینه CAD\CAM هستند برای طراحی، محاسبه و تولید قطعات صنعتی به کار گرفته می‌شود. این نرم‌افزارها که از جمله نرم‌افزارهای تراز اول در طراحی و تولید به‌شمار می‌آیند، دارای قابلیت مدل‌سازی بسیار قوی بوده و همچنین، امکان پرداخت با انواع دستگاه‌های CNC را دارند. در این نرم‌افزارها، کوچک‌ترین تغییرات در مدل طراحی شده در هر یک از مراحل ساخت قطعه یا سیستم، به‌صورت خودکار روی قسمت‌های دیگر مانند نقشه دوبعدی، اطلاعات ساخت و چیدمان به‌صورت هم‌زمان اعمال می‌گردند.

۱-۳-۱- ربات‌های ساختمانی^۱

ربات‌های آزمایشی یا تولیدی برای اجرای انواع مختلف کارهای ساختمانی ساخته شده‌اند. نمونه‌هایی از کاربردهای ربات‌های موجود در پروژه‌های ساختمانی عبارتند از:

۱-۳-۱-۱- جابه‌جا کردن مصالح توسط ربات

این کار عبارت است از جابه‌جایی مصالح میان محل‌های مختلف، استقرار مصالح با ترتیبی خاص و جای دادن مواد و اجسام بزرگ در محل مخصوص.

قابل اجرا هستند. این به معنای فعال کردن چرخه کار بهینه‌تر از طریق ربات‌ها و بهبود فرایند ساخت‌وساز است. افزون بر این، استفاده از سازه‌های پیش‌ساخته در مناطق ویران‌شده به‌دلیل وقایع غیرمنتظره طبیعی یا اردوگاه‌های پناهندگان، که امکان ساخت‌وساز فراهم نیست (یا خطرناک است)، اهمیت زیادی دارد زیرا استفاده از قطعات ساختمانی پیش‌ساخته و حتی سوار کردن آن‌ها می‌تواند پیچیده و گران باشد. بنابراین، با کمک ربات‌ها نه تنها هزینه کم‌تر خواهد شد، بلکه از آشفستگی در محل جلوگیری شده و استفاده از انرژی‌های جایگزین امکان‌پذیر خواهد بود، زیرا استفاده از نیروی انسانی هزینه بیش‌تر و مشکلات دیگری مانند تامین آب و غذا را به همراه دارد.

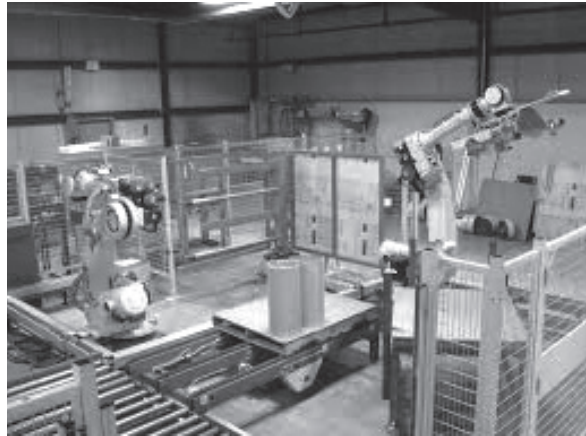


شکل ۴۲- نمونه یک ربات صنعتی

۱- مصالح نوین و روش‌های پیشرفته ساخت، دکتر محسن وفا مهر، انتشارات چپر، ۱۳۹۱.



شکل ۴۴- ربات دیوارساز



شکل ۴۳- این ربات‌ها دارای بازوهایی برای حرکت به جلو هستند.

مساحت نمای این دیوار آجری ۳۰۰ متر مربع و شامل ۱۴۹۶۱ آجر است. ابعاد نهایی این دیوار ۳/۳۳ متر عرض، ۴/۷۵ متر طول و ۱/۴۸ متر ارتفاع است. اتصال بین آجرها توسط چسب اپوکسی صورت می‌گیرد و استفاده از چسب به‌طور خودکار در برنامه کنترل ربات نوشته شده است. چرخه زمانی، ۳۰ ثانیه برای نصب هر آجر است.



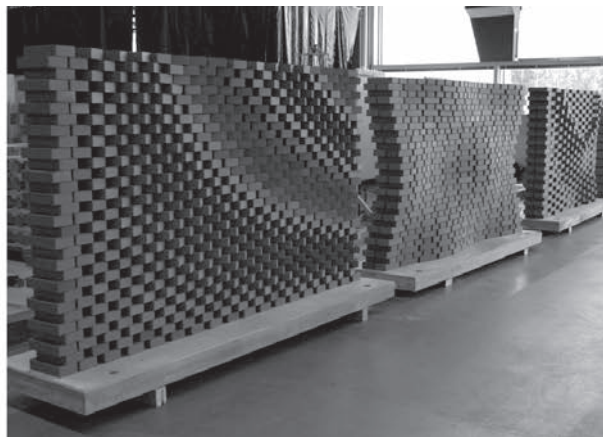
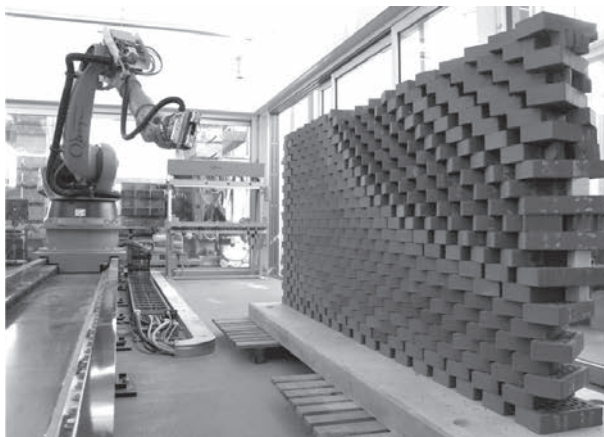
شکل ۴۵- ربات آجرچین- ساخت دیوار آجری

۱-۳-۲- ساخت اجزای ساختمان توسط ربات

اگر ساختمان‌سازی در معماری از ساخت و تهیه سنتی و دستی به ساخت دیجیتالی تبدیل شود، شرایط برای طراحی و ساخت توسط قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین مصالح معماری مثل آجر و چوب نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. ساخت‌وساز رباتیک نشان می‌دهد ربات بر خلاف بنا و سازنده ساختمان، دارای این توانایی است که موقعیت هر یک از عناصر مختلف را بدون داشتن مرجع خاص یا اندازه‌گیری، یعنی بدون تلاش اضافی شناسایی و اجرا کند. بدین ترتیب، از طریق الگوریتمی طراحی شده، جای‌گذاری آن‌ها به‌صورت فضایی محاسبه و امکان‌پذیر می‌شود. ربات‌های متفاوتی در ساخت عناصر ساختمانی مانند دیوار و سقف به کار می‌روند که در ادامه به دو نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود.

۱-۳-۲-۱- ساخت دیوار آجری توسط ربات

در چنین روشی، بازوی ربات به ابزار پنجه‌ای مجهز شده است که قادر به بلند کردن، جای‌گذاری آجر و چرخش در زاویه‌ای خاص و موقعیت تعیین‌شده است. یک رایانه برنامه‌ریزی شده است تا داده‌های CAD را به اطلاعات کنترل ربات برای ساخت مستقیم ترجمه کند.



شکل ۴۶- دیوار آجری ساخته‌شده توسط ربات

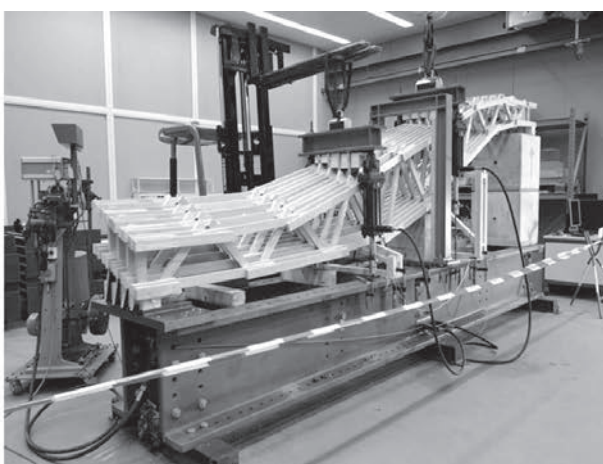


شکل ۴۷- سقف چوبی ساختمان آرک- تک- لب ساخته‌شده توسط ربات

۱-۳-۲-۲- ساخت بام چوبی توسط ربات

سقف چوبی ساختمان آرک- تک- لب^۱ در زوریخ شامل بیش از ۴۵۰۰ تخته و الوار است که از ترکیب آن‌ها سقفی با طرحی آزاد و پیچیده به دست آمده است.

این پروژه توسط گروه گرامازو و کهلر^۲ در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۰ در زوریخ برنامه‌ریزی شده است و نمونه‌ای از پتانسیل فناوری ساخت دیجیتال با چوب به‌عنوان مصالح ساختمانی محلی و پایدار است.



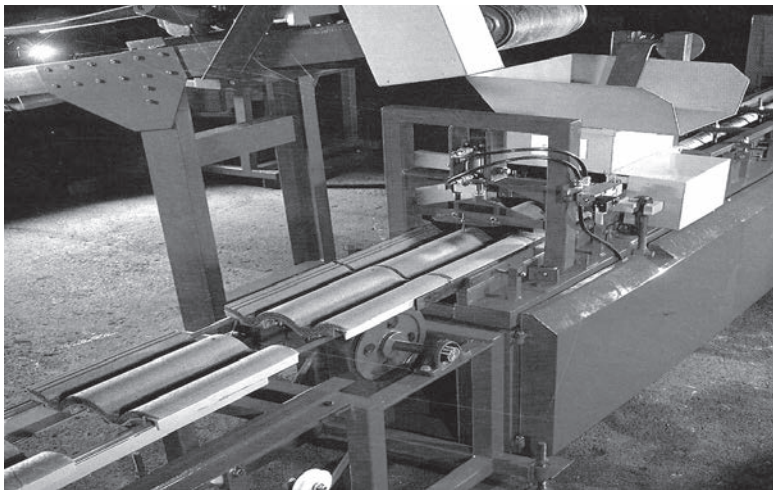
شکل ۴۸- ربات بام‌ساز در حال ساخت سقف چوبی

1- Arch_Tech_Lab

2- Professorship Gramazio & Kohler



شکل ۴۹- ربات نقاش



شکل ۵۰- جای گذاری کاشی‌های سفالی بام توسط ربات



شکل ۵۱- رباتی که با جداسازی بتن از مواد زاید، بتن را بازیافت می‌کند.

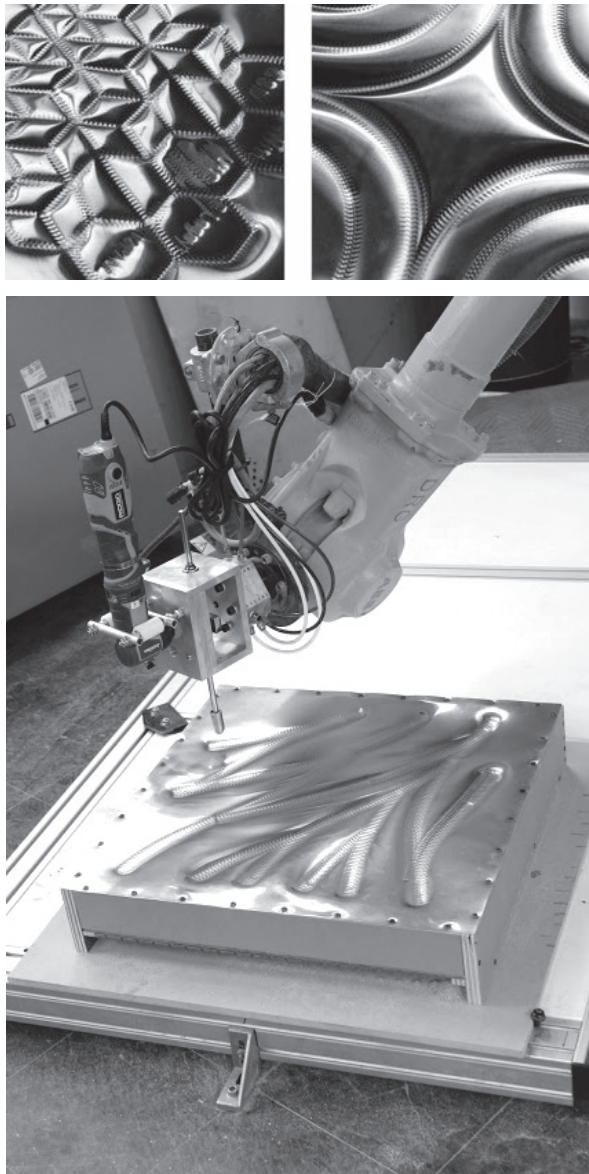
نکته اصلی این روش آن است که این ساختار پیچیده چوبی از قطعات بسیار ساده چوب نرم تشکیل شده و سیستم اجرایی دقیق و کارآمد رباتیک، استفاده از مصالح سبک‌وزن و قابل بازیافت را در ساخت این بام امکان‌پذیر ساخته است. بر اساس اطلاعات داده‌شده به ربات، مونتاژ خودکار و چسباندن هر قطعه چوبی به‌صورت جداگانه صورت می‌گیرد که در نهایت ساخت یک سقف کارآمد با فرم آزاد هندسی را میسر ساخته است.

۳-۱-۳-۱ نازک‌کاری ساختمانی توسط ربات

نازک‌کاری، بخش مهم و اصلی در ساختمان‌سازی است که به‌طور خاص می‌توان در آن از خودکارسازی استفاده کرد. نازک‌کاری (مانند سنگ‌زنی، برس زدن یا هموارسازی و اندود سطح) با مواد ضد آتش، رنگ، آسترکاری و ملات انجام می‌شود.

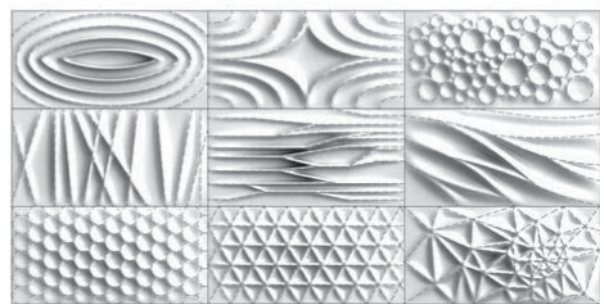
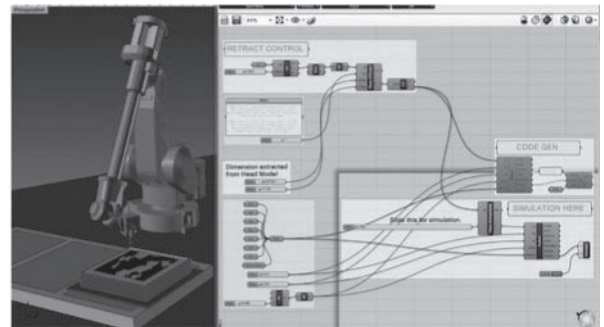
۴-۱-۳-۱ شکل دادن صفحات نقش‌دار فلزی توسط بازوی رباتیک

در این روش، نقش‌های موردنظر در مدل سه‌بعدی ترسیم می‌شوند و سپس به‌صورت الگوریتم‌هایی در «گرس‌هاپر» ترجمه شده و به بازوی رباتیک فرستاده می‌شوند. این تکنیک معمولاً برای ساخت هر نوع نقش فلزی مورد استفاده در نمای ساختمان به کار می‌رود.



شکل ۵۳- شکل دادن ورق‌های فلزی توسط بازوی رباتیک

در پروژه زیر در زوریخ در سال ۲۰۱۳، طراحی و فرایند تولید با ایجاد طرح هندسی در نرم افزار «راینو» و «پلاگین گرس‌هاپر» صورت گرفته است. این یک فرایند رفت و برگشتی بین مهندس سازه و معمار است تا مسائل پارامتریک هندسی حل و فصل و



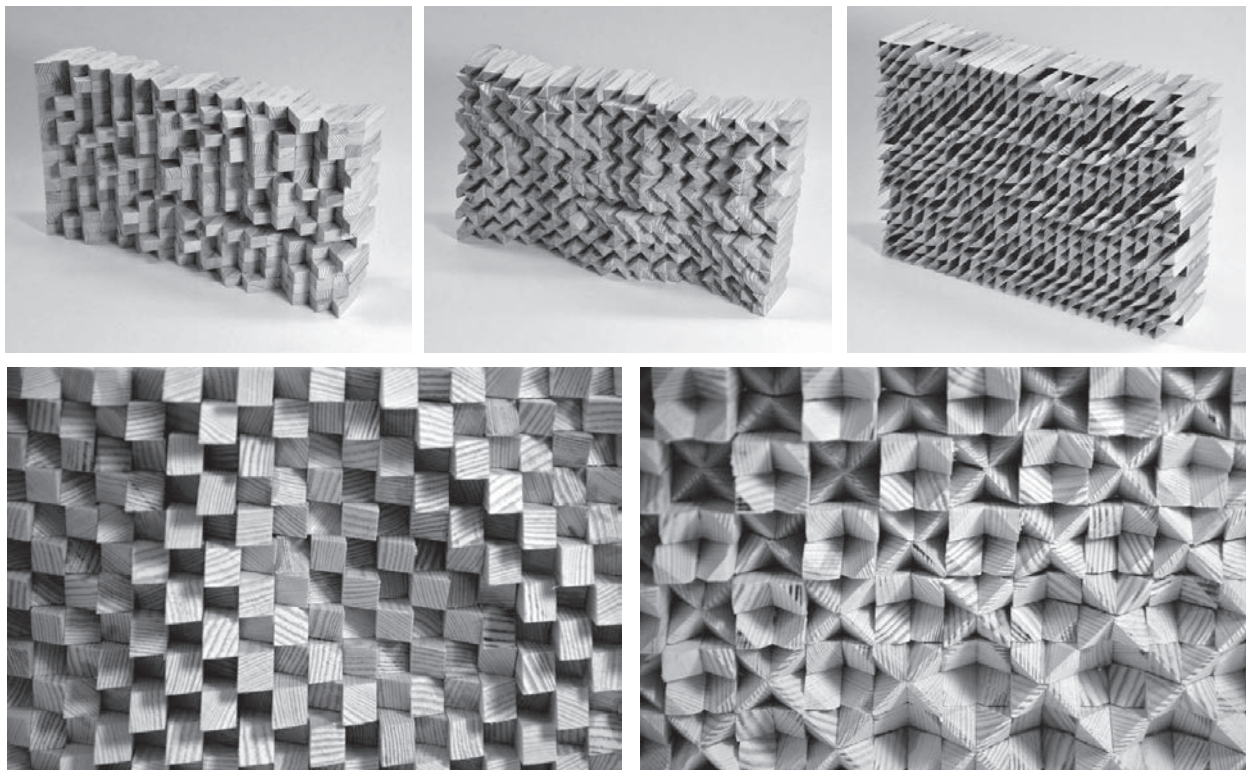
شکل ۵۲- منحنی‌های کشیده‌شده در مدل سه‌بُعدی که به صورت الگوریتم در «راینو» ترجمه شده‌اند

مدل پایه از شن و ماسه است تا بر اساس فضای توخالی ورق‌های فلزی منعطف شود و امکان تغییر شکل را فراهم آورد.

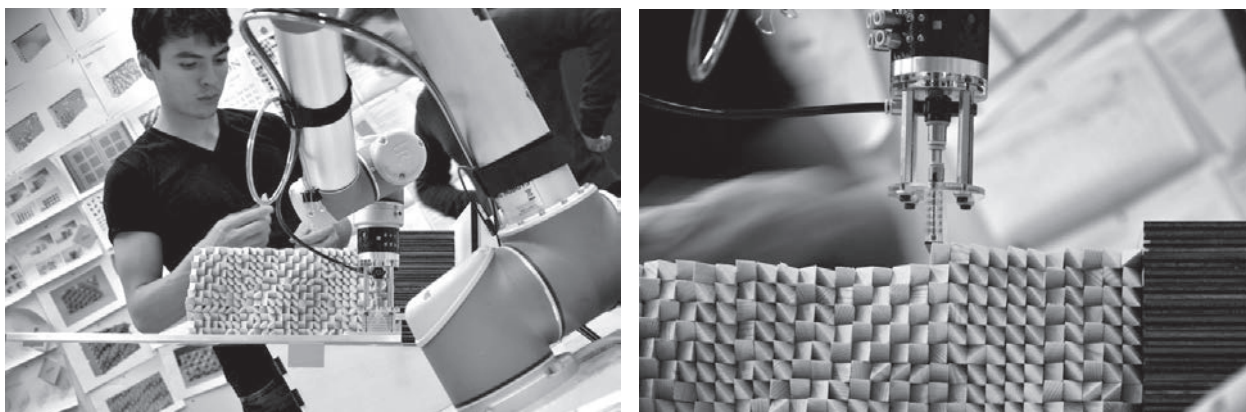
۱-۳-۵- مونتاژ عناصر ساختمانی توسط ربات

مونتاژ رباتیک سطوح آکوستیکی با تولید انبوه و دیجیتال و استفاده از بازوهای رباتیک مدولار صورت می‌گیرد. این مدول طوری تکرار می‌شود که خواص آکوستیک و زیبایی را با هم همراه نماید. هم‌چنین، در این روش محققان به دنبال راه‌حلی برای این چالش بودند که چگونه بازتاب صوت از پانل‌های آکوستیکی بر درک فضا و تجربه زیباشناختی بین گوش و چشم تاثیرگذار است. استفاده از ابزار طراحی الگوریتم منجر به ساخت پانل‌هایی سازگار با موقعیت‌های مختلف مکانی و صوتی شده است.

برای ساخت به ربات منتقل شود. پس از آن ربات، قطعات را بر اساس الگوریتم هندسی برنامه‌ریزی شده مونتاژ می‌کند و طرح نهایی را می‌سازد.



شکل ۵۴- چیدمان پانل‌های آکوستیکی توسط ربات

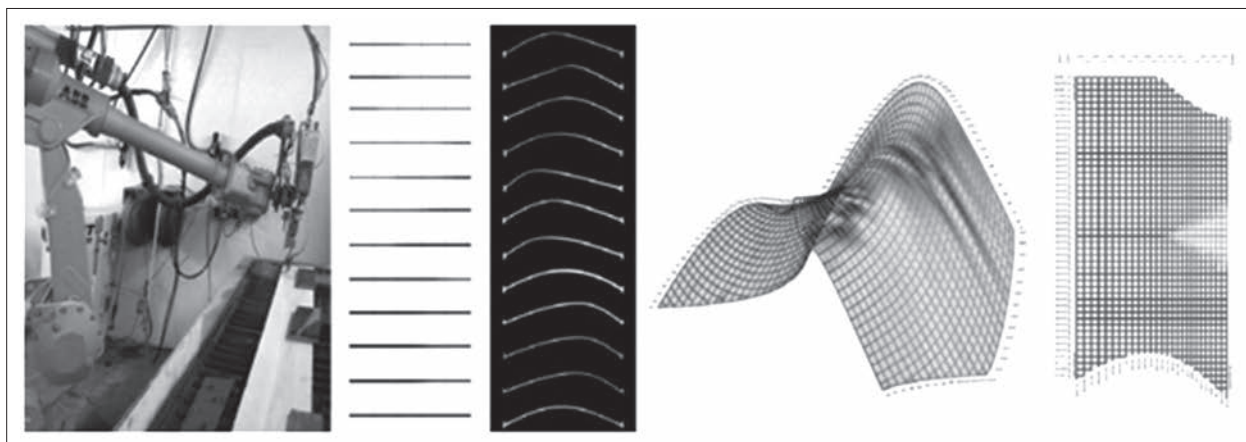


شکل ۵۵- مونتاژ رباتیک پانل‌های عایق صوتی

۱-۳-۶- ساخت سازه شبکه‌ای خمیده توسط ربات

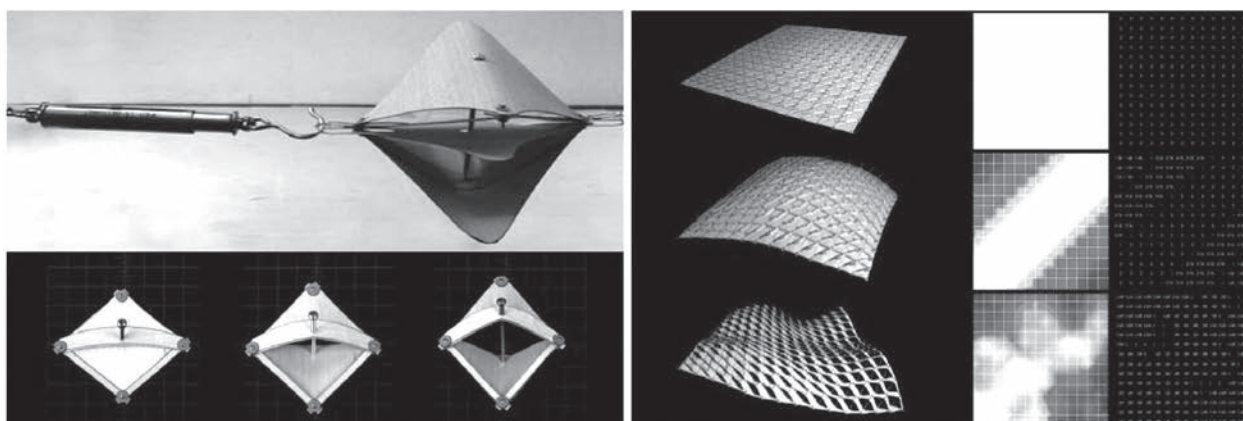
برای گسترش شبکه‌ای سازه بر اساس رفتار خمشی عناصر چوبی با ابعاد و سطح مقطع‌های متفاوت در طول آن‌ها می‌توان از این نوع ربات استفاده کرد. بر این اساس، در برش توسط یک ربات

«واترجت»، سطح مقطع عناصر چوبی به گونه‌ای کاسته می‌شود که هیچ آسیبی به آن‌ها نرسد و هنگام خمش موجب شکستن چوب نشود.



شکل ۵۶- از چپ به راست: ربات توفال‌ساز، رفتار خمشی چوب، محاسبه هندسه شبکه، اطلاعاتی از ساخت شبکه تخت

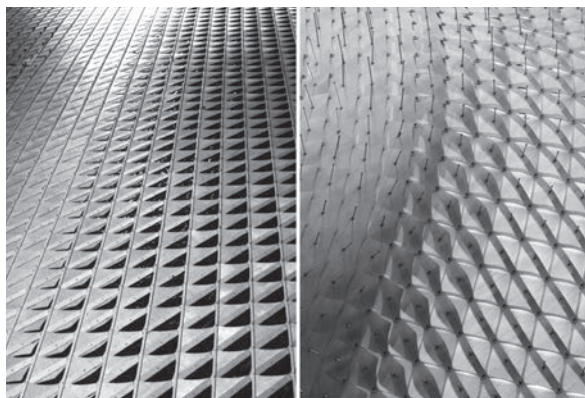
هدف دوم پروژه، نصب شبکه بدون داربست اضافی و تاکید بر پوسته‌ی سازه بوده است. به‌صورتی که این پوسته‌ی دو لایه، سازه را نگه دارد.



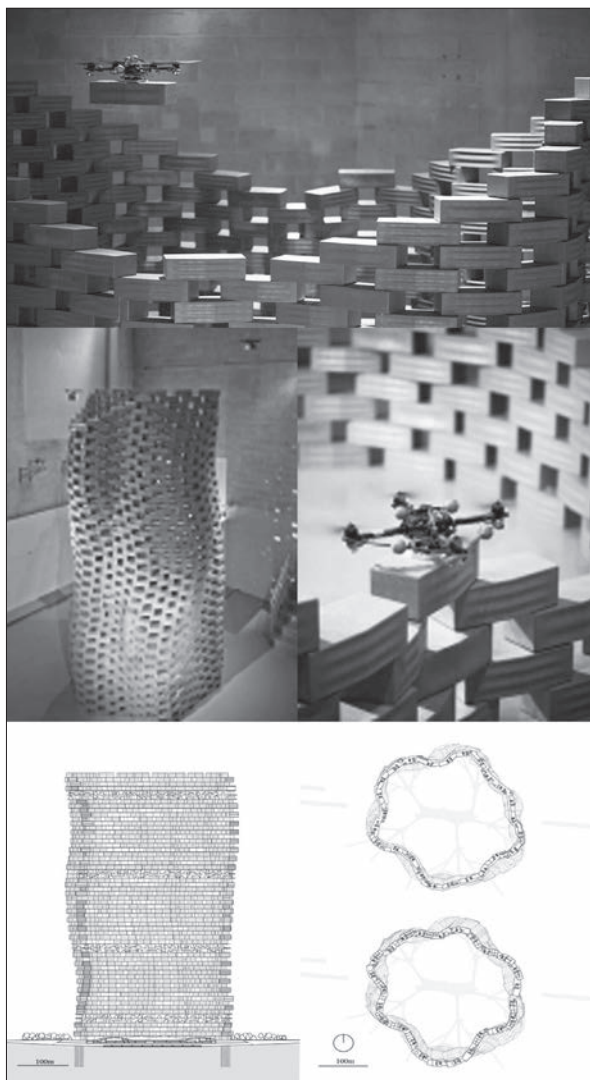
شکل ۵۷- تست تحریک‌پذیری پوسته بر اساس خمش

مرکز FRAC در «لورلن» مونتاز و ساخت معماری برای اولین بار توسط ربات‌های پروازی در ارتفاعاتی که دور از دسترس انسان هستند، انجام گرفت. این نصب و راه‌اندازی در واقع ادامه تحولات طراحی‌های معمارانه گرامازو و کوهرل^۱ و ایجاد یک سیستم رباتیک رویایی توسط رافلو آندریا^۲ است. این معماری پیش‌ساخته متشکل از بیش از ۱۵۰۰ مدول است که توسط

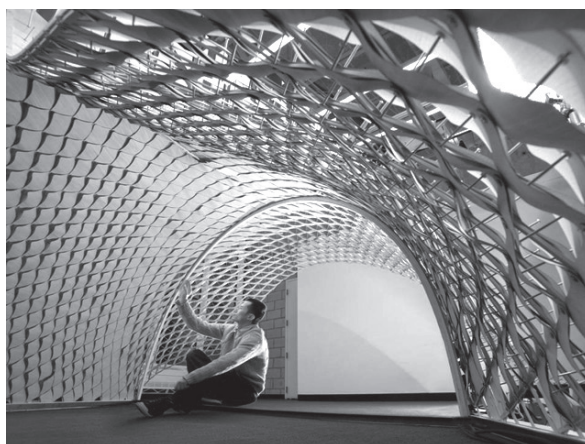
برای ساخت نمونه، سطح مقاطع مختلف ساخته‌شده توسط ربات با الیمن‌های پوسته‌ای برش لیزر خورده، به‌صورت یک شبکه مسطح مونتاز شدند. اما پوسته‌های دیجیتالی محاسبه‌شده به‌صورت ساختاری پایدار به شکل منحنی قابل تنظیم هستند که تعادل آن‌ها با خمش شبکه حفظ می‌شود.



شکل ۵۸- سمت چپ شبکه مسطح، سمت راست شبکه با خمش



شکل ۶۰- معماری پیش‌ساخته توسط ربات پروازی

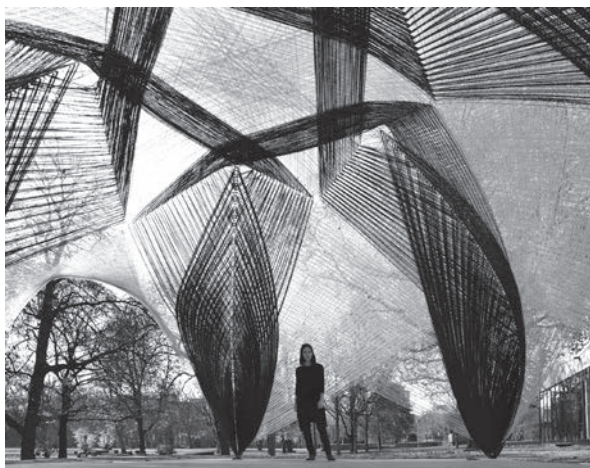


شکل ۵۹- شبکه خمیده دو پوسته

۱-۳-۷- ساخت‌وساز توسط ربات پروازی

ماشین‌های پروازی بر اساس حرکت و عملکرد ساختمان شکل گرفته‌اند. به‌طور مثال، در پروژه‌ای در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲ در

1- Gramazio & Kohler
2- Raffaello D'Andrea



شکل ۶۱- پاولیون ICD & ITKE

رُبات‌های پروازی روی هم قرار داده شده و این ساخت‌وساز با توجه به الگوریتم‌های ریاضی که به‌عنوان داده‌های طراحی دیجیتال به رفتارهای پروازی رُبات‌ها ترجمه شده‌اند، انجام گرفته است. این پروژه بر اساس ساخت مدلی در مقیاس ۱:۱۰۰ برای یک دهکده به‌صورت عمودی با ارتفاع ۶۰۰ متر برای سکونت ۳۰۰۰۰ نفر است. ساخت این مدل در واقع راه جدیدی از تفکر و تحقق مونتاژ و ساخت معماری توسط ماشین‌های پروازی است.

۱-۳-۲- نمونه‌های موردی استفاده از رُبات در ساخت‌وساز

با توجه به نوپا بودن فناوری استفاده از رُبات در ساخت‌وساز، این مقوله هنوز به شکل گسترده تجاری‌سازی نشده و بنابراین به‌طور چشم‌گیری مورد استفاده قرار نگرفته است. تاکنون استفاده از رُبات در ساخت‌وساز، عمدتاً در پروژه‌های پژوهشی در مقیاس کوچک عملی شده است. در ادامه، چند نمونه در رابطه با کاربرد این فناوری ارائه شده‌اند.

غرفه ICD & ITKE

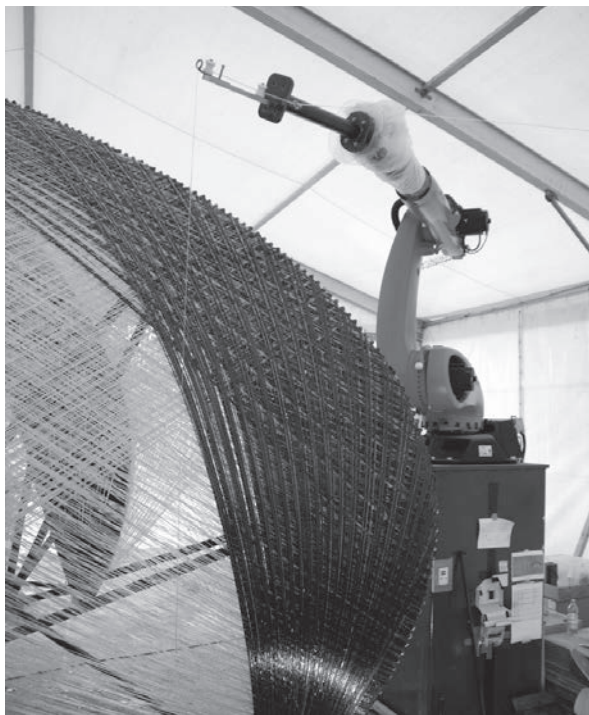
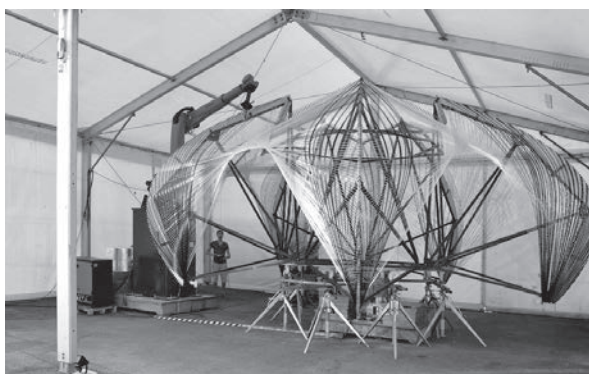
در نوامبر ۲۰۱۲، موسسه محاسباتی طراحی ICD^۱ و موسسه ساخت و طراحی سازه ITKE^۲ در دانشگاه «اشتوتگارت» به پژوهش در مورد غرفه‌ای که از کربن و الیاف شیشه‌ای ساخته شده بود، پرداختند. محققان این دانشگاه، ارتباط احتمالی بین راهبردهای طراحی زیستی و فرایند تولید رُباتیک را مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق روی مواد و اصول ریخت‌شناسی اسکلت خارجی بندپایان به‌عنوان یک منبع اکتشافی برای الگوی جدید ساخت‌وساز کامپوزیت در معماری انجام شد.

محور این پروژه، توسعه فرایند ساخت‌وساز رُباتیک به‌صورت نوآورانه‌ای در چارچوب ساخت‌وساز بر اساس رشته سیم‌پیچ از الیاف کربن و شیشه و ابزارهای مرتبط با طراحی محاسباتی

1- Institute for Computational Design (ICD)

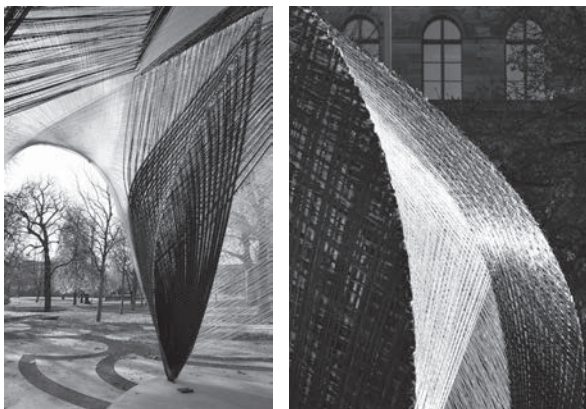
2- Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE)

کارایی بالا را داده است. این غرفه دارای پوسته‌ای به ضخامت ۴ میلی‌متر و دهانه‌ای حدود ۸ متر است. اسکلت خرچنگ با جزئیات بیش‌تر به‌عنوان یک مدل بیولوژیکی برای پروژه مورد استفاده قرار گرفت. در مناطقی که توزیع بار ناهمگن است، لایه‌ها به‌صورت مارپیچ روی هم قرار می‌گیرند تا امکان توزیع یکنواخت بار در هر جهت باشد. اصول مورفولوژیکی انتزاعی در جهت‌گیری الیاف، اقتباسی از محاسبات، طراحی مواد و نوآوری در فرایند تولید در غرفه است.

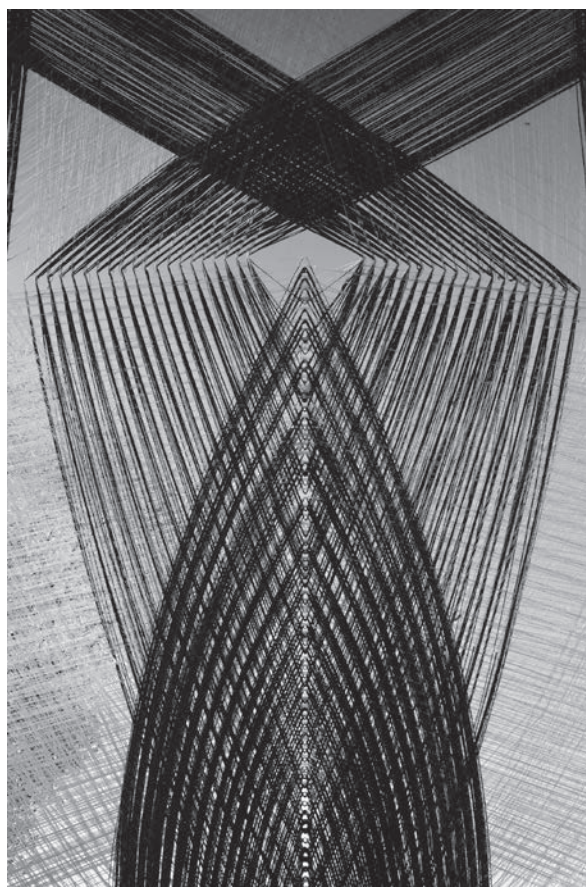


شکل ۶۴- پیچیدن رشته‌های الیاف کربن و شیشه توسط ربات

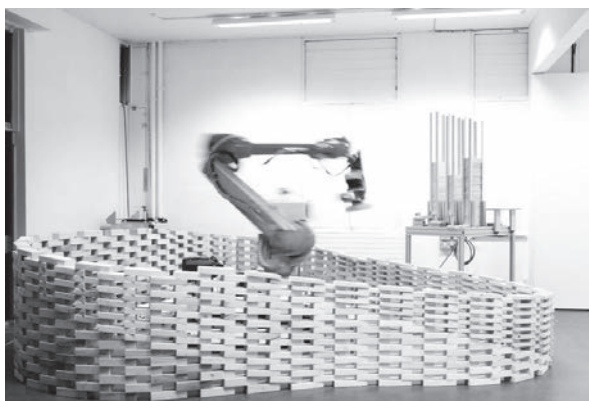
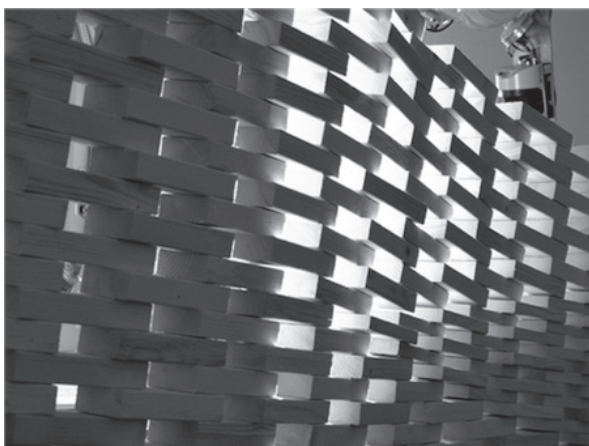
و روش‌های شبیه‌سازی است. این فرایند شبیه‌سازی مبتنی بر رایانه بوده و ادغام روش تولید فرم، محاسبات و ساخت‌وساز توسط ربات، به‌طور خاص، امکان توسعه یک ساختار جدید با



شکل ۶۲- مجموعه رشته‌های سیم‌پیچ از الیاف کربن و شیشه



شکل ۶۳- نحوه چینش رشته‌های کربن و شیشه



شکل ۶۵- ساخت تطبیقی رباتیک

غرفه‌ای با ساختار لایه‌ای^۱

در نصب و راه‌اندازی این پروژه که در سال ۲۰۱۱ در لندن انجام شد، تمرکز اصلی بر راهبرد ساخت تطبیقی رباتیک در معماری بوده است. چیدمان این سازه بر اساس عملیات رباتیک در یک فرم دوار طراحی شده است. در روش راهبرد ساخت تطبیقی، قطعیت مکانی هر عنصر با توجه به شکل هر قطعه و فرم نهایی، جایگزین چیدمان متنوع می‌شود. در این فرایند، برنامه رایانه‌ای نوشته‌شده برای ربات به نحوی است که زاویه مونتاژ هر قطعه بر حسب قطعه قبلی تعیین شده و شکل نهایی مورد نظر محاسبه می‌شود. در راستای هدف پروژه، از ۱۳۳۰ قطعه چوبی با ضخامت‌های مختلف استفاده شده و این نحوه چینش، نظم سنتی گذشته را به هم ریخته و ساختاری متخلخل با قطعات مختلف در زوایای گوناگون را ایجاد کرده است که با جابه‌جایی قطعه‌های در دسترس ربات، جاگذاری و زاویه متفاوتی را برای هر عنصر شکل می‌دهد.

چیدمان نهایی دارای عدم قطعیتی است که امکان هر گونه شبیه‌سازی محاسباتی دقیق در آن وجود ندارد. این ربات مجهز به یک اسکنر است که ابتدا ابعاد هر قطعه را اندازه‌گیری و پس از تطبیق با فرم، جاگذاری می‌کند.

جمع‌بندی

رایانه و فرآیندهای منطقی آن را می‌توان در امتداد و ادامه ذهن انسان دانست نه مدل دیگری از ذهن انسان. در نتیجه، برای استفاده بهینه از ذهن انسان و رایانه باید به ایجاد یک همکاری دوطرفه بین آن‌ها اندیشید و از قابلیت‌های هر یک در راستای افزایش قابلیت‌های طرف دیگر استفاده کرد، نه این‌که به فکر جایگزینی ذهن انسان با رایانه بود.

تمایل به استفاده از رایانه و علاقه‌مندی به گستره معماری رباتیک و خودکارسازی فرایندی است که آینده معماری از آن تاثیر می‌پذیرد؛ به ویژه، چگونگی ساخت ساختمان‌ها و منظر شهری در آینده با فرایند معماری و ساخت و ساز دیجیتال تغییر خواهد کرد. از زمان افتتاح اولین لابراتور ساخت رباتیک در معماری، هنر و طراحی توسط «گرامازو و کوهلر» در سال ۲۰۰۵، افراد زیادی به تحقیق در این فرایند و استفاده از ربات‌های صنعتی پرداخته‌اند، از مقیاس ۱:۱ غرفه‌های کوچک گرفته تا برنامه‌ریزی برای ساخت برج‌های بلندمرتبه. در نتیجه، تحقیقات آتی درباره راهبردهای سازگار طراحی روی سیستم‌های مصالح ساخت و متناسب بودن آن‌ها با تولید و ساخت توسط ربات و سایر ابزار معماری دیجیتال همراه خواهد بود.

در طراحی دیجیتال مطلوب‌ترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که تیم طراحی درک کاملی از الزامات معماری دیجیتال اعم از مدل‌سازی دیجیتال، ابزار مدل‌سازی و دستگاه‌های ساخت دیجیتال داشته باشد؛ بدین منظور، شناخت کافی از مدل‌سازی دیجیتال بر پایه طراحی الگوریتمی، محیط‌های برنامه‌نویسی و دستگاه‌های ساخت دیجیتال نظیر «سی.ان.سی»، دستگاه لیزر، «سی.ان.سی. فِرِز» و چاپگر سه‌بعدی و به‌ویژه ربات‌های صنعتی ضرورت دارد. امروزه، دانش روز دنیا در زمینه کنترل و (علم) رباتیک، باعث شده که تنها با تهیه نقشه دو بُعدی یا سه بُعدی از هر قطعه امکان اجرا و پیاده‌سازی توسط ربات وجود داشته باشد. انواع ربات‌های صنعتی موجود در بازار و ربات‌هایی که مجهز به نرم‌افزارهای پیشرفته در زمینه CAD\CAM هستند، برای

طراحی، محاسبه و تولید قطعات صنعتی به کار گرفته می‌شوند. از آنجا که استفاده از ربات به معنی بهره‌وری بیش‌تر است، بنابراین می‌توان از آن‌ها در مواردی که نیاز به ساخت‌وساز ارزان‌قیمت و سریع است، استفاده کرد.

پیوست نخست

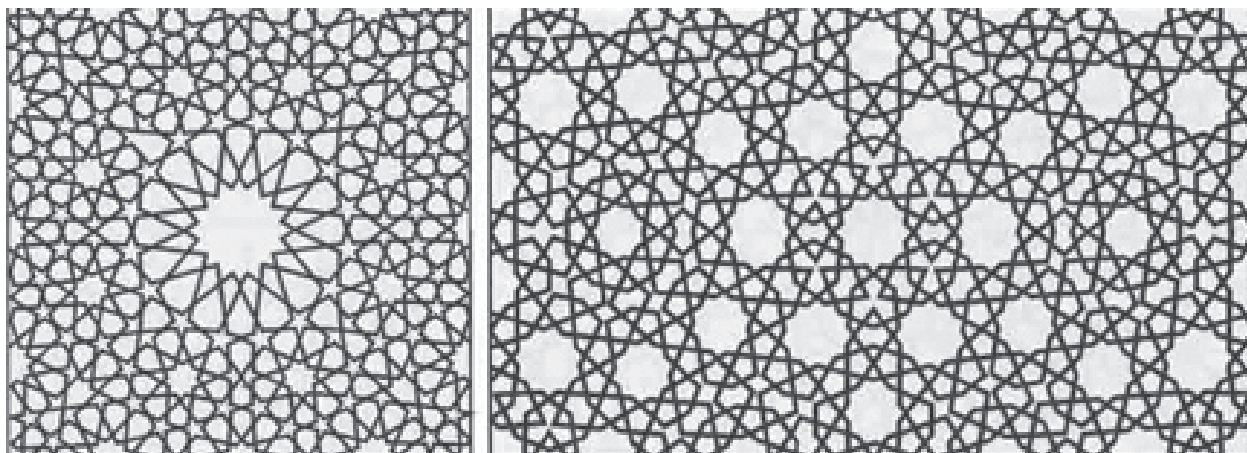
طراحی پارامتریک

طراحی پارامتریک زیر مجموعه‌ای از طراحی دیجیتال است که هدف آن کشف و به‌کارگیری روابط منطقی و ریاضی بین اعداد و ارقام و شکل‌های هندسی است که بر پایه دو عامل الگوی مبنا یا همان نقش اولیه و تکرار الگوی مبنا شکل می‌گیرد. هدف از بیان پارامتریک اشکال، در واقع تولید شکل‌های هندسی است که با کمک آن بتوان فرم‌ها و نقش‌هایی را توسط رایانه ایجاد کرد که قبلاً وجود نداشته‌اند.

رضا نجفیان در این خصوص می‌گوید: «در طراحی پارامتریک، داده‌ها و پارامترهای طراحی به کیفیت‌های عددی یا به عبارت دیگر الگوریتم‌های منطقی طراحی تبدیل می‌شوند و فرم نهایی از برآیند تمامی این پارامترها شکل می‌گیرد؛ لذا وابستگی روابط الگوریتمی و فرمول‌های ریاضی امکان به‌روزرسانی پروژه را در روند طراحی ارتقا می‌دهد. از سوی دیگر، استفاده از اصل زاینده‌گی مفاهیم و امکان تکثیر توابع ریاضی، موجب انعطاف و پویایی هر چه بیش‌تر فرایند طراحی شده و طراح را با اندیشه‌های خلاق و نو و شیوه‌های جدید فرم‌یابی روبه‌رو می‌کند.»

در هندسه نقوش اسلامی نیز که اغلب مدل‌ها پایه هندسی دارند و کم‌تر از یک مدول پایه حسابی بهره گرفته‌اند، در تناسبات اجزای یک الگو، بیش‌تر اعداد گنگ ظاهر می‌شوند. به همین دلیل، نقش‌های هندسی به وسیله نرم‌افزارها به‌صورت پارامتریک مدل‌سازی می‌شوند. برای این کار ابتدا الگوی مبنای گره شناسایی شده و سپس یکی از تناسبات این الگو به‌عنوان پارامتر و متغیر انتخاب می‌شود.

بازسازی الگوهای پارامتریک معماری اسلامی توسط نرم‌افزار



شکل ۶۶- استفاده از الگوهای پارامتریک در معماری اسلامی

هدف از این مدل‌سازی‌ها، نوآوری در طرح شمسه برای پنجره‌های مشبک است، که یادگاری از دوران اسلامی هستند و ظاهری سنتی به ساختمان‌هایی مانند هتل‌ها و اقامتگاه‌های تفریحی می‌دهند. پنجره‌های سنتی مشبک اسلامی عناصر اصلی در نمایش آرایه‌های تزئینی در نما به شمار می‌آیند. نقوش شمسه با تکرار یک نقش و ترکیب آن به‌دست می‌آیند. شکل‌های اولیه هندسی به صورت نقشه‌ای دوبعدی که دارای مجموعه‌ای از نقاط است، تعریف می‌شوند. موقعیت نقاط در طراحی پارامتریک، تولید و سپس به هم متصل می‌شوند تا لبه‌ها را شکل دهند، سپس از طریق یک رابط کاربری، پارامترهای مدل‌سازی کنترل‌شده و الگوها برای ساخت به دستگاه ماشین برش لیزری ارسال می‌شوند.

مدل‌سازی پارامتریک

ایده مدل‌سازی پارامتری از شکل ستاره به‌صورت زیر است:

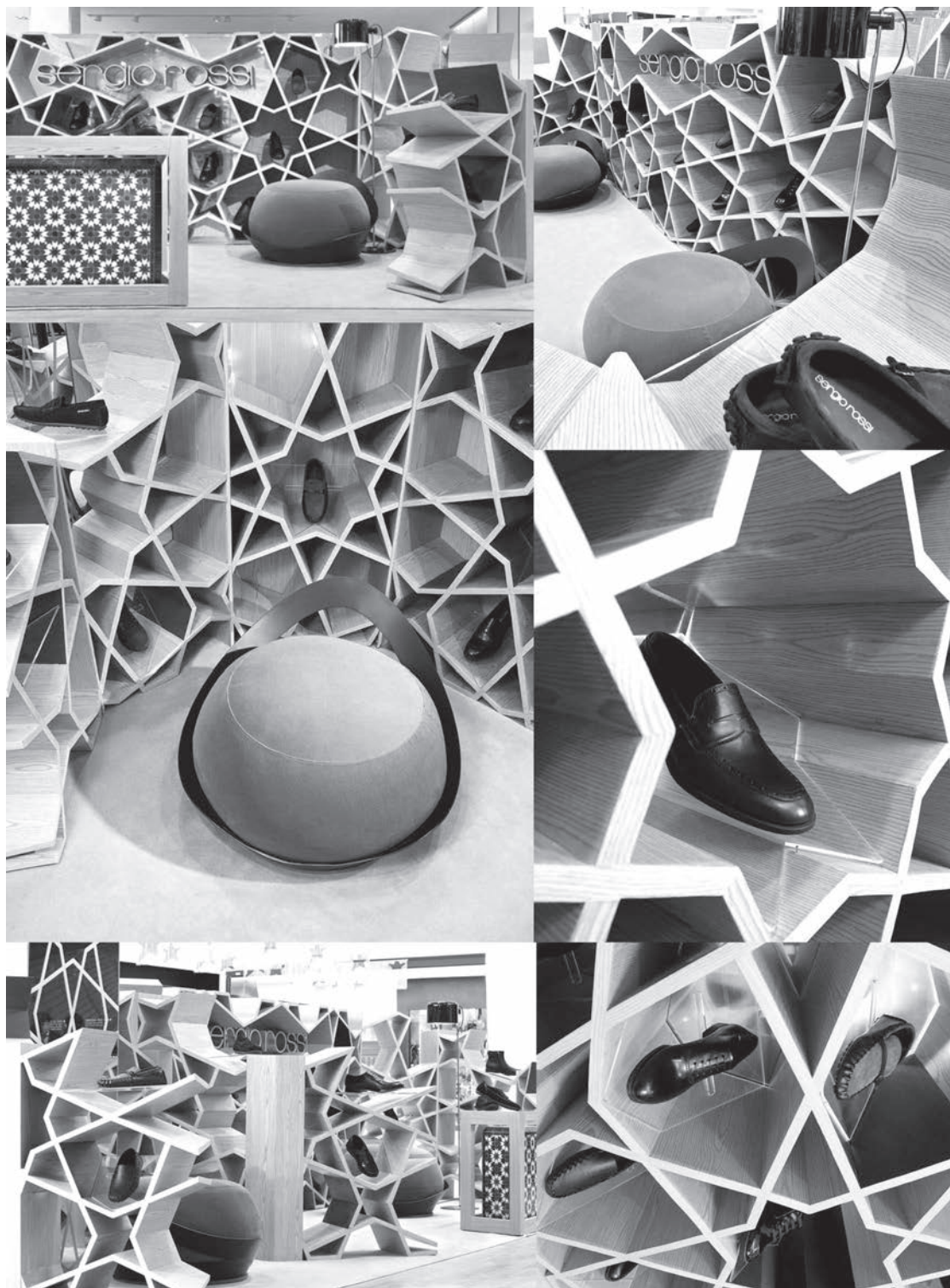
- اندازه موتیف، مساوی اندازه چند ضلعی محیط شده است.
- تعیین ضخامت اشعه‌های ستاره/گل و محیط چند ضلعی
- تعیین تعداد سطر و ستون نقوش با توجه به سطح مشبک
- آرایش موتیف‌ها و موتیف‌های مرکب بنا بر تعداد سطر و ستون

«گرس هاپر» توانسته به‌خوبی فاصله بین طراحی و ساخت را پر کند.

یکی از معروف‌ترین نمونه‌های استفاده از الگوی پارامتریک نقوش اسلامی، فروشگاه «سرجیو» در شهر کازابلانکا در کشور مراکش است که طرح دکوراسیون داخلی آن نقش ستاره و برگرفته از نقوش هندسی اسلامی است.

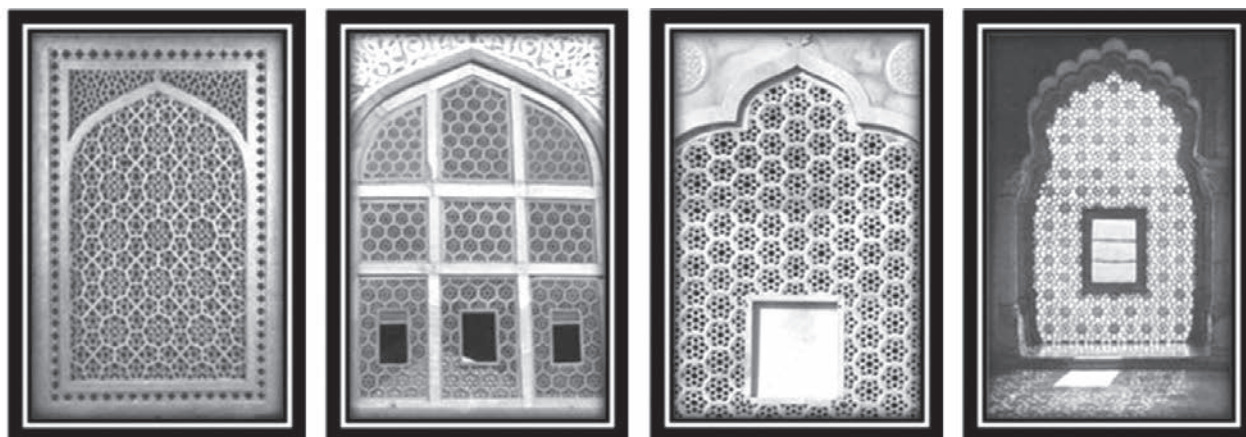
نمونه مدل‌سازی پارامتریک طرح شمسه

در گذشته، تزئینات مشبک در بناهای تاریخی در لبه صدف‌ها و همچنین در بالکن و تراس مورد استفاده بود. در روزهای آفتابی، این آرایه‌ها نقوش زیبایی بر روی زمین در اتاق ایجاد می‌کردند. در نتیجه استفاده از طرح شمسه تاکیدی بر تزئینات هنر اسلامی است. با درک نقش شمسه، الگوی بسیاری از نقوش و قوانین تولید آن‌ها قابل اجرا هستند. الگوهای تعریف‌شده در طبیعت دو بُعدی‌اند، بنابراین برای طراحی و تولید به وسیله رایانه مناسب به شمار می‌آیند. الگوهای سنتی بر روی سنگ یا چوب به‌صورت منظم و متقارن حکاکی می‌شدند که روش‌های بسیاری برای تولید طرح شمسه به وجود آورده‌اند (شکل ۶۸).



شکل ۶۷- فروشگاه «سرجیو» در شهر کازابلانکا، کشور مراکش.

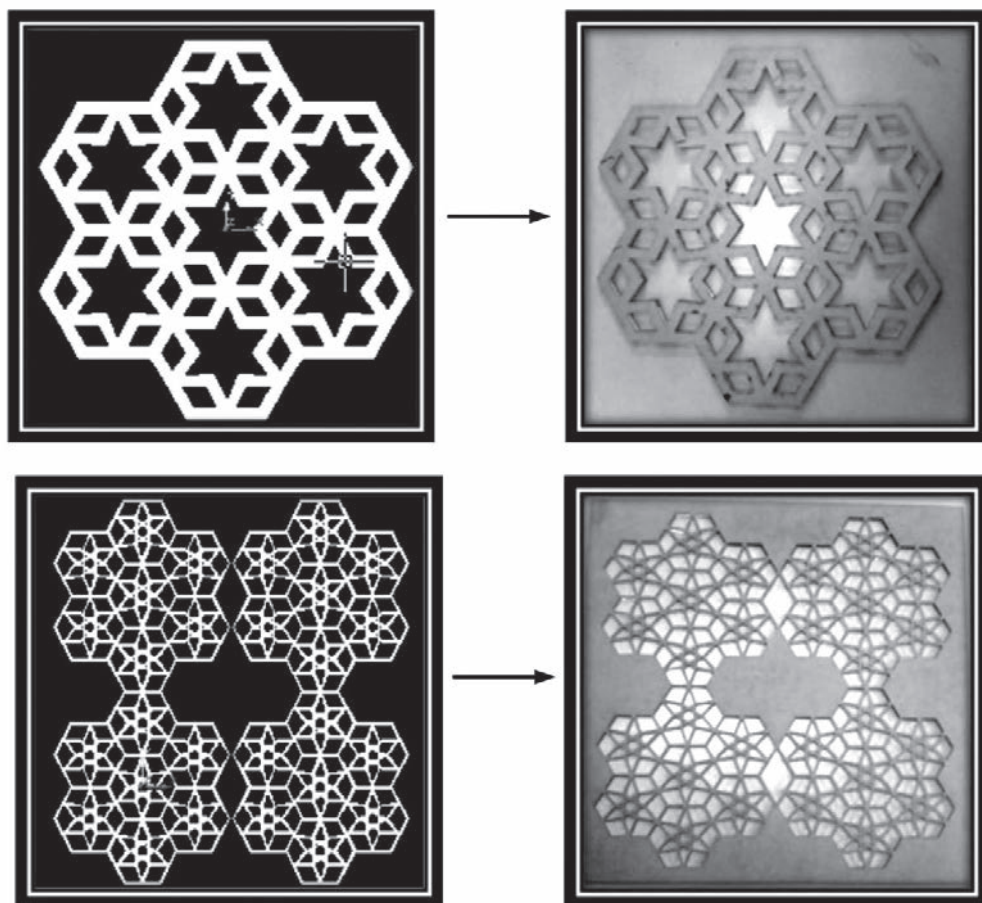
بر اساس این پارامترها، تعریف هندسی موتیف‌های ستاره و گل برای شکل دادن صفحه مشبک امکان‌پذیر است. این تعاریف که منجر به استفاده از رایانه برای مدل‌سازی هندسی شده است، مقدمه‌ای از تولید طیف گسترده‌ای از مدل‌های طراحی است و قابل تولید از طریق ابزار «سی‌ان‌سی» فرِز، دستگاه برش لیزر و و برشکاری با واترجت است.



شکل ۶۸- پنجره‌های مشبک دوره‌های اسلامی



شکل ۶۹- طراحی شکل‌های پارامتریک



شکل ۷۰- مدل اتوکد در سمت چپ و نقش به دست آمده پس از برش توسط دستگاه لیزر

منابع و مأخذ

1. Amazing ERO Concrete- Recycling Robot can Erase Entire Buildings
2. <http://inhabitat.com/amazing-ero-concrete-recycling-robot-can-erase-entire-buildings2014/>
3. Braumann, Brell-Cokcan, "Parametric Robot Control" Integrated CAD/CAM for Architecture Design", Vienna University of Technology, 2011.
4. Brell-Cokcan Sigrid & Braumann Johannes, "A New Parametric Design Tool for Robot Milling", Vienna University of Technology, 2010.
5. Bonwetsch, Kobel, Gramazio, Kohler, "The Informed Wall: Applying Additive Digital Fabrication Techniques on Architecture", ETH, Zurich, 2006.
6. Guizik Agata, "Digital Fabrication Inspired Design: Infrastructure of Fabrication Parameters on a Design Process", University College London, MSc Adaptive Architecture and Computation, 2009.
7. Gulati Vishal & Katyal Puneet, "Parameterized Modeling of Star Patterns for Traditional
8. Latticed Screens", International Journal of Computer Applications, Volume 11– No.1, December 2010.
9. Gramazio, Kohler, "Architecture and Digital Fabrication", <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/forschung/184.html>, 2012.
10. Au, Tang, Hendrickson, Chris, 1989, Project Management for Construction.
11. Lisa Iwamoto, Digital Fabrications, Architectural and Material Techniques, Princeton Architectural Press, New York.
12. <http://www.archdaily.com/495089/the-depreciating-value-of-form-in-the-age-of-digital-fabrication/>
13. http://www.ce.sc.edu/deptinfo/members/faculty/ray/web1/Ugrad/ECIV%20303/eciv%20303%20Seely_SM_Thesis.pdf
۱۴. مصالح نوین و روشهای پیشرفته ساخت، دکتر محسن وفا مهر، انتشارات چپر، ۱۳۹۱
۱۵. معماری دیجیتال (کاربرد فناوری های CAD/CAM/CAE در معماری-تالیف دکتر محمود گلابچی-انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۹۱
۱۶. شرکت نور آفرین
17. <http://www.noorafareen.ir/cnc-machines-articles/what-is-cnc-machine.html>
۱۸. اخبار و فن آوری Bia 2
19. <http://www.bia2it.com/Default.aspx?tabid=7836&articleType=ArticleView&articleId=1527762>
20. تبدیل رباتهای صنعتی به ربات های CAD/CAM
21. http://www.istgah.com/firekeys/key_118338/page_17/1271434.html

22. Menges Achim, Integral Computational Design: Synthesizing Computation and Materialisation in Architecture, Institute for Computational Design, Stuttgart University, 2010
23. ICE & ITKE-Research Pavilion
24. <http://www.arhitext.com/english/2014/02/icd-itke-research-pavilion>
25. Flight Assembled Architecture, FRAC Centre Orléans
26. <http://www.gramaziokohler.com/web/e/projekte/209.html>, 2011-2012
27. Depth Modulations, ETH Zürich, 2013 Elective course (4KP)
28. <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/lehre/266.html>
29. Architecture by Robots, For Humanity
30. <http://www.archdaily.com/347905/architecture-by-robots-for-humanity/>
31. TEX-FAB SKIN Competition – Finalist
32. Robot Assisted Sheet Metal Shaping
33. *by Lik Hang Gu, Nathan Shobe, Qi Su*
34. parametric thinking and innovation in urban design/ Francesco Cingolani
35. <http://complexitys.com/english/urbanparametric>
36. a new global style for architecture and urban design/ Patrik Schumacher, London 2008
37. AD architectural design- digital cities, vol 79, no 4, july/august
38. <http://www.patrikschumacher.com>
39. <http://www.dfab.arch.ethz.ch/web/e/forschung/206.html>

گروه بین‌المللی ره‌شهر تا کنون ۱۴۴ نشریه با عناوین زیر منتشر کرده است:

- ۱- کاربرد جدید شیشه در نمای ساختمان (تابستان ۱۳۷۱)
- ۲- پارکینگ مراکز تجاری (پائیز ۱۳۷۱)
- ۳- محافظت در مقابل زلزله (زمستان ۱۳۷۱)
- ۴- جمع آوری و دفع زباله و مسائل ناشی از آن (زمستان ۱۳۷۱)
- ۵- طرح اسکان و سریع (زمستان ۱۳۷۱)
- ۶- مجموعه مقالات راجع به ژئوسنتز (بهار ۱۳۷۲)
- ۷- مهار آب با آب (بهار ۱۳۷۲)
- ۸- تحول سبز در معماری (بهار ۱۳۷۲)
- ۹- روندیابی و مدیریت سیلاب (بهار ۱۳۷۲)
- ۱۰- مطالعات اقتصادی جهت احداث مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۹)
- ۱۱- نگاهی کوتاه بر طراحی فضای سبز - "تجربیات کشورهای مختلف" (تابستان ۱۳۷۲)
- ۱۲- بازیافت آب در صنایع شن و ماسه‌شونی (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۳- بناهای چوبی (کنده‌ای) در ایران و تجربیات کشورهای دیگر (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۴- نکاتی در مورد طراحی ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته پیش‌تنیده در مناطق زلزله‌خیز (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۵- اتوماسیون و بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع الکتریکی (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۶- انرژی دریاهای (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۷- پارکینگ‌های مکانیکی اتوماتیک و نیمه اتوماتیک (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۸- انرژی باد (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۹- اصول طراحی ساختمان‌های اداری و بانک‌ها (بهار ۱۳۷۳)
- ۲۰- انرژی خورشیدی (بهار ۱۳۷۳)
- ۲۱- طراحی مرکز خرید- جلد اول: مطالعات مقدماتی جهت طراحی مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۲- شهر سالم با آمورتون (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۳- شهر سالم - کاربرد سیستم‌های فتوولتائیک از میلی وات تا مگاوات (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۴- شهر سالم- اصول طراحی برای افراد دارای کهولت، ناتوانی، اختلال و معلولیت (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۵- نسل چهارم نیروگاه‌ها (پائیز ۱۳۷۹)

- ۲۶- بازیافت آب در صنایع نساجی (پائیز ۱۳۷۳)
- ۲۷- مراکز درمانی و بیمارستان‌های آینده (پائیز ۱۳۷۳)
- ۲۸- شهر سالم-انبوه‌سازی (انبوه‌سازان اسکان) (زمستان ۱۳۷۳)
- ۲۹- سیستم‌های مدیریت بار و مدیریت انرژی در شبکه‌های انرژی الکتریکی (زمستان ۱۳۷۳)
- ۳۰- بازیافت آب - "تصفیه پساب صنایع لبنی" (بهار ۱۳۷۴)
- ۳۱- شهر سالم - صنعت چوب و کاغذ و نقش آن در فرهنگ، اقتصاد و سیاست (بهار ۱۳۷۴)
- ۳۲- صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های مسکونی (بهار ۱۳۷۴)
- ۳۳- شهر سالم- معماری و پرورش فکری کودکان و نوجوانان (تابستان ۱۳۷۴)
- ۳۴- شهر سالم- بازیافت زباله و مصالح ساختمانی و نقش آن در حفظ خاک و پاکسازی محیط (پائیز ۱۳۷۴)
- ۳۵- شهر ما کجاست (زمستان ۱۳۷۴)
- ۳۶- حفاظت سواحل دریا و رودخانه‌ها- معرفی روش‌های سنتی و پیشرفته (زمستان ۱۳۷۵)
- ۳۷- بهینه‌سازی آموزش عالی - نگاهی کوتاه بر کارکرد نظام آموزشی ایران و جهان (زمستان ۱۳۷۵)
- ۳۸- استفاده از ژئوگرید در راه‌ها و باند فرودگاه‌ها (بهار ۱۳۷۶)
- ۳۹- اقتصاد گردشگری (جلد اول) (زمستان ۱۳۷۶)
- ۴۰- نگرش‌هایی نوین به طراحی فضای باز اداری (تابستان ۱۳۷۷)
- ۴۱- اقتصاد گردشگری جلد دوم (فصول سوم و چهارم) (زمستان ۱۳۷۷)
- ۴۲- فهرست مطابقه‌ای عملیات اجرایی جهت تسهیل در امر نظارت (پائیز ۱۳۷۸)
- ۴۳- دانسته‌هایی در مورد مناطق آزاد و ویژه اقتصادی در جهان (پائیز ۱۳۷۸)
- ۴۴- هدایت منابع مالی و فنی غیر دولتی جهت اجرای طرح‌های عمرانی (زمستان ۱۳۷۸)
- ۴۵- پژوهش در تاریخچه، مفهوم و سیر تحول شهرسازی و شهر سالم در فرهنگ ایران و اسلام (زمستان ۱۳۷۸)
- ۴۶- پارک انرژی‌های نو (تابستان ۱۳۷۹)
- ۴۷- فضاهای باز اداری - مدیریت تجهیزات و طراحی داخلی (پائیز ۱۳۷۹)
- ۴۸- شهرک ترافیکی کودکان (زمستان ۱۳۷۹)
- ۴۹- فضای باز اداری - استانداردهای طراحی فضاهای اداری جدا کننده‌ها، قطعات و اتصالات (زمستان ۱۳۷۹)

- ۵۰- فضای سبز- مناطق صنعتی- پارک‌های صنعتی (تابستان ۱۳۸۰)
- ۵۱- تنظیم شرایط محیطی- بخش اول: استانداردهای عملکرد حسی-جلد اول: محیط روشنایی (پاییز ۱۳۸۰)
- ۵۲- تنظیم شرایط محیطی- بخش اول: استانداردهای عملکرد حسی-محیط‌های صوتی و حرارتی (پاییز ۱۳۸۰)
- ۵۳- منظر سازی - جلد اول: طراحی کاشت (زمستان ۱۳۸۰)
- ۵۴- منظر سازی - جلد دوم: آبیاری و نگهداری منظر (زمستان ۱۳۸۰)
- ۵۵- تنظیم شرایط محیطی- بخش دوم: سیستم‌های کنترل محیط- جلد اول: تولید و کنترل حرارت (زمستان ۱۳۸۰)
- ۵۶- تنظیم شرایط محیطی- بخش دوم: سیستم‌های کنترل محیط- جلد دوم: تولید و کنترل نور و صدا (زمستان ۱۳۸۰)
- ۵۷- منظر سازی- جلد سوم: راهبردهای تکمیلی آراستن مناظر (بهار ۱۳۸۱)
- ۵۸- تنظیم شرایط محیطی- بخش دوم: سیستم‌های کنترل محیط- جلد سوم: سیستم جامع محیطی (تابستان ۱۳۸۱)
- ۵۹- شهر سالم- توسعه (کلان شهر تهران) (تابستان ۱۳۸۱)
- ۶۰- فن‌آوری اطلاعات- بخش اول: مفاهیم کلی (پائیز ۱۳۸۱)
- ۶۱- منظر سازی- جلد چهارم (زمستان ۱۳۸۱)
- ۶۲- فن‌آوری اطلاعات- بخش دوم: مدیریت فن‌آوری اطلاعات (زمستان ۱۳۸۱)
- ۶۳- فن‌آوری اطلاعات- بخش سوم: تجارت الکترونیکی (بهار ۱۳۸۲)
- ۶۴- فن‌آوری اطلاعات- بخش چهارم: تجارت الکترونیکی "امنیت و تجارت بی‌سیم" (تابستان ۱۳۸۲۹)
- ۶۵- ساختمان‌های سبز و پایدار (تابستان ۱۳۸۲)
- ۶۶- فن‌آوری اطلاعات- بخش پنجم: دولت الکترونیکی (تابستان ۱۳۸۲)
- ۶۷- منظر سازی- جنگل‌های مانگرو (حرا): بخش اول- کلیات (پائیز ۱۳۸۲)
- ۶۸- فن‌آوری اطلاعات- بخش ششم: بازاریابی الکترونیکی (پائیز ۱۳۸۲)
- ۶۹- فن‌آوری اطلاعات- بخش هفتم: شهرداری الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۲)
- ۷۰- فن‌آوری اطلاعات- بخش هشتم: آموزش الکترونیکی (بهار ۱۳۸۳)
- ۷۱- فن‌آوری اطلاعات- بخش نهم: دانشگاه الکترونیکی (بهار ۱۳۸۳)
- ۷۲- فن‌آوری اطلاعات- بخش دهم: سیستم‌های اطلاعاتی مدیریتی ساختمان (تابستان ۱۳۸۳)
- ۷۳- فن‌آوری اطلاعات- بخش یازدهم: دانشگاه الکترونیکی (پائیز ۱۳۸۳)
- ۷۴- فن‌آوری اطلاعات- بخش دوازدهم: مدیریت پرونده‌های الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۳)
- ۷۵- فن‌آوری اطلاعات- بخش سیزدهم: دموکراسی الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۳)
- ۷۶- فن‌آوری اطلاعات- بخش چهاردهم: انتخابات الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۳)
- ۷۷- فن‌آوری اطلاعات- بخش پانزدهم: حقیقت مجازی (تابستان ۱۳۸۴)
- ۷۸- برگزاری مناقصه‌های دولتی (تصویب شده سال ۱۳۸۳) (تابستان ۱۳۸۴)
- ۷۹- چین دومین مصرف‌کننده انرژی در جهان (تابستان ۱۳۸۴)
- ۸۰- مدیریت پروژه- استانداردهای مدیریت پروژه (بخش اول. تابستان ۱۳۸۴)
- ۸۱- فن‌آوری اطلاعات- بخش شانزدهم: توسعه فن‌آوری اطلاعات در روستاها (عدالت اجتماعی) (پائیز ۱۳۸۴)
- ۸۲- فن‌آوری اطلاعات- بخش هفدهم: مدیریت ارتباط با مشتریان (پائیز ۱۳۸۴)
- ۸۳- مدیریت پروژه- استانداردهای مدیریت پروژه (بخش دوم، زمستان ۱۳۸۴)
- ۸۴- مهندسی ارزش- بخش اول: اصول، مبانی و فرآیند (زمستان ۱۳۸۴)
- ۸۵- مدیریت پروژه- استانداردهای مدیریت پروژه (بخش سوم، زمستان ۱۳۸۴)
- ۸۶- فن‌آوری اطلاعات- بخش هجدهم: پایتخت الکترونیکی- تجلی عدالت اجتماعی (تابستان ۱۳۸۵)
- ۸۷- مدیریت پروژه- دفتر مدیریت پروژه (بخش اول- تابستان ۱۳۸۵)
- ۸۸- متدولوژی‌های کنترل پروژه (تابستان ۱۳۸۵)
- ۸۹- صنایع انرژی‌بر، نظریه‌ها و دیدگاه‌ها (تابستان ۱۳۸۵)
- ۹۰- آشنایی مقدماتی با ارزیابی محیط زیست (پاییز ۱۳۸۵)
- ۹۱- آشنایی با فراوری‌های گازی CNG, LPG, LNG (زمستان ۱۳۸۵)
- ۹۲- رهنمون‌هایی برای توسعه (زمستان ۱۳۸۵)
- ۹۳- خبرنامه تحولات توسعه در حوزه خلیج فارس (بهار ۱۳۸۶)
- ۹۴- متدولوژی مکان‌یابی صنایع (تابستان ۱۳۸۶)
- ۹۵- خبرنامه تحولات توسعه در حوزه خلیج فارس (جلد دوم) (تابستان ۱۳۸۶)
- ۹۶- خبرنامه تحولات توسعه در حوزه خلیج فارس (جلد سوم) (تابستان ۱۳۸۶)
- ۹۷- معماری سبز، (انرژی آفتاب در معماری) (پائیز ۱۳۸۶)
- ۹۸- معماری سبز، (انرژی زمین گرمایی) (پائیز ۱۳۸۶)
- ۹۹- روند توسعه در خلیج فارس (نسخه چهارم) (پاییز ۱۳۸۶)
- ۱۰۰- ایران ترانزیت (بهار ۱۳۸۷)
- ۱۰۱- سوپر جاذب‌ها (راهی برای گسترش فضای سبز و مقابله با کمبود آب) (تابستان ۱۳۸۷)
- ۱۰۲- روند توسعه در خلیج فارس و دریای عمان بخش پنجم (تابستان ۱۳۸۷)
- ۱۰۳- روند توسعه در خلیج فارس و دریای عمان بخش ششم (پائیز ۱۳۸۷)
- ۱۰۴- بام سبز (پائیز ۱۳۸۷)