2nd.International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution
Tabriz Islamic Art University / 27 May. 2022
ISC Islamic World Science Citation Center
کد اختصاصی نمایه ISC ۰۱۲۱۱-۸۲۱۸۷
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

بررسی الگوریتم های معماری و میزان تاثیر پذیری آن بر آثار معماری معاصر

مهیار عرب بور بور[۱]*، سمانه دباغچی [۲]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج ، ایران ، mahyararabbourbour@gmil.com
۲- استادیار، گروه معماری، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران،s.dabbaghchi@gmail.com

چکیده

در این مقاله به بررسی میزان تاثیر الگوریتم[۱] ها و روش های مقداری بر ساختار معماری معاصر جهان پرداخته می شود. روش پژوهشی که در این مقاله از آن استفاده شده است روش کیفی و از نوع توصیفی- تحلیلی می باشد و برای گردآوری اطلاعات از روش کتابخانه ای استفاده شده است. در ابتدا اشاره به جایگاه کامپیوتر و توانایی الگوریتم ها در حل پارامترهای پیچیده محیطی می کند که سوالاتی پیرامون مفاهیم پایه ، دسته بندی ، ویژگی معماری ،ساختار، معایب و مزایا و در نهایت درصد نفوذ پذیری الگوریتم ها مطرح می شود . برای پاسخ گویی به سوالات پژوهش به تعریف مفاهیم ،روش های مقداری و اهمیت الگوریتم ها به زبان ساده و سپس برای درک صحیح به تعریف دانش ترکیبی[۲] و هندسه پیشرفته[۳] پرداخته می شود. در مرحله بعد شروع به دسته بندی الگوریتم های بهینه سازی معماری به سه دسته: تکاملی(فرا ابتکاری) ، جستجوی و تعاملی- ترکیبی کرده و نمونه های از آنها را مانند : الگوریتم ژنتیک ، مولد و ... شرح می دهد و پس از آن به علت وابستگی الگوریتم ها به کامپیوتر به تعریف سرگذشت و معرفی نرم افزار های مورد استفاده الگوریتم ها در معماری می پردازد. در آخر با توجه به ساختار طراحی و ویژگیهای ۶ گانه احجام الگوریتمیک ۱۰۰ پروژه برتر تا سال ۲۰۲۲ مورد تایید سایت ارک دیلی[۴] را تحلیل می کند که از میان میزان ۱۹٪ از پروژه ها از طراحی الگوریتمیک استفاده شده است .که این میزان نشان دهنده نفوذ کم الگوریتم ها در معماری معاصر با توجه به برتری مزایا بر معایب طراحی الگوریتمیک است که شاید علت آنرا سختی کار با نرم افزارها ویا درک تفکر الگوریتمیک دانست .

واژه‌های کلیدی: الگوریتم های معماری، الگوریتم بهینه سازی، معماری پارامتریک، طراحی الگوریتمیک، معماری معاصر .

۱- مقدمه

معماری معاصر سرشار از نوآوری و تنوع می باشد همچنین با پر رنگ تر شدن جایگاه کامپیوتر به عنوان یک ابزار موثر در فرایند طراحی بسیاری از شرکت ها معماری برای حفظ جایگاه خود روی به استفاده از این ابزار مهم آوردند. در این زمان فهم و کاربرد الگوریتم به عنوان زبان کامپیوتر و ساخت یک فرآیند طراحی الگوریتمیک جایگاه ویژه ای پیدا کرد . الگوریتم مجموعه مشخصی از دستورات واضح و تعریف شده می باشند. در الگوریتم میتوان حجم انبوه دستورات پیچیده را به کامپیوتر منتقل و در زمان اندک و دقیق و سریع انجام داد و نیز می توان فعالیت های طراحی را به دستورالعمل تبدیل کرد ، و به صورت الگوریتم به کامپیوتر داده و خواسته مورد نیاز را انجام داد و سپس به جای کشیدن های مکرر طرح می توان فقط نیاز ها را به کامپیوتر ارائه داده شود. با ورود الگوریتم ها به دنیای معماری ، معماران قادر به بررسی بسیاری از پارامترهای محیطی ، عملکردی ، اقلیمی ، انرژی و ... و همچنین قادر به خلق احجام خلاق و متنوع شدند که بشر به تنهایی به علت

[1] Algorithm
[2] computational geometry
[3] Advanced geometry
[4] ArchDaily

پیچیدگی قابل قبول قدرت خلق و تجسم آنرا نداشت . حال برای درک این ابزار پر قدرت و ساخت الگوریتم ها نیاز به توسعه نرم افزارهای مورد استفاده معماری می باشد که قابلیت برنامه نویسی و ساخت الگوریتم ها را به آسان ترین حالت و با دانش ابتدایی داشته باشند ، پس در این میان نرم افزارهای جدید ظهور کرد که قابلیت پاسخگویی به نیازهای فرآیند الگوریتمیک با کمترین دانش برنامه نویسی را داشته باشند . با توجه به موارد فوق برای درک زبان مشترک الگوریتم ها نیاز به فهم مفاهیم پایه می باشد ، مفاهیمی که بر گرفته از دو عنصر اصلی یعنی دانش ترکیبی و هندسه کاربردی می باشد . با درک علوم و هندسه پایه مفهوم الگوریتم قابل فهم تر می شود و با درک بهتر مفهوم الگوریتم می توان الگوریتم ها را به راحتی به دسته های شاخص تقسیم کرد . شناخت الگوریتم های شاخص باعث شناخت بهتر ویژگی ها و شاخصه های طرح های الگوریتمیک می شود . با شناخت و دسته بندی این مشخصه ها می توان درک بهتری نسبت به جایگاه و میزان نفوذ پذیری الگوریتم ها در معماری معاصر جهان داشت . میزان نفوذ پذیری معماری الگوریتمیک نشان دهنده میزان اهمیت و پذیرش الگوریتم ها ، مزایا و معایت و در انتها تثبیت جایگاه الگوریتم ها در میان معماران و معماری معاصر می باشد .

۲- سوالات و فرضیه تحقیق

پرسشهای مطرح شده در این پژوهش عبارتند از :

الگوریتم چیست و چه مفاهیمی برای درک فرآیند الگوریتمیک نیاز می باشد؟ الگوریتم ها در فرآیند طراحی به چه دسته بندی هایی تقسیم میشوند ؟ ویژگی مشترک طراحی و ساختار فرآیند الگوریتمیک چیست ؟ معایب و مزایای طراحی الگوریتمیک چیست؟چند درصد از پروژه هایی معماری معاصر جهان تحت تاثیر فرآیند طراحی الگوریتم ها می باشند ؟ حال با فرض این که الگوریتم ها به واسطه کاربرد و جایگاه کامپیوتر در علوم مختلف می توانند تاثیر گذار بر ساختار معماری معاصر جهان باشند ، شروع به توصیف و تحلیل این تاثیرات پرداخته می شود . با قبول جایگاه الگوریتم های تاثیر گذار به عنوان پیش فرض به تفکیک و دسته بندی کلی الگوریتم ها پرداخته می شود تا بتوانیم مشخصه های مشترک طرح های تولید شده از فرآیند الگوریتمیک را بدست آوریم . با استفاده از مشخصه های الگوریتمیک به دنبال میزان تاثیر پذیری در پروژه های معماری معاصر می باشیم برای درک الگوریتم ها قبل از هر چیز وابسته به شرح مفاهیم از جمله هندسه ها و علوم وابسته و تعریف خود الگوریتم می باشیم .

۳- پیشینه تحقیق

برای درک بهتر معماری الگوریتمیک بهتر است در ابتدا به تعریف مفهوم الگوریتم[5] بپردازیم . الگوریتم مجموعه از دستورات است که اطلاعات (پارامتر ها[6]) را به عنوان ورودی دریافت کرده سپس پردازش کرده و پاسخ آنرا در خروجی می دهد . به عبارتی الگوریتم، فرآیند حل مسائل مشابه با پیروی کردن از تعدادی دستورالعمل است. الگوریتم در واقع حل کردن مسئله از روشی نظامند به منظور تعمیم آن روش به مسائل مشابه است. به زبانی ساده تر میتوان مراحل الگوریتم را به مراحل تهیه یک غذا تشبیه کرد. مراحل تهیه کردن یک غذا عبارت است از تهیه مواد اولیه، آماده سازی آنها، مخلوط کردن آنها، پختن و سرو غذا. بدیهی است که در این دستورالعمل تعداد غذای مورد تقاضا، مقدار آن، کیفیت مواد اولیه و ترتیب و زمان بندی هر مرحله از تهیه غذا در محصول نهایی آن تاثیرگذار است. اگر ترتیب مراحل تهیه یک غذا برعکس شود یا یک مرحله به آن اضافه یا کم شود، یک الگوریتم جدید به وجود میآید که نتیجه دیگری خواهد داشت. این تغییرات میتوانند هم منجر به نتیجه بهتر از نتیجه الگوریتم اولیه شوند و هم ممکن است به نتیجه مشابه منتهی شوند و هم ممکن است نتیجه بدتری داشته باشند [۱]. الگوریتم به واسطه کامپیوتر می تواند اطلاعات را از طرح گرفته و پردازش کرده و به تولید بپردازد. طراح قوانینی را کنار هم می گذارد و الگوریتم را ساماندهی می کند که بر اساس پردازش آن فرم در فضای مجازی ایجاد شده و در این حالت

[5] Algorithm
[6] parameters

تنها فرم موضوع اصلی نیست بلکه فرآیند در اختیار طراح است. در این حالت طراحان می توانند پیچیده ترین فضا ها را به صورت الگوریتم خلاصه و پیچیدگی فضا را به پیچیدگی در محاسبات تبدیل و به کامپیوتر انتقال دهند و زمان محاسبه را کاهش و داده ها را مدیریت کنند. خواستگاه کاربرد الگوریتم های در معماری به دوران معماری مدرن که دارای ویژگی همچون سادگی در ظاهر، انبوه سازی ، حذف تزئینات و فاصله می باشد بر می گردد . مواردی که بر گرفته از معماری قرن ۱۸ و ۱۹ است . با شروع جریان پست مدرن در معماری با انتقادات فراوانی روبه رو شد و باعث بروز سبک های همچون پست مدرن ، مینمالیزم ، دیکانستراکشن ، فولدینگ در دهه پایانی قرن ۲۰ شد. در انتها در تمامی این سبک ها سعی شد تا به خاکستری بودن و یکپارچگی معماری معاصر پاسخ متفاوت بدهند از طرفی وجود تحولات اقتصادی برای جذب سرمایه باعث روی آوردن به ایده های جدید شد . در معماری امروز معماران فرآیند را برابر با فرآورده طراحی می داند . فرآیند [۷]برابر با محصول [۸]می باشد و اهمیت و تمرکز فرآیند بیشتر از محصول می باشد . در دفاتر معماری فرآیند طراحی باعث تولیدات خلاقانه در پروژه های متعدد معماری می شد یعنی به عبارتی یک فرآیند برابر است با یک خط تولید که می تواند باعث بروز محصولات خلاق و متنوع باشد به عبارت ساده تر در یک فرآیند می توان محصولات متنوع با یک الگوی فکر تولید کرد که نتیجه آن تولید یک محصول با کیفیت بالا در زمان کمتر می باشد . علت روی آوردن معماران به سوی ایجاد فرآیند های طراحی معماری این موضوع می باشد که معماران مجبور هستند حجم بالای پروژه ها را با خلاقیت متنوع برای حفظ جایگاه خود در بازار پاسخ گو باشند . در ابتدا باور بر این مسئله بود که کامپیوتر فقط می تواند فرآیند را ترسیم را انجام دهد ولی مانند دیگر عرصه ها کامپیوتر ها توسط الگوریتم ها توانستد اثر گذار باشد و بر فرآیند طراحی قابلیت شبیه سازی برای فضا ها با پیچیدگی بسیار بالا را داشته باشند .با ورود الگوریتم ها در دنیای معماری معماران قادر به بررسی بسیاری از پارامترهای معماری و عملکردی شدند و از طرف دیگر قادر به خلق احجام خلاق و متنوع شدند که بشر به تنهایی قدرت خلق و تجسم آنرا نداشت . در این بخش به تعریف دسته بندی الگوریتم های معماری ، جایگاه الگوریتم در دنیای نرم افزارهای معماری ، نرم افزار الگوریتمیک و میزان تاثیر گذاری الگوریتم ها در معماری معاصر ۲۰۲۲ میپردازیم . کاربرد الگوریتم و ساخت فرآیندهای چند وجهی باعث ورود پارامترهای اقلیمی، سازه ای ، عملکردی ، زیبایی شناسی و ... در معماری شد. کاربرد الگوریتم ها در این فرآیند باعث ایجاد شاخه از معماری معاصر به اسم معماری پارامتریک یا معماری الگوریتمیک شد . در این مرحله با استفاده از برنامه نویسی و کد گذاری بر اساس پارامترهای مختلف روش الگوریتم[۹] که زبان کامپیوتر می باشد می تواند فرآیندی را به وجود آورد که نتیجه های متفاوت و قابل کنترل را داشته باشد [۲]. فایده الگوریتم به این گونه می باشد که گاهی مسئله آنقدر پیچیده است که بیان راه حل آن در چند جمله امکان پذیر نیست، چراکه ذهن انسان حافظه و قابلیت های محدودی دارد. در این حالت بیان کردن راه حل مسئله به صورت مرحله به مرحله و ترسیم فلوچارت می تواند در حل مسئله به ما کمک کند. اما مهم تر از این، فایده دیگر حل الگوریتمی مسائل در این نکته نهفته است که همیشه پردازنده و یا اجرا کننده الگوریتم ذهن انسان نیست. قدمت الگوریتم ها خیلی بیشتر از قدمت کامپیوترها است، ولی از آغاز پیدایش کامپیوتر بشر این امکان را پیدا کرد که الگوریتم ها را در قالب برنامه های کامپیوتری به کامپیوتر ارائه کند و از کامپیوتر انتظار اجرای الگوریتم و دادن جواب داشته باشد. بنابراین در مقایسه ذهن انسان و کامپیوتر در می یابیم که در هر سه عامل حافظه، دقت و سرعت محاسبات، توان کامپیوتر بسیار بیشتر از ذهن انسان است. از این رو است که الگوریتم ها به عنوان زبان انتقال روش فکر کردن بین ذهن انسان و کامپیوتر اهمیت دو چندان پیدا کرده اند [۳].

۴- روش تحقیق

روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش، کیفی و از نوع توصیفی- تحلیلی می باشد و روش کلی گردآوری اطلاعات از نوع کتابخانه ای است. در این مقاله ابتدا به شرح مفاهیم پایه به صورت کتابخانه ای بر اساس مقالات و کتابها پرداخته می شود

[7] process
[8] product
[9] Algorithm

پس از آن اطلاعات بدست آمده را دسته بندی و شاخصه های مشترک آنرا جدا می سازیم . برای دست یابی به پاسخ سوالات پرسش های تحقیق ابتدا باید به تعریف مفاهیم اصلی پرداخته شود، مفاهیم شامل الگوریتم ، روش های مقداری ، دانش ترکیبی و هندسه پیشرفته . سپس به دسته بندی الگوریتم ها پرداخته شده است و با فهم دسته بندی ها و کاربرد آن به ساخت یک مدل طراحی الگوریتمیک روی آورده می شود . با تجزیه و تحلیل آثار معماری تا سال ۲۰۲۲ ارک دیلی می توان به مزایا و معایب و از طرفی می توان میزان تاثیر گذاری الگوریتم ها بر آثار معماری جهان را بدست آورد.

۵- مفاهیم الگوریتم ها در فرآیند طراحی

استفاده از طراحی الگوریتمی و طراحی بر مبنای محاسبات، مفهومی است که اغلب با مفهوم استفاده از کامپیوتر و کامپیوتری کردن اشتباه گرفته می شود. طراحی الگوریتمی رویه ای محاسباتی است، مانند تعیین حدود امری با استفاده از روش ها و فرمول های ریاضی، ولی کامپیوتری کردن عبارت است از عمل وارد کردن، پردازش کردن و ذخیره اطلاعات در یک سیستم کامپیوتری. کامپیوتری کردن به معنای مکانیزه کردن، اتوماسیون و تبدیل و ترجمه کردن به زبان کامپیوتر است. از یک نگاه کلی، کامپیوتری کردن، دیجیتالی کردن اطلاعات و فرآیند هایی است که از قبل تنظیم شده و به خوبی قابل تعریف هستند. در مقابل، طراحی الگوریتمی با طراحی بر مبنای علم محاسبات، کشف و توسعه دادن یک فرآیند مبهم، ناشناخته و ناواضح است که اغلب هم فرآیند تعریف شده ای نیست. فرآیند طراحی الگوریتمی، هدف آن را می توان رقابت کردن و توسعه دادن هوش و درک انسان دانست که با مفاهیمی مانند منطق، استدلال، استقرا، قیاس، اکتشاف و حدس زدن در ارتباط است[۱]. الگوریتمها را می توان مجموعه مشخصی از دستورات واضح و تعریف شده و سلسله مراتب و مرحله به مرحله تعریف کرد که این مراحل دارای سه مرحله اصلی می باشند که با ورودی اطلاعات آغاز و سپس پردازش اطلاعات و در انتها با خروج که می تواند یک محصول باشد به پایان می رسد . اگر ترتیب مراحل تهیه یک الگوریتم برعکس شود یا یک مرحله به آن اضافه یا کم شود، یک الگوریتم جدید به وجود می آید که نتیجه دیگری خواهد داشت. در الگوریتم میتوان حجم انبوه دستورات پیچیده را به کامپیوتر منتقل و در زمان اندک و دقیق و سریع انجام داد و نیز می توان فعالیت های طراحی را به دستورالعمل تبدیل کرد و به صورت الگوریتم به کامپیوتر داده و خواسته مورد نیاز را انجام داد و سپس به جای کشیدن های مکرر طرح می توان فقط نیاز ها را به کامپیوتر ارائه داد. در کامپیوتر الگوریتم می تواند اطلاعات را از طرح گرفته و پردازش کرده و به تولید بپردازد. طراح قوانینی را کنار هم می گذارد و الگوریتمی را ساماندهی می کند که بر اساس پردازش آن فرم در فضای مجازی ایجاد شده و در این حالت تنها فرم موضوع اصلی نیست بلکه فرآیند در اختیار طراح است. در این حالت طراحان می توانند پیچیده ترین فضا ها را به صورت الگوریتم خلاصه و پیچیدگی فضا را به پیچیدگی در محاسبات تبدیل و به کامپیوتر انتقال دهند و زمان محاسبه را کاهش و داده ها را مدیریت کنند[۴].

۵-۱- روشهای مقداری

طراحی مقداری به معنای تعریف مولفه های طراحی و برقراری رابطه بین آنها است، به گونه ای که مدلی یک پارچه تشکیل دهند. در چنین مدلی تغییر در یک مولفه سایر مولفه ها را تحت تاثیر قرار داده و در پی آن کل مدل خود را با تغییر اعمال شده هماهنگ می کند . برای استفاده از این روش لزوما از نرم افزارها استفاده نمی شود اما چیزی که به این روش قدرت می بخشد و آن را به روشی موثر در طراحی بدل می کند، نقشی است که ماشین های محاسبه گر یعنی رایانه ها و نرم افزارهای کمک طراحی با الگوریتم های متنوع خود در این میان بازی می کنند.چرا که با ازدیاد مولفه ها و پیچیده شدن روابط میان آنها، ذهن انسان از حفظ و نگهداری آنها نا توان خواهد بود.چارچوب ساختاری چنان چه رایانه ها را به عنوان ابزار اصلی و نه تنها ابزار طراحی به این روش بپذیریم، با توجه به امکاناتی که این نرم افزارها در اختیار ما قرار میدهند چهار رویکرد در به کارگیری این نرم افزارها می توان بر شمرد: مولفه های هندسی مقداری ، اشیای مقداری ، روابط مقداری (توابع) و الگوریتم ها ، که در این مقاله به رویکرد الگوریتم ها پرداخته می شود [۵].

۵-۲- اهمیت الگوریتمها در معماری

هرچند یک الگوریتم میتواند به صورت نوشتاری نحوه انجام یک کار را مشخص کند و از این منظر قانون مشترکی را در انجام یک کار برای ما تبیین نماید، اما در واقع با تبدیل آن به کدها و زبانهای برنامه نویسی مشخص و اجرای آن در کامپیوتر، توان محاسباتی بالای کامپیوتر در محاسبه سریع و دقیق عملیات پیچیده به کار گرفته میشود. از این رو می توانیم حجم انبوه محاسبات پیچیده را با دستورات لازم به کامپیوتر منتقل کنیم و انتظار پاسخهایی سریع و دقیق داشته باشیم. این موضوع در شاخه های مختلف دانش بسیار مهم بوده است و در محاسبات مربوط به سازه ساختمانها مدتهاست که به کمک ساخت ساختمان آمده است. در فضای طراحی می تواند بسیاری از فعالیت های مربوط به طراحی را به دستورالعملهایی تبدیل کرده و بصورت الگوریتم به کامپیوتر داد تا خواسته ها را انجام دهد. از این منظر می توان اینگونه گفت که به بجای کشیدن همه اجزای طرح میتوان نیازهای طرح را به صورت دستوراتی به کامپیوتر منتقل نمود تا انجام شود[۶]. گاهی مسئله آنقدر پیچیده است که بیان راه حل آن در چند جمله امکان پذیر نیست، چراکه ذهن انسان حافظه و قابلیت های محدودی دارد. در این حالت بیان کردن راه حل مسئله به صورت مرحله به مرحله و ترسیم فلوچارت می تواند در حل مسئله به ما کمک کند. اما مهم تر از این، فایده دیگر حل الگوریتمی مسائل در این نکته نهفته است که همیشه پردازنده و یا اجرا کننده الگوریتم ذهن انسان نیست. قدمت الگوریتم ها خیلی بیشتر از قدمت کامپیوترها است، ولی از آغاز پیدایش کامپیوتر بشر این امکان را پیدا کرد که الگوریتم ها را در قالب برنامه های کامپیوتری به کامپیوتر ارائه کند و از کامپیوتر انتظار اجرای الگوریتم و دادن جواب داشته باشد[۱]. با ورود کاربرد الگوریتم ها در دنیای معماری معماران قادر به حل پارامترهای بسیاری در معماری شدند ، این فرآیند دارای دو پیش نیاز می باشد که متاثر از ورود کامپیوتر به دنیای معماری و علوم مختلف می باشد .یکی از این موارد خلق دانش ترکیبی و دیگری هندسه پیشرفته بود که هر دو برای درک مفهوم الگوریتم در معماری لازم می باشد .

۵-۳- مفهوم دانش ترکیبی[۱۰]

بکارگیری کامپیوتر در علوم مختلف باعث ایجاد شاخه ای جدید در فرآیند میان علوم مختلف به اسم دانش ترکیبی شد . دانش ترکیبی شاخه ای از دانش کامپیوتر می باشد که به مطالعه الگوریتم هایی که کارکرد هندسی دارند می پردازد و برای حل مسائل هندسی از الگوریتم های متفاوت استفاده می کند. کاربرد های این علم در سیستم اطلاعات جغرافیایی [۱۱]، طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر و طراحی مدارهای مجتمع می باشد. این دانش ترکیبی در حوزه های مختلفی به کمک طراحان آمده است ، مانند الگوریتم های بهینه سازی که به یافتن راه حل های هندسی برای سوالاتی است که بیش از یک جواب صحیح دارند کاربرد دارد. مسیرهای تولید خلاقیت بسیار بیشتر از گذشته ساختارمند شده اند و معماران معاصر تاثیر فرآیندهای پژوهشی در تولید آن را درک کرده اند. پژوهش در عرصه های هندسه و ریاضی به تولید فرم های پیچیده و متفاوتی منجر شده که پیاده سازی این روابط ریاضی - هندسی در فضای الگوریتمیک، طراحی و ساخت آنها را ممکن کرده است[۷] .در فرآیند طراحی و ساخت معماری الگوریتمیک به واسطه دانش ترکیبی معمار قادر می باشند که مسائل پایه ای تا مسائل جزیی در یک پروژه معماری را حل کند [۸]. مفهوم مورفوجنسیس[۱۲] به معنای رشد تکاملی شکل درون یک ارگانیسم یا به عنوان بخشی از آن یکی از این موارد می باشد. درک این مسئله که می توان ارگانیسم های زنده را به عنوان مجموعه هایی تلقی کرد که تکامل شکلی و الگوهای رفتاری پیچیدهی آنها ناشی از تعاملات میان عناصرشان در طول زمان است، بدین معناست که شاید بتوان چنین رشد و تغییرات زیست شناختی و پویایی را شبیه سازی نیز نمود[۹]. سیستم پوسته ای متخلخل[۱۳] نوعی الگوریتم شبیه سازی بیونیک می باشد که به شبیه سازی فضا و پوسته بر اساس تقلید از طبیعت پرداخته

[10] computational geometry
[11] GIS
[12] morphogenesis
[13] porous shell systems

است . در یک پروژه تحقیقاتی در خصوص توسعه و طراحی پوسته های متخلخل ساختمانی ، یک الگوریتم مولد برای تولید سیستم مبتنی بر یک الگوی زیستی مورد کاوش قرار گرفت . در این پروژه تحقیقاتی ابتدا ویژگی فرمی ، شکلی ، هندسی و ساختاری " رادیولاریا [۱۴]به عنوان یک موجود تک سلولی دریا زیست مورد مطالعه قرار [۶]. حال با توجه به تصویر شماره ۴ شروع به شبیه سازی یک دیاتوم و رادیولاریا خواهیم کرد . در مرحله اول تمرکز بر روی تولید یک چارچوب اسکلتی می باشد که از طریق فضاهای بینابینی باقی مانده بین ظروف تحت فشار به اصطلاح پنئوس تشکیل شده است. بنابراین اولین سری از آزمایش‌های فیزیکی راه‌های ریخته‌گری گچ را بین توپ ها پر از هوا برای دستیابی به شکل معمولی اسکلت‌های پنوس که در طبیعت رخ می‌دهند، بررسی می شود. هر یک از این عناصر به صورت پارامتریک به عنوان رابطه بین سازمان‌های پنیو و فشار داخلی تعریف می‌شوند که با آن می‌توان جنبه‌هایی مانند حجم، شکل و ضخامت هر عنصر را تغییر داد [۱۰] .

۵-۴- مفهوم هندسه پیشرفته[۱۵]

با توجه به تاثیرات قالب الگوریتم بر اصول معماری معاصر شاهد این تاثیرات در قسمت هندسه نیز می باشیم .بسیار طبیعی می باشد اولین قسمتی که در معماری دستخوش تاثیرات فرآیند های الگوریتمیک می شود هندسه می باشد . کاربرد الگوریتم باعث ایجاد مفهومی به نام هندسه پیشرفته شد . در هندسه پیشرفته احجام و اشکال پیچیده روابط میان آنها با امکانات فضای کامپیوتر مورد بررسی قرار می گیرد دسته بندی موضوعات هندسه پیشرفته همانند : ترسیم احجام یک بعدی ، ترسیم صفحات ، ترسیم احجام سه بعدی ، روش های جابجا کردن احجام ،روش تغییر فرم ، ارائه تصویر احجام می باشد. که می توان به الگوریتم هایی همچون ورونئی و مثلث بندی دلانی اشاره کرد . الگوریتم ورونئی[۱۶] به تعریف ارتباطات و تقسیم بند ناحیه فضا با وجود پارامترهای مختلف محیطی پرداخته است به طوری که در این الگوریتم یک مجموعه از نقاط را به عنوان ورودی دریافت می کند. این نقاط می تواند تصادفی انتخاب شده باشد و یا نقاط خاصی از صفحه باشند. خروجی الگوریتم ورونئی یک سری نواحی در صفحه است . اساس کار الگوریتم ورونئی به این ترتیب است که برای محاسبه ناحیه یک نقطه ، تمام پاره خط های بین نقطه و سایر نقاط در نظر گرفته می شود .سپس عمود منصف تمام پاره خط ها ترسیم می شود . این عمود منصف ها ناحیه ای دور این نقطه به وجود می آورند که همان ناحیه مورد نظر برای این نقطه است [۱]. الگوریتم مثلث بندی دلانی[۱۷]به نوعی حل یک مسئله هندسی در فضای دوبعدی و سه بعدی می باشد و برای شبیه سازی حجمی و فضایی به کار می رود .مثلث بندی دلانی ، نوعی مثلث بندی است که در آن دایره محیطی هر مثلث شامل هیچ راسی از رئوس مثلث دیگر نباشد (شرط دایره محیطی) و واضح است که این نوع مثلث بندی یکتا خواهد بود [۱۱].

۶- دسته بندی الگوریتم های معماری

معیارهای زیادی برای دسته بندی الگوریتم ها وجود دارد، که این معیارها شامل دسته بندی اسلوب شناسی طرح و یا الگو می باشد که این الگو ها وجه تمایز الگوریتم ها از یکدیگر می باشد. شاخص ترین الگوریتم های کاربردی با توجه به پیشرفت ابزارهای طراحی و خلق طرح های معماری جدید و به کارگیری پارامترهای مختلف دیگر آیین نامه های مصرف انرژی در اروپا بهینه بودن مصرف انرژی در ساختمان را تضمین نمیکرد پس معماران به سوی مطالعاتی که به دنبال بهینه سازی تاثیر پارامترهایی مختلف بر طراحی ساختمان هستند حرکت کردند [۱۲] ،که در این روش از آنالیز روشهای مقداری استفاده می شد که طبیعتا نیازمند شبیه سازی ساختمان به صورت کامل می بود. اما شبیه سازی های کامل از نظر محاسباتی پرهزینه و زمان بر می باشد، بنابراین این نیاز روش های بهینه سازی که باعث کشف سریع و پربازده آلترناتیوهای طراحی می باشد رواج پیدا کرد. بهینه سازی اغلب به فرآیند یا فرآیندهای ساخت چیزی (طراحی، سیستم و یا تصمیم) گفته می شود، به نحوی که

[14] RADIOLARIA
[15] Advanced geometry
[16] Voronoi Alghorithm
[17] Triangulation Delaunay

تا حد امکان کامل، کارا و یا موثر باشد. در شبیه سازی عملکرد ساختمان واژه بهینه سازی لزوما به معنای یافتن پاسخ های بهینه عمومی برای یک مساله نیست، به دلیل اینکه این پاسخ ممکن است با توجه به طبیعت مساله و یا ویژگی های برنامه های شبیه سازی غیرقابل دستیابی باشد. بنابراین بعضی از نویسندگان از واژه بهینه سازی برای نشان دادن فرآیند بهبود تکرارشونده ای استفاده می کنند که توسط شبیه سازی کامپیوتری و برای یافتن پاسخ های کمتر از حد بهینه انجام می شود. برای حل مسائل طراحی، محققان می توانند از الگوریتم هایی استفاده کنند که با طی کردن تعداد مراحل مشخصی به پاسخ مساله برسند و یا از روشهای تکرار مبنا استفاده کنند که از طریق همگرایی به یک راه حل خاتمه یابند و یا از روش های اکتشافی بهره ببرند که به پاسخهای تقریبی می رسد ، الگوریتم های بهینه جز الگوریتم های تقریبی[18] می باشند . زمانی که یک مساله بهینه سازی مطرح می شود، قرار است که یک یا چند پارامتر بهینه شوند و بهترین مقادیر یا بهترین انتخاب ممکن برای آنها پیدا شود. برای یافتن پاسخی بهینه، باید ابتدا تعدادی پاسخ توسط الگوریتم بهینه سازی مورد نظر تولید شود. پس از تولید این پاسخها، از تابع هدف استفاده می شود تا مشخص شود که کدام یک از پاسخهای تولید شده، به پاسخ بهینه مورد نظر، نزدیک تر هستند. مسایل بهینه سازی از نظر تعداد توابع هدف و معیارهای بهینه سازی به دو نوع شامل مسایل بهینه سازی تک هدفه و مسایل بهینه سازی چندهدفه(مختص رشته معماری) تقسیم پذیر هستند. الگوریتمهای بهینه سازی را به صورت کلی می توان به روش های عمومی یا محلی، روشهای اکتشافی یا فرااکتشافی، روش های مشتق مبنا یا مستقل از مشتق، روش های جمعیت مبنا یا مسیر مبنا، روش های زیست مبنا و غیرزیست مبنا، الگوریتمهای تک هدفه یا چندهدفه و غیره طبقه بندی کرد. روش های زیادی برای استفاده از کامپیوترها به منظور بهینه کردن طراحی های مهندسی وجود دارد. تمام این روش ها اکتشافی هستند، به این معنی که رسیدن به مقدار بهینه واقعی را تضمین نمی کنند ولی روش های مناسبی را ارایه می دهند [۱۳]. الگوریتم های بهینه سازی در معماری به سه دسته الگوریتم تکاملی (فرا ابتکاری، الگوریتم های جستجوی و الگوریتم های تعاملی ترکیبی تقسیم می شوند.

۶-۱- الگوریتم تکاملی [19] (فرا ابتکاری[20])

زیر مجموعه حوضه مطالعات هوش مصنوعی [21] و محاسبات تکمیلی می باشد که این نمونه از الگوریتم بهینه سازی از زیست شناسی الهام گرفته شده است و بر روی مجموعه از پاسخ ها متمرکز است . این دسته از الگوریتم های بهینه سازی شامل الگوریتم های جست وجوگری هستندکه برای دریافت گزینه خوب از میان گزینه های مختلف انتخاب شده و با توجه به معیارها گزینه مطلوب انتخاب می شود. الگوریتمهای تکاملی از مکانیزم ها و عملیات ابتدایی برای حل مساله استفاده می کنند و طی یک سری از تکرارها به راه حل مناسب برای مساله می رسند. ابتدا تعدادی گزینه تصادفی تولید و از میان آنها خوب ها انتخاب می شود و مابقی حذف می شود سپس در نسل بعدی از میان خوب ها تولید و نسل بعد انتخاب می شود ، این کار آنقدر ادامه خواهد داشت تا تولید خوب به وجود آید. مانند نظریه داروین قوی ترین ها زنده می مانند . عوامل موثر بر این الگوریتم عبارتند از : تکنیک و نحوه تولید ، ملاک ارزیابی گزینه ها ، نحوه باز تولید گزینه ها و نحوه پذیرش گزینه مطلوب می باشد . الگوریتم های تکاملی به دو دسته **فرگشت** و **طبیعی (فرا ابتکاری)**تقسیم می شوند . الگوریتم های فرگشتی ، طبیعی و یا فرآ ابتکاری قادر هستند بدونِ دانستن مسئله، با ارائه‌ی یک راه حل عمومی مسئله را با سرعت و دقتِ معقولی حل کنند. در سال‌های اخیر الگوریتم‌های فرابتکاری جدیدی با توجه به موجودات زنده موجود در طبیعت و الهام از طبیعت توسعه داده شده‌اند .این الگوریتم ها که با استفاده از قانون بقای اصلح هربرت اسپنسر (داروین)، ضعیف ترین افراد آن جمعیت را حذف می کنند و باقی جمعیت را نگه می دارند. در عین حال از ابزارهایی برای جهش (اعمال تغییرات تصادفی) و تقاطع ترکیب عناصر موجود در پاسخ های متفاوت استفاده می کنند.

[18] approximate algorithms
[19] Evolutionary algorithms
[20] Metaheuristic
[21] Artificial Intelligence

انواع این الگوریتمها شامل الگوریتم های زیر می باشد.

- الگوریتم ژنتیک
- استراتژی های تکامل با تطبیق ماتریس کوواریانس
- بهینه سازی ازدحام ذرات[۲۲]
- الگوریتم کلونی مورچه ها[۲۳]
- الگوریتم تبرید شبیه سازی شده[۲۴] [۱۳]

در میان الگوریتم های فرگشتی، الگوریتم ژنتیک از بقیه محبوب تر می باشد.

الگوریتم ژنتیک[۲۵] سعی بر این دارد که مفهوم تکامل در طبیعت را در دنیای کامپیوتر شبیه سازی کند. اولین بار جان هالند اولین نمونه از این گونه الگوریتم ها را طراحی و ابداع کرد. در طبیعت، پدیده ها و ساز و کارهای جدید بر اساس نظریه تکامل به وجود می آیند و الگوریتم های ژنتیک هم با تقلید از همین روش برای بهینه سازی جواب مسئله ها از نظریه تکامل استفاده می کند[۱] .الگوریتم ژنتیک یکی از پر کاربرد ترین الگوریتم ها در روند طراحی می باشند و از آنجایی که شکل هندسی از مهمترین ویژگی های طراحی می باشد و عملکرد و هزینه با آن ارتباط دارد در نتیجه این الگوریتم در بهینه سازی به دنبال بهینه سازی شکل هندسی به کار می رود و قابلیت نمایش اشکال بر اساس پارامترهای مختلف به گونه های متفاوت می باشد . از آنجا که الگوریتم ژنتیک با استفاده از جمعیتی از پاسخ ها جستجو را انجام می دهد (به جـای یـک نقطه) احتمال این که جستجو در دام یک بهینه محلی گرفتار شود کاهش می یابد . الگوریتم ژنتیک شامل دو بخش می باشد ۱- تولید گزینه ۲- ارزیابی آنها می باشد . الگوریتم ژنتیک جستجو را با یک جمعیت نمونـه تصادفی آغاز می کند و سپس با استفاده از عملکردهای تصادفی و بر مبنای مقادیر تابع هدف بهینه سازی را دنبال می کند . این عملکردهای تصادفی که هم گذری , جهش و باز تولیـد متناسـب بـا شایستگی نامیده می شوند در حقیقت تلاشی برای مدل سازی فرآیند تولید مثل بر مبنای تئـوری انتخاب طبیعی داروین محسوب می شوند. هر پاسخ قابل قبول برای مسئله در الگوریتم ژنتیک یک فرد نامیده می شود و دسته ای از پاسخ ها که در هر مرحله وجود دارد را یک جمعیت می نامند . هر جمعیت جدید یک نسـل جدید محسوب می شود. حل با کمک الگوریتم ژنتیک با تولید یک جمعیت اولیه تصادفی از پاسخ هـای قـابل قبـول مسـئله آغاز می شود . این پاسخ ها ارزیابی شده و عملکردهای ژنتیکی به آنـها اعمـال مـی شـود . بـه ایـن ترتیب نسل جدیدی از پاسخ ها ساخته می شود که میانگین شایستگی آنـها از نسـل قبلـی بیشـتر است . بسته به پیچیدگی مسئله شرایط هم گرایی برای آن وضع می شود که با ارضای آنها الگوریتم متوقف می گردد [۱۴] .الگوریتمها به واسطه ی این چنین اثرگذاری بر روی «نسل های مختلف راه حل های طراحی، پرکاربردترین راه حل ها را خلق، ارزیابی و سپس انتخاب کرده و این راه حل ها سپس به واسطه ی یک فرآیند جهش ژنتیکی و جفت گیری، مشابه تکامل در دنیای طبیعی، توسعه میابند. این شیوه از مزایای فناوری پردازش محاسباتی، یعنی سرعت و دقت، استفاده کرده و با به کاربندی رایانه برای جستجوی «بهترین راه حل حاصل از مجموعه ای از محاسبات، آن را به شکلی از «گزینش طبیعی» اعمال می نماید. استفاده از پارادایمهای زیست شناختی به منظور تولید و تکامل ایده های طراحی اغلب به عنوان «مورفوجنسیس: منشأ خلق فرم» به آن اشاره می گردد[۹]. با ویژگی های ساختاری الگوریتم های ژنتیک به مسائلی مانند عملکرد سازه، مکانیکی، حرارتی و نورپردازی می پردازد که ارتباطات بیشتر معماری و دیگر متخصصان ساختمان است.

۶-۲- الگوریتم جستجوی[۲۶]

[22] PSO algorithm
[23] ACO algorithm
[24] SA algorithm
[25] GENETIC ALGORITHMS
[26] Search algorithm

گونه ای از الگوریتمهای بهینه سازی مشتق ناپذیر، روشهای جست وجوی مستقیم هستند. این الگوریتمها از قوانین اکتشافی و ابتکاری برای جست وجو در میان راه حل ها استفاده می کنند و نیاز دارند که تابع عملکرد، بدون تخمین مشتقات، به صورت پیوسته باشد. درواقع روش جست وجوی مستقیم، روش هایی را شامل می شود که مجموعه ای از جواب های آزمایشی را با هم مقایسه می کند تا بهترین جواب به دست آید. عموما این روشها کارآمد هستند ولی ممکن است در نقاط بهینه نسبی گیر کنند. این الگوریتم ها به اندازه روشهای مشتق پذیر موثر نیستند، اما تورکزون نشان داده است که معمولا برای توابع پرآشوب که در آنها مشتقات تحلیلی در دسترس نیستند و یا جایی که تقریبهای تفاضل محدود به شیب غیرقابل اعتماد هستند، قوی تر عمل می کنند که می توان به الگوریتم های جستجو زیر اشاره کرد :

- جستجوی لیست
- جستجوی درختی
- جستجوی گراف

ایزنهوور و همکاران در مطالعه خود از یک روش مشتق- آزاد برای بهینه سازی انرژی مدل های ساختمانی استفاده کرده اند که شامل الگوریتم جست وجوی مستقیم انطباقی مش است. در این پژوهش روشی برای بهینه سازی کل ساختمان از نظر انرژی ارایه شده است. اهمیت این موضوع در این است که زمانی که بحث بهینه سازی در مورد کل ساختمان مطرح می شود متغیرهای زیادی برای بررسی وجود دارند که سبب ناپیوستگی تابع هدف می شوند و تعداد پاسخ های محلی را بالا می برند. برای حل این مساله، این پژوهشگران از آنالیز حساسیت بهره برده اند. الگوریتم مورد استفاده، یک الگوریتم جست وجوی مستقیم با ویژگیهای همگرایی دقیق است که پس از شناسایی و اصلاح ناپیوستگیهای مدل شبیه سازی شده، بر روی یک متامدل جانشین کار می کند. به این روش ناپیوستگی در فضای جواب از بین می رود[۱۳].

الگوریتم مولد[۲۷]: الگوریتم هایی که توان تولید پاسخ طراحی با روش الگوریتمیک دارند را الگوریتم مولد گویند نحوه پر کردن مجموعه داده را مدل می کنند و توزیع های احتمالی را تخمین می زنند ، به عنوان مثال میتوان الگوریتم های موزاییک بندی[۲۸] یا تایل بندی نام برد که می توانند سطح یک فضای مشخص را به تقسیمات ریزی که مورد نظر است تقسیم کنند و عنصری تکرار شونده را بر روی آن تکثیر کنند و به نوعی سطح مورد نظر را موزاییک بندی نمایند. این الگوریتم ها در معماری سطوح منحنی که شکل اجزا تکثیر شونده به مرور تغییر می کند و تابع انحنا صفحات است، بسیار پر کاربرد هستند [۶].

۶-۳- روش های تعاملی [۲۹] - ترکیبی

از آنجایی که در ارزیابی و سنجش برخی از الگوریتم ها مرتبط با موضوعات هنری و معماری فقط بر اساس داده های عددی کار نمیکنند و نیازی به ارزیابی انسانی دارند الگوریتم تعاملی روشی را فراهم خواهد کرد به طوری که با ارزیابی گزینه ها با ملاک فردی و انسانی و عامل سلیقه در آن دخیل باشد و نگرانی زیبا شناختی را برطرف کند. این رویکرد محبوب در میان معماران می باشد ، که در آن بیش از یک الگوریتم در یک عملیات ترکیبی بهینه سازی استفاده می شود. فرآیند معمول در این رویکرد، این است که از یک الگوریتم جست وجوی سرتاسری برای یافتن راه حل نزدیک به بهینه استفاده می کنند و سپس این راه حل را به عنوان یک نقطه شروع، در بهینه ساز محلی به کار می برند .

۷- پیشرفت نرم افزارهای معماری در راستای فرآیند الگوریتمیک

زمانی که تولید انبوه خلاقیت بر مبنای فرآیند طراحی مطرح شد همگام با آن نیاز به ابزارها برای تحقیق این ایده به وجود آمد و روش های سنتی دیگر جوابگوی این فرآیند نبودند. اولین روش ها و تکنیک ها در دهه ۱۹۶۰ شامل اصول اولیه

[27] Generative Algorithms
[28] Panelling
[29] Interative Evolutionary Algorithms

دوبعدی و همچنین موجودیت های جدیدی مانند اسپی لاین[۳۰] بود. سپس این کار به وسیله وایرفریم ها و سطوح سه‌بعدی گسترش یافت. روش‌های گرافیکی جدید به نام ساترلند در سال ۱۹۶۳ همزمان با انتشار آن در پایانامه ساترلند منتشر شد. سپس مش های چند ضلعی در پایان دهه ۱۹۶۰ به کار گرفته شد. و بعد از آن روش هایی مانند سایه مسطح[۳۱] یا روش بهتر در سال ۱۹۷۱ به اسم سایه فونگ[۳۲] ایجاد شد . سطوح آزاد در طول دهه ۱۹۷۰ به طور گسترده توسعه یافت. پیشرفته‌ترین روشی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد نوربز[۳۳] می باشد که در اتوکد از طریق یک ماژول اضافی به اسم اتوسورف [۳۴]در نسخه ۱۳ گنجاند. مدل‌سازی جامد[۳۵] با استفاده از شکل اولیه جی .اس.ای [۳۶]نیز در آغاز دهه ۱۹۶۰ در آزمایشگاه‌های ایالات متحده به وجود آمد اما به صورت تجاری در اوایل دهه ۱۹۷۰ ظاهر شدند. اولین نسخه های تجاری رومولوس می باشد که توسط ایوانز و ساترلند در سال ۱۹۸۰ تجاری شد. در حال حاضر، اکثر سیستم‌هایی که مورداستفاده هستند دارای دو سیستم بی ریپز [۳۷]و جی اس ای به صورت ترکیبی می باشند . بی ریپز به عنوان پوسته‌ای که امکان نمایش چندگانه را فراهم می‌کند می باشد. این روشها مستلزم تعریف پارامترها برای تعریف یک فرم می باشند که در این موارد، فرم‌ها با ترکیب های اساسی ایجاد می‌شوند که پس از پر شدن یک الگوی اولیه، که شامل «پارامترهای مناسب» آن‌ها است در مدل درج می‌شوند. به عنوان مثال : یک حجم مشبک منشوری از طریق چهار پارامتر مکان، طول، عرض و ارتفاع در مدل وارد می‌شود. همچنین، در سیستم‌های کد کنونی، ابزارهایی وجود دارند که به ما اجازه می‌دهند تا تغییراتی را در مورد این موجودات اولیه انجام دهیم اما این ابزارها در عناصر پیچیده تر جوابگو نمی باشد . اما همچنان می‌توانیم از طریق برخی از زبان‌های برنامه‌نویسی مانند اتولیپس[۳۸]، رویه‌ای را به‌گونه‌ای تعریف کنیم که فقط روابط مشخص شده و ابعاد کافی فقط در لحظه درج در مدل تعریف شوند. این روش در حال حاضر طراحی الگوریتمیک در معنای تحت اللفظی و اساسی وجود دارد. که در زمان و حافظه کامپیوتر بسیار صرفه جویی میکند. حال اگر بعد از درج عنصری بخواهیم آن را تغییر دهیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ اینجاست که طراحی الگوریتمیک، به روشی امیدوارکننده آغاز می شود[۱۵]. با پیشرفت تکنولوژی نسل های جدید کد قابلیت کنترل پارامترهای مختلف از جمله فرم ، شکل ، تنش ، گرما ، نور و ... را داشته اند. نرم افزارها پس از فراهم سازی روشهای پایه طراحی و ترسیم، اقدام به تولید پارامترهای متعدد کنترل کننده طرح نمودند پارامترها امکان کنترل پارامترهای تنش، بار وارده، گرما، نور و سایه، تهویه و باد و ... را نیز فراهم کرده اند. با تعریف این پارامترها در فضای دیجیتال کنترلهای متعددی بر طرح اعمال می شود و طراحی در این فضای متاثر از پارامترهای تعریف شده صورت می گیرد[۷].

۷-۱- نرم افزار های پر کاربرد در طراحی الگوریتمیک

الگوریتم ها در کنار تلاش برنامه نویسان در تهیه دستورات مقداری و گسترش آنها به منظور راحتی کاربران، هم چنان بسیاری از خواسته های کاربران از برنامه بدون پاسخ می ماند و استفاده از روش های غیر مقداری نیز مستلزم صرف زمان بسیار بوده، و اغلب انعطاف پذیری لازم را ندارند. بنابراین، این نیاز به وجود آمد که فضایی جهت کاربران فراهم آید تا خود به تعریف الگوریتم های دلخواهشان بپردازند. در ابتدا بخش هایی جهت وارد کردن کدهای متنی در برنامه ها تعریف شد، مانند اتولیسپ در اتوکد و مکس اسکریپت در تری دی مکس و مل اسکریپت در مایا. برنامه نویسی به شیوه متنی مورد علاقه عموم کاربران نیست و خطوط بی پایان کد ها، دستورات سخت و نا آشنا سبب گریز طراحان می شود. در این زمان برنامه نویسی به

[30] Spline
[31] Gouraud shading
[32] Phong shadin
[33] non-uniform rational b-splines.NURBS
[34] AutoSurf
[35] Solid modeling
[36] CSG
[37] B-Reps
[38] AutoLisp

کمک دیاگرام های گرافیکی به یاری طراحان آمد. افزونه گرس هوپر با تبدیل دستورات به آیکون ها و دکمه هایی که به کمک سیم های مجازی به هم متصل می شوند، فضایی هماهنگ تر با روحیه کاربران نرم افزارهای کمک طراحی فراهم آوردند[۱۳].دو دسته از نرم افزارهای اصلی در طراحی الگوریتمیک شامل پلاگین گراس هاپر و پروسسینگ می باشد . پلاگین **گراس هاپر**[۳۹] به عنوان یک پلاگین در نرم افزار راینو[۴۰] می باشد. پلاگین گرس هاپر به منظور آسان کردن (راینو اسکریپت[۴۱] برنامه نویسی در راینو) و کاهش دادن سختی آموزش برنامه نویسی به معماران توسعه یافته است. گرس‌هاپر به طور عمده برای ایجاد الگوریتم‌های مولد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از اجزای گرس‌هاپر هندسه‌های دو بعدی و سه بعدی ایجاد می‌کنند. بعضی از انها انواع دیگری از الگوریتم‌ها از جمله عددی، متنی، صوتی و تصویری و برنامه‌های کاربردی لمسی را ایجاد می‌کنند. محیط گرس‌هاپر راهی مستقیم را برای طراحی بدون نیاز به یادگیری به اسکریپت فراهم می‌کند [۱۶]. با انتشار نرم افزار گراس هاپر ، نمایش مفهومی حاوی الگوریتم ها را می توان از طریق وی .دی.پی.ال[۴۲] اختصاص داده شده به مدل سازی سه بعدی به دست آورد. مقدار انتزاع بین وی .دی.پی.ال و زبان ماشین به قدری می باشد که به غیر برنامه نویسان اجازه می دهد تا مدل های سه بعدی پارامتریک پیچیده را پیاده سازی کنند. [۱۸]. **پروسسینگ**[۴۳] نرم افزاری دارای زبان برنامه‌نویسی متن باز[۴۴] می باشد که برای طراحی هنرهای الکترونیکی، هنرهای رسانه‌ای جدید و طراحی بصری کاربرد خواهد داشت و هدف آن آموزش اصول برنامه‌نویسی کامپیوتر به برنامه‌نویس‌های غیر حرفه‌ای در قالب مفاهیم بصری می باشد. این نرم افزار در سال ۲۰۰۱ جهت پردازش تصویرهای تجسمی عرضه شد و در حال حاضر ده ها هزار نفر برای طراحی محیط گرافیکی و نمونه سازی بدون دانش تخصصی از آن استفاده میکنند. کار با این برنامه به قدری آسان است که می توان با کمترین میزان کد نویسی می توان فرآیند ها و تصاویر خلاق ایجاد کرد . نرم افزار پروسسینگ در بسیاری از پروژه‌های مهندسی از جمله مهندس برق و سخت‌افزار آردینو[۴۵] کاربرد دارد.

۸- خصوصیات مشترک محصولات الگوریتمیک

طراحی پارامتریک منجر به ایجاد یک شکل کلی می شود که می تواند در طول این فرآیند دگرگون شود از طرفی میان شکل و رفتار، یک رابطه دوطرفه وجود دارد، زیرا آنها به هم وابسته هستند و به منظور ایجاد نظام های پویا و غیرخطی، همزیستی دارند. این جوانب برای معماران بسیار جالب می باشند، زیرا مورفوجنسیس می تواند به ظهور طرح های نظری ای که به بررسی سناریوهای ممکن در ارتباط با ایجاد تنوع در خلق اجزا و تعداد اتصالات میان آنها می پردازند، کمک کند. گرچه این امر ممکن است گیج کننده به نظر برسد در واقع دارای ساختار قوانینی ساده و تکراری است که باهم تعامل دارند.با مشاهده رفتار یک گروه مورچه یا یک دسته از پرندگان می تواند فهم این مسئله را ساده نماید. در هردوی این موارد، هیچ هوش برتری نیست که هدایتگر نظام کلی باشد؛ بلکه تنها مجموعه ای از روابط محلی و مجاور وجود دارد که به هم واکنش نشان داده و این تعاملات را به نظام کلی انتقال می دهد. این نوع از رویکرد ترکیبی، قابلیت استفاده را افزایش می دهد که به واسطه ی آن ما می توانیم طرحها را مشخص کرده، مورد پژوهش قرار داده و در نهایت ساخته شود[۹]. با بررسی های نمونه های موردی می توان به خصوصیاتی از جمله موارد زیر برای طراحی الگوریتمیک قایل شد :

- استفاده از نرم افزارهای الگوریتمیک در طراحی و ساخت[۴۶] : طراحی به واسطه کامپیوتر تولید و فرآیند ساخت فرم ها ساده سازی شده و سپس در کارخانه تولید می شود و در انتها در محل ساخت نصب می شود .

---

39 Grasshopper
40 Rhino
41 Rhinoscript
42 VDPL =visual dataflow programming language
43 Processing
44 Open Source
45 Arduino
46 CAD –CAM

- سیال - نرم[۴۷]: احجام و فرم های نرم و خطوط سیال از ویژگی این معماری می باشد[۶] .
- پارامتر محور : پارامتر زیست محیطی ، بومی ، انسانی ، شکلی ، فرمی ،اقلیمی
- بکارگیری بافت در مقیاس های مختلف به عنوان تزیینات و ساختار اصلی: در طراحی شاهد بکارگیری یک بافت در مقاس های مختلف خواهیم بود که گاهی در پوسته به عنوان تزیینات و گاهی به عنوان ساختار اصلی و یا سازه به کار می رود.
- الگو مینمالیست تکرار شونده : در بسیاری از پروژه ها الگوهای تکرار شونده نقشه ، بافت ، عکس در پوسته نما داخلی و خارجی دیده می شود و این الگو ها به عنوان اجزا تکرار شونده در ساخت سطوح موثر هستند.
- دارای پیچیدگی ذاتی همراه تغییرات تدریجی در پوسته : تغییرات تدریجی در اجزا طراحی به همراه پیچیدگی ذاتی منظم طوری می باشد که پوسته از حالتی به حالت دیگر تغییر کرده.

۹- ساختار طراحی به روش الگوریتمیک(اف.بی.اس)[۴۸]

طراحی به کمک روشهای الگوریتمیک در عین داشتن مزیت های بسیار دارای دشواریی هایی نیز می باشد .. به همین دلیل تعریف راه حل هایی کاربردی در این زمینه می تواند برای طراحان مفید باشد. جیرو چهارچوبی تحت عنوان اف . بی. اس را در طراحی معرفی می نماید که به شکل های گوناگون در طراحی های دیجیتال به کار گرفته می شوند. این چهارچوب در حقیقت تعریف مدل سه بعدی مقداری شامل اهداف ، ابزار و اجزا می باشد.

انتخاب روش مواجهه با مسئله طراحی : در آغاز برخورد با مسئله طراحی، پیش از هر چیز لازم است تا طراح مسیر پیش روی، دستاوردها و هزینه های استفاده از این روش ها را در نظر بگیرد چرا که ممکن است طراحی به روش های متعارف کم هزینه تر باشد. پیش از هر چیز نیاز داریم تا با مطالعه موضوع طراحی و تهیه ایده های اولیه روش کار خود را انتخاب کنیم.

طراحی مسیر : پس از انتخاب زمینه کلی طرح و نرم افزارهای مناسب آن نوبت به برنامه ریزی مسیر طراحی می باشد. تعریف یک نقشه کار در پیمودن مسیر طراحی بسیار موثر است است. چرا که هنگامی که درگیر دستورات و قیود پیچیده در هم هستیم همواره خواهیم دانست که هر لحظه از طراحی در کجای مسیر هستیم و چشم انداز پیش رویمان چیست . به این منظور لازم است تا کل طرح را به ریز طرحهایی تقسیم کنیم که هر کدام جداگانه قابل مدل کردن بوده و خود به عنوان یک مدل مستقل کارایی داشته باشد . پس در انتهای طراحی از کنار هم قرار گرفتن آن ها و پیوستنشان به هم سیستم کلی طرح آماده خواهد بود .

سنجش مدل : مهمترین مرحله طراحی مقداری سنجش مدل تهیه شده است. در تهیه هر ریز مدل و یا مدل طراحی بسیار احتمال دارد که سیستم طراحی شده ناکارآمد باشد. بیش از اندازه مقید کردن مدل، داده های ناکافی، الگوریتم نویسی ناصحیح و از همه مهمتر انتخاب مسیر نادرست که منجر به تهیه مدلی با صفر تعداد پاسخ درست میشود. همچنین مدلی که تعداد نامحدود و یا تعداد زیادی پاسخ صحیح به دست میدهد و امکان بررسی را از طراح سلب می کند نیز مدل مناسبی نیست. تهیه مدلی با درجه آزادی[۴۹] مناسب در طراحی بسیار اهمیت دارد. تا حد امکان باید از مدل هایی که تنها یک پاسخ صحیح دارند نیز احتراز کرد. چرا که یکی از نکاتی که روشهای مقداری را به روشی موثر در طراحی تبدیل می کند ایجاد فضای کاوش بین پاسخ های متعدد برای یک مسئله طراحی است که به طراح اجازه میدهد که بین آنها جست و جو کرده و پاسخ مناسب تر را انتخاب کند[۱۶].

[47] Fluidity –Smoothness
[48] FBS
[49] Degree Of Freedom-DOF

۱۰- مزایا و معایب فرآیند الگوریتمیک

طراحی الگوریتمیک نیز مانند تمامی ابزار طراحی جوانبی مثبت و منفی دارد. مزیت اولیه دوگانه می باشد زمانی که روابط تعیین می شوند و یک نظام می تواند به صورت مستقل در قالب پارامترهایش عمل کرده و راه حلهای جدیدی را مطالعه کند که شاید برای طراح مشخص نباشند؛ و از آنجایی که طرح همیشه با این پارامترها سازگار است، طراح فرصت بیشتری دارد تا طرح ها را بدون کار دوباره و پرزمان بررسی نماید. . نکته دیگر نیاز به یادگیری مهارتهای جدید در طراحی الگوریتمیک است. آشنایی با علوم رایانه ای، الگوریتم نویسی و گرافیک رایانه به طراحان امکان میدهد که بتوانند از این روشها به گونه ای خلاقانه بهره ببرند. این موضوع هم از مشکلات روشهای مقداری شمرده می شود که پرداختن به آن را با دشواری رو به رو می کند و هم از دیگر سو می تواند پاسخگوی بسیاری از مسائل طراحی که معماران با آن مواجهند باشد. از جمله ویژگی هایی که روشهای مقداری را به روشی عمومی تبدیل می کند رویکردهای گوناگون آن به مسئله طراحی است که هر معمار را در جایگاه انتخاب بین رویکردهای فنی یا هنری تر سازگار با توانمندیها و علاقمندی های خود قرار میدهد. همان طور که رابرت وودبری در «عناصر طراحی پارامتریک» توضیح می دهد: «طراحی پارامتریک مبتنی بر تعیین روابط و تمایل طراح به در نظر گرفتن این مسئله است که فاز تعیین روابط به عنوان بخشی ادغامی در یک فرآیند طراحی گسترده تر است. یکی از مشخصه های کلیدی طراحی پارامتریک توانایی آن در توصیف طرح در قالب مجموعه ای از روابط می باشد که ممکن است برای تغییر نسخه های آتی به کار رود که این امکان را ایجاد می کند تا انتخاب های متعددی در قالب مقادیر مشخص شده توسط طراح، تولید شوند[۱۹]. وقتی شرایطی پیچیده وجود داشته باشد در نتیجه پارامترها زیاد هستند، در این مواقع طراحی پارامتریک بسیار مفید است، زیرا کاربر می تواند تمامی جوانب مختلف را در قالب یک پایگاه دادهی بزرگ ادغام کرده و متناسب آنها را اصلاح نماید. در پروژه های طراحی ساده، مزیت استفاده فرآیند الگوریتمیک چندان محسوس نیست، زیرا به لحاظ زمانی بهینه نمی باشد. یکی دیگر از دلایل جذابیت های روش های الگوریتمیک برای طراحان ویژگی طرح به ساخت آن است. به عبارت دیگر طراحی مقداری و ساخت دیجیتالی دو روی یک فعالیت شمرده شوند. البته نبایست فراموش کرد که همچنان این روش ها در پروژه های بزرگ و با طرح هایی با فرم های پیچیده کاربرد بیشتری دارند. از دیگر مواردی که می توان به اثر الگوریتم در طراحی معاصر به آن اشاره کرد بهینه سازی می باشد ، نقطه اوج و اهمیت چرخه های تکراری طراحی ، تحلیل و تولید گزینه های اصلاح شده که خود را به صورت یک فرآیند طراحی نشان میدهد . در یک فرآیند بهینه سازی طراحی دیگر هدف یک طرح مطلوب نیست بلکه انتخاب بهترین گزین از میان مجموعه ای از طراحی های مطلوب می باشد . در این فرآیند در هر مرحله گزینه های مطلوب انتخاب ، اصلاح و به گزینه مطلوب دیگری تبدیل می شود . به زبان ساده تر در یک فرآیند می توانیم مجموعه ای از جواب های مطلوب را برای یک سوال بدست آوریم [۱].پیش از به کاربندی فناوری های دیجیتال ، فرآیندهای ساخت و سرهم بندی در معماری عمدتاً هندسهای ساده داشتند زیرا پیچیدگی هندسی و تنوع معمولا منجر به افزایش نجومی هزینه ها می گشتند. این وضعیت با استفاده از شیوه های تولید دیجیتال دگرگون شد به طوری که تعدد و پیچیدگی طراحی عناصر هیچ رابطه ای با اقتصاد یا کارآمدی تولید ندارد به جای تولید انبوه به سمت ساخت عناصر منحصر به فرد و بسیار متنوع و مفهوم «انبوه سازی سفارشی» شده است که به واسطه ی آن برای یک ماشین تولید ۱۰۰۰ شیء منحصربه فرد همان اندازه ساده و مقرون به صرف تولید ۱۰۰۰ شیء یکسان [۹].

۱۰- میزان کاربرد فرآیند الگوریتمیک در پروژه های سال معماری معاصر

برای درک بهتر جایگاه معماری الگوریتمیک به بررسی پروژه های منتخب ۲۰۲۲ می پردازیم. هر ساله حدود ۴۰۰۰ پروژه در سایت ارک دیلی[۵۰] با استاندارد بین المللی منتشر می شود . که از این میان ، ۱۰۰ پروژه تاثیر گذار روزانه رتبه بندی میشوند . جدول ۱ ، صد پروژه منتخب می باشد . ، در این بررسی پروژه های که دارای شرایط طراحی الگوریتمیک می باشند

[50] ArchDaily۱۳

را از میان پروژه های منتخب انتخاب کرده و سپس درصد نفوذ پذیری فرآیند الگوریتمیک را در معماری معاصر بدست آورده می شود(پروژه های قابل قبول با رنگ آبی در جدول مشخص می شوند) .

جدول ۱ ، لیست ۴۰ عددی پروژه های منتخب تا سال ۲۰۲۲ ارکدیلی، [۲۰]

	پروژه و استودیو معماری		پروژه و استودیو معماری		پروژه و استودیو معماری
۱	خانه ای در چو دوک- معماران نیشیزاوا	۳۵	خانه آجری - پارادایم معماری	۶۹	اقامت در کولارس-معماران فردریکو والساسینا
۲	کازا مزتیلا- ای.دی .ای.ای	۳۶	خانه در هوا - تی دی ای	۷۰	سیتی لایف -معماران زاها حدید
۳	کتابخانه تیانجی - م.وی.ار.دی.وی طراحی شهری تیانجین	۳۷	ویلا دره – قوس ها	۷۱	دفتر مرکزی نایک در نیویورک- ویسدیا – معماری استودیو
۴	مسکن میکرو سونگپا- اس.اس.دی	۳۸	خوابگاه سیکاسا - معماران تاک	۷۲	ساحل وحشی – معماران فگر
۵	خانه در شیب- معمار جیان سالیس	۳۹	روی و دیانا واگلوس - دیلر اسکوفیدیو	۷۳	خانه مرغ- تروپیکال اسپیس
۶	خانه روستایی - معماران آر سی آر	۴۰	خانه کریشنان - همکاران خسلا	۷۴	کاپیلا سن برناردو- نیکلاس کامپودونیکو
۷	کودا - کوداسما	۴۱	خانه اچ ۳ - لوسیانو کروک	۷۵	آپارتمان مهمانی -نقیم +داو تهانها
۸	ویلا آفتابپرست- معماری دهان به دهان	۴۲	خانه تعطیلات کوچک کریسکولاریس	۷۶	مسکن سوناتا -پروژه های آرکام
۹	بازسازی خانه تراس-آتلیه طراحی اُ۲	۴۳	خانه هیکاری - همکاران پرانالا	۷۷	ویا ۵۷- بیگ
۱۰	خانه تانگ - معماران نیشیزاوا	۴۴	موزه هنر موژین – معماری اُلی پی. ال .ال. سی	۷۸	خانه کائوکاسو – جی جی آر
۱۱	بی اف - استودیو موازی ۸۱	۴۵	خانه دو پرتو - یوری ویتال	۷۹	خانه وابی - تادائو آندو
۱۲	خانه پیتر- استودیو دیوید ثلستراپ	۴۶	خانه قابل گسترش- سیستم های روستایی شهری	۸۰	عقب نشینی تسینگپو یانگ ژو- دفتر طراحی و تحقیقات نری اند هو
۱۳	زیر (رستوران زیر آب) - اسنوهتا	۴۷	اقامتگاه درکارمل – معماری ساگان پیچوتا	۸۱	اقامتگاه یوکوچی استودیوی معماران کیدوساکی
۱۴	خانه ان - استودیو جی ام .آ.آر.کیو	۴۸	خانه بین – معماران و-تی-ان	۸۲	پنج تراس و یک باغ -آتلیه کورپو
۱۵	ایستگاه ناپولی - معماران زاها حدید	۴۹	ویلا ۹۱۱- طراحی واکو	۸۳	موسسه علم و فناوری اسکولکوو هرتزوگ و دی مورون
۱۶	استودیو لفت - گاسپاربونتا	۵۰	تینکر باکس – استودیو معمار ام ام	۸۴	خانه لا کویمرا -روکا پرویکتورز
۱۷	آپارتمان ۲۲ متری - طراحی کوچک	۵۱	نیوبرگ رزیدنس-معماران کاتلر اندرسون	۸۵	مرکز مطالعات و تحقیقات نفت ملک عبدالله -معماران زاها حدید
۱۸	بیگوود - اولسون کوندیگ	۵۲	مسکونی با نمای آبشار-معماری سیتلیس	۸۶	خانه جنگل – استودیو ام کی ۲۷
۱۹	خانه اس اس تری - سهشان دیزاین	۵۳	خانه باز- استودیو نیشیتا کامدار	۸۷	اقامتگاه تسلیمی - معماران فلیت وود فرناندز
۲۰	دیبا - معماران طراحی اسپاسم	۵۴	خانه بورگینویل ۲- سولانژ کالیو	۸۸	سوری بالی – معماران اسکدا
۲۱	پشت خانه روستایی - ای.تی.دی	۵۵	خانه های کریستالی– ام وی ار دی	۸۹	خانه ای برای هرمس معماران اندرو سیمپسون
۲۲	تلاش - معماران استروم	۵۶	دو خانه در نیچادا - معماران کیمیاگر	۹۰	خانه اچ -فیلیپه اسدی آرکیتکتوس
۲۳	ویلای چهار برگ - کیاس	۵۷	بازسازی اسکوبار- استودیوسوچارت	۹۱	خانه ۷*۷ - معماران ایز

۲۴	خانه کیت - معماری بوئر	۵۸	خانه در یک خانه -معماران جهانی	۹۲	خان مرمر- معماران اوپنباکس
۲۵	خانه حیاط - معماری اوهاوس	۵۹	خانه میپیبو- معماران ترا و توما	۹۳	خانه کوبرادا – یو ان ارکیتکترا
۲۶	خانه زن - اچ.آ	۶۰	خانه پیرجا- استودیو بی ار ای	۹۴	خونه عمو - آتلیه ۳
۲۷	خانه جهنده - ای.اچ .ال معماران	۶۱	این یک باغ است- دستیار	۹۵	تراس های بیروت هرتزوگ و دی مورون
۲۸	خانه برهنه - کارگاه سبک معماری	۶۲	خانه موقعیت راک-پترسونز	۹۶	انرژی زندگی – گروه ام
۲۹	بندر آنتورپ - معماران زاها حدید	۶۳	کابین در لانگ برانچ-اولسونکوندیگ	۹۷	خانه پرواز – معماران اروجخیم
۳۰	خانه با گابیون - طراحی اسپاسم	۶۴	آپارتمان در کیف - آلنا یودینا	۹۸	جعبه ای در مبدل معماران واهانا
۳۱	خانه پیانو - معماران خط	۶۵	مزون تی –معماران نغیا	۹۹	گلید – معماران دلم
۳۲	خانه باغ های مخفی طراحی اسپاسم	۶۶	خانه بدون مالک شماره- ان ۰۱	۱۰۰	خانه در نهاترانگ – معماران ویتن
۳۳	خانه کلاژ – معماران .اس+پی اس	۶۷	دفتر ۹جی ای جی –معماران لاب		
۳۴	خانه بائومارو - آتلیه ریولدورنگ	۶۸	ویلا مدرن روستایی- ماسآرشیتکتن		

۱۱-نتیجه گیری

تاثیرات الگوریتم ها در ساختار طراحی معماری معاصردارای مزایا و معایبی می باشد که با توجه به بکارگیری نرم افزارها الگوریتم محور دارای مزایایی همچون : ۱-انتخاب مدل بهینه از میان مجموعه مدل های طراحی۲ -تحلیل چند پارامترهای پیچیده در زمان اندک۳-افزایش دقت و سرعت در فرآیند رفت و برگشت های طراحی ۴-گسترش فضای کاوش بین رشته ای برای طرح ۵-وابستگی فرآیند طراحی و ساخت ۶-امکان شبیه سازی و بررسی طرح پیش از ساخت ۷- امکان ساخت طرحهای پیچیده ۸-قابلیت انبوه سازی سفارشی ۹- تبدیل دفاتر کوچک معماری به کارخانه های تولید ایده. بخش اعظم مزایای الگوریتم ها به واسطه انطباق پذیری و گستردگی الگوریتم های معماری و بهینه بودن آنها دانست ، دسته بندی سه گانه الگوریتم ها (تکاملی ،جستجوی و تعاملی_ترکیبی) این امکان را به فرآیند های طراحی خواهد داد که جوابگوی طیف گسترده ای از نیازهای طراحی باشند. از طرفی کاربرد الگوریتم ها در معماری دارای معایبی همچون:۱-وابستگی به فرآیند دیجیتال و نرم افزارهای تخصصی در طراحی و ساخت۲-دشواری یادگیری نرم افزار و تفکر طراحی ۳- وابسته بودم به شناخت الگوریتم ها و فرمول های ریاضیات ۴-مقرون به صرفه نبودن استفاده از این روش در پروژه های ساده به دلیل صرف زمان ۵-هزینه اجرای بالا به علت پیچیدگی اجرا و نیروی کار متخصص.

در انتها با توجه به شاخصه های ۶ گانه (استفاده از نرم افزارهای الگوریتمیک در طراحی و ساخت ، سیال_نرم ، پارامتر محور ، بکارگیری بافت در مقیاس های مختلف به عنوان تزیینات و ساختار اصلی، الگو مینمالیست تکرارشونده، دارای پیچیدگی ذاتی همراه تغییرات تدریجی در پوسته) به بررسی جدول شماره ۱ (جامعه آماری ۱۰۰ عددی پروژه منتخب معماری تا سال ۲۰۲۲ سایت ارک دیلی) پرداخته می شود که از این میان ۱۹ پروژه الگوریتمیک انتخاب می شود . این تعداد حدود ۱۹ ٪ پروژه های مطرح می باشد که نشان دهنده میزان نفوذ یک پنجمی الگوریتم ها در معماری معاصر می باشد . این میزان نفوذ با توجه به توانایی الگوریتم ها کم می باشدکه علت آنرا می توان سختی کار با نرم افزارهای الگوریتمیک و فقدان دانش و تفکر روش های الگوریتمیک دانست . حال اگر نرم افزارهای کنونی دارای رابط کاربری ساده و یا به صورت یک دستیار معمار در کنار روشهای سنتی بتوانند فعالیت کنند می توان شاهد نفوذ بیشتری از طراحی های الگوریتمیک در جامعه جهانی معماری باشیم .

مراجع

[۱] گلابچی، محمود، اندجی گرمارودی، علی ، باستانی، حسین، معماری دیجیتال،۱۳۹۱، انتشارات دانشگاه تهران.
[2] Branco , Renata Alves Castelo , Integrated Algorithmic Design ,2017,Tecnico Lisboa

[۳] عباسی، زهرا ، الگوریتم های کامپیوتری در معماری دیجیتال ، ۱۳۸۹، ماهنامه بین المللی راه و ساختمان.
[۴] تقدیری، علیرضا، معماری تکنولوژیک، ۱۳۸۸ ، انتشارات سیمای دانش.
[۵] رفالیان،غزل،مهدوی نژاد، محمدجواد، معماری الگوریتمی داده نگاری و روش های پیشرفته برنامه دهی مقداری در فرآیند طراحی معماری معاصر ،۱۳۹۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
[۶] خبازی، زوبین ،پارادایم معماری الگوریتمیک-مشهد،۱۳۹۱، کتابکده کسری.
[۷] خبازی، زوبین، فرایندهای طراحی دیجیتال،۱۳۹۳ ، کتابکده کسری.
[8] De Berg (M.T.), Van Kreveld ,Marc, Overmars ,Mark, Schwarzkopf ,Otfried, Computational Geometry Algorithms and Applications,2008 ,Publisher Springer
[۹] دان، نیک، نوری، گلناز ، دیجیتال فبریکیشن روش های پیشرفته طراحی و ساخت در معماری، ۱۳۹۷، کتاب فکر نو
[10] Hensel, Michael , Menges, Achim ,Morpho ecologies, 2006 ,AA Publisher
[۱۱] خسروی دهکردی، امیرعلی ، قدسی، محمد ، مقاله مدلسازی الگوریتم Dewall برای مثلث دلانی،۱۳۸۴، دانشگاه صنعتی شریف مهندسی کامپیوتر.
[12] Piller ،Frank , Mass Customisation and Personalisation in Architecture and Construction,2013 ، Online Publication by Routledge
[۱۳] پیله چی ، ایمان ، روش ها و الگوریتم های بهینه سازی در طراحی معماری و شهرسازی ، راهکارهای ریاضی پایه ،۲۰۲۰ ، موسسه آموزش عالی کوثر .
[۱۴] سعیدی، محمدحسن، شهرآئینی ، ابراهیم ، بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک،۱۳۸۱ ،دانشگاه صنعتی شریف.
[15] Monedero , Javier,Parametric design: a review and some experiences,2006, Elsevier Science B.V.
[۱۶] مهدوی نژاد، محمد جواد ، معماری الگوریتمی داده نگاری و روش های پیشرفته برنامه دهی مقداری در فرآیند طراحی معماری معاصر،۱۳۹۳ ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
[17] www.grasshopper3d.com
[18] Gallas , Mohamed-Anis, Jacquot, , Kevin, Jancart, Sylvie, Delvaux ,Frederic , Parametric Modeling: An Advanced Design Process for Architectural,2020, HAL Id
[۱۹] پیکون ، آنتوان ، خیاط پور نجیب ، مرتضی ،فرهنگ دیجیتال در معماری ، ۱۳۹۲ ، پرهام نقش .
[20] https://www.archdaily.com/tag/top100/