



## اصول زیست‌شناسی شکل‌گیری پدیده‌ها: الگوبرداری از طبیعت در فرایند فرم معماری

یاشار قراچمنی اصل<sup>۱</sup>، محمد بهاروند<sup>۲</sup> \* سحر طوفان<sup>۳</sup> ID

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه معماری، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. yashargharachamani@yahoo.com

<sup>۲</sup> (نویسنده مسئول) استادیار گروه معماری، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. baharvand12@gmail.com

<sup>۳</sup> استادیار گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. sahar.toofan@iaut.ac.ir

### چکیده

ظهور نظریات و روش‌های رایانشی نوین برگرفته از سیستم‌های زیست‌شناختی، در طی چند دهه اخیر، تعمیق در اصول و قواعد فرآیند تولید فرم را امکان‌پذیر کرده است. فرآیند الگوبرداری و الگوسازی، امروزه فراتر از حوزه شکلی بوده و مجموع دانشی که در نحوه شکل‌گیری اجزاء زیستی وجود دارد به حوزه ارزشمند برای تولید الگو تبدیل شده است. چنین الگوبرداری نوینی از طبیعت، در مسیری تحت عنوان طراحی الگوریتمیک یعنی خدمت گرفتن رایانش به عنوان ساختار اصلی فعالیت‌های رایانه، از طریق الگوریتم‌ها و کدها و برنامه‌ها، معادل آنچه در طبیعت به‌عنوان ژنوم شناخته شده است میسر می‌گردد. در این پژوهش هدف عمده بر روی ارائه چارچوبی مشخص و روشی نظام‌مند از نقش سیستم‌های زایشی در تولید فرآیندی فرم معماری می‌باشد. برای این منظور با استفاده از روش توصیفی - تحلیلی به استناد تحقیقات کتابخانه‌ای، به مطالعه، دسته‌بندی و توصیف ویژگی‌ها و مکانیسم سیستم‌های زایشی و مقایسه توانمندی هریک از آنها در تولید فرم پرداخته شده است نتیجه اینکه سیستم‌های زایشی با الهام از اصول زیست‌شناختی شکل‌گیری پدیده‌ها، در مسیر الگوریتمیک، نقش عمده‌ای در تولید فرآیندی فرم معماری، می‌تواند داشته باشد.

### اهداف پژوهش:

۱. مطالعه مکانیسم‌های سیستم‌های زایشی.

۲. بررسی نقش سیستم‌های الگوریتمیک در فرایند تولید فرم معماری.

### سوالات پژوهش:

۱. سیستم‌های زایشی چه مختصاتی دارند؟
۲. چگونه می‌توان از سیستم‌های زایشی در فرایند تولید فرم معماری استفاده کرد؟

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره ۴۵

دوره ۱۹

صفحه ۵۱۹ الی ۵۳۸

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۶/۰۷

تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

### کلمات کلیدی

فرایند تولید فرم،  
سیستم‌های زایشی،  
رایانش،  
الگوریتم.

### ارجاع به این مقاله

قراچمنی اصل، یاشار، بهاروند، محمد، طوفان، سحر. (۱۴۰۱). اصول زیست‌شناسی شکل‌گیری پدیده‌ها: الگوبرداری از طبیعت در فرآیند فرم معماری. مطالعات هنر اسلامی، ۱۹(۴۵)، ۵۱۹-۵۳۸.



[dori.net/dor/20.1001.1  
1735708.1401.19.45.137](https://doi.org/10.22034/IAS.1735708.1401.19.45.137)



[dx.doi.org/10.22034/IAS  
1735708.1401.19.45.137](https://doi.org/10.22034/IAS.1735708.1401.19.45.137)

\*\*این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول در رشته معماری با عنوان «همگرایی تکنولوژی و طبیعت در معماری هزاره سوم (بازشناسی الگوهای شکل‌گیری پدیده‌های طبیعی در معماری بیودিজیتال)» است، که به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم، در دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، در حال انجام است.

## مقدمه

در قرن اخیر، نظریه‌ها و روش‌های رایانشی بسیاری همچون ماشین سلولی خود کار و ال سیستم‌ها که از فرآیند شکل‌گیری پدیده‌های زیستی الهام گرفته شده‌اند، مطرح گردیده است. این در حالیست که تا کنون روش‌های حاکم بر خلق فرم معماری بیشتر شکلی و ظاهری بوده، اگر هم تعمیقی صورت پذیرفته است، تنها به شکل یک نظریه باقی مانده است و پا به حیطة فراتر نهاده است. شاید بتوان دلیل آن را انتخاب سطحی موضوعات پیچیده و غیر قابل احاطه به لحاظ ضعف در زمینه‌های علمی و یا نبود امکانات فنی برای اجرا دانست (تراز، ۱۳۹۱). حال با توجه به تحولات فنی و علمی چند دهه اخیر حوزه‌های علمی، مشارکت خود را با معماری افزایش داده‌اند. زیست‌شناسی یکی از این حوزه‌های مطرح، می‌باشد. با درک محدوده علمی و حرکت انتقالی از حوزه دانش زیست‌شناختی به معماری می‌توان راه را برای درک لایه‌های عمیقی همچون نحوه شکل‌گیری و رشد و توسعه آنها به جای تقلید در سطوح اولیه فرمی و مکانیکی ارگانیسم‌ها گشود (کابلی و خندان، ۱۳۹۴: ۳۰). کریستوفر الکساندر<sup>۱</sup> می‌گوید بدون درک از الگوها، انسان در مواجهه با دامنه وسیعی از شرایط مختلف، در بکارگیری امکانات موفق نمی‌باشد (قارونی، ۱۳۹۴: ۲۴). از طرفی مطالعه و برنامه‌نویسی این الگوها در ابزار دیجیتال باعث شده تا بتوان الگوهای مشابه آنچه در طبیعت رخ می‌دهد را در حوزه‌های فرمی تولید کرده و به مراحل طراحی وارد نمود. اکنون شاید بتوان پیچیده‌ترین موضوعات طبیعی را به صورت الگوریتم‌هایی خلاصه کنند و پیچیدگی فضایی را به پیچیدگی محاسباتی تبدیل نمایند (خبازی، ۱۳۹۵: ۱۶) و الگوبرداری از فرآیند‌های زیست‌شناختی می‌تواند از طریق کد و برنامه‌نویسی در مسیر رایانش قرار گرفته و تولید فرم نماید. به طور کلی ترکیب دانش‌های زیست‌شناختی با معماری الگوریتمیک به تولید موضوعات جدید علمی و طراحی می‌انجامد و مسیر پژوهش، عرصه‌های خلاقیت و نوآوری را برای تولید فرم می‌گشاید. این عرصه‌ها و موضوعات جدید در مجاری الگوریتمیک وارد می‌شوند و امکانات تولید فزاینده‌ای می‌یابند (خبازی، ۱۳۹۵: ۱۲۷). باین‌حال استفاده از این دانش در پارادایم معماری معاصر و نگاه علمی - زیست‌شناسی به طبیعت راه طولانی برای پژوهش پیش روی طراحان گشوده است و تبیین ویژگی‌های این معماری آن هم در میانه راه و در حالی که متون منتشر شده تئوری در مورد آن اندک است کار آسانی نیست. زیرا این جریان در حال تغییر و رشد مداوم است. به طوری که هر روز می‌توان برخی از ویژگی‌های جدید را برای این جریان معماری، مورد مطالعه و نگارش قرار داد.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد سیستم‌های رایانشی در حدود نیم قرن است که بر حوزه معماری و فرآیند تولید فرم تاثیر گذار بوده است. چنین سیستم‌هایی ابتدا با تئوری‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی (۱۹۴۳)، ماشین‌های سلولی خودکار (دهه ۱۹۴۰)، الگوریتم ژنتیک (دهه ۱۹۶۰) (Holland, ۱۹۹۲)، ال سیستم‌ها (۱۹۶۸) آغاز گردید. اگر چه نخستین قدم در دهه ۱۹۴۰ برداشته شد، این نظریه‌ها به طور عمده در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ همراه با پیشرفت فن‌آوری بسط و گسترش یافت. در دهه آخر قرن بیستم، همین نظریات بخش اعظمی از پژوهش بر روی تکنیک‌ها و ابزارهای زایش فرم<sup>۲</sup> را پایه‌گذاری کرد که بر اساس نظریه‌هایی همچون ماشین‌های سلولی خود کار، الگوریتم ژنتیک و ال سیستم بنا شده بودند. این روش‌ها توسط طراحان و دانشمندانی همچون جان فریزر (۱۹۹۵) (Frazer, ۱۹۹۵)، ماکوتو واتانابه (۱۹۹۵)، مایکل روزنمن و جان گرو (۱۹۹۶) (Rosenman and Gero, ۱۹۹۹) و مارتین همبرگ، اونا-مه اوریلی و پیتر تستا (۲۰۰۱) ترویج داده شدند.

در دو دهه اول قرن بیست و یکم نسل جدیدی از معماران پیشگام همچون مایکل هنسل، آخیم منگس و مایکل واینز تاکنون (۲۰۱۹-۲۰۰۸) (Hensel, ۲۰۱۴) از انجمن معماری لندن با پایه‌گذاری گروه تکنولوژی‌ها و اصول طراحی در حال ظهور، در حال ترویج رویکردی نوین در حوزه معماری هستند که یک رابطه متقابل میان مفاهیمی نوین زیست‌شناختی همچون ظهور<sup>۲</sup> و خود سازمان‌دهی<sup>۴</sup> و آخرین فن‌آوری‌های طراحی، ساخت و تولید را تعریف می‌نمایند که در کنار پژوهشگران دیگری همچون نری اوکسمن (اکولوژی مواد) (Oxman, ۲۰۱۹)، (Oxman, ۲۰۱۲) جنی سابین و پیترو لویید جونز (کارگاه آزمایشگاه)، (Sabin, ۲۰۱۸) اندرو کودلس (سیستم مواد) (Kudless, ۲۰۱۷)، تام وایز کام (در حال ظهور) (Wiscombe, ۲۰۱۷) و کریس باس (Bosse, ۲۰۱۹) در حال شکل دادن به مرزهای یک پارادایم جدید در معماری هستند.

پژوهش حاضر با استفاده از روش تحقیق توصیفی تحلیلی، پس از مطالعه و جمع‌آوری مستندات لازم از منابع کتابخانه‌ای گوناگون شامل مقالات، پایان‌نامه‌ها، کتب و مجلات علمی پژوهشی دانشگاه‌های معتبر خارجی و داخلی، ابتدا با دسته‌بندی سیستم‌های زایشی به شش قسمت، شامل الگوریتمیک، پارامتریک، سیستم‌های لیندن مایر (ال-سیستم‌ها)، ماشین‌های خودکار سلولی، فراکتال و گرامرهای شکلی، به توصیف تحلیلی ویژگی‌ها و مکانیسم و نحوه عملکرد انواع سیستم‌های زایشی و همچنین روابط حاکم میان اجزاء آنها به شکل جداول و نمودارها و تصاویر، پرداخته شده، سپس مقایسه جامعی میان انواع سیستم‌ها صورت می‌پذیرد. این امر با هدف ارائه چارچوبی مشخص و روشی نظام‌مند از نقش سیستم‌های رایانشی ملهم از اصول زیست‌شناختی در فرآیند تولید فرم معماری، می‌باشد.

### ۱. نظریات موجود درباره روش‌ها و فرآیند ساخت و تولید

به طور کلی پیشینه پژوهش و مبانی نظری آن را می‌توان در سه بخش نظریات، روش‌ها و فرآیند ساخت و تولید، در نظر گرفت. دسته‌بندی صورت گرفته ابتدا با نظریات مطرح در حوزه رایانش ملهم از فرآیند‌های زیست‌شناختی، با توجه به سلسله مراتب زمانی وقوع آنها، آغاز می‌گردد، سپس با ارائه روش‌های نوین رایانشی ملهم از اصول زیست‌شناختی ادامه یافته و در نهایت با کاربرد چنین نظریات و روش‌هایی، در ساخت و تولید فرم رایانشی، خاتمه می‌یابد. (جدول ۱)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

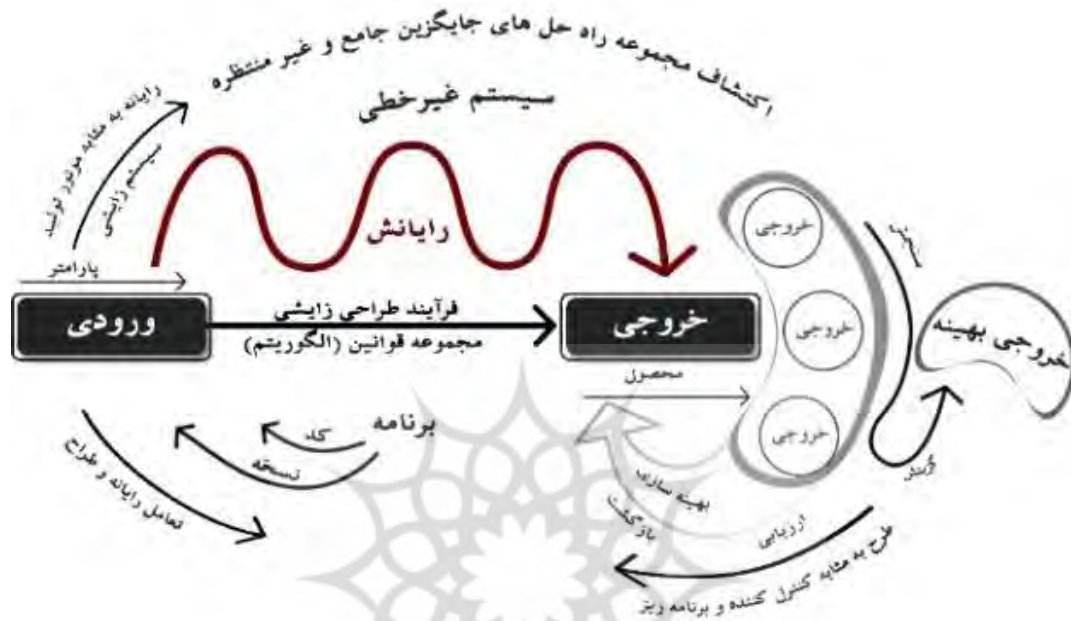
جدول ۱- چارچوب نظری سیستم‌های رایانشی مبتنی بر اصول زیست‌شناختی  
 Tab.1- computational systems based on biological principles

منابع	توضیحات	سال	چارچوب	
(Wolfram, ۱۹۸۳) (Frenay, ۲۰۰۸)	ماشین خود کار سلولی که یک سیستم ریاضی و رایانشی <sup>۶</sup> بوده و توسط جان فون نویمان <sup>۷</sup> ، استانیسلاو اولام <sup>۸</sup> ، و نیلز باریسلی <sup>۹</sup> بسط و توسعه یافت (Frenay, ۲۰۰۸).	۱۹۴۰	ماشین خودکار سلولی <sup>۵</sup>	تکامل
(Holland, ۱۹۹۲) (Winston, ۱۹۹۲) (Steadman, ۲۰۰۸)	جان هلند <sup>۱۱</sup> برای اولین بار ایده الگوریتم ژنتیک و رایانش تکاملی را پیشنهاد نمود. الگوریتم ژنتیک یک روش رایانشی ملهم از تکامل طبیعی، می‌باشد که قابل مقایسه با مفاهیمی از جمله جفت، جفت‌گیری، اشتراک کروموزومی، جهش ژنتیکی، سازگاری و انتخاب طبیعی می‌باشد (Winston, ۱۹۹۲: ۵۰۵).	۱۹۶۰	الگوریتم ژنتیک و رایانش تکاملی <sup>۱۰</sup>	
(Steadman, ۲۰۰۸) (Prusinkiewicz, ۱۹۸۶)	سیستم ال سیستم (سیستم لیندنمایر) برای توصیف نحوه رشد ارگانیس‌ها پیشنهاد شد. این سیستم یک الگوریتم سلسله مراتبی می‌باشد که توسط گیاه‌شناسی به نام آریستید لیندنمایر <sup>۱۳</sup> در سال ۱۹۶۸ باز نویسی شد (Prusinkiewicz, ۱۹۸۶: ۲۵۳).	۱۹۶۸	ال سیستم <sup>۱۲</sup>	
(Britannica, ۲۰۱۸) (Bovill, ۱۹۹۶)	در سال ۱۹۷۵ نظریه فراکتال، که بر اساس کار ریاضیدانانی چون فلیکس هاسدورف <sup>۱۵</sup> می‌باشد، برای اولین بار توسط بنوا مندلبرو <sup>۱۶</sup> نامیده شد. فراکتال به این شکل تعریف می‌گردد: "هر فرم بی نظم با تنوع شکلی که هر بخش انتخاب شده از آن هنگام بزرگنمایی و یا کوچک‌نمایی در ظاهر با بخش معین بزرگتر و یا کوچکتر آن شبیه باشد" (Britannica, ۲۰۱۸).	۱۹۷۵	نظریه فراکتال <sup>۱۴</sup>	
(Steadman, ۲۰۰۸) (Frazer, ۲۰۰۲)	ایده معماری تکاملی به سال ۱۹۶۹ در پروژه دانشنامه جان فریزر <sup>۱۸</sup> به عنوان یکی از ساختار شکنان فرآیند تولید فرم‌های رایانشی، بر می‌گردد. معماری تکاملی در راستای تقلید رفتار همزیست گرایانه و تعادل متابولیکی <sup>۱۹</sup> محیط زیست طبیعی بسط و توسعه یافته است (Steadman, ۲۰۰۸: ۲۳۵) (Frazer, ۲۰۰۲: ۲۳۵).	۱۹۹۵	معماری تکاملی <sup>۱۷</sup>	تکامل

<p>(Gero, ۱۹۹۹) (Steadman, ۲۰۰۸) (Rosenman and Gero, ۱۹۹۹)</p>	<p>در دهه ۱۹۹۰ مایکل روزنمن<sup>۲۱</sup> و جان گرو<sup>۲۲</sup> بر روی روش‌های معماری تکاملی در دانشگاه سیدنی کار کردند. تحقیقات آنها بر روی طراحی تکاملی به واسطه تولید ساختارهای پیچیده ژن مفید متمرکز است. آنها روش‌های مختلفی را همانند ساختار پیچیده ژن‌های تکامل‌یابنده از روی جمعیت معینی از راه حل‌های طراحی، با استفاده از رویکرد رشد سلسله مراتبی به دست آوردند (Rosenman and Gero, ۱۹۹۹: ۲۴۵).</p>	۱۹۹۶	روش‌های معماری تکاملی <sup>۲۰</sup>	
<p>(Hensel and Menges, ۲۰۰۸) (Hensel, Menges, Weinstock, ۲۰۱۳)</p>	<p>مایکل هنسل<sup>۲۴</sup>، آخیم منگس<sup>۲۵</sup> و مایکل واینزتاک<sup>۲۶</sup>، از بنیانگذاران و مدیران گروه فن‌آوری‌ها و اصول طراحی در حال ظهور<sup>۲۷</sup> در انجمن معماری لندن، از سال ۲۰۰۴ به معرفی روش‌های جدیدی برای تجسم، طراحی و ساخت و تولید در معماری می‌پردازند. آنها به اکتشاف مفاهیمی همچون ظهور، مورفوجنسیس<sup>۲۸</sup>، مورفواکولوژی<sup>۲۹</sup> پرداخته‌اند.</p>	۲۰۰۴ تا کنون	تکنولوژی‌ها و طراحی در حال ظهور <sup>۲۳</sup>	
<p>(bosse, ۲۰۱۹) (Iwamoto, ۲۰۰۹)</p>	<p>معمار آلمانی، کریس باس<sup>۳۱</sup>، در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش‌های رایانشی برای مطالعه بر روی ساختارهای ارگانیک، به خلق فضاهای معماری پرداخت. وی از تکنیک بهینه‌سازی فرم ارگانیک به جای طراحی مستقیم فرم، از فرایندی مشابه آنچه که در ارگانیک‌های طبیعی صورت می‌پذیرد، استفاده می‌کند (bosse, ۲۰۱۹).</p>	۲۰۰۶ تا کنون	تکنیک بهینه‌سازی فرم ارگانیک <sup>۳۰</sup>	برنامه‌کاربری
<p>(LabStudio, ۲۰۱۹)(Sabin, ۲۰۱۹) (Chernyakova, ۲۰۱۶)</p>	<p>همکاری میان جنی‌سابین<sup>۳۳</sup> و پیتر لویید جونز<sup>۳۴</sup> به ترتیب به عنوان معمار و زیست‌شناس مولکولی از سال ۲۰۰۸ تاکنون با ایجاد پلی ارتباطی میان رشته‌های زیست‌شناسی سلولی و معماری با عنوان آزمایشگاه استودیو (Sabin, ۲۰۱۹) باب تحقیقاتی نوینی را که بر روی نوعی از طراحی میان‌دانشی بر روی فصل مشترک میان معماری، علم و فن‌آوری می‌باشد گشوده است (Chernyakova, ۲۰۱۶).</p>	۲۰۰۸ تا کنون	آزمایشگاه استودیو <sup>۳۲</sup>	

## ۲. طراحی مولد یا زایشی

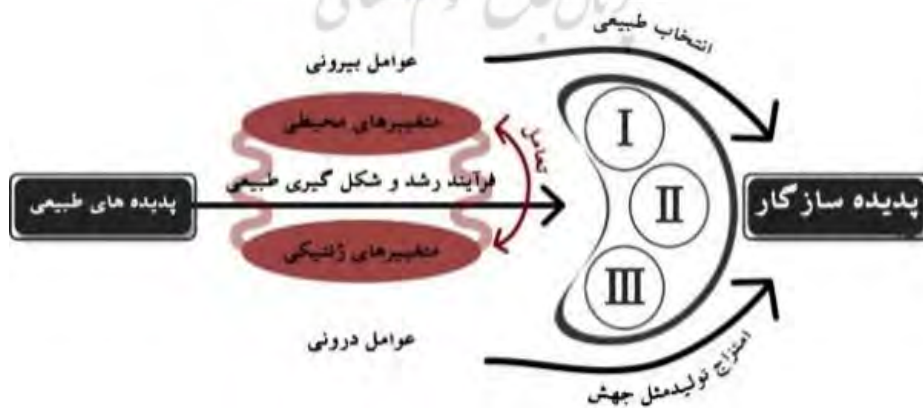
این نوع طراحی یک فرآیند مورفوجنتیک<sup>۳۰</sup> می‌باشد که با استفاده از الگوریتم‌های تشکیل یافته از سیستم‌های غیر خطی همانند الگوریتم ژنتیک در راستای حصول نتایج منحصر بفرد پایان‌ناپذیر و غیر قابل تکرار انجام شده توسط ایده‌کد، همانگونه که در طبیعت اینچنین است، انجام می‌شود (Soddu and Colabella, ۱۹۹۵) (شکل ۱).



شکل ۱- فرآیند طراحی زایشی

Fig. ۱- Generative Design Approach

همانند طبیعت با رمزگذاری، فرآیند طراحی به جای خود محصول صورت می‌پذیرد که مستلزم دارا بودن مشخصات رایانشی از قوانین و قواعد شکل‌گیری فرم، اکتشاف گزینه‌ها و متفیرهای طراحی می‌باشد. (Gursel, ۲۰۱۲). (شکل ۲)



شکل ۲- رویکرد طبیعت‌گرایانه الگوریتم ژنتیک

Fig. ۲- Genetic Algorithm Natural Approach

### ۳. سیستم‌های زایش

(شکل ۳) زیست شناختی، سیستمی است که طبیعت و موجودات زنده پیچیده را به عنوان یک پیش فرض در نظر می‌گیرد و قواعد آن را همچون پیدایش طبیعی، به مفهوم توصیف روش هایی که در آن ها سیستم های پیچیده طبیعی تکامل<sup>۳۶</sup>، خود سازماندهی و رشد<sup>۳۷</sup> می یابند، در استخراج و تبدیل شدن به فرم معماری اعمال میکند. (Hensel, Menges, Weinstock, ۲۰۱۰).



شکل ۳- طبقه بندی کلی سیستم‌های زایشی

Fig. ۳- Categories of Generative Design Systems

### ۴. مدل‌های زایشی

(شکل ۴) همانند تکنیک های زایشی تکاملی فرم<sup>۳۸</sup> که بر پایه انتخاب طبیعی نسل ها هستند، "طراحی مکانیزم های پیچیده و تعامل با آنها می باشد که با پیدایش فرم های حاصل از قوانین، روابط و اصول زایشی، سر و کار دارد." (Oxman, ۲۰۰۶)



شکل ۴- مدل های زایشی

Fig. ۴- Categories of Generative Models

### ۵. رویکرد های سیستم‌های زایشی

(شکل ۵) دارای مبنای الگوریتمی هستند که با تغییر متغیرهای موجود در آنها، یک راه حل جدید ایجاد می‌شود به طوری که ممکن است گستره گوناگونی از خروجی‌ها که توسط طراح مورد سنجش و ارزیابی قرار گیرند تولید گردد تا بتوان به گزینه مطلوب دست یافت.



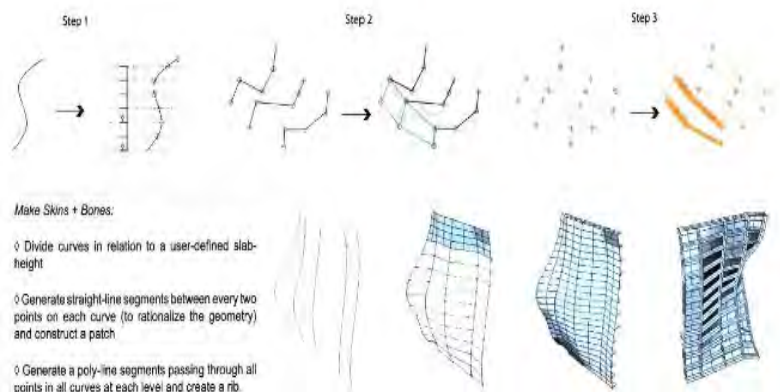
شکل ۵- رویکرد های سیستم های زایشی

Fig.۵- Generative Systems Approaches

### ۵.۱ سیستم‌های الگوریتمیک

<sup>۳۹</sup> از مؤلفه‌های اصلی تمامی سیستم‌های زایشی هستند. الگوریتم‌ها مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها را در ساختارها یا قوانین مختلف دسته‌بندی می‌کنند. چنین فرایندی به طراحان کمک میکند تا متن را تجزیه کرده، روابط را درک کنند و روش‌هایی را برای قضاوت در مورد نتایج تدبیر کنند. (EI-Khalidi, ۲۰۰۷) (شکل ۶)

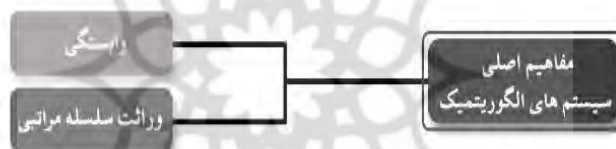




شکل ۶- آزمایش : پروژه پوست و استخوان با استفاده از سیستم‌های الگوریتمیک  
Fig. ۶- Experiment: Skin and Bones by Using Algorithmic Systems

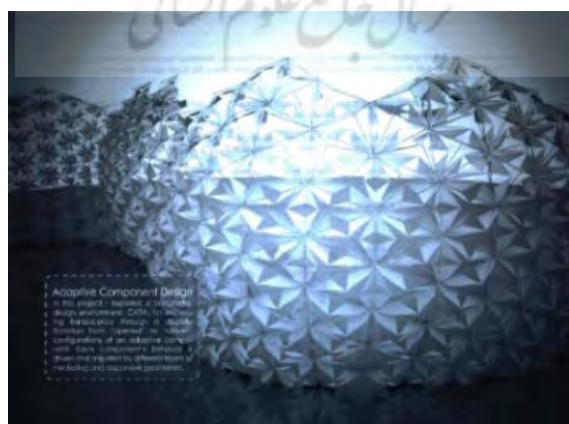
## ۵.۲ سیستم‌های پارامتریک

یک نمونه خاص از سیستم‌های الگوریتمیک هستند. واقعیت این است که هر سیستمی که بتواند المان‌ها را به یکدیگر مرتبط کند یک سیستم پارامتریک است. (شکل ۷)



شکل ۷- مفاهیم اصلی سیستم‌های الگوریتمیک  
Fig. ۷- Concepts of Algorithmic Systems

این سیستم‌ها اجازه انتشار مقادیر در مجموعه‌های مشترک از پارامترها در بین المان‌های یک خانواده یا خانواده‌های مختلف را می‌دهند. (شکل ۸)



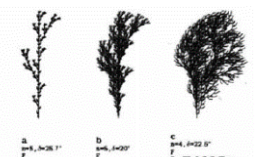
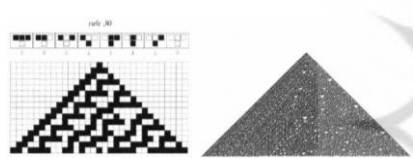

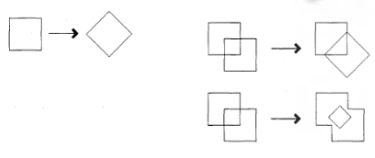
شکل ۸- آزمایش: اجزاء پوسته پارامتریک با استفاده از سیستم‌های پارامتریک  
Fig. ۸- Experiment: Parametric Skin Component by Using Parametric Systems

### ۵.۳. فرمالیست ۴۰

سیستم‌هایی مبتنی بر قانون<sup>۴۱</sup> هستند که با عنوان فرمالیسم تعریف می‌شوند که برای شبیه‌سازی پدیده‌ای بسیار ویژه طبیعی و زیستی، در نقطه مقابل ارائه یک برنامه عملیاتی ایجاد شده اند (Elkhaldi, ۲۰۰۷).

جدول ۲- الگوهای شبیه‌سازی سیستم‌های فرمالیسم

Tab.۲- Ppterns of formalism systems

فرمالیسم	الگو	شکل
سیستم ال	که برای شبیه‌سازی فرآیند رشد گیاهی استفاده شده اند.	 <p>شکل ۹- نمونه‌ای از فرمالیسم ال سیستم و تفسیر از زایش هندسی رشد درختی Fig. ۹- Example showing L-system formalism and generated geometric interpretation of the tree growth</p>
سلول‌های خودکار	سیستم خودکار سلولی برای شبیه‌سازی تولید مثل و تکثیر سلول ایجاد شده اند.	 <p>شکل ۱۰- قانون ۳۰ خودکار سازی سلولی Fig. ۱۰- Rule ۳۰ cellular automaton</p>
فراکتال	سیستم فراکتال برای شبیه‌سازی خود تشابهی در طبیعت هستند.	 <p>شکل ۱۱- تجسمی از دبرر پنتاگون Fig. ۱۱- Durer Pentagon</p>
گرامر شکل	گرامرهای شکلی برای شبیه‌سازی توانایی انسان برای دیدن و یا محاسبه بصری ایجاد شدند.	 <p>شکل ۱۲- سمت چپ قانون و سمت راست دو نتیجه ممکن می باشد. Fig. ۱۲- Left side is the rule, right side are two possible results.</p>

### ۵.۴. سیستم‌های ال

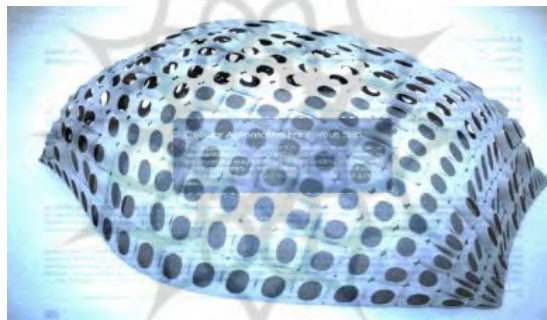
می‌توانند رفتارهای مختلف را در واحدهای گسسته از چند حرف و قانون دسته‌بندی کنند. کاربر تنها نیاز به ارائه قوانین و یک رشته اولیه دارد. سپس، رشته شکسته شده، بازنویسی می‌شود و بر اساس تعداد مشخصی نسل، به هم متصل خواهند شد. (شکل ۱۳)



شکل ۱۳- آزمایش : ساخت یک درخت با استفاده از سیستم‌های ال  
Fig. ۱۳- Experiment: Make A Tree by Using L-system

### ۵.۵. سیستم‌های خودکار سلولی

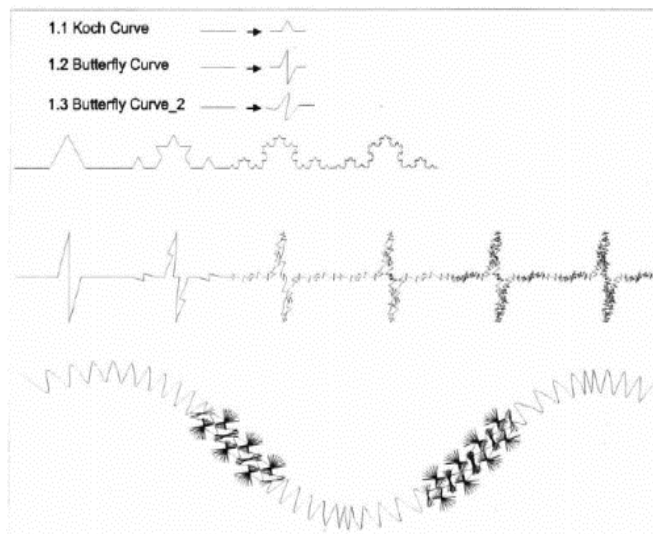
این سیستم‌ها می‌توانند در یک تعداد گام زمانی ثابت به صورت مکرر و یا به تدریج تا زمانی که شرط کلی حاصل شود، خودکار اجرا شوند. در معماری، اتوماتای سلولی عمدتاً به عنوان سیستم‌های مولد برای تولید الگو کوش شده‌اند. (شکل ۱۴)



شکل ۱۴- طراحی پوست متخلخل با استفاده از سیستم‌های اتوماتای سلولی  
Fig. ۱۴- Experiment: Porous Skin Design by Using Cellular Automata Systems

### ۵.۶. سیستم‌های فراکتال<sup>۴۲</sup>

این سیستم‌ها می‌تواند به صورت الگوریتمیک از طریق بازگشت<sup>۴۳</sup> به تولید اشیاء با قطعات خود تشابه بپردازند. این سیستم براساس مدل‌های ریاضی بازگشتی ابتدا عناصر را می‌شکنند و سپس آنها را با عناصر جدید جایگزین می‌نمایند (EI-Khaldi, ۲۰۰۷). (شکل ۱۵)



شکل ۱۵- آزمایش: منحنی فراکتال با استفاده از سیستم‌های فراکتال  
 Fig. ۱۵- Experiment: Fractal Curves by Using Fractal Systems

#### ۵.۷. گرامرهای شکلی ۴۴

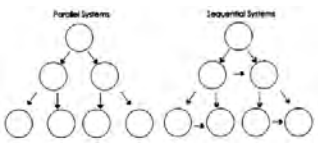
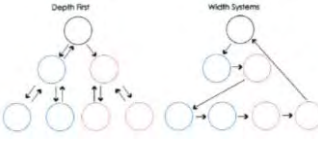
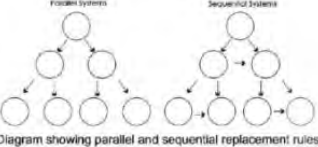
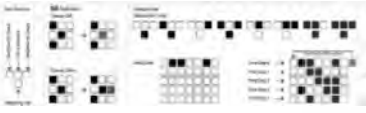
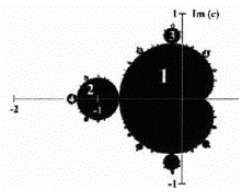
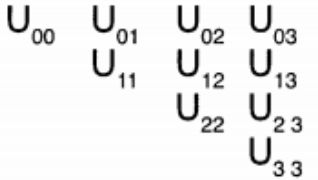
این اشکال برای انجام فرایندهای محاسباتی بصری در طراحی ساخته شده‌اند. آنها از طریق توانایی انسان در دیدن، عمل شناخت را انجام می‌دهند. طراحان می‌توانند یک قانون را هر کجا که شکل اولیه آن در یک طرح مشخص شده، تشخیص داده و اجرا نمایند. (شکل ۱۶)



شکل ۱۶- آزمایش پنجره‌های یخی با استفاده از گرامر شکلی  
 Fig. ۱۶- Experiment: Ice-ray Windows by Using Shape Grammar

جدول ۳- ویژگی‌های سیستم‌های زایشی

Tab.۳- Characteristics of generative systems

مثال	مکانیسم سیستم	نام سیستم
	<p>شکل ۱۷- سیستم متناوب و سیستم موازی</p> <p><b>Fig. ۱۷- Parallel Systems and Sequential Systems</b></p>	<p>محاسبه پذیری و منطق<sup>۴۵</sup></p> <p>(۱۹۹۹، ۱۹۴۷)</p>
	<p>شکل ۱۸- چپ: تکثیر عمودی مقادیر راست: تکثیر افقی</p> <p><b>Fig. ۱۸- Vertical and Horizontal Propagation of Values</b></p>	<p>شرکت پذیری و/یا وراثت با روابط یک سوپه و دو سوپه</p>
 <p>Diagram showing parallel and sequential replacement rules.</p>	<p>شکل ۱۹- قوانین جایگزینی موازی و متوالی</p> <p><b>Fig. ۱۹- Parallel and Sequential Replacement Rules</b></p>	<p>فرایند جایگزینی موازی و تولید سلول‌هایی که تقسیم‌ها در آن همزمان رخ می‌دهند (Lindenmayer and Prusinkiewicz, ۱۹۹۰)</p>
	<p>شکل ۲۰- قوانین جایگزینی</p> <p><b>Fig. ۲۰ - Replacement Rules</b></p>	<p>شبه‌سازی رفتارهای تکثیر متشکل از قوانین جایگزینی، سلول‌ها و وضعیت‌های اولیه</p>
<p><math>z_{n+1} = z_n^2 + u</math> که <math>Z=X+iy</math></p> 	<p>شکل ۲۱- فرمول مجموعه ماندلبرو</p> <p><b>Fig. ۲۱ - Formula of Mandelbrot Set</b></p>	<p>تولید موضوعاتی با اجزای خود متشابه<sup>۴۶</sup> است با روش اول: سیستم بازگشت روش دوم، سیستم‌های تابع تکراری (IFS)<sup>۴۷</sup> روش سوم تصادفی<sup>۴۸</sup> (Flake, ۲۰۰۰: ۱۰۳-۱۰۶)</p>
	<p>شکل ۲۲- جدول جبری نشان دهنده رابطه میان فضای نقطه ای و سطحی و حجمی در گرامر شکلی</p> <p><b>Fig. ۲۲- Algebra Table Point Presented Space, Line Space, Plane Space or Volume Space in Shape Grammars</b></p>	<p>محاسبات ترکیبی از شمارش و دیدن با رابطه جایگذاری و هویت روش ریاضی از تبیین این دو مفهوم نیز می‌تواند بیان شود.</p>

فرمالیسم

ال سیستم

سلول‌های خودکار

فراکتال

گرامر شکل

جدول ۴- مکانیسم سیستم‌های زایشی

Tab.۴- Mechanisms of generative systems

نام سیستم	مکانیسم سیستم	مثال
الگوریتمیک	مستقل از متن <sup>۴۹</sup> یا حساس به متن <sup>۵۰</sup> (EI-Khalidi, ۲۰۰۷).	انتخاب شیء A و جایگزینی آن با شیء B یا انتخاب بخشی از شیء A و جایگزینی آن با بخشی از شیء B یا انتخاب شیء C و جایگزینی آن با هیچ چیز.
پارامتریک	خانواده‌ای از المان‌ها (بخش‌ها) و خانواده‌ها یا المان‌ها (مجموعه‌ها) <sup>۵۱</sup> (EI-Khalidi, ۲۰۰۷).	اولین رابطه: رابطه بین A (به عنوان یک کل) و B (به عنوان یک کل). دومین رابطه: ارتباط خانواده‌های مختلف.
فرمانیسم	ال سیستم / قطعی <sup>۵۲،۵۸</sup> غیرقطعی <sup>۵۳</sup> ، مستقل از متن، حساس به متن (Alfonseca and Ortega, ۱۹۹۷)	رشته اولیه: {RRL}، قانون معین شده: $R \rightarrow M$ و $R \rightarrow L$ را می‌توان با حروف الفبای L یا M تعویض کرد.
	سلول‌های خودکار	شکل ۲۳- رفتار پیچیده، قانون ۹۰ Fig.۲۳- An Example of Complex Behavior is Rule ۹۰
فرکتال	ثابت <sup>۵۴</sup> ، دوره‌ای، آشفته (غیرقابل پیش‌بینی از نظر فضا و زمان) <sup>۵۵</sup> و تصادفی (Flake, ۱۹۹۸)	شکل ۲۴- قوانین جایگزینی برای تولید منحنی کخ Fig.۲۴- The Generation Process of a Fractal Koch Curve
	گرامر شکل	شکل ۲۵- عملیات بولی و تغییر شکل اقلیدسی Fig.۲۵- Boolean Operations and Euclidean Transformations
	تولید رفتار از بازگشت، تکرار یا تصادف: خود تشابهی کامل توسط بازگشت، خود-تشابهی تقریبی <sup>۵۶</sup> توسط تکرار و خود تشابهی آماری. (EI-Khalidi, ۲۰۰۷).	استفاده از قوانین جایگزینی شامل اشکال اولیه، روابط فضایی و اشکال جایگزینی با عملیات کنترل: الف) عملیات بولین (اتحاد، تفریق، تقسیم) و ب) تبدیل‌های اقلیدسی.

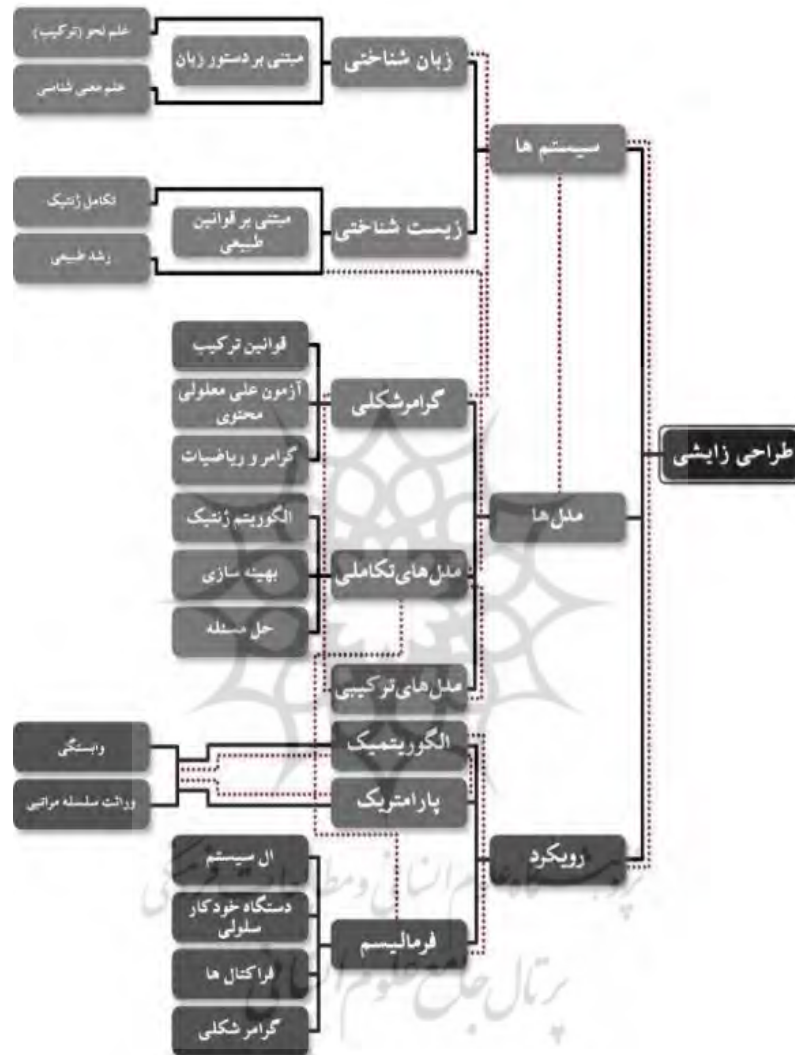
## ۶. مقایسه سیستم‌های زایشی

سیستم‌های الگوریتمی اجزای پایه تمام سیستم‌های زایشی هستند. آن‌ها یک ساختار خاص یا رابطه یا یا واحد یا زمینه خاصی را تحمیل نمی‌کنند. بلکه تنها یک محیط کار را برای دستورالعمل‌های اجرایی فراهم می‌کنند. در حقیقت آن‌ها از یک ساختار خاص پیروی نمی‌کنند. سیستم‌های پارامتریک یک حالت خاص از سیستم الگوریتمی می‌باشد. واقعیت این است که هر سیستمی که بتواند المان‌ها را به یکدیگر مرتبط کند یک سیستم پارامتریک است. این سیستم‌ها، سیستم‌های سلسله مراتبی-الگوریتمی هستند که توسط روابط یک سویه کنترل می‌شوند و اجازه انتشار مقادیر در مجموعه‌های مشترک از پارامترها در بین المان‌های یک خانواده یا خانواده‌های مختلف را می‌دهند. آن‌ها محدود به روابط هستند. سیستم‌های الی نمونه ای ویژه تر از سیستم‌های الگوریتمی می‌باشند که مانند همه، به قوانین و واحدها متکی می‌باشند. قوانین، به یک فرایند جایگزینی یک به یک محدود نمی‌شود. بلکه همزمان به همه حروف اعمال می‌شوند که نشان‌دهنده تولید سلول‌هایی است که تقسیم‌ها در آن همزمان رخ می‌دهند. به این شکل که رفتارها در چند حرف و قانون دسته بندی شده و یک شبکه درخت مانند از حروف الفبا ایجاد می‌شود که مجموعه کل نسل‌ها، یک راه حل نامیده می‌شود. از نظر برنامه‌نویسی، اجرای این سیستم‌ها به دلیل داشتن واحدهای گسسته بسیار آسان است. کاربر تنها نیاز به ارائه قوانین و یک رشته اولیه دارد. سپس، رشته شکسته شده، بازنویسی می‌شود و بر اساس تعداد مشخصی نسل، به هم متصل خواهند شد. ولی الی سیستم از همه سیستم‌ها حداقل انعطاف پذیری را دارا می‌باشد. نمادهای آن به یک نوع معنی، حرف محدود می‌شوند.

در صورتی که سیستم‌های اتوماتای سلولی محیطی غنی‌تر ارائه می‌دهند که نمادهای آن به یک نوع معنی محدود نمی‌شوند. یک نماد در اتوماتای سلولی (سلول) می‌تواند به رنگ با تغییرات آن (سیاه، سفید و غیره) یا اندازه (با اعداد مختلف)، مکان (نسبت به بسیاری از محورها) و غیره و حتی اشیاء مختلف اشاره داشته باشد. این سیستم با ساختار ساده، رفتارهای پیچیده و غیرمنتظره را می‌توانند از خود نشان دهند. اتوماتای سلولی رفتارهای تکثیر را با اعمال قوانین جایگزینی همزمان به تکه‌های سلول‌ها (همسایگی‌ها) شبیه‌سازی می‌کند. قوانین اتوماتای سلولی می‌توانند در یک تعداد گام زمانی ثابت به صورت مکرر و یا به تدریج تا زمانی که شرط کلی حاصل شود، خودکار اجرا شوند.

دو سیستم قبلی اندازه کوچک‌ترین واحد خود را حفظ می‌کنند و قوانین، حروف یا سلول‌ها را بدون شکستن آن‌ها به حروف کوچک‌تر جایگزین می‌کنند. در صورتی که مفهوم "کوچک‌ترین واحد" برای سیستم‌های فراکتال قابل استفاده نیست. زیرا آن‌ها بر اساس مدل‌های ریاضی بازگشتی هستند دارای ماهیت سلسله مراتبی هستند. الگوریتم‌های فراکتال ابتدا به صورت بازگشتی المان‌ها (عناصر) را شکسته و سپس آن‌ها را با المان‌های جدید جایگزین می‌کنند و تا زمانی که با یک شرط توقف منطبق شود واحدها را به واحدهای کوچکتر تجزیه کرده و سپس قوانین جایگزینی را اعمال می‌کند. همه سیستم‌های قبلی، واحدها را با فرض اینکه که هویت آنها را در طول فرایند محاسباتی به شکل ثابتی حفظ کرده اند به صورت مجزا (با مرز بندی مشخص) شناسایی می‌کنند. در صورتی که در گرامرهای شکل، واحدها هم توسط تعاریف ثابت و هم انعطاف پذیر شناخته می‌شوند. البته گرامرهای شکل، مانند سایر فرمالیسم‌ها به قوانین و واحدها متکی می‌باشند. با این حال، واحدها تنها توسط توپولوژی و نه اندازه و مکان (موقعیت) تعریف می‌شوند.

طراحان می‌توانند یک قانون را هر کجا که شکل اولیه آن را در یک طرح مشخص، تشخیص می‌دهند، اجرا کنند. در کل، در یک فرآیند شکل‌گیری فرم، همه سیستم‌های زایشی با ویژگی‌های منحصر به فردشان، می‌توانند در یک سیستم تعاملی باهم مرتبط باشند. (شکل ۲۶)



شکل ۲۶- رابطه کلی میان اجزاء سیستم‌های زایشی

Fig.۲۶- The General Relationship Between the Components of Reproductive Systems

### نتیجه‌گیری

طراحی زایشی به‌عنوان یک ابزار زایا، بر مبنای قواعد حاکم بر سیستم‌های پیچیده طبیعت، از جمله تکامل، خود سازماندهی و رشد، شکل‌گیری ترکیبات پیچیده‌ی صوری و مفهومی معماری را از طریق اجرای مجموعه ساده‌ای از عملیات و پارامترها امکان‌پذیر می‌نماید. به این شکل که از طریق نگارش ایده طراح به صورت یک الگوریتم می‌توان یک کد برای هر ایده‌ای تولید کرد. با به‌کارگیری مجموعه‌ای از قوانین یا همان الگوریتم به شکل کد می‌توان تولید



فرم معماری را در یک فرآیند خود سازمانده میسر نمود. به عبارتی سیستم زایشی یک سیستم تولید می‌باشد که مشخصاً خود محصول طراحی را تعیین نمی‌کند، در عوض مشخصه سطح بالاتری را معین می‌نماید که «ساخت» محصول یا روش طراحی را رمزگذاری کرده و با این کار شکل‌گیری فرم را مقدم بر خود فرم می‌شمارند که این امر حاکی از یک تغییر اساسی از سمت مدل‌سازی یک شی از پیش طراحی شده به سوی مدل‌سازی منطق حاکم بر طراحی است. بدینگونه فضای طراحی برای اکتشاف گزینه‌ها و متغیرهای طراحی گشوده می‌گردد و امکان انتقال برخی از وظایف و هوشمندی‌های موجود در طراحی را با کدگذاری، از انسان به خود، نوید می‌دهند.

### پی‌نوشت

- Christopher Alexander - ۱
- Form Generation Techniques and Tools - ۱
- Emergence - ۲
- Self-Organize - ۳
- Cellular Automation - ۴
- Computation - ۵
- Neumann John Von - ۶
- Stanislaw Ulam - ۷
- Nils Barricelli - ۸
- Evolutionary computation - ۹
- John Holland - ۱۰
- L-system (the Lindenmayer system) - ۱۱
- Aristid Lindenmayer - ۱۲
- Fractal Theory - ۱۳
- Felix Hausdorff - ۱۴
- Benoit B. Mandelbrot - ۱۵
- Evolutionary Architecture - ۱۶
- John Frazer - ۱۷
- Metabolic balance - ۱۸
- Methods for evolutionary architecture - ۱۹
- Michael Rosenman - ۲۰
- John Gero - ۲۱
- Emergent Technologies and Design - ۲۲
- Michael Hensel - ۲۳
- Achim Menges - ۲۴
- Michael Weinstock - ۲۵
- Emerging design principles - ۲۶
- Morphogenesis - ۲۷
- Morpho-Ecology - ۲۸
- Optimization technique - ۲۹
- Chris Bosse - ۳۰
- LabStudio - ۳۱
- Jenny Sabin - ۳۲
- Peter Lloyd Jones - ۳۳
- Morphogenetic Process - ۳۴
- Evolution - ۳۵
- Self Organization and Growth - ۳۶
- Evolutionary Form-Generation Techniques - ۳۷
- Algorithmic Systems - ۳۸



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

Formalisms	-۳۹
Rule-based Systems	-۴۰
Fractal systems	-۴۱
Recursion	-۴۲
Shape grammars	-۴۳
Computability and Logic	-۴۴
self-similar	-۴۵
Iterated Function Systems	-۴۶
Stochastic (Random)	-۴۷
Context-free	-۴۸
Context-sensitive	-۴۹
Assemblies	-۵۰
Deterministic	-۵۱
Non-deterministic	-۵۲
Fixed	-۵۳
Chaotic	-۵۴
Semi Self-similar	-۵۵



## منابع

- Alfonseca, M., & Ortega, A. (۱۹۹۷). A Study of the Representation of Fractal Curves by L Systems and Their Equivalences. IBM Journal of Research and Development, (۴۱)۶.
- Bovill, C. (۱۹۹۶). Fractal geometry in architecture and design.
- El-khaldi, M. (۲۰۰۷). Mapping boundaries of generative systems for design synthesis. Unpublished Master of Science Thesis . Cambridge, Massachusetts, USA: MIT.
- Flake, G. W. (۱۹۹۸). The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation. Cambridge: The MIT Press. ۲۲۹-۲۵۸.
- Flake, G. (۲۰۰۰). The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals. Chaos. Complex Systems. And Adaptation. Cambridge: The MIT Press. ۱۰۳-۱۰۶.
- Frazer, J. (۱۹۹۵). An evolutionary architecture. London: Architectural Association Publications.
- Frazer, J. H., Frazer, J. M., Liu, X., Tang, M. X. & Janssen, P. (۲۰۰۲). Generative and evolutionary techniques for building envelope design. ۵th International GenerativeArt.
- Frenay, R. (۲۰۰۸). Pulse: The coming age of systems and machines inspired by living things. Lincoln: University of Nebraska Press.
- Gharuni Esfahani, F. (۲۰۱۵). Bionic Architecture Designed By Nature. Tehran: Author.
- Gursel, İ. D. (۲۰۱۲). Creative Design Exploration By Parametric Generative Systems In Architecture. Journal of the Faculty of Architecture, Middle East Technical University , ۲۰۷-۲۲۴.
- Hensel, M. (۲۰۱۴). Performance-oriented architecture: rethinking architectural design and the built environment. John Wiley & Sons.
- Hensel, M. & Menges, A. (۲۰۰۸). Versatility and Vicissitude: An Introduction to Performance in Morpho Ecological Design. Architectural Design, ۷۸(۲), ۶-۱۱.
- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (۲۰۰۴). *Emergence: Morphogenetic Design Strategies*. London: Academy Press
- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (۲۰۱۰). Emergent technologies and design: towards a biological paradigm for architecture. London: Routledge.
- Hensel, M., Menges, A. & Weinstock, M. (۲۰۱۳). Emergent technologies and design: towards a biological paradigm for architecture: Routledge.
- Holland, J. H. (۱۹۹۲). Genetic Algorithms. Scientific American, ۲۶۷, ۶۶ – ۷۲.
- Iwamoto, L. (۲۰۰۹). Digital fabrications: architectural and material techniques. Princeton Architectural Press.
- Kaboli, Mohammad Hadi; Khandan, Elnaz. (۲۰۱۵). ۱۰۱ Propositions for Biomimicry in Architecture. Tehran: Avalo Akhar Publishing.
- Khabazi, Zubin. (۲۰۱۶). Digital Diposition of Materials. Mashhad: Kasra Publishing.
- Lindenmayer, A., & Prusinkiewicz, P. (۱۹۹۰). The Algorithmic Beauty of Plants. New York: Springer-Verlag.
- Oxman, R. (۲۰۰۶). Theory and Design in The First Digital Age. Design Studies, ۲۲۹-۲۶۵.

- Oxman, N. (۲۰۱۲). Towards a material ecology. In ۳۲nd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), San Francisco.
- Prusinkiewicz, P. (۱۹۸۶). Applications of L-systems to computer imagery. Paper presented at the International Workshop on Graph Grammars and Their Application to Computer Science.
- Rosenman, M., & Gero, J. (۱۹۹۹). Evolving designs by generating useful complex gene structures. *Evolutionary design by computers*, ۳۶۴-۳۴۵.
- Soddu, C., & Colabella, E. (۱۹۹۵). *Recreating The City's Identity with A Morphogenetic Urban Design. Making the Cities Livable*. Freiburg: Freiburg-im-Breisgau.
- Steadman, P. (۲۰۰۸). *The Evolution of Designs: Biological analogy in architecture and the applied arts*. Routledge.
- Taraz, M. (۲۰۱۲). *Bionic Architecture (bio-industry), Design of Science and Technology Park*. M.A Thesis. Tehran: Tehran University, Pardis Fine Art, Architecture Faculty.
- Winston, Patrick H. (۱۹۹۲). *Artificial Intelligence*.
- Wolfram, S. (۱۹۸۳). *Statistical Mechanics of Cellular Automata*, *Rev. Mod. Phys.*  
<http://www.fractalus.com>  
<http://www.Arts.com>  
<http://Jenny Sabin,jennysabin.com>  
<http://Chris Bosse, chrisbosse.de>  
<http://Neri Oxman, materialecology.com>  
<http://AndrewKudless, matsysdesign.com>  
<http://sabin-jones.com>  
<http://tomwiscombe, tomwiscombe.com>  
<http://www.britannica.com>  
<http://LabStudio,phf.upenn.edu>  
<http://Irina Chernyakova, architecture.mit.ed>

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی