نشریه مطالعات هنر اسلامی
www.sysislamicartjournal.ir

بازشناسی مکانیسم سیستم‌های الگوریتمیک در فرآیند تولید فرم معماری

شاهین زوورزی [۱]، ایمان رئیسی [۲*]، مریم ارمغان [۳]

[۱] پژوهشگر دکتری تخصصی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. shahin.zoovarzi@gmail.com
[۲*] (نویسنده مسئول) استادیار معماری، عضو هیئت علمی، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران. iman.raeisi۹۹@gmail.com
[۳] استادیار معماری، عضو هیئت علمی، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. maryam.armaghan@gmail.com

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی
شماره ۴۶
دوره ۱۹
صفحه ۲۳۴ الی ۲۵۳

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱
تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۷/۰۲
تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱

کلمات کلیدی
فرایند تولید فرم،
سیستم‌های زایشی،
رایانش،
الگوریتم.

ارجاع به این مقاله
زوورزی، شاهین، رئیسی، ایمان، ارمغان، مریم. (۱۴۰۱). بازشناسی مکانیسم سیستم های الگوریتمیک در فرآیند طرح و ساختار معماری. مطالعات هنر اسلامی، ۱۹(۴۶)، ۲۵۳-۲۳۴.

dorl.net/dor/20.1001.1.۱۷۳۵۷۰۸.۱۴۰۱.۱۹.۴۶.۱۴.۰

dx.doi.org/10.22034/IAS.۲۰۲۰.۲۴۹۵۴۸.۱۳۶۱

چکیده

ظهور نظریات و روش‌های رایانشی نوین برگرفته از سیستم‌های زیست‌شناختی، در طی چند دهۀ 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 نحوۀ شکل‌گیری اجزاء زیستی وجود دارد به حوزه ارزشمند برای تولید الگو تبدیل‌شده‌است. چنین الگوبرداری نوینی از طبیعت، در مسیری تحت عنوان طراحی الگوریتمیک یعنی خدمت گرفتن رایانش به‌عنوان 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. شناخت مکانیسم سیستم‌های الگوریتمیک در فرایند تولید فرم معماری.

۲. بررسی تولید فرایندی فرم معماری.

سؤالات پژوهش:

۱. برای تولید فرم در معماری چه فرایندی وجود دارد؟

۲. کدام مکانیسم سیستم‌های الگوریتمیک در فرایند تولید معماری نقش دارد؟

2676-7759/ © 2020 Islamic Art Press. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0/)

مقدمه

در قرن اخیر، نظریه‌ها و روش‌های رایانشی بسیاری همچون ماشین سلولی خود کار و ال‌سیستم‌ها که از فرآیند شکل‌گیری پدیده‌های زیستی الهام گرفته شده‌اند، مطرح گردیده است. این درحالیست که تاکنون روش‌های حاکم بر خلق فرم معماری بیشتر شکلی و ظاهری بوده، اگر هم تعمیقی صورت پذیرفته است، تنها به‌شکل یک نظریه باقی مانده است و پا به حیطه فراتر ننهاده است. شاید بتوان دلیل آن را انتخاب سطحی موضوعات پیچیده و غیرقابل احاطه به‌لحاظ ضعف در زمینه‌های علمی و یا نبود امکانات فنی برای اجرا دانست (تراز، ۱۳۹۱). با توجه به تحولات فنی و علمی چند دهۀ اخیر، حوزه‌های علمی مشارکت خود را با معماری افزایش داده‌اند. زیست‌شناسی یکی از این حوزه‌های مطرح است. با درک محدوده علمی و حرکت انتقالی از حوزه دانش زیست‌شناختی به معماری می‌توان راه را برای درک لایه‌های عمیقی همچون نحوۀ شکل‌گیری و رشد و توسعه آن‌ها به‌جای تقلید در سطوح اولیه فرمی و مکانیکی ارگانیسم‌ها گشود (کابلی و خندان، ۱۳۹۴: ۳۰).

کریستوفر الکساندر[۱] می‌گوید بدون درک از الگوها، انسان در مواجهه با دامنۀ وسیعی از شرایط مختلف، در به‌کارگیری امکانات موفق نمی‌باشد (قارونی، ۱۳۹۴: ۲۴). از طرفی مطالعه و برنامه‌نویسی این الگوها در ابزار دیجیتال باعث‌شده تا بتوان الگوهای مشابه آنچه در طبیعت رخ می‌دهد را در حوزه‌های فرمی تولیدکرده و به مراحل طراحی وارد ساخت. اکنون شاید بتوان پیچیده‌ترین موضوعات طبیعی را به‌صورت الگوریتم‌هایی خلاصه کنند تا پیچیدگی فضایی را به پیچیدگی محاسباتی تبدیل شوند (خبازی، ۱۳۹۵: ۱۶). الگوبرداری از فرآیندهای زیست‌شناختی می‌تواند از طریق کد و برنامه‌نویسی در مسیر رایانش قرار گرفته و تولید فرم نماید. به‌طورکلی 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 (همان: ۱۲۷). بااین‌حال 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 درحالی‌که متون منتشرشده تئوری در مورد آن اندک است، کار آسانی نیس؛ زیرا این جریان در حال تغییر و رشد مداوم است. به‌طوری‌که هر روز می‌توان برخی از ویژگی‌های جدید را برای این جریان معماری، مورد مطالعه و نگارش قرار داد.

سیستم‌های رایانشی در حدود نیم قرن است که بر حوزه معماری و فرآیند تولید فرم تأثیرگذار بوده است. چنین سیستم‌هایی ابتدا با تئوری‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی (۱۹۴۳)، ماشین‌های سلولی خودکار (دهۀ ۱۹۴۰)، الگوریتم ژنتیک (دهه ۱۹۶۰) (Holland, ۱۹۹۲)، ال‌سیستم‌ها (۱۹۶۸) آغاز گردید. اگرچه نخستین قدم در دهۀ ۱۹۴۰ برداشته شد؛ این نظریه‌ها به‌طور عمده در دهۀ ۱۹۶۰و ۱۹۷۰ همراه با پیشرفت فن‌آوری بسط و گسترش یافت. در دهۀ آخر قرن بیستم، همین نظریات بخش اعظمی از پژوهش بر روی تکنیک‌ها و ابزارهای زایش فرم[۲] را پایه‌گذاری کرد که براساس نظریه‌هایی همچون ماشین‌های سلولی خود کار، الگوریتم ژنتیک و ال سیستم بنا شده‌بودند. 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 دهۀ اول قرن بیست‌ویکم نسل جدیدی از معماران پیشگام همچون مایکل هنسل، آخیم منگس و مایکل واینزتاک (۲۰۱۹-۲۰۰۸) (Hensel, ۲۰۱٤) 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 رابطۀ متقابل میان مفاهیمی نوین زیست‌شناختی همچون ظهور[۳] و خود سازمان‌دهی[۴] و آخرین فن‌آوری‌های طراحی، ساخت و تولید را تعریف می‌کنند که در کنار پژوهشگران دیگری همچون نری اوکسمن (اکولوژی مواد) (Oxman, ۲۰۱۹)، (Oxman, ۲۰۱۲)، جنی سابین و پیتر لوید جونز (کارگاه آزمایشگاه)، (Sabin, ۲۰۱۸) اندرو کودلس (سیستم مواد) (Kudless, ۲۰۱۷)، تام وایزکام (در حال ظهور) (Wiscombe, ۲۰۱۷) و کریس باس(Bosse, ۲۰۱۹) در حال شکل‌دادن به مرزهای یک پارادایم جدید در معماری هستند.

پژوهش حاضر با استفاده از روش تحقیق توصیفی و 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-سیستم ها)، 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، است.

۱. چارچوب نظری

به‌طورکلی پیشنۀ پژوهش و مبانی نظری آن را می‌توان در سه بخش نظریات، روش‌ها و فرآیند ساخت و تولید، در نظر گرفت. دسته‌بندی صورت‌گرفته ابتدا با نظریات مطرح در حوزۀ رایانش ملهم از فرآیندهای زیست‌شناختی با توجه به سلسه 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).

جدول ۱- چارچوب نظری سیستم‌های رایانشی مبتنی بر اصول زیست‌شناختی.

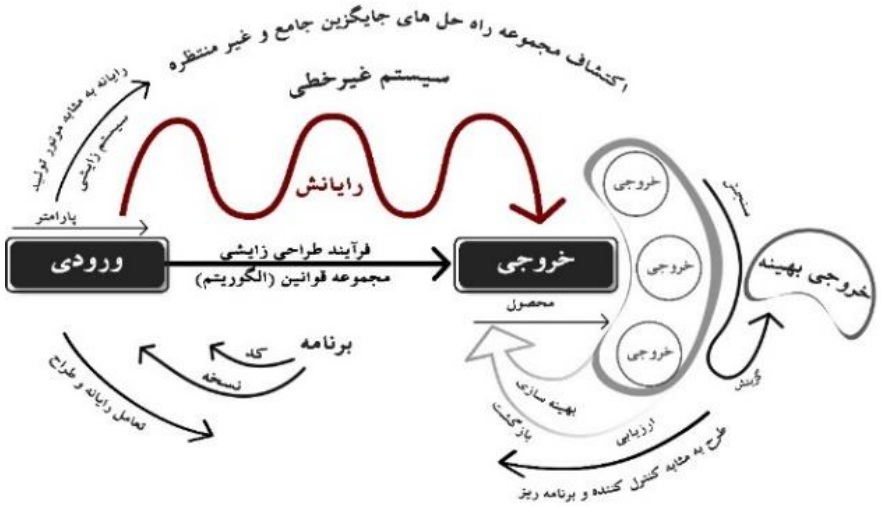
Tab.۱- computational systems based on biological principles

چارچوب		سال	توضیحات	منابع
نظریه	ماشین خودکار سلولی[۵]	۱۹۴۰	ماشین خود کار سلولی که یک سیستم ریاضی و رایانشی[۶] بوده و توسط جان فون نویمان[۷]، استانیسلاو اولام[۸]، و نیلز باریسلی[۹] بسط و توسعه یافت (Frenay, ۲۰۰۸).	(Wolfram, ۱۹۸۳) (Frenay, ۲۰۰۸)
	الگوریتم ژنتیک و رایانش تکاملی[۱۰]	۱۹۶۰	جان هلند[۱۱]برای اولین‌بار 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 است(Winston, ۱۹۹۲: ۵۰۵).	(Holland, **۱۹۹۲**) (Winston, ۱۹۹۲) (Steadman, ۲۰۰۸)
	ال‌سیستم[۱۲]	۱۹۶۸	سیستم ال‌سیستم (سیستم لیندنمایر) برای توصیف نحوهٔ رشد ارگانیسم‌ها پیشنهاد شد. این سیستم یک الگوریتم سلسله مراتبی می‌باشد که توسط گیاه‌شناسی به نام آریستید لیندنمایر[۱۳] در سال ۱۹۶۸ بازنویسی شد (Prusinkiewicz, ۱۹۸٦: ۲۵۳).	(Steadman, ۲۰۰۸) (Prusinkiewicz, ۱۹۸٦)
	نظریهٔ فراکتال[۱۴]	۱۹۷۵	در سال ۱۹۷۵ نظریهٔ فراکتال که براساس کار ریاضیدانانی چون فلیکس هاسدورف[۱۵]می‌باشد، برای اولین‌بار توسط بنوا مندلبرو[۱۶]نامیده شد. فراکتال به این شکل تعریف می‌گردد: "هر فرم بی‌نظم 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).	(Britannica, ۲۰۱۸) (Bovill, ۱۹۹۶)
روش	معماری تکاملی[۱۷]	۱۹۹۵	ایدهٔ معماری تکاملی به سال ۱۹۶۹ در پروژهٔ دانشنامه جان فریزر[۱۸] به‌عنوان یکی از ساختارشکنان فرآیند تولید فرم‌های رایانشی، برمی‌گردد. معماری تکاملی در راستای تقلید رفتار همزیست‌گرایانه و تعادل متابولیکی[۱۹] محیط زیست طبیعی بسط و توسعه یافته است (Steadman, ۲۰۰۸: ۲۳۵) (Frazer, ۲۰۰۲: ۲۳۵).	(Steadman, ۲۰۰۸) (Frazer, ۲۰۰۲)
	روش‌های معماری تکاملی[۲۰]	۱۹۹۶	در دههٔ ۱۹۹۰ مایکل روزنمن[۲۱] و جان گرو[۲۲] بر روی روش‌های معماری تکاملی در دانشگاه سیدنی کار کردند. تحقیقات آن‌ها برروی طراحی تکاملی به‌واسطه تولید ساختارهای پیچیده ژن مفید متمرکز است. آن‌ها روش‌های مختلفی را همانند ساختار پیچیده ژن‌های تکامل‌یابنده از روی جمعیت معیینی از راه‌حل‌های طراحی با استفاده از رویکرد رشد سلسله مراتبی به دست آوردند (Rosenman and Gero, ۱۹۹۹: ۲٤٥).	(Gero, ۱۹۹۹) (Steadman, ۲۰۰۸) (Rosenman and Gero, **۱۹۹۹**)
برنامه	تکنولوژی‌ها و طراحی در حال ظهور[۲۳]	۲۰۰۴ تا کنون	مایکل هنسل[۲۴]، آخیم منگس[۲۵] و مایکل واینزتاک[۲۶]، از بنیانگذاران و مدیران گروه فن‌آوری‌ها و اصول طراحی در حال ظهور[۲۷] در انجمن معماری لندن، از سال ۲۰۰۴ به معرفی روش‌های جدیدی برای تجسم، طراحی و ساخت و تولید	(Hensel and Menges, ۲۰۰۸)

			در معماری می‌پردازند. آن‌ها به اکتشاف مفاهیمی همچون ظهور، مورفوجنسیس[۲۸]، مورفواکولوژی[۲۹] پرداخته‌اند.	(Hensel, Menges ,Weinstock, ۲۰۱۳)
	تکنیک بهینه‌سازی فرم ارگانیسم[۳۰]	۲۰۰۶ تا کنون	معمار آلمانی، کریس باس[۳۱]، در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش‌های رایانشی برای مطالعه بر روی ساختارهای ارگانیک به خلق فضاهای معماری پرداخت. وی از تکنیک بهینه‌سازی فرم ارگانیسم به‌جای طراحی مستقیم فرم، از فرایندی مشابه آنچه که در ارگانیسم‌های طبیعی صورت می‌پذیرد، استفاده می‌کند (bosse, ۲۰۱۹).	(bosse, ۲۰۱۹) (Iwamoto, ۲۰۰۹)
	آزمایشگاه استودیو[۳۲]	۲۰۰۸ تا کنون	همکاری میان جنی‌سابین[۳۳] و پیتر لوید جونز[۳۴] به ترتیب به‌عنوان 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 میان دانشی بر روی فصل مشترک میان معماری، علم و فن‌آوری می‌باشد گشوده است (Chernyakova, ۲۰۱۶).	(LabStudio, ۲۰۱۹) (Sabin, ۲۰۱۹) (Chernyakova, ۲۰۱۶)

۲. طراحی مولد یا زایشی

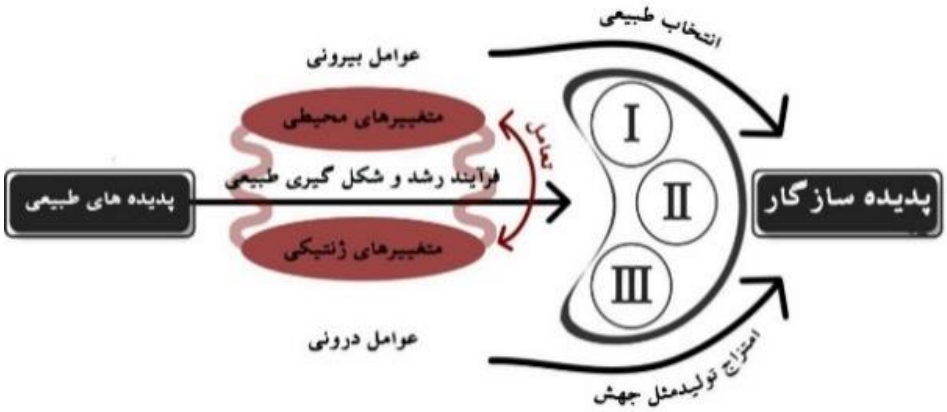
این نوع طراحی یک فرآیند مورفوجنتیک[۳۵] می‌باشد که با استفاده از الگوریتم‌های تشکیل‌یافته از سیستم‌های غیرخطی همانند الگوریتم ژنتیک در راستای حصول نتایج منحصربه‌فرد پایان‌ناپذیر و غیرقابل تکرار انجام‌شده توسط ایدهٔ کد، همان‌گونه که در طبیعت اینچنین است، انجام می‌شود (Soddu and Colabella, ۱۹۹۵). (شکل ۱).



شکل ۱- فرآیند طراحی زایشی

Fig.۱- Generative Design Approach

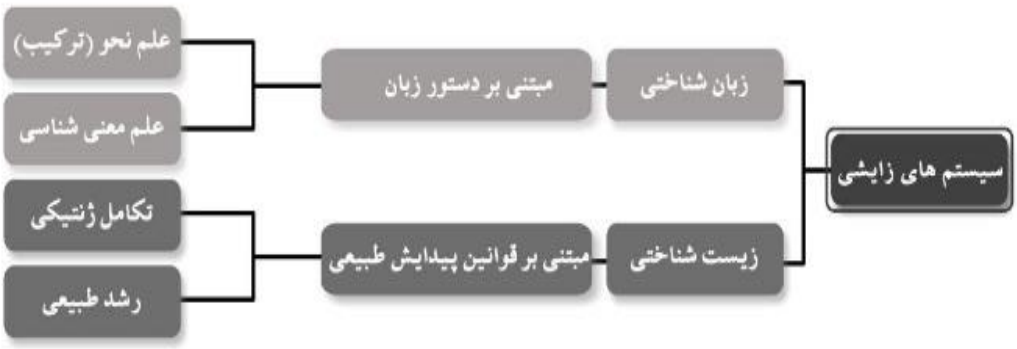
همانند طبیعت با رمزگذاری، فرآیند طراحی به‌جای خود محصول صورت‌می‌پذیرد که مستلزم دارابودن مشخصات رایانشی از قوانین و قواعد شکل‌گیری فرم، اکتشاف گزینه‌ها و متغییرهای طراحی می‌باشد (Gursel, ۲۰۱۲). (شکل۲)



شکل ۲- رویکرد طبیعت‌گرایانه الگوریتم ژنتیک

Fig.۲- Genetic Algorithm Natural Approach

۳.سیستم‌های زایشی (شکل۳) زیست‌شناختی، سیستمی است که طبیعت و موجودات زندهٔ پیچیده را به‌عنوان یک پیش فرض درنظر می‌گیرد و قواعد آن را همچون پیدایش طبیعی به مفهوم توصیف روش‌هایی که در آن‌ها سیستم‌های پیچیده طبیعی تکامل[۳۶] ، خود سازماندهی و رشد[۳۷] می‌یابند، در استخراج و تبدیل شدن به فرم معماری اعمال می‌کند (Hensel, Menges, Weinstock, ۲۰۱۰).



شکل ۳- طبقه‌بندی کلی سیستم‌های زایشی

Fig.۳- Categories of Generative Design Systems

۴.مدل‌های زایشی (شکل ۴) همانند تکنیک‌های زایشی تکاملی فرم[۳۸] که بر پایه انتخاب طبیعی نسل‌ها هستند، "طراحی مکانیزم‌های پیچیده و تعامل با آن‌ها می‌باشد که با پیدایش فرم‌های حاصل از قوانین، روابط و اصول زایشی سر و کار دارد."(Oxman, ۲۰۰۶)

شکل ۴- مدل‌های زایشی

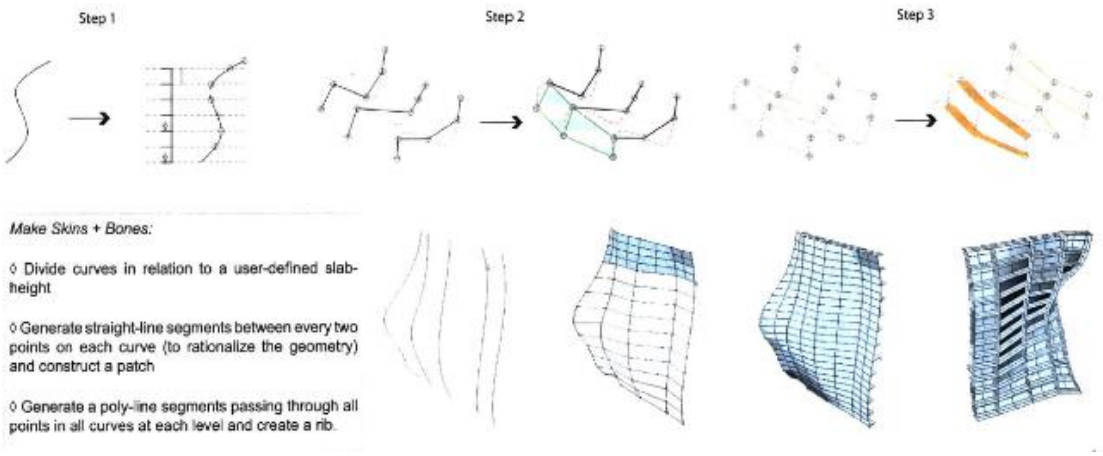
Fig.٤- Categories of Generative Models

۴.۱.رویکردهای سیستم‌های زایشی(شکل ۵) دارای مبنای الگوریتمی هستند که با تغییر متغیرهاای موجود در آن‌ها، یک راه حل جدید ایجاد می‌شود به‌طوری‌که ممکن است گستره گوناگونی از خروجی‌ها که توسط طراح مورد سنجش و ارزیابی قرار گیرند، تولید گردد تا بتوان به گزینه مطلوب دست‌یافت.

شکل ۵- رویکردهای سیستم‌های زایشی

Fig.٥- Generative Systems Approaches

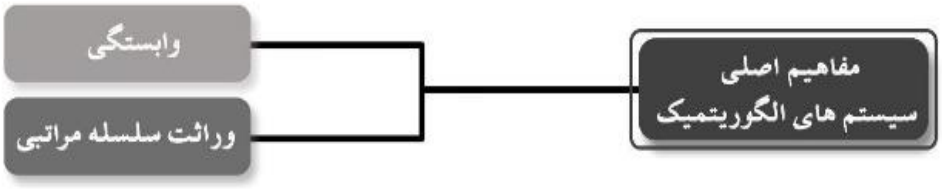
۴.۲.سیستم‌های الگوریتمیک[۳۹] از مؤلفه‌های اصلی تمامی سیستم‌های زایشی هستند. الگوریتم‌ها مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها را در ساختارها یا قوانین مختلف دسته‌بندی می‌کنند. چنین فرایندی به طراحان کمک می‌کند تا متن را تجزیه کرده، روابط را درک کنند و روش‌هایی را برای قضاوت در مورد نتایج تدبیر کنند (El-Khaldi, ۲۰۰۷).(شکل۶)



شکل ۶- آزمایش: پروژه پوست و استخوان با استفاده از سیستم‌های الگوریتمیک.

Fig.٦- Experiment: Skin and Bones by Using Algorithmic Systems

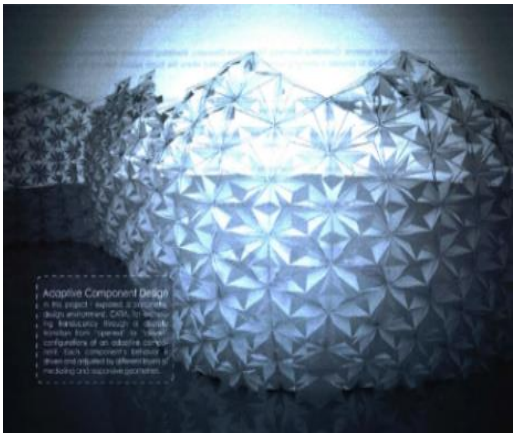
۴.۳.سیستم‌های پارامتریک یک نمونهٔ خاص از سیستم‌های الگوریتمیک هستند. واقعیت این است که هر سیستمی که بتواند المان‌ها را به یکدیگر مرتبط کند یک سیستم پارامتریک است. (شکل۷)



شکل ۷- مفاهیم اصلی سیستم‌های الگوریتمیک.

Fig.٧- Concepts of Algorithmic Systems

این سیستم‌ها اجازه انتشار مقادیر در مجموعه‌های مشترک از پارامترها در بین المان‌های یک خانواده یا خانواده‌های مختلف را می‌دهند. (شکل۸)



شکل ۸- آزمایش: اجزاء پوسته پارامتریک با استفاده از سیستم های پارامتریک.

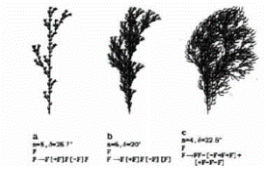
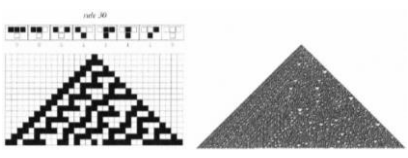
Fig.۸- Experiment: Parametric Skin Component by Using Parametric Systems

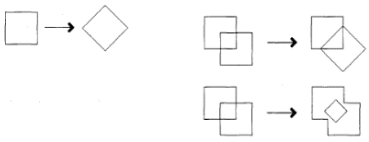
۴.۴. فرمالیست‌ها [۴۰]

این نوع سیستم‌هایی مبتنی بر قانون[۴۱] هستند که با عنوان فرمالیسم تعریف می‌شوند و برای شبیه‌سازی پدیده‌ای بسیار ویژه طبیعی و زیستی، در نقطه مقابل ارائه یک برنامه عملیاتی ایجاد شده‌اند (Elkhaldi, ۲۰۰۷).

جدول۲- الگوهای شبیه‌سازی سیستم‌های فرمالیسم.

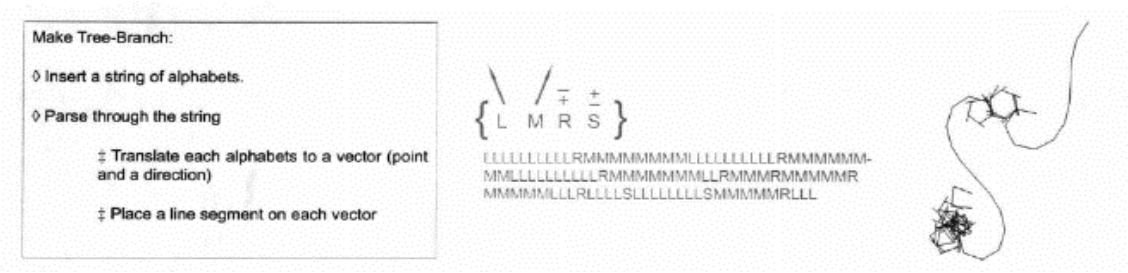
Tab.۲- Ptterns of formalism systems

فرمالی	الگو	شکل	
ال سیستم	که برای شبیه‌سازی فرآیند رشد گیاهی استفاده شده اند.	شکل۹- نمونه‌ای از فرمالیسم ال‌سیستم و تفسیر از زایش هندسی رشد درختی Fig.۹- Example showing L-system formalism and generated geometric interpretation of the tree growth	
سلول های خودکار	سیستم خودکار سلولی برای شبیه‌سازی تولید مثل و تکثیر سلول ایجاد شده‌اند.	شکل۱۰- قانون ۳۰ خودکارسازی سلولی Fig.۱۰- Rule ۳۰ cellular automaton	

فراکتال	سیستم فراکتال برای شبیه‌سازی خود تشابهی در طبیعت هستند.	شکل۱۱- تجسمی از دیرر پنتاگون Fig.۱۱- Durer Pentagon	
گرامر شکل	گرامرهای شکلی برای شبیه‌سازی توانایی انسان برای دیدن و یا محاسبه بصری ایجاد شدند.	شکل۱۲- سمت چپ قانون و سمت راست دو نتیجه ممکن می‌باشد. Fig.۱۲- Left side is the rule, right side are two possible results.	

۴.۵.سیستم‌های ال

این نوع سیستم‌ها 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 براساس تعداد مشخصی نسل، به‌هم متصل خواهند شد. (شکل۱۳)

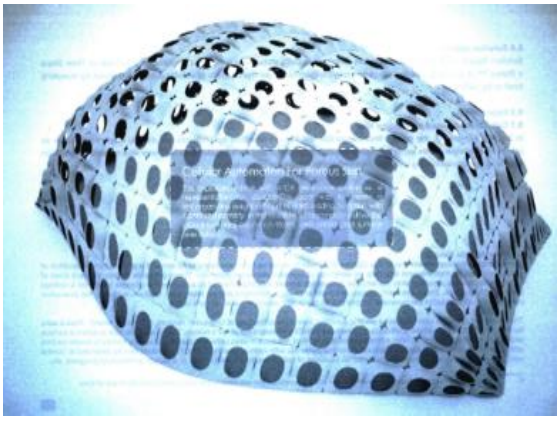


شکل ۱۳- آزمایش: ساخت یک درخت با استفاده از سیستم‌های ال

Fig.۱۳- Experiment: Make A Tree by Using L-system

۴.۶.سیستم‌های خودکار سلولی

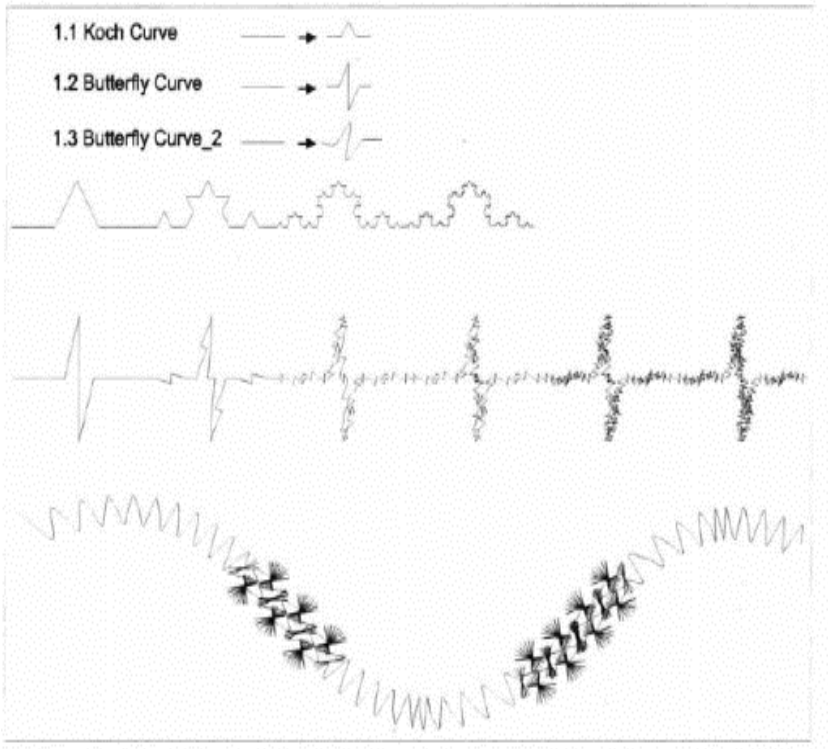
این نوع سیستم‌ها می‌توانند در یک تعداد گام زمانی ثابت به‌صورت مکرر و یا به‌تدریج تا زمانی‌که شرط کلی حاصل شود، خودکار اجراشوند. در معماری، اتوماتای سلولی عمدتاً به‌عنوان سیستم‌های مولد برای تولید الگو کاوش شده‌اند. (شکل۱۴)



شکل ۱۴- طراحی پوست متخلخل با استفاده از سیستم‌های اتوماتای سلولی
Fig.١٤- Experiment: Porous Skin Design by Using Cellular Automata Systems

۴.۷.سیستم‌های فراکتال[۴۲]

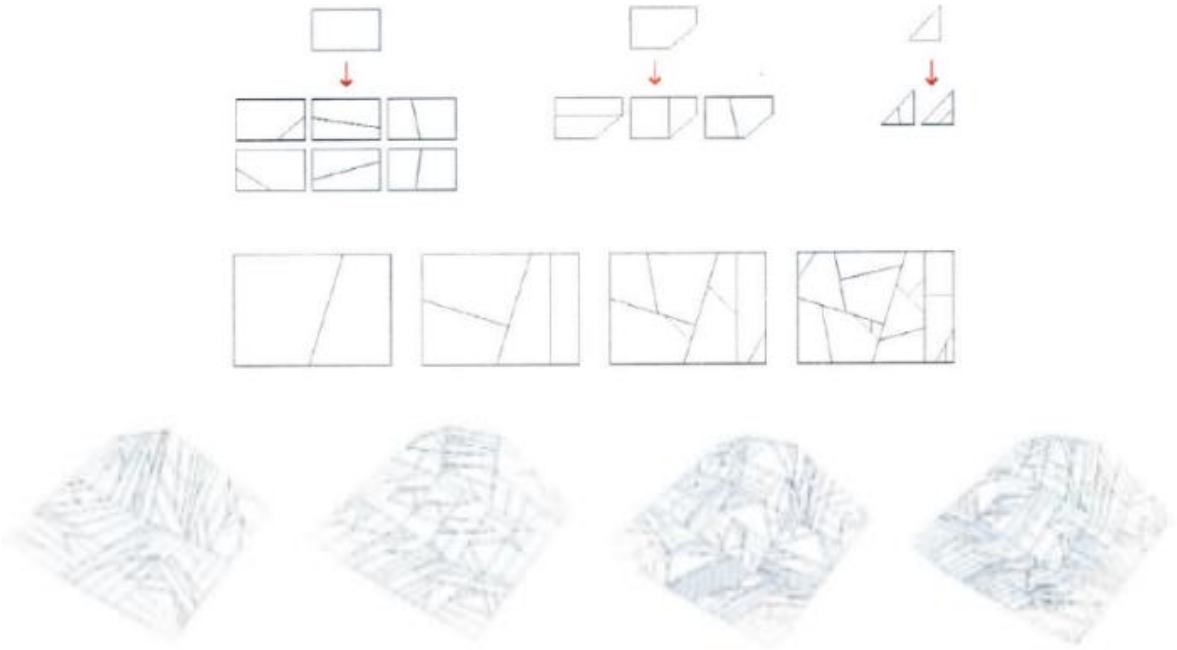
این نوع سیستم می‌تواند به‌صورت الگوریتمیک از طریق بازگشت[۴۳]به تولید اشیاء با قطعات خود تشابه بپردازند. این سیستم براساس مدل‌های ریاضی بازگشتی ابتدا عناصر را می‌شکنند و سپس آن‌ها را با عناصر جدید جایگزین می‌نمایند (El-Khaldi, ۲۰۰۷). (شکل۱۵)



شکل ۱۵- آزمایش: منحنی فراکتال با استفاده از سیستم‌های فراکتال.
Fig.١٥- Experiment: Fractal Curves by Using Fractal Systems

۴.۸.گرامرهای شکلی[۴۴]

این نوع سیستم‌ها 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. (شکل۱۶)

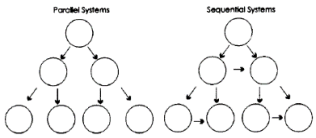
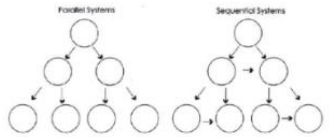
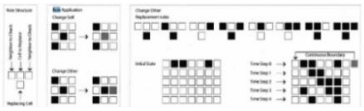
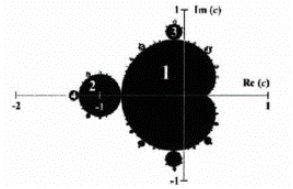
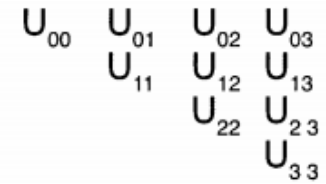


شکل۱۶- آزمایش پنجره‌های یخی با استفاده از گرامر شکلی.

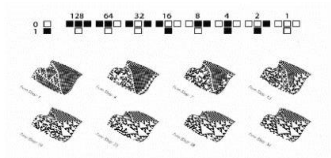
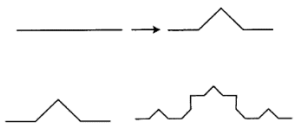
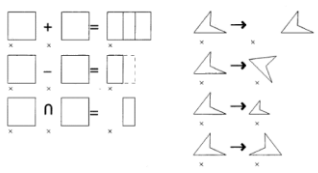
Fig.۱۶- Experiment: Ice-ray Windows by Using Shape Grammar

جدول ۳- ویژگی‌های سیستم‌های زایشی

Tab.۳- Characteristics of generative systems

نام سیستم		مکانیسم سیستم	مثال	
الگوریتمیک		محاسبه‌پذیری و منطق[۴۵] (۱۹۹۹, ۱۹۴۷)	شکل۱۷- سیستم متناوب و سیستم موازی Fig.۱۷- Parallel Systems and Sequential Systems	
پارامتریک		شرکت‌پذیری و/یا وراثت با روابط یک سویه و دو سویه	شکل۱۸- چپ: تکثیر عمودی مقادیر راست: تکثیر افقی Fig.۱۸- Vertical and Horizontal Propagation of Values	
فرمالیسم	ال سیستم	فرایند جایگزینی موازی و تولید سلول‌هایی که تقسیم‌ها در آن همزمان رخ می‌دهند (Lindenmayer and Prusinkiewicz, ۱۹۹۰)	شکل۱۹- قوانین جایگزینی موازی و متوالی Fig.۱۹- Parallel and Sequential Replacement Rules	
	سلول‌های	شبیه‌سازی رفتارهای تکثیر متشکل از قوانین جایگزینی، سلول‌ها و وضعیت‌های اولیه	شکل۲۰- قوانین جایگزینی Fig.۲۰- Replacement Rules	
	فراکتال	تولید موضوعاتی با اجزای خود متشابه[۴۶] است با روش اول: سیستم بازگشت روش دوم، سیستم‌های تابع تکراری(IFS)[۴۷] روش سوم تصادفی[۴۸] (Flake, ۲۰۰۰: ۱۰۳-۱۰۶)	شکل۲۱- فرمول مجموعه ماندلبرو Fig.۲۱- Formula of Mandelbrot Set	$z_{n+1} = z_n^2 + u$ که Z=X+IY 
	گرامر شکل	محاسبات ترکیبی از شمارش و دیدن با رابطه جایگذاری و هویت روش ریاضی از تبیین این دو مفهوم نیز می‌تواند بیان شود.	شکل۲۲- جدول جبری نشان‌دهندهٔ رابطه میان فضای نقطه‌ای و سطحی و حجمی در گرامر شکلی Fig.۲۲- Algebra Table Point Presented Space, Line Space, Plane Space or Volume Space in Shape Grammars	

جدول ۴- مکانیسم سیستم‌های زایشی.

نام سیستم		مکانیسم سیستم	مثال	
الگوریتمیک		مستقل از متن [۴۹] یا حساس به متن [۵۰] (El-Khaldi, ۲۰۰۷).	حساس به متن (El-Khaldi, ۲۰۰۷)	انتخاب شی A و جایگزینی آن با شیء B یا انتخاب بخشی از شیء A و جایگزینی آن با بخشی از شیء B یا انتخاب شی C و جایگزینی آن با هیچ چیز.
پارامتریک		خانواده‌ای از المان‌ها (بخش‌ها) و خانواده‌ها یا المان‌ها (مجموعه‌ها [۵۱]) (El-Khaldi, ۲۰۰۷).	ارتباط خانواده A با خانواده B ایجاد مجموعه AB و دو نوع رابطه تو در تو در مجموعه (El-Khaldi, ۲۰۰۷).	اولین رابطه: رابطه بین A (به عنوان یک کل) و B (به عنوان یک کل). دومین رابطه: ارتباط خانواده‌های مختلف.
فرمالیسم	ال سیستم	ال سیستم/قطعی [۵۲،۵۸]، غیرقطعی [۵۳]، مستقل از متن، حساس به متن (Alfonseca and Ortega, ۱۹۹۷)	سیستم‌های لیندن مایر غیر قطعی (Alfonseca and Ortega, ۱۹۹۷)	رشته اولیه: {RRL}، قانون معین شده: R → L و R → M را می‌توان با حروف الفبای L یا M تعویض کرد.
	سلول‌های خودکار	ثابت [۵۴]، دوره‌ای، آشفته (غیرقابل پیشبینی از نظر فضا و زمان) [۵۵] و تصادفی (Flake, ۱۹۹۸)	شکل۲۳- رفتار پیچیده، قانون ۹۰ Fig.۲۳- An Example of Complex Behavior is Rule ۹۰	
	فراکتال	تولید رفتار از بازگشت، تکرار یا تصادف: خود تشابهی کامل توسط بازگشت، خود-تشابهی تقریبی [۵۶] توسط تکرار و خود تشابهی آماری (El-Khaldi, ۲۰۰۷).	شکل۲۴- قوانین جایگزینی برای تولید منحنی کخ Fig.۲٤- The Generation Process of a Fractal Koch Curve	
	گرامر شکل	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.	شکل۲۵- عملیات بولی و تغییر شکل اقلیدسی Fig.۲۵- Boolean Operations and Euclidean Transformations	

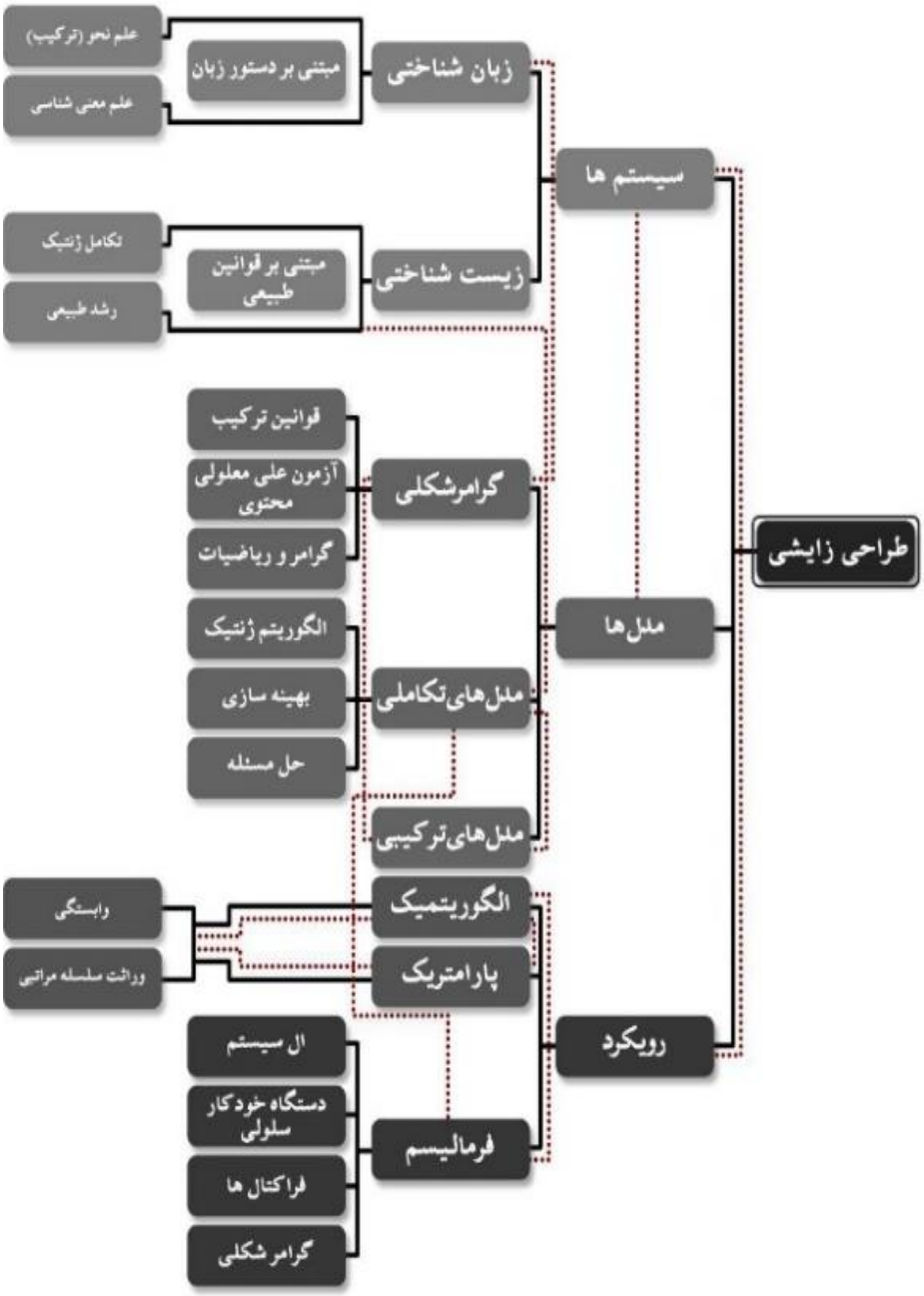
۵. مقایسه سیستم‌های زایشی

سیستم‌های الگوریتمی اجزای پایه تمام سیستم‌های زایشی هستند. آن‌ها یک ساختار خاص یا رابطه یا یا واحد یا زمینهٔ 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 یکسویه 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 ال نمونه‌ای ویژه‌تر از سیستم‌های الگوریتمی می‌باشند که مانند همه، به قوانین و واحدها متکی می‌باشند. قوانین به یک فرایند جایگزینی یک‌به‌یک محدود نمی‌شود؛ بلکه همزمان به همه حروف اعمال می‌شوند که نشان‌دهندهٔ تولید سلول‌هایی است که تقسیم‌ها در آن همزمان رخ می‌دهند. به این شکل که رفتارها در چند حرف و قانون دسته‌بندی شده و یک شبکه درخت مانند از حروف الفبا ایجاد می‌شود که مجموعه کل نسل‌ها، یک راه‌حل نامیده می‌شود. از نظر برنامه‌نویسی، اجرای این این سیستم‌ها به دلیل داشتن واحدهای گسسته بسیار آسان است. کاربر تنها نیاز به ارائه قوانین و یک رشتهٔ اولیه دارد. سپس رشته شکسته‌شده، بازنویسی می‌شود و براساس تعداد مشخصی نسل، به‌هم متصل خواهند شد. ولی ال‌سیستم از همه سیستم‌ها حداقل انعطاف‌پذیری را دارا می‌باشد. نمادهای آن به یک نوع معنی، حرف محدود می‌شوند. درصورتی‌که 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 نشان‌دهند. 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 به‌صورت مکرر و یا به‌تدریج 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. درصورتی‌که مفهوم "کوچک‌ترین واحد" برای سیستم‌های فراکتال قابل استفاده نیست؛ زیرا آن‌ها براساس مدل‌های ریاضی بازگشتی هستند دارای ماهیت سلسله مراتبی هستند. الگوریتم‌های فراکتال ابتدا به‌صورت بازگشتی المان‌ها (عناصر) را شکسته و سپس آن‌ها را با المان‌های جدید جایگزین می‌کنند و تا زمانی‌که با یک شرط توقف منطبق شود واحدها را به واحدهای کوچک‌تر تجزیه‌کرده و سپس قوانین جایگزینی را اعمال می‌کند.

همه سیستم‌های قبلی، واحدها را با فرض اینکه که هویت آن‌ها را در طول فرایند محاسباتی به‌شکل ثابتی حفظ کرده‌اند به‌صورت مجزا (با مرز بندی مشخص) شناسایی می‌کنند. درصورتی‌که در گرامرهای شکل، واحدها هم توسط تعاریف ثابت و هم انعطاف‌پذیر شناخته می‌شوند. البته گرامرهای شکل، مانند سایر فرمالیسم‌ها به قوانین و واحدها

متکی می‌باشند. با این‌حال، 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. درکل در یک فرآیند شکل‌گیری فرم، همه سیستم‌های زایشی با ویژگی‌های منحصر به فردشان می‌توانند در یک سیستم تعاملی باهم مرتبط باشند.(شکل۲۶)



شکل ۲۶- رابطهٔ 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 ازجمله تکامل، خود سازماندهی و رشد، شکل‌گیری ترکیبات پیچیدهٔ صوری و مفهومی معماری را از طریق اجرای مجموعهٔ ساده‌ای از عملیات و پارامترها امکان‌پذیر می‌نماید. به این شکل که از طریق نگارش ایده طراح به‌صورت 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. به‌عبارتی سیستم زایشی یک سیستم تولید می‌باشد که مشخصاً خود محصول طراحی را تعیین نمی‌کند، در عوض مشخصه سطح بالاتری را معیین 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 شیء از پیش طراحی‌شده به‌سوی مدل‌سازی منطق حاکم بر طراحی است. بدین‌گونه فضای طراحی برای اکتشاف گزینه‌ها و متغییرهای طراحی گشوده می‌گردد و امکان انتقال برخی از وظایف و هوشمندی‌های موجود در طراحی را با کدگذاری از انسان به خود، نوید می‌دهند.

پی‌نوشت

۱- Christopher Alexander
۱- Form Generation Techniques and Tools
۲- Emergence
۳- Self-Organize
٤- Cellular Automation
٥- Computation
٦- Neumann John Von
۷- Stanislaw Ulam
۸- Nils Barricelli
۹- Evolutionary computation
۱۰- John Holland
۱۱- L-system (the Lindenmayer system)
۱۲- Aristid Lindenmayer
۱۳- Fractal Theory
۱٤- Felix Hausdorff
۱٥- Benoit B. Mandelbrot
۱٦- Evolutionary Architecture
۱۷- John Frazer
۱۸- Metabolic balance
۱۹- Methods for evolutionary architecture
۲۰- Michael Rosenman
۲۱- John Gero
۲۲- Emergent Technologies and Design
۲۳- Michael Hensel
۲٤- Achim Menges
۲٥- Michael Weinstock
۲٦- Emerging design principles
۲۷- Morphogenesis
۲۸- Morpho-Ecology

۲۹- Optimization technique
۳۰- Chris Bosse
۳۱- LabStudio
۳۲- Jenny Sabin
۳۳- Peter Lloyd Jones
۳٤- Morphogenetic Process
۳٥- Evolution
۳٦- Self Organization and Growth
۳۷- Evolutionary Form-Generation Techniques
۳۸- Algorithmic Systems
۳۹- Formalisms
٤۰- Rul-based Systems
٤۱- Fractal systems
٤۲- Recursion
٤۳- Shape grammars
٤٤- Computability and Logic
٤٥- self-similar
٤٦- Iterated Function Systems
٤۷- Stochastic (Random)
٤۸- Context-free
٤۹- Context-sensitive
٥۰- Assemblies
٥۱- Deterministic
٥۲- Non-deterministic
٥۳- Fixed
٥٤- Chaotic
٥٥- Semi Self-similar

منابع

Alfonseca, M., and Ortega, A. (۱۹۹۷). A Study of the Representation of Fractal Curves by L Systems and Their Equivalences. IBM Journal of Research and Development, (٤١)٦.

Bovill, C. (۱۹۹٦). Fractal geometry in architecture and design.

El-khaldi, M. (۲۰۰۷). Mapping boundries 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. ۲۲۹-۲٥۸.

Flake, Gary William. (۲۰۰۰). The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals. Chaos. Complex Systems. And Adaptation. Cambridge: The MIT Press. ۱۰۳-۱۰٦.

Frazer, J. (۱۹۹٥). 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. ٥th International GenerativeArt.

Frenay, R. (۲۰۰۸). Pulse: The coming age of systems and machines inspired by living things. Lincoln: University of Nebraska Press.

Gharuni Esfahani, Fateme. (۲۰۱٥). 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 , ۲۰۷-۲۲٤.

Hensel, M. (۲۰۱٤). 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), ٦-۱۱.

Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (۲۰۰٤). *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, ۲٦۷, ٦٦ – 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. (۲۰۱٦). Digital Diposition of Materials. Mashhad: Kasra Publishing.
Lindenmayer, A., & Prusinkiewicz, P. (۱۹۹۰). The Algorithmic Beauty of Plants. New York: Springer-Verlag.
Oxman, R. (۲۰۰٦). Theory and Design in The First Digital Age. Design Studies, ۲۲۹-۲٦٥.
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. (۱۹۸٦). 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, ۳٤٥-۳٦٤.
Soddu, C., & Colabella, E. (۱۹۹٥). 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, Masoumeh. (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, Stephen. (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.co
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.edu