نشریهٔ علمی باغ نظر، ۱۸(۹۵)، ۱۹-۳۶ / اردیبهشت ۱۴۰۰
DOI: 10.22034/bagh.2019.161797.3914

ترجمهٔ انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
The Application of Evolutionary Algorithms and Shape Grammar in the Design Process Based upon Traditional Structures
در همین شمارهٔ مجله به‌چاپ رسیده است.

مقالهٔ پژوهشی

کاربست «الگوریتم‌های تکاملی» و روش «دستور زبان شکل» در فرایند طراحی مبتنی بر ساختارهای سنتی*

هدی اسمعیلیان طوسی**[۱]، ایرج اعتصام[۲]، محمدجواد مهدوی‌نژاد[۳]

۱. دکتری معماری، مربی دانشگاه، گروه تخصصی معماری، دانشگاه خاور نزدیک، نیکوزیا، قبرس.
۲. استاد دانشگاه، گروه تخصصی معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳. استاد گروه معماری، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۲/۰۱

چکیده

بیان مسئله: کاربست روش‌های شکل-محور در سیستم طراحی مولد، اگرچه در جهت توصیف و تحلیل یک سبک یا معماری منطقه‌ای و یا اثری خاص در مطالعات متعددی مورد بررسی قرارگرفته‌اند، پیچیدگی و تعدد قواعد ساختاری و عدم انعطاف‌پذیری این روش‌ها در ارزیابی و بهینه‌یابی نمونه‌های جدید تولیدشده تا حدودی از مطلوبیت کاربرد آن‌ها کاسته است. با این وجود، توانایی تولید فرم‌های جدید بر مبنای قوانین اشکال، علاوه بر تحلیل و استخراج قواعد شکلی یک ساختار سنتی، لزوم بررسی بیشتر روش‌های شکل-محور را مشخص می‌کند.

هدف پژوهش: این پژوهش در راستای پاسخگویی به این کاستی، رویکرد ترکیبی تکاملی مولد را پیشنهاد می‌کند. کاربست روش‌های تکاملی مولد می‌تواند نگرش جدیدی در فرایند تحلیل ساختارهای سنتی و طراحی جدید مبتنی بر این ساختارها ارائه دهد.

روش پژوهش: روش پژوهش بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای و به‌صورت تحلیلی-توصیفی جهت بررسی ادبیات موضوعی مرتبط بوده و همچنین با درنظرگرفتن نمونه‌های موردی از میان خانه‌های سنتی کاشان، از ترکیب روش شیپ گرامر (دستورزبان شکل) جهت تحلیل ویژگی‌های ترکیب‌بندی و روابط فیزیکی-فضایی در خانه‌های سنتی، و ابزار الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌یابی ساختارهای جدید تولیدشده، استفاده می‌کند.

نتیجه‌گیری: نتیجهٔ تحقیق نشان‌دهندهٔ کارایی روش‌های تکاملی مولد در بهبود و تسریع فرایند تحلیل ویژگی‌های ساختارهای سنتی و همچنین تولید طرح‌های متنوع جدیدی است که می‌توانند جوهرهٔ فضایی ساختارهای سنتی را حفظ کنند.

واژگان کلیدی: *طراحی تکاملی مولد، الگوریتم‌های تکاملی، دستورزبان شکل، طرحوارهٔ قوانین فضایی، الگوریتم ژنتیک.*

* این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری خانم «هدی اسمعیلیان طوسی» با عنوان «معماری تکاملی مولد، کاربست الگوریتم ژنتیک در چالش تداوم و تغییر در معماری» است که به راهنمایی دکتر «ایرج اعتصام» و مشاورهٔ دکتر «محمدجواد مهدوی‌نژاد» در «دانشکدهٔ هنر و معماری»، «دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران» در سال ۱۳۹۷ ارائه شده است.

** نویسندهٔ مسئول: ۰۰۹۰۵۳۹۱۰۵۵۲۱۱، hoda.esmaelian@neu.edu.tr

مقدمه

در فرایند سنتی طراحی ساختار جدید مبتنی بر ساختارهای سنتی، همواره اتخاذ پاسخ بهینه که طیفی از طراحی تقلیدی یا کاملاً متضاد با بستر را شامل می‌شود، ذهن معماران و متخصصین را درگیر کرده است. در بسیاری از موارد طراحان با استفاده از روش سنتی طراحی و دخیل‌کردن اولویت‌ها و ترجیحات شخصی اقدام به طراحی کرده‌اند که لزوماً پاسخ مناسبی به محیط نبوده است. رویکرد تکاملی مولد با ابزارها و تکنیک‌های نوین خویش سعی در تسهیل‌کردن روند توصیفی-تحلیلی ساختارهای سنتی و امر اتخاذ پاسخ بهینهٔ طراحی دارد. اگرچه مسئله تولید (مولدبودن) امر ذاتی در کلیهٔ مراحل سنتی طراحی بوده است، کاربست ابزارهایی که در واقع بخشی از فکر و دست طراح بوده و منجر به تولید پاسخ‌های متعدد بهینه شود (الگوریتم‌ها) در اوایل قرن بیستم به منصهٔ ظهور رسید. از آن زمان، مرحلهٔ نوینی از ابزارهای طراحی در دست توسعه قرار گرفته است. این ابزارها در برابر منفعل بودن، فعال توصیف می‌شوند، زیرا نه‌تنها بخشی پیوسته از فرایند طراحی دستی، بلکه بخشی از فرایند طراحی شناختی نیز هستند. چنین ابزارهای نرم‌افزاری تنها امکان تحلیل و ارزیابی را ایجاد نمی‌کند، بلکه گزینه‌های دیگر طراحی را جست‌وجو و تولید می‌کند. این ابزارها آزادکردن طراح را از تعین طرح و محدودیت‌های عقل قراردادی، هدف قرار داده‌اند، بنابراین امکان کاوش در میان تعداد زیادی پیشنهادهای ممکن برای یک مشکل طراحی را فراهم می‌کنند. فرایند نوینی که در این پژوهش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است، ترکیب دو روش تکاملی و مولد جهت بهبود و تسریع فرایند تحلیل و طراحی است. بدین منظور، در قسمت اول، توصیف حوزهٔ تحقیق، دو دستهٔ کلی روش‌های تکاملی و مولد را مورد بررسی و تحلیل قرار داده، و در بخش دوم مکانیسم استفاده از قواعد دو روش دستور زبان شکل (مولد)، و ابزار الگوریتم ژنتیک (تکاملی) را شرح می‌دهد. به‌علاوه در بخش سوم، جهت بررسی فرایند تکاملی مولد، به‌عنوان فرایندی پاسخگو به حل مسئله تحلیل ساختارهای سنتی و اتخاذ الگوهای جدید مبتنی بر آن، تعداد ۳۰ نمونهٔ موردی از میان ۵۰ خانهٔ سنتی دورهٔ قاجاریه در شهر کاشان انتخاب شده‌اند که با ترکیب روش دستور زبان شکل و استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد تحلیل قرار گرفته و نمونه‌های جدید کاوش می‌شوند. از آنجا که هر فرایند طراحی هدف یا اهدافی خاص را براساس مسئلهٔ طراحی و یا بستر خاص خود دنبال می‌کند، می‌توان با تعیین توابع برازش مناسب، به ارزیابی نمونه‌های جدید پرداخت و بهینه‌ترین جواب را میان نسل‌های متعدد کاوش‌شده انتخاب کرد.

سؤالات تحقیق

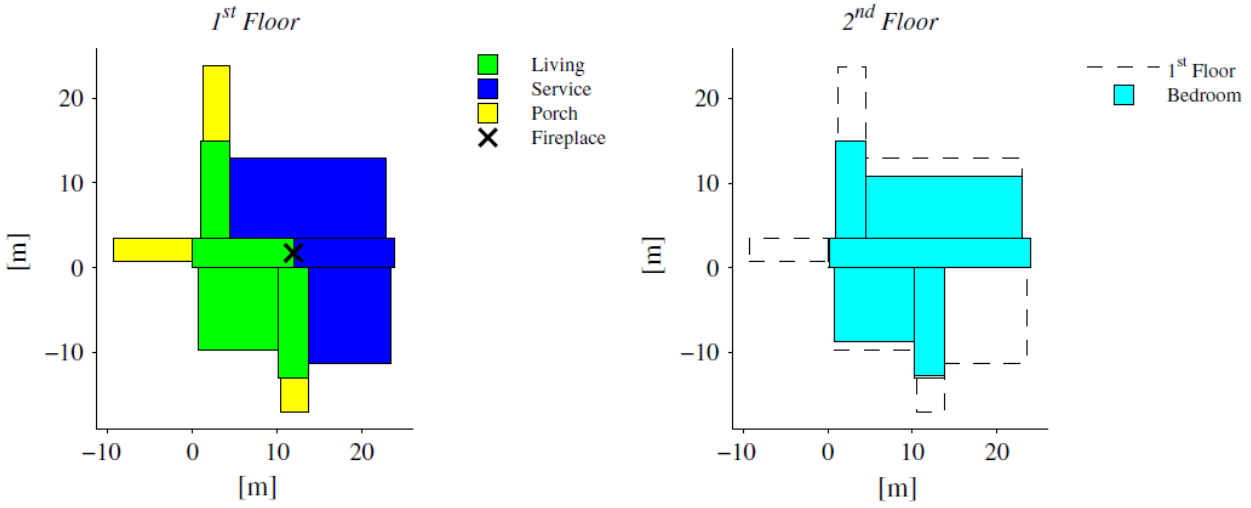
در این پژوهش سؤال اصلی عبارت است از اینکه چگونه می‌توان با ترکیب روش تکاملی و مولد به سیستمی تعاملی جهت تولید نمونه‌های جدید معماری مبتنی بر قواعد ساختاری نمونه‌های سنتی دست یافت؟

پیشینهٔ تحقیق

جهت تحلیل نمونه‌های موردی در این پژوهش، خانه‌های سنتی کاشان، از روش دستور زبان شکلی (شیپ گرامر)[۱] به‌عنوان یکی از روش‌های مولد بهره گرفته شده است. روش دستور زبان شکل در مقاله‌ای مرتبط با شیوه‌یابی دستور زبان شکل توسط استاینی و گیپز مورد بررسی قرار گرفت (Stiny & Gips, 1971). در سال‌های بعد از آن تا کنون این روش جهت تحلیل شیوه و یا سبک خاص معماری مانند بررسی معماری «ژوزپه تراگنی»[۲]، خانه‌های «فرانک لوید رایت»[۳]، «گلن مرکوت»[۴]، «کریستوفر رن»[۵]، چایخانه‌های سنتی ژاپنی، خانه‌های کوئین آن، خانه‌های سنتی ترکیه، تایوان و بسیاری سبک‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفته است (Stiny & Mitchell, 1978; Koning, 1981; Flemming, 1987; Knight, 1991; Duarte, 2005). با بررسی ادبیات موضوعی در زمینهٔ تحلیل ساختارهای سنتی با روش دستور زبان شکل در بازهٔ سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ میلادی از میان مجلات ISI از پایگاه‌های معتبر، جنبه‌های متعدد مطالعه‌شده در این روش مانند توجه به اشکال دوبعدی و سه‌بعدی، روش پارامتریک، روش‌های تحلیلی، توصیفی و هندسی و انواع روش‌های برداشت ویژگی‌های فیزیکی-فضایی ساختارهای سنتی، مطالعه و تحلیل شده است. روش‌های اولیه (روش‌های عمومی برای تولید شکل براساس قوانین) در دستور زبان شکل جهت استفاده در فرایند تحلیل یک ساختار سنتی مناسب است، ولی برای برقراری تعامل میان چند ساختار پیچیده مناسب نیست. به‌عنوان مثال هیون لی و همکاران (Lee, Ostwald & Gu, 2015)، در مقالهٔ «رویکرد نحوی و دستوری به چیدمان، تحلیل و تولید معمارانه»، دو رویکرد نحو فضا و شیپ گرامر را با یکدیگر جهت تحلیل خانه‌های «گلن مارکوت»[۶]، ترکیب کرده‌اند. لیگلر و اکونومو (Ligler & Economou, 2015) در مقالهٔ «گمشده در ترجمه: به‌سوی توصیف خودکار از معماری محلی جان پورتمن»، به بررسی رویکرد شیپ گرامر از طریق نمونه موردی خانهٔ مسکونی «جان پورتمن»، معمار آمریکایی نوآینده‌گرا، می‌پردازند و چالش‌ها و فرصت‌هایی که این ترجمه برای زمینهٔ گسترده‌تری از محاسبات شکلی فراهم می‌آورد را مطرح می‌کنند (ibid.). غالب مقالات

کاربردی در زمینهٔ دستور زبان شکل، یا به تحلیل تک اثر معماری و یا به چگونگی بهینه‌یابی نمونه‌های تولیدشده به‌صورت مجزا پرداخته‌اند. با این وجود، مطالعات کمتری کاربست این روش در فرایند طراحی مفهومی را مورد بررسی جامع قرار داده است. این پژوهش درصدد است تا با ترکیب روش دستور زبان شکل جهت استخراج ویژگی‌های فیزیکی-فضایی و الگوریتم تکاملی (الگوریتم ژنتیک) جهت بهینه‌سازی نمونه‌های جدید، سیستمی جهت طراحی مبتنی بر ساختارهای سنتی پیشنهاد دهد.

«جان فریزر» یکی از نخستین افرادی است که از روش‌های تکاملی در طراحی، به‌خصوص در معماری و طراحی ساختار استفاده کرده و جنبهٔ مولدبودن الگوریتم‌های تکاملی را مورد مطالعه قرار داده است (Frazer, 1995). سیمز (Sims, 1994) نیز تجربیات نخستین را در زمینهٔ کاربست الگوریتم ژنتیک در طراحی گرافیکی و طراحی موجودات مصنوعی بررسی کرد. تحقیقات و پروژه‌های متعددی در رابطه با تولید فرم برای طراحی معمارانه و سازه‌ای با فرایندهای تکاملی صورت پذیرفته است (Janssen, 2005; Kicinger, 2005). به‌عنوان مثال در تحقیقی با عنوان «بررسی مسئلهٔ شکل‌یابی ساختمان‌های بلندمرتبه توسط روش محاسباتی تکاملی» نگارندگان (Ekici, Kutucu, Sarıyıldız & Taşgetiren, 2015) با استفاده از دو ابزار الگوریتم تکاملی «NSGA-II» و «DE» بر طراحی مفهومی ساختمان بلندمرتبه براساس کارایی محاسباتی‌بودن و ویژگی‌های معمارانهٔ گزینه‌های تولیدشده تمرکز داشته‌اند. تحقیقات متعددی از این دست در رابطه با ترکیب بهینه‌یابی فرم معمارانه و کارایی طرح از منظر سازه‌ای توسط ترکیب روش مولد و ابزار الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفته است (Von Buelow, 2010). در مطالعاتی که به توابع هدفمند منتج از مسائل معماری می‌پردازند، روند ترکیبی از روش‌های گوناگون دنبال می‌شود. در سیستم‌های مولد طراحی که از توابع هدف جهت فرایند بهینه‌سازی استفاده می‌کنند، می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌یابی تصادفی مانند الگوریتم ژنتیک در فرایند کاوش و تولید استفاده کرد. با این وجود غالب پژوهش‌های کاربردی در زمینهٔ الگوریتم‌های تکاملی، به رویکرد بهینه‌سازی راه‌حل‌ها براساس مسائل کارایی-محور پرداخته و در مطالعات اندکی می‌توان ترکیب روش‌های مولد و تکاملی در مراحل اولیهٔ طراحی را بررسی کرد. پژوهش‌های ترکیبی[۷] بیشتر در حوزهٔ طراحی محصولات و برند (Mckay & Pennington, 2006) و طراحی جواهرآلات (Kielarova & Pradujphongphet, 2015) بوده است. از مطالعات ترکیبی که روش دستور زبان شکل با کاربست الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است می‌توان به مقالهٔ «نمایش عمومی غیرمستقیم برای بهینه‌سازی سیستم مولد توسط الگوریتم ژنتیک: کاربست سیستم طراحی برای دستور زبان شکل» (Granadeiro, 2013) اشاره کرد. در این مقاله دستور زبان شکل برای خانه‌های «فرانک لوید رایت»، به‌عنوان نمونهٔ موردی برداشت‌شده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک با استفاده از یک تابع برازش بهینه‌یابی صورت گرفته است. این مقاله بیشتر بر نحوهٔ نمایش الگوریتم ژنتیک در سیستم برنامه‌نویسی طراح تمرکز داشته و بر فرایند طراحی تکاملی مولد به‌صورت سیستمی جهت طراحی مبتنی بر ساختارهای سنتی اشاره‌ای ندارد. تصویر ۱ نشان‌دهندهٔ طرح پلان تولیدشده با قوانین مشخص در نرم‌افزار متلب است.



تصویر ۱. دو نمونه طرح پلان تولیدشده با قوانین مشخص در نرم‌افزار متلب. مأخذ: Granadeiro, 2013.

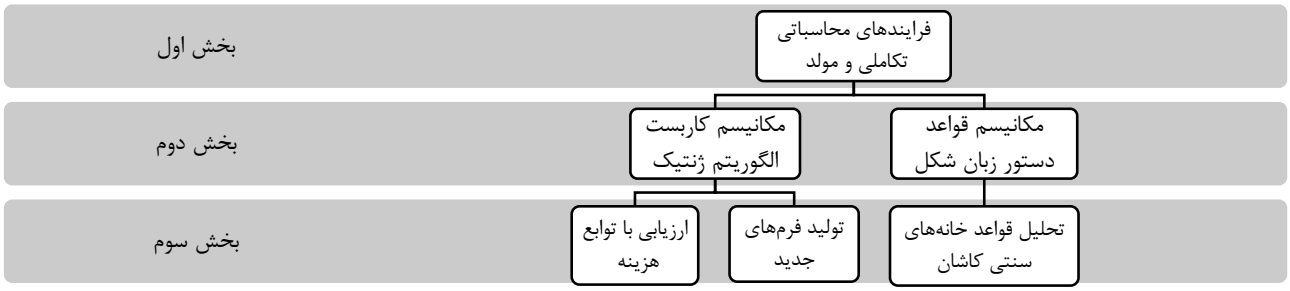
روش تحقیق

در این مقاله از روش توصیفی-تحلیلی با مطالعات کتابخانه‌ای جهت دسته‌بندی و تجزیه و تحلیل ادبیات موضوعی در رابطه با روش‌های مولد، تکاملی و ترکیبی به‌کار رفته است. سپس از طریق بررسی میدانی و تجزیه و تحلیل ۵۰ نمونهٔ موردی از میان خانه‌های سنتی کاشان در سلسلهٔ قاجار، ۳۰ خانه انتخاب شده و با استفاده از قوانین ترکیبی دستور زبان شکل ارائه شده است. این قوانین در نرم‌افزار متلب به‌عنوان معادلات و متغیرهایی ترجمه می‌شوند تا جمعیت اولیه مرتبط با قوانین ترکیبی تولید کنند. سپس توابع هدف متناسب با قواعد ساختاری تعریف می‌شود و با ابزار الگوریتم ژنتیک بهینه‌یابی می‌شود. ساختار تحقیق شامل سه بخش است: ۱- توصیف حوزهٔ تحقیق و بررسی تئوری‌ها و روش‌های طراحی تکاملی و طراحی مولد، ۲- بررسی و تحلیل انواع شیوه‌های کاربست این تئوری‌ها جهت تحلیل ساختارهای سنتی و تولید طرح‌های جدید و ۳- کاربست روش شیپ گرامر و الگوریتم ژنتیک در دستیابی به طرحوارهٔ قوانین فضایی ساختارهای سنتی در نمونه‌های موردی (خانه‌های سنتی کاشان) و بهینه‌یابی نمونه‌های جدید استخراج‌شده با الگوریتم ژنتیک. تصویر ۲ نشان‌دهندهٔ ساختار این تحقیق است.

فرایندهای محاسباتی تکاملی[۸] (EC)

فرایند محاسباتی تکاملی، حوزهٔ تحقیقاتی در علوم کامپیوتری را شامل می‌شود که الهام‌گرفته از مکانیزم‌های تکامل طبیعی است. ای. سی. در گستره‌ای از مسائل گوناگون در حوزه‌های هنر، بیولوژی، شیمی، اقتصاد، مهندسی، ژنتیک، فیزیک، روباتیک و غیره، به‌صورت موفقیت‌آمیزی به‌کار برده شده است. با وجود اینکه معماری طراحی‌شده براساس این رویکرد را می‌توان ارگانیک (طبیعی) خواند، لزوماً از اشکال ارگانیسم‌های طبیعی تقلید نمی‌کند، بلکه فرایندها و ساختارهای طبیعی شبیه‌سازی‌شده از بیولوژی را مورد استفاده قرار می‌دهد.

به‌صورت کلی در تفکر عمومی نسبت به فرایند طراحی طبیعی تغییری صورت پذیرفته است و «طبیعت» به‌عنوان مأخذی از اشکال، به «طبیعت» به‌عنوان گستره‌ای از فرایندهای درهم‌تنیده و مرتبط پویا، که می‌تواند شبیه‌سازی شده و برای فرایند طراحی و تولید معماری استفاده شود، تغییر کرده است (Hensel, 2010). روش محاسباتی تکاملی یکی از روش‌های فرابتکاری[۹] در کنار الگوریتم ژنتیک[۱۰]، شبکهٔ عصبی[۱۱]، کلونی مورچگان[۱۲]، ازدحام ذرات[۱۳]، کلونی زنبور[۱۴] و غیره، بنیاد دانش تکاملی را تشکیل می‌دهند. روش محاسباتی تکاملی به‌صورت معمول شامل الگوریتم تکاملی (EA)، راهبردهای تکاملی (ES)، الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه‌نویسی ژنتیکی (GP) است، که تمامی این روش‌ها فرایند تکامل طبیعی را شبیه‌سازی می‌کنند. با وجود اینکه تفاوت‌هایی در مکانیسم جهش و آمیزش در میان این روش‌ها وجود دارد، همگی شامل راه‌حل‌های تکاملی (جمعیت تکامل‌یافته) مبتنی بر انتخاب اصلح در محیط (تابع هدف) هستند. عبارت الگوریتم‌های تکاملی[۱۵] بیان‌کنندهٔ یک دسته از روش‌های آماری بهینه‌سازی است که مبتنی بر شبیه‌سازی فرایند تکامل طبیعی است. در دههٔ ۱۹۷۰ چندین الگوریتم تکاملی از جمله الگوریتم ژنتیک (GA)، برنامه‌نویسی تکاملی (EP)، استراتژی‌های تکاملی (ES) و غیره معرفی شدند. بسیاری از مسائل معماری دارای دو نوع مشکل هستند، یکی وجود چندین هدف متضاد و دیگری وجود فضای جست‌وجوی بسیار پیچیده و وسیع. در این گونه مسائل به جای یافتن یک جواب بهینه، مجموعه‌ای از جواب‌های سازش‌یافته که به آن جواب‌های بهینهٔ پارتو[۱۶] گفته می‌شود (Caldas, 2002) به‌دست می‌آید. در صورتی که اهداف بر یکدیگر ارجحیتی نداشته باشند، هیچ‌کدام از این جواب‌ها بر دیگری برتری ندارد. این ویژگی در فرایند طراحی مبتنی بر ساختارهای جدید اهمیت به‌سزایی دارد، زیرا پارامترهای گسترده و ظاهراً متناقض دخیل در این فرایند طراحی استفاده از روش‌های خطی طراحی را دچار چالش کرده است.



تصویر ۲. ساختار پژوهش. مأخذ: نگارندگان.

کاربست الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک اگرچه پس از الگوریتم استراتژی تکاملی (SE) پیشنهاد شد، ولی مشهورترین روش از بین الگوریتم‌های تکاملی است. در یک الگوریتم ژنتیک یک جمعیت از افراد طبق مطلوبیت آنها در محیط بقا می‌یابند. افرادی با قابلیت‌های برتر، شانس ازدواج و تولید مثل بیشتری را خواهند یافت. بنابراین بعد از چند نسل فرزندانی با کارایی بهتر به‌وجود می‌آیند. در الگوریتم ژنتیک هر فرد از جمعیت به‌صورت یک کروموزوم معرفی می‌شود. کروموزوم‌ها در طول چندین نسل کامل‌تر می‌شوند. در هر نسل کروموزوم‌ها ارزیابی می‌شوند و متناسب با ارزش خود امکان بقا و تکثیر می‌یابند. تولید نسل در بحث الگوریتم ژنتیک با عملگرهای همگذری و جهش صورت می‌گیرد. والدین برتر براساس یک تابع برازندگی انتخاب می‌شوند. ساختار الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است:

الف) کروموزوم: رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به‌عنوان شکل کدشدهٔ یک جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) از مسئلهٔ مورد نظر است. اساس الگوریتم ژنتیک تبدیل هر مجموعه جواب به یک کدینگ است. این کدینگ را اصطلاحاً کروموزوم گویند (Sadeghi Moghadam, 2009)؛

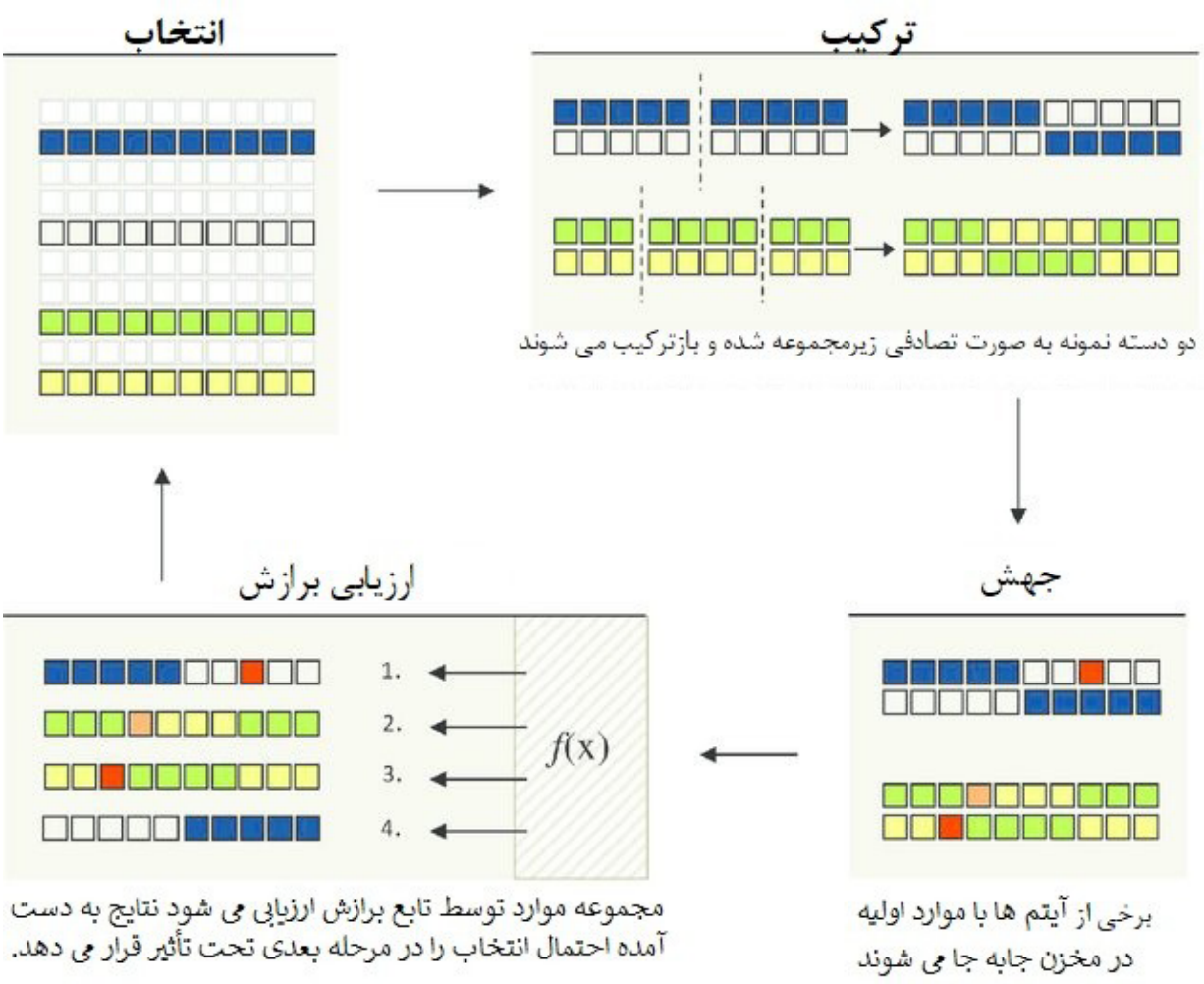
ب) تابع هدف و برازندگی: تابعی است که مقدار متغیر مسئله در آن قرار داده شده، بدین طریق مطلوبیت هر جواب مشخص می‌شود. در مسائل بهینه‌سازی تابع هدف به‌عنوان تابع برازندگی به‌کار می‌رود (ibid.). به عبارت دیگر داریم: $F(n)=g(f(x))$، به‌طوری که f تابع هدف بوده و تابع g مقدار تابع هدف را به یک عدد غیرمنفی تبدیل می‌کند و F مقدار برازندگی مربوط به آن است. مناسب‌بودن یا نبودن جواب با مقداری که از تابع برازندگی به‌دست می‌آید سنجیده می‌شود. چون مسئله از نوع بهینه‌سازی است، تابع برازش با تابع هدف مسئله یکسان است. تابع هدف مسئلهٔ مینیمم‌کردن هزینه را مد نظر قرار می‌دهد.

ج) اندازهٔ جمعیت و تعداد تولید: تعداد کروموزوم‌ها را اندازهٔ جمعیت می‌گویند. اندازهٔ جمعیت در آزمایش‌های مختلف بررسی شده و جمعیت از یک نسل به نسل دیگر به‌منظور یافتن جواب بهتر با استفاده از روش‌های تولید مثل بهبود می‌یابد (ibid.).

درمورد ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک در مقایسه با دیگر روش‌های بهینه‌سازی می‌توان گفت که الگوریتمی است که بدون داشتن هیچ‌گونه اطلاعی از مسئله و هیچ‌گونه محدودیتی بر نوع متغیرهای آن برای هرگونه مسئله‌ای قابل اعمال است و کارایی اثبات شده‌ای در یافتن بهینهٔ کلی[۱۷] دارد. توانایی این روش در حل مسائل پیچیدهٔ بهینه‌سازی است که روش‌های کلاسیک یا قابل اعمال نیستند و یا دریافتن بهینهٔ کلی قابل اطمینان نیستند (Bäck, 2000). تصویر ۳ نشان‌دهندهٔ عملکرد معمول یک الگوریتم ژنتیک است که در آن عملیات انتخاب، آمیزش (ترکیب)، جهش و ارزیابی برازش ترسیم شده است.

طراحی مولد

طراحی مولد را می‌توان به‌عنوان فرایندی که در آن راه‌حل‌های بالقوهٔ متعدد توسط الگوریتم‌ها مشخص می‌شود، تعریف کرد. همان‌طور که «لارس هسلگرن»[۱۸]، مدیر تحقیقات کی.پی.اف، توضیح می‌دهد: «طراحی مولد درمورد طراحی یک ساختمان نیست، بلکه طراحی سیستمی است که یک ساختمان را طراحی می‌کند». «میشل»[۱۹] سیستم‌های مولد را به‌صورت ضمنی با داشتن عناصر متعدد معماری که متعلق به واژگان مشخصی بوده و با ترکیبات متفاوت برای تولید فرم معماری چیدمان می‌شود، تعریف می‌کند (Stiny & Mitchell, 1978). معماری مولد به‌صورت عمومی‌تر با کاربست یک سیستم مولد، مانند مجموعه‌ای از قوانین زبانی، برنامهٔ کامپیوتری، مجموعه‌ای از تحولات هندسی، دیاگرام، یا ابداعات رویه‌ای دیگر در فرایند طراحی که توسط آن‌ها طرح نهایی تولید می‌شود، تعریف می‌شود. سیستم مولد دارای درجات متفاوت فعالیت خودکار از فرایند کاملاً خودکار تا فرایند کنترل‌شده توسط کاربر به‌صورت مرحله به مرحله است. این فرایند شامل طراحی الگوریتم (قوانین)، تنظیم اشکال و پارامترهای آغازین، پیشبرد فرایند اقتباس و در انتها انتخاب بهترین گزینه است. بلوغ سیستم‌های مولد در معماری پس از توسعهٔ نرم‌افزارهای معماری محور در اواسط قرن بیستم روی داد. یکی از نخستین سیستم‌های نوشته‌شده در معماری مبتنی بر شیپ گرامر (قواعد فرمی) با هدف تولید ویلا پالادین بود (ibid.). استینی و میشل قواعد شکلی پارامتریکی ایجادکردند که نه‌تنها پلان همکف ویلا پالادین بلکه پلان همکف ویلاهای نوینی را تولید می‌نمود که برگرفته از الگوهای اولیهٔ خود بودند. تلاش‌های نخستین این افراد برای «از نو طرح‌ریزی بخش‌هایی از قواعد معمارانهٔ پلادیو به‌صورت مدرن و تولید فرم» بود (ibid.). در همان زمان «ویلیام میشل» کتاب «منطق معماری» (Mitchell, 1990) را منتشر کرد که مفاهیم فرایندهای طراحی مانند الگوریتم‌ها، تکامل، قواعد و منطق را تعریف می‌کرد. با وجود استعداد فوق‌العادهٔ سیستم‌های مولد برای تولید فرم‌هایی که بدون استفاده از فناوری دیجیتال بسیار مشکل می‌کرد، اصلی‌ترین مزیت این سیستم‌ها کاوش مستمر پروژه‌ها و تولید گزینه‌های متعدد به‌صورت سریع و خستگی‌ناپذیر است.



تصویر ۳. ترسیم عملیات یک الگوریتم ژنتیک معمول. مأخذ: Schroeders, Wilhelm & Olaru, 2016.

مکانیسم استفاده از قواعد شیپ گرامر و انواع آن

فرایند ساخت طرح در دستور زبان شکل را می‌توان به سه مرحله تقسیم‌بندی کرد: مرحلهٔ ایده، مرحلهٔ توسعه یا تنظیم و مرحلهٔ بسط‌دادن (AbdulRaheem, 2016). برای تولید طرح، ابتدا روش‌هایی از دستور زبان که اشکال می‌توانند براساس آنها با یکدیگر ترکیب شوند باید مشخص شود (مرحلهٔ ایده). این روش‌های خاص ترکیب توسط ارتباطات فضایی تعریف می‌شود. فرم A و B که برای تولید رابطهٔ فضایی با هم ترکیب‌بندی می‌شوند با AB مشخص شده و می‌توانند چهار قانون شکل را ایجاد کنند. دو تا از این قانون‌ها مربوط به اضافه‌شدن شکل و دو تا دیگر مربوط به کم‌شدن شکل است.

(۱) A→AB (۲) B→AB (۳) AB→A (۴) AB→B

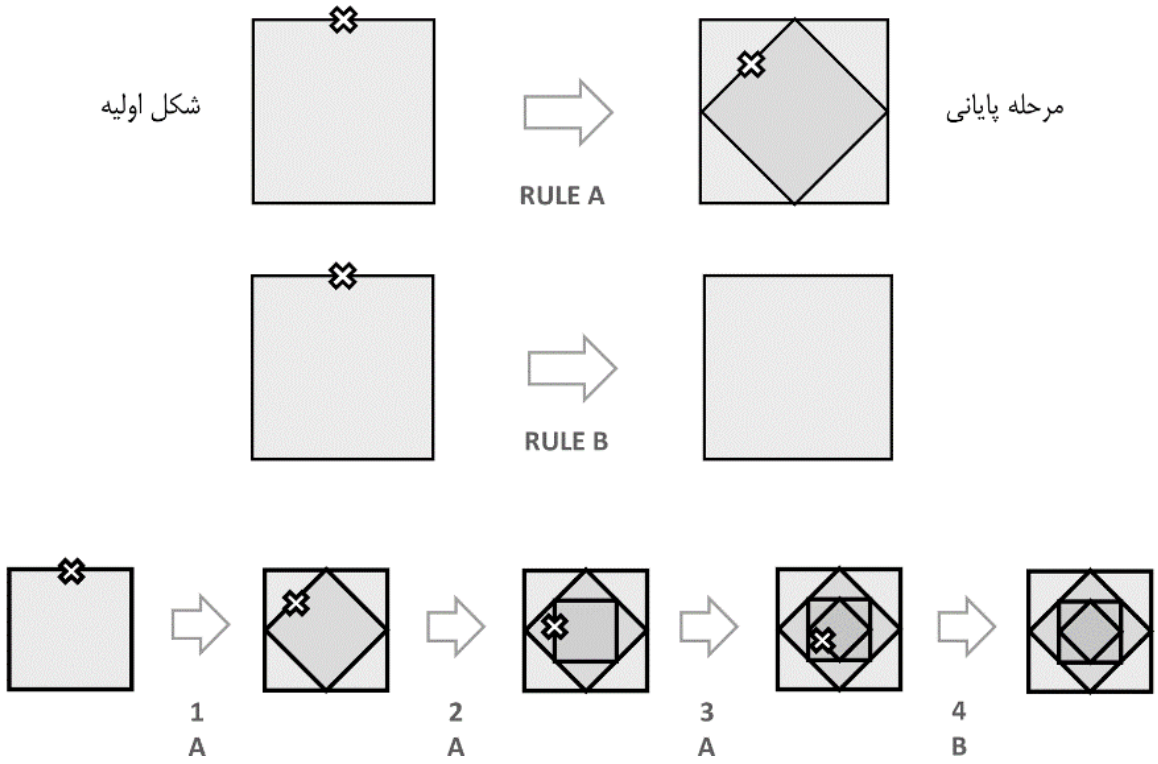
زمانی که ایدهٔ نحوهٔ ترکیب‌بندی یا ارتباط فضایی مشخص شد، مجموعه‌ای از قواعد ساده که قواعد پایه خوانده می‌شوند تعریف می‌شود (مرحلهٔ تنظیم). شکل آغازین یا اولیه برای تولید طرح در هر قاعده گنجانده می‌شود. زمانی که تمامی طرح‌های اولیهٔ برگرفته از ارتباطات فضایی مشخص تولید شدند، دستور زبان‌های پیچیده‌تری را می‌توان توسعه داد (مرحلهٔ بسط و گسترش). این قواعد پیچیده‌تر، طرح‌های پیچیده‌تری نیز تولید می‌کنند که از ترکیب ارتباطات فضایی به‌دست‌آمده از قواعد اولیه، تولید می‌شوند. قواعد پیچیده از بسط‌دادن قوانین و/ یا ترکیب قوانین اولیه با روش‌های متعدد تعریف می‌شوند. به‌عنوان مثال یکی از روش‌های سادهٔ بسط‌دادن قوانین ترکیب دو یا تعداد بیشتری از قوانین اولیهٔ تعیین‌شده با رابطهٔ فضایی یکسان، به یک تک‌قانون است. قواعد پیچیده را نه‌تنها با بسط‌دادن قوانین، بلکه با پیچیده‌ترکردن اشکال اولیه نیز می‌توان به‌دست آورد. همچنین روش دستور زبان شکل را می‌توان براساس محدودیت‌های موجود در این

روش نیز تقسیم‌بندی کرد. یکی از محدودیت‌ها براساس نوع قانون است که مربوط به اشکال و برچسب‌هایی که ممکن است در قانون دیده شود. نوع دیگر محدودیت مربوط به نحوهٔ کاربست قانون است که به حالتی اطلاق می‌شود که قوانین به‌صورت متوالی تکرار شوند و به تعدد تکرار قانون مربوط می‌شود. نایت (Knight, 1999) معتقد است که این محدودیت‌ها پتانسیل مولدبودن روش دستور زبان را افزایش می‌دهد. براساس دو محدودیت مطرح‌شده، او شش مدل قواعد را نام می‌برد: قواعد پایه، قواعد نامتعین پایه، قواعد ترتیبی، قواعد افزایشی، قواعد قطعی و قواعد بدون محدودیت. در قواعد قطعی فقط یک خروجی امکان‌پذیر است و قواعد به‌کاررفته فقط منجر به یک طرح شده و یا هیچ طرحی از طرح تولیدشدهٔ قبلی تولید نمی‌شود. در برابر این مدل، روش نامتعین منجر به طرح‌های متنوع و متعددی می‌شود. کاربست قواعد، در جست‌وجوی طرح‌ها و گزینه‌های جدید از یک سبک خاص، توسط برداشت ویژگی‌های مشترک گونه‌ای خاص از بناها که در یک دسته‌بندی قابل بررسی هستند، توان تولید طرح‌های جدید از آن سبک مشخص را دارد. بر این اساس، مجموعه‌ای از قوانین برداشت‌شده از تحلیل ساختمان‌های مربوط به سبکی خاص و دارای ویژگی‌های مشترک، می‌بایست مشخص شوند. تصویر ۴ نشان‌دهندهٔ فرایند کلی ساخت در دستور زبان شکل است.

بررسی کاربست روش مولد و تکاملی در تحلیل نمونه‌های موردی و تولید نمونه‌های جدید

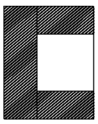
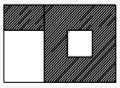
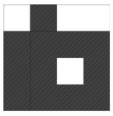
به‌منظور بررسی روش ترکیبی مولد و تکاملی، نمونه‌های موردی انتخاب‌شده در میان خانه‌های سنتی (به‌عنوان الگوی کاربری) در اقلیم گرم و خشک (به‌عنوان اقلیم غالب ایران) و در شهر کاشان انتخاب شده است. از میان ۵۰ خانهٔ بررسی‌شده تعداد ۳۰ خانه انتخاب و مورد تحلیل گونه‌شناختی قرار گرفته است. جدول ۱ دسته‌بندی خانه‌های سنتی را براساس ارتباطات فضایی بین توده و فضا شامل دسته‌های تک‌حیاطه با دو جبههٔ ساخت روبه‌روی هم، دو جبههٔ ساخت مجاور هم، سه جبههٔ ساخت، چهار جبههٔ ساخت، دوحیاطه و چندحیاطه نشان می‌دهد.

همچنین نمونه‌های موردی براساس شش زیرشاخص ۱. جهت‌یابی عناصر ساختاری (حیاط، ایوان، اتاق اصلی، اتاق فرعی و ورودی)، ۲. ابعاد و اندازه، ۳. هندسه، ۴. ترکیب‌بندی فضایی، ۵. درصد توده و فضا و ۶. تقارن برای تک‌تک خانه‌ها و همچنین در مقایسه با یکدیگر مورد تحلیل قرار گرفته است. از تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از



تصویر ۴. قوانین دستور زبان شکل و منشعب از آن. قانون A سه بار تکرار شده است و قانون B یک بار. مأخذ: Benrós, 2018.

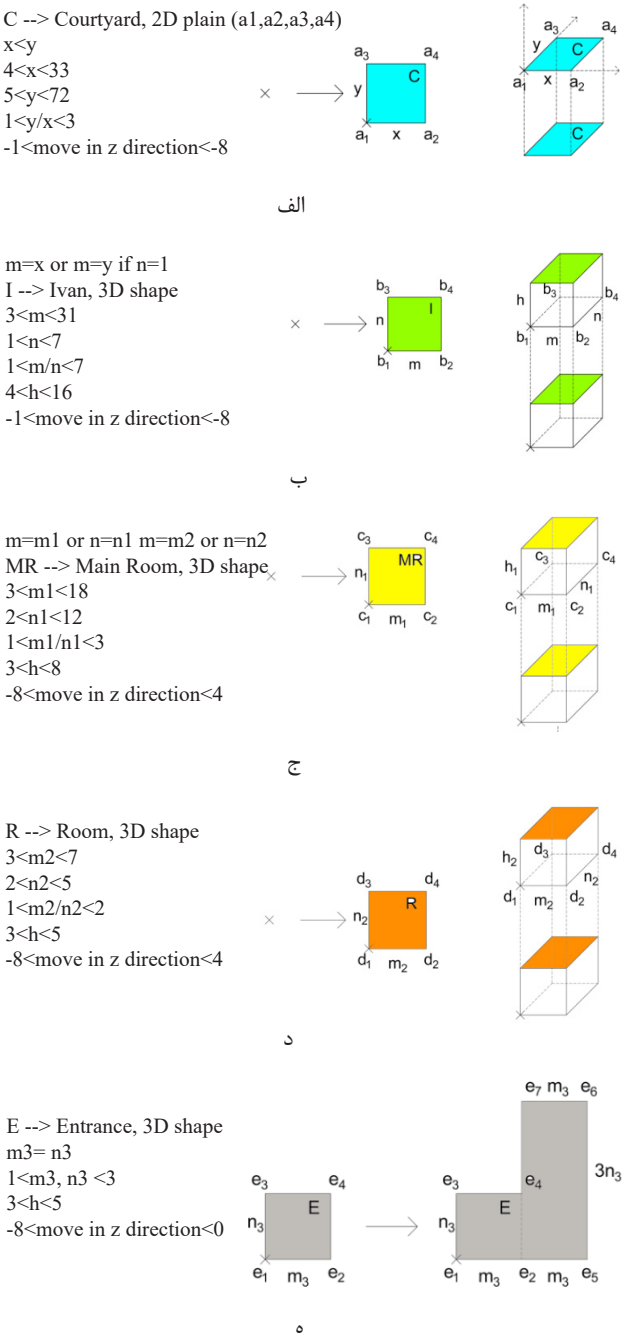
جدول ۱. دسته‌بندی نمونه‌های موردی براساس ترکیب‌بندی توده و فضا. مأخذ: نگارندگان.

نوع خانه		نام بنا					دیاگرام
خانه‌های تک‌حیاطه	چهار جبههٔ ساخت	رحمتی	سجادی	صاحب	فرشاد	لذیذی	
	دو جبههٔ روبه‌روی هم	ابریشمی	آزادمنش	صالح	عزیززادگان	فیلسوف	
	دو جبههٔ کنار هم	بلال‌زاده	پهلوان‌زاده	حاج قربان	کارخانه‌چی	گلی‌زاده	
	سه جبههٔ ساخت	اصفهانیان	آل‌یاسین	بنی‌کاظمی	تهامی	شریفیان	
خانه‌های دو و سه‌حیاطه	یک بیرونی و یک اندرونی	استوار	بافنده	بخشی	تاج	صدوری	
		بارفروش	محتشمی				
	یک بیرونی و دو اندرونی	بروجردی‌ها	طباطبایی	علاقه‌بند			

شش زیرشاخص پارامترهای هندسی اشکال اولیه، نحوهٔ ارتباطات فضایی بین توده و فضا و چگونگی ترکیب‌بندی عناصر با یکدیگر به‌دست می‌آید که در فرایند دستور زبان شکل مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرح فرایند دستور زبان شکل برای خانه‌های تک‌حیاطه از میان نمونه‌های موردی، در این پژوهش به‌صورت ذیل است:

۱- تعیین اشکال اولیه: براساس نظریات داوینگ و فلمینگ، تمامی دستور زبان‌های شکلی که در رابطه با تولید پلان‌های معماری هستند، در مرحلهٔ اول دارای الگوی هندسی هستند که تعیین‌کنندهٔ ویژگی‌های ترکیبی پلان‌هاست (Downing & Flemming, 1981). برای به‌دست‌آوردن مجموعه اشکال پارامتریک پنج عنصر اصلی انتخاب شده‌اند که شامل حیاط، ایوان، اتاق اصلی، اتاق فرعی و ورودی است. در تصویر ۵ این اشکال با توجه به پارامترهای هندسی کمی و همچنین روابط وابستهٔ بین پارامترها ترسیم شده‌اند. تصویر ۶ نشان‌دهندهٔ گونه‌های ممکن از جانمایی و مختصات حیاط نسبت به فضای تودهٔ پیرامونش براساس جهت جغرافیایی و مکان ساخت توده در خانه‌های تک‌حیاطه است. هفت حالت نشان‌داده‌شده در این تصویر براساس تحلیل نمونه‌های موردی از میان خانه‌های تک‌حیاطه بوده و ساختار اصلی تولید نمونه‌های جدید است.

۲- روابط فضایی و قواعد ارتباطات فضایی: تصویر ۷ نشان‌دهندهٔ دسته‌بندی ارتباطات فضایی مابین شش عنصر حیاط، حیاط دوم، ایوان، اتاق اصلی، اتاق فرعی و ورودی است. دستهٔ اول (RG1) مربوط به روابط فضایی بین حیاط و ایوان است که خود شامل نه قانون مجزاست. دستهٔ دوم (RG2) ترکیب اتاق اصلی و ایوان را نشان می‌دهد و شامل پنج قانون است. دستهٔ سوم (RG3) ترکیب اتاق اصلی و اتاق (فرعی) را نشان می‌دهد و دارای شش قانون است. دستهٔ چهارم (RG4) ارتباط فضایی بین اتاق‌های فرعی با یکدیگر را نشان می‌دهد و شامل شش قانون است. دستهٔ پنجم (RG5) یا شش قانون، ارتباط حیاط با حیاط‌های دیگر و قانون (RG6) انواع ارتباطات بین ورودی و حیاط را با نه قانون نشان می‌دهد. دستهٔ قانون هفتم (RG7) نیز با ده قانون ارتباط مابین اتاق اصلی و حیاط را نشان می‌دهد. این قوانین از تحلیل ترکیب‌بندی نمونه‌های موردی به‌دست آمده است.



تصویر ۵. ترسیم پارامتریک اشکال اولیه شامل الف) حیاط C، ب) ایوان I، ج) اتاق اصلی MR، د) اتاق فرعی R و ه) ورودی E. مأخذ: نگارندگان.

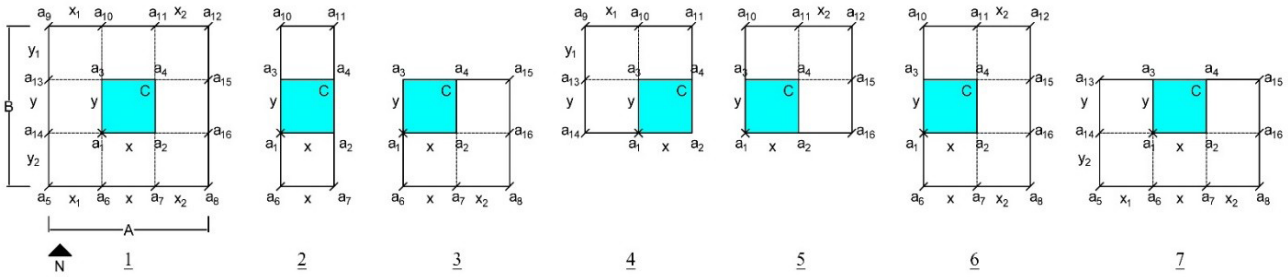
تصویر ۸ نشان‌دهندهٔ گونه‌های ممکن روابط فضایی بین حیاط به‌عنوان فضای باز، ایوان، نیمه‌باز و فضای بسته با توجه به جهت جغرافیایی و در هر چهار گونهٔ تک‌حیاطه با دو جبههٔ ساخت روبه‌روی هم (A)، دو جبههٔ ساخت کنار هم (B)، سه جبههٔ ساخت (C) و چهار جبهه (D)، است. همان‌طور که در این تصویر دیده می‌شود، ایوان‌ها با تناسباتی مشابه اتاق‌های سه‌دری و یا به‌صورت عمق کم (یک تا یک و نیم متر) و طول هم‌اندازهٔ اتاق و یا به‌صورت کشیده مساوی یکی از جبهه‌های حیاط ساخته شده‌اند و تعداد ایوان‌های کوچک‌تر در یک جبهه می‌تواند بین یک تا دو ایوان متغیر باشد. جانمایی ایوان‌ها مبتنی بر حفظ تقارن در جبهه‌های حیاط بوده و در جایی که ایوان‌های متفاوتی در جبهه‌ها ساخته شده‌اند، با ستون‌بندی تقارن در نما حفظ شده است. در تصویر ۸ جبههٔ شمالی به سمت بالا در نظر گرفته شده است و بر این اساس ایوان‌ها ترسیم شده‌اند.

۳- مشخص‌کردن قیود و ترجیحات هندسی مسئله: محدودیت‌های هندسی و مختصاتی (مکانی) نمونه‌های موردی که براساس تحلیل گونه‌شناختی با شش زیرشاخص استخراج شده بود، در مقایسهٔ نمونه‌ها با یکدیگر به گزاره‌های ذیل منجر می‌شود:

- محور تقارن حتماً از وسط یکی از اضلاع حیاط مرکزی یا یکی از قطرهایش می‌گذرد؛
- تعداد مجاز ایوان بین یک تا پنج است؛
- چنانچه روی یک محور (ضلع حیاط) دو ایوان قرار داشته باشد نسبت به مرکز حیاط مرکزی فاصله یکسان داشته و یا به‌عبارتی متقارن هستند؛
- آکس حیاط مرکزی بر آکس فضای هم‌جوار در هریک از اضلاع منطبق است. بدین معنا که حتماً مرکز یکی از فضاهای قرارگرفته در کنار حیاط با مرکز آن ضلع حیاط یکی است؛
- ایوان‌هایی که روبه‌روی هم و براساس یک محور تقارن قرار می‌گیرند هم‌اندازه هستند؛
- چنانچه طول ایوان مساوی طول هریک از اضلاع حیاط باشد، عمق ایوان تنها یک متر است.

همچنین با تحلیل جنبه‌های فیزیکی-فضایی نمونه‌های موردی براساس جهت‌یابی، هندسه، تناسبات و نسبت توده و فضا به تناسبات مطلوبی دست می‌یابیم که به‌صورت ذیل است:

- مکان ورودی در جهات هشتگانهٔ جغرافیایی قرار گرفته است و تعداد آن بین یک تا چهار ورودی متغیر است؛
- نسبت طول به عرض کلی بناها از ۱ برابر (طول و عرض نسبتاً مساوی) تا ۲٫۸ برابر (تقریباً سه برابر) بوده و متوسط این نسبت ۱٫۵ تقریباً (۱:√۲) است؛
- نسبت طول به عرض حیاط از نسبت مساوی تا ۳٫۱ برابر متغیر است و متوسط این نسبت ۱٫۴ (۱:√۲) است؛
- در خانه‌های دوحیاطه مساحت حیاط اندرونی از مساحت حیاط بیرونی بیشتر است که نسبتی بین ۳ تا ۱۲ برابر دارد؛
- هندسهٔ اتاق‌های اصلی (پنج‌دری و تالار در قسمت



تصویر ۶. مکان‌یابی و تعیین پارامترهای حیاط براساس تودۀ پیرامونی و جهت جغرافیایی مبتنی بر تحلیل نمونه‌ها. مأخذ: نگارندگان.

تابستان‌نشین یا زمستان‌نشین) از مربع تقریبی (طول به عرض اتاق ۱٫۱ برابر) تا مستطیل شکل با نسبت طول به عرض ۳ برابر متفاوت است. متوسط نسبت طول به عرض اتاق‌های اصلی ۱٫۸ برابر (تقریباً دو برابر) است.

- به‌صورت گودال باغچه (دارای شارمی) با تراز تا ۸ متر زیرزمین و یا به‌صورت حیاط کمی پایین‌تر از سطح ورودی (متوسط تراز یک متر پایین‌تر از تراز بیرونی) است. بنابراین صفحۀ دو بعدی حیاط مرکزی قابلیت جابه‌جایی بین تراز ۱- تا ۸- را داراست؛

- متوسط ارتفاع فضای زیرزمین ۴ متر، ارتفاع متوسط اتاق اصلی ۶ متر و ایوان ۸ متر است؛

- عمق ایوان‌ها در نمونه‌های موردی کمتر است و نسبت طول به عرض در ایوان‌های کشیده (اتصال‌دهندۀ چند اتاق به حیاط) تا ۱:۱۷ نیز می‌رسد. تناسب ایوان‌های اصلی که در مرکز و آکس حیاط قرار می‌گیرند، نسبت ۱٫۴ (۱:√۲) است؛

- بیشترین درصد ساخت در تودۀ شمالی و جنوبی با متوسط ۳۴ و ۳۰ درصد است، با این تفاوت که در خانه‌های چهار جبهۀ ساخت بیشترین درصد تودۀ ساخته‌شده در جبهۀ جنوبی (تابستان‌نشین) با میانگین ۳۷ درصد ساخت و بعد از آن جبهۀ شمالی، شرقی و غربی است؛

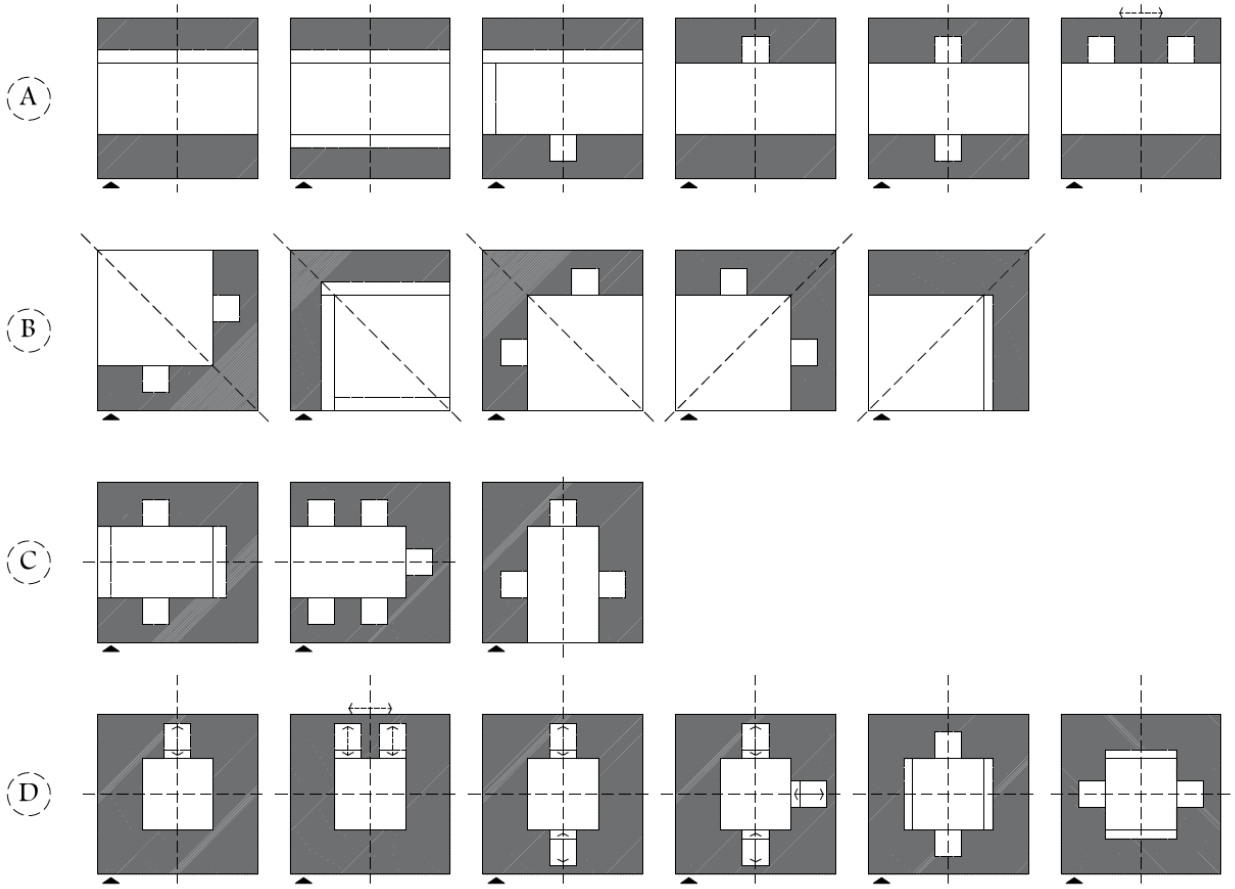
- میانگین نسبت فضای بسته به باز ۱٫۷ برابر (تقریباً دو برابر) بوده و میانگین نسبت فضای نیمه‌باز به بسته ۰٫۲ برابر است.

تولید فرم با سیستم طراحی پارامتریک

سیستم طراحی پارامتریک شامل مدلی هندسی است که ویژگی‌های شکلی را منطبق با فضای راه‌حل خود کدگذاری می‌کند. ویژگی‌های شکلی همان روابط فضایی و توپولوژیک (مکان‌شناختی) میان عناصر مختلف نمونه‌های موردی (عناصر اصلی حیاط، اتاق، ایوان) و متغیرهای اندازه‌ای آنها است. این روابط به‌صورت مجموعه‌ای از توابع با متغیرهایی که می‌توانند اعدادی مختلف براساس دامنۀ مشخص‌شده را استفاده کنند، تعریف می‌شود. روابط فضایی بین عناصر نمونه‌های موردی عددی و پیچیده بوده و شامل توابع و متغیرهای متعدد و وابسته است. این روابط، بر خلاف دستور زبان شکل، شامل اطلاعات سمبولیک مانند اعداد است و بنابراین می‌توانند در گسترۀ وسیعی از برنامه‌های مورد استفاده در زمینۀ برنامه‌نویسی پارامتریک استفاده شوند. اصولاً کاربست طراحی الگوریتمیک در مرحلۀ ایده‌پردازی و مفهومی طراحی، نیازمند دانش برنامه‌نویسی و اسکریپت‌نویسی توسط طراح است، زیرا می‌بایست متناسب با ایده و مسئلۀ طراح باشد[۲۰]. در روش دیگر که شامل استفاده از پلاگین‌ها (الگوریتم‌های پیش‌فرض آماده در نرم‌افزارها) است، طراح می‌تواند بدون نیاز به دانش برنامه‌نویسی از کامپوننت‌های آماده استفاده کند که البته نیازمند ویرایش و در برخی موارد طراحی مجدد پلاگین‌هاست. زبان‌های برنامه‌نویسی متعددی مانند جاوا، پایتون و متلب برای کدنویسی مورد استفاده قرار گرفته است که در این پژوهش از نرم‌افزار متلب، به دلیل مزایای متعدد نسبت به سایر زبان‌ها[۲۱]، برای تولید نمونه‌ها در مرحلۀ مفهومی استفاده شده است.

در این مرحله، ابتدا پارامترهای به‌دست‌آمده از اشکال اولیه و روابط فضایی مابین عناصر در نرم‌افزار متلب کدنویسی می‌شوند. به این صورت مجموعه‌ای از قوانین سازنده و قیود تعیین‌کنندۀ کدنویسی شده و جمعیت اولیه از حالت‌های ممکن ارتباط فضایی و قیود هندسی-مکانی عناصر ایجاد می‌شود. تصویر ۹ نشان‌دهندۀ نتایج به‌دست‌آمده از گزینه‌های تولیدشده در مرحلۀ اول است. این تصاویر نشان‌دهندۀ پلان‌های تولیدشده در تولید تصادفی مقادیر متغیرها در سیستم برنامه‌نویسی طراح است. همان‌طور که در تصاویر دیده می‌شود در هر جمعیت تصادفی تولیدشده

تصویر ۷. دسته‌بندی قواعد ارتباطات فضایی براساس تحلیل نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

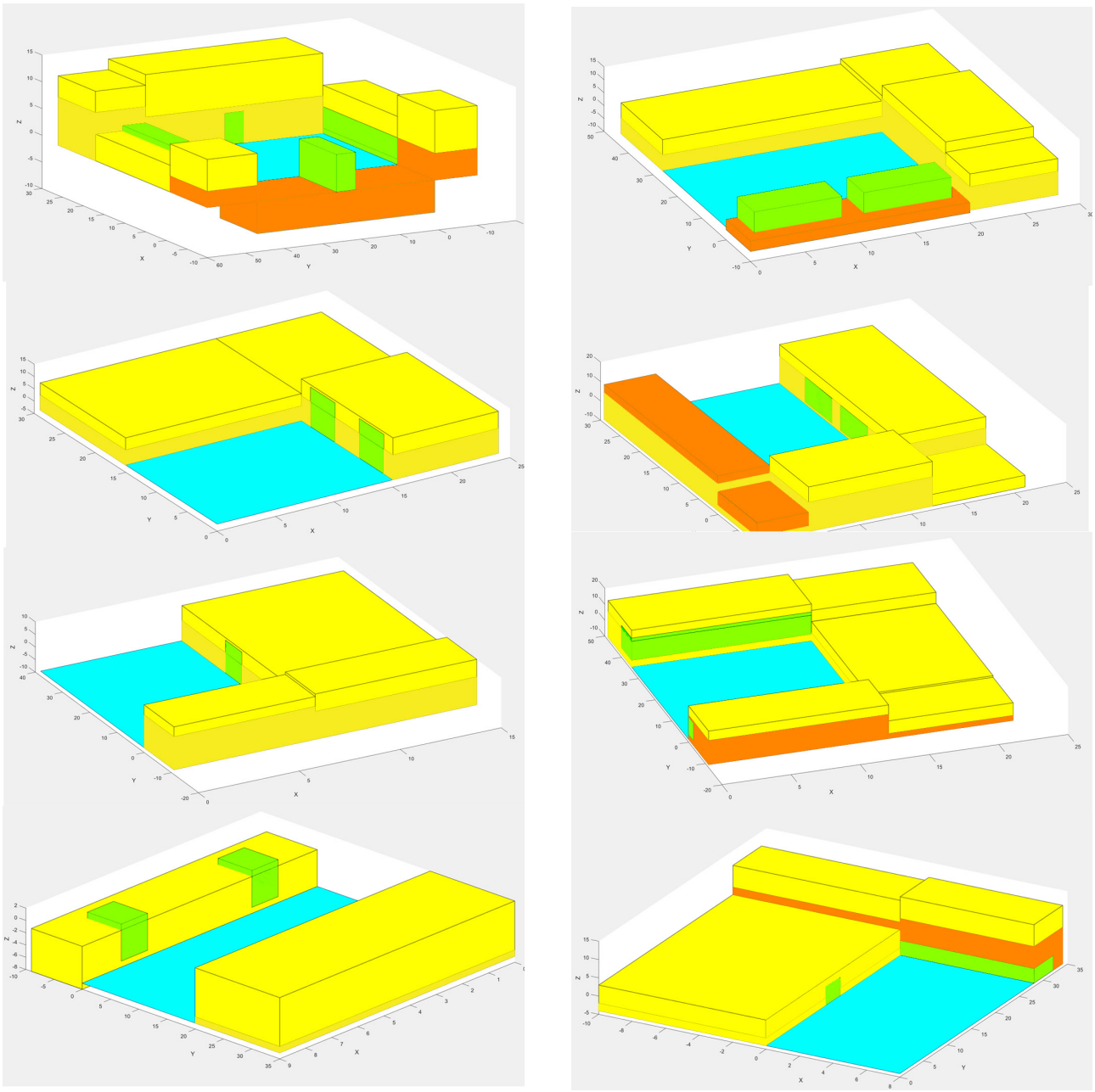


تصویر ۸. ارتباط فضایی مابین عناصر اصلی توده، حیاط و ایوان براساس جهت جغرافیایی مبتنی بر تحلیل نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

یکی از هفت حالت مطرح‌شده در تصویر ۶ و براساس قانون‌های ساخت حیاط و توده به‌وجود آمده و ایوان‌ها و اتاق‌ها براساس قوانین مربوطه و براساس پارامترهای متنوع تولید شده است.

بهینه‌یابی فرم‌ها

پارامترهای به‌دست‌آمده در قسمت تحلیل نمونه‌های موردی به‌صورت پارامترهای دینامیک است و بازه‌ای از اعداد را شامل می‌شود که این امر به تولید نمونه‌های بی‌شماری می‌انجامد. همچنین برخی از این پارامترها وابسته بوده و مقادیرشان به عناصر دیگر وابسته است (مانند مقادیر ایوان و حیاط که به دلیل قید تقارن به هم وابسته هستند). از میان این بازهٔ گسترده و نمونه‌های بی‌شمار تولیدشده، آن دسته از گزینه‌ها مطلوب به‌حساب می‌آیند که بتوانند پاسخی مناسب برای توابع برازش (هدف) باشند. توابع هدف این پژوهش براساس ساختار هندسی مطلوب و موقعیت مکانی عناصر تعریف شده است. بنابراین برای هریک از عناصر حیاط، اتاق اصلی، اتاق‌های فرعی و ایوان، طول، عرض، ارتفاع و موقعیت جابه‌جایی در محور Z مطلوب (موقعیت مکانی LZ) (نزدیک‌ترین حالت به تناسبات ساختارهای سنتی) تعریف می‌شود. سه رویکرد کاربست الگوریتم ژنتیک در انتخاب مقادیر پارامترهای متغیر جهت کاوش فضای طراحی شامل سوژه‌محور (وابسته به یک فرم)، ترکیبی (انتخاب براساس فرم و کارایی) و هدف‌محور (انتخاب، تنها براساس کارایی) است (Van Buelow, 2009). رویکرد اول، سوژه‌محور، دارای تابع هزینه نیست و جمعیت تولیدشده امکان بهینه‌شدن ندارند، اما همانند پروسهٔ طبیعی، ایجاد نسل جدید مبتنی بر امکان انتخاب‌شدن است. پروسهٔ بهینه‌یابی در این تحقیق به‌صورت ترکیبی و براساس فرم و کارایی است. درجهٔ اهمیت کارابودن و یا اهمیت فرمی توسط وزن انتخاب‌شده برای هر تابع هزینه‌ای توسط طراح تعیین می‌شود. مزیت این رویکرد در آن است که طراح می‌تواند در عین بررسی زیباشناسانهٔ فرم، گزینه‌های مطلوب کارایی را نیز انتخاب کنند و نسل جدید را مبتنی بر این انتخاب پیش برد.



تصویر ۹. نمونه‌های تصادفی مناسب تولیدشده از نسل اول در نرم‌افزار متلب. مأخذ: نگارندگان.

توابع تناسبات

- کمترین مساحت حیاط که در آن نسبت Y (طول) به X (عرض) نزدیک‌ترین حالت به $\frac{Y}{X}=\frac{1+\sqrt{5}}{2}$ یا تناسبات طلایی باشد. این تابع به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

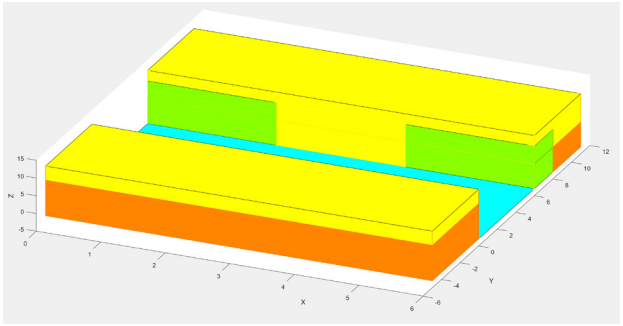
$$\min x_c y_c + \left(\frac{yc}{xc} - \frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^2 \quad (۱)$$

در این تابع x عرض حیاط، y طول حیاط و c نشانهٔ حیاط است.

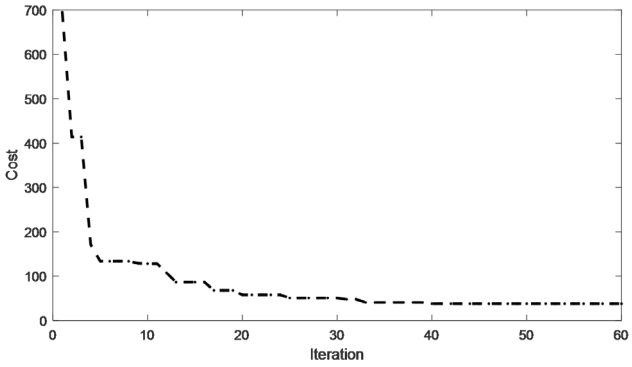
- کمترین مساحت حیاط $x_C y_C$ که در آنها نسبت مساحت فضای بسته به حیاط ۱,۷ و نسبت مساحت فضای ایوان به بسته ۰,۲ و نسبت فضای ایوان به حیاط ۰,۳ باشد.

$$\min x_c y_c + \left(\frac{x_M y_M}{x_c y_c} - 1.7\right)^2 + \left(\frac{x_I y_I}{x_m y_m} - 0.2\right)^2 + \left(\frac{x_I y_I}{x_c y_c} - 0.3\right)^2 \quad (۲)$$

نسبت‌های تعریف‌شده در تابع (۲) از تحلیل تناسبات و هندسهٔ نمونه‌های موردی به‌دست آمده است. به همین ترتیب می‌توان توابع مورد نظر را به‌دست آورد و در نهایت جهت حل بهینه‌یابی چندهدفهٔ این توابع با یکدیگر جمع



تصویر ۱۰. بهینه‌ترین گزینهٔ ایجادشده برای تمامی حالت‌ها پس از اعمال توابع برازش. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۱. روند بهینه‌یابی نمونه‌ها در شصت نسل کاوش‌شده در نرم‌افزار متلب. مأخذ: نگارندگان.

می‌شوند. تصویر ۱۰ نشان‌دهندهٔ بهینه‌ترین حالت ممکن پس از جمع دو تابع برازش مطرح شده است. روند بهینه‌یابی این نمونه را می‌توان در تصویر ۱۱ مشاهده کرد.

مراحل بهینه‌یابی با جمعیت اولیهٔ ۱۰۰ شروع شده و با گذشت شصت نسل به بهینه‌ترین حالت خود رسیده است. این مقدار از ۷۰۰ در ابتدای روند بهینه‌یابی شروع شده و بهینه‌ترین حالت ۳۷.۸ است. نرخ آمیزش ۰.۶ و نرخ جهش ۰.۰۰۱ در نظر گرفته شده است. جدول ۲ مقادیر متغیرهای گزینهٔ بهینه را نشان می‌دهد. در مرحلهٔ نخست توابع برازش برای تمامی گزینه‌های تولیدشده در نظر گرفته شده است. دستیابی به نمونهٔ بالا با فرایندی خودکار صورت پذیرفته است، اما همچنین می‌توان براساس نیاز و محدویت‌های فضای طراحی از میان هفت حالت به‌وجودآمده گزینه‌ای مطلوب را انتخاب کرد و سپس فرایند بهینه‌یابی را برای آن حالت خاص در نظر گرفت. در این صورت فرایند تحت نظارت و کنترل طراح بوده و به‌صورت نیمه خودکار است. طراح می‌تواند هرکدام از بی‌شمار راه‌حل اولیه را که مد نظرش است ذخیره‌سازی کرده و برای تغییرات آینده از آن استفاده کند. تصویر ۱۲ نشان‌دهندهٔ بهینه‌ترین گزینه‌های ایجادشده برای هریک از هفت حالت توده و حیاط (به‌جز حالت دوم که در تصویر ۱۰ به‌عنوان بهینه‌ترین حالت انتخاب شده بود) است.

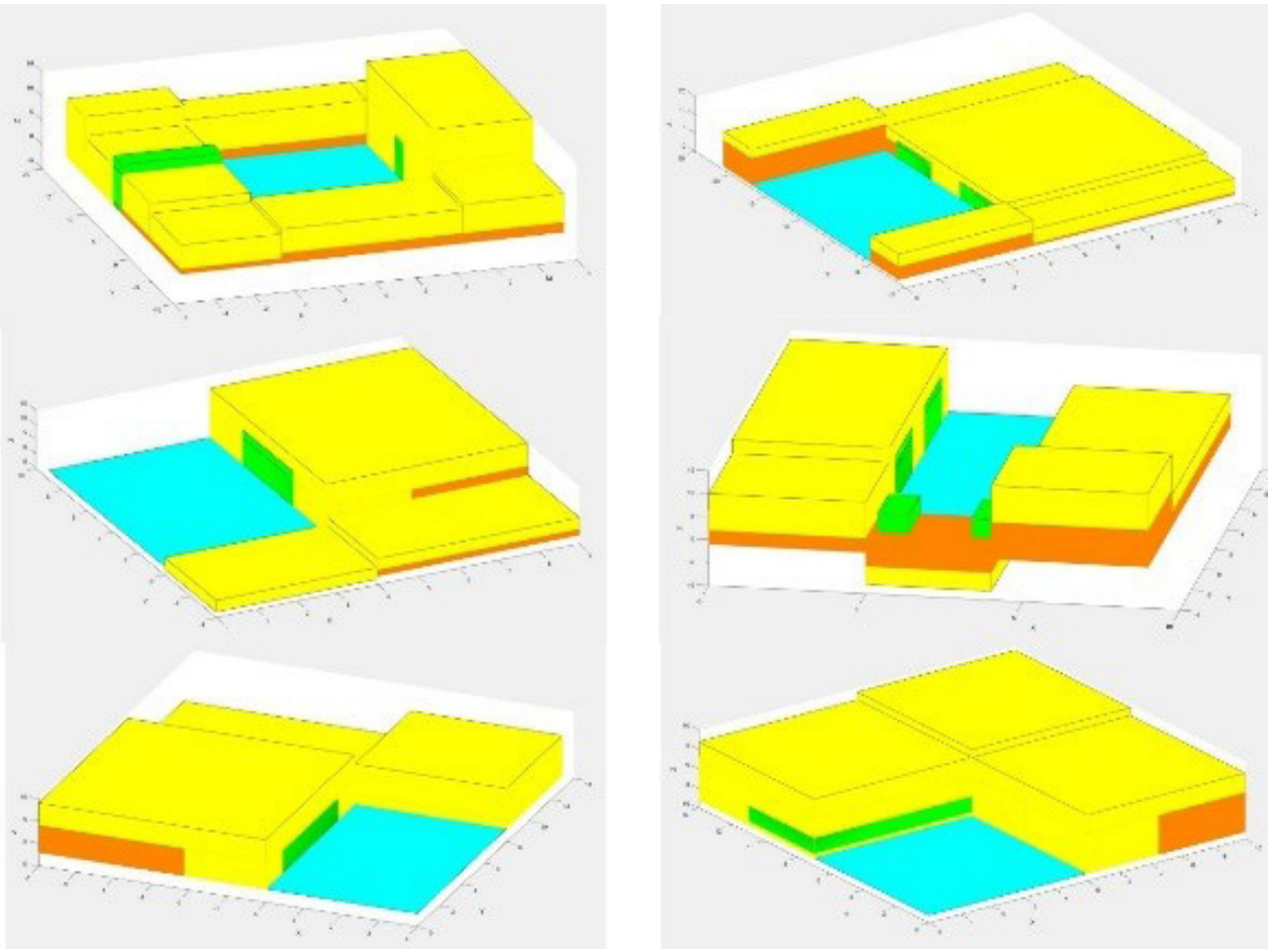
تصویر ۱۳ روند پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک در برنامهٔ متلب را نشان می‌دهد. تعداد تکرارها در هر مرحله بسته به جواب‌های به‌دست‌آمده می‌تواند افزایش یابد. در هر مرحله پس از اعمال توابع مورد نظر کاوش برای جواب‌های بهینه آغاز می‌شود. این مرحله می‌تواند با نظارت کاربر و طراح صورت پذیرد و بهترین جواب‌ها ذخیره شود. جواب‌های ذخیره‌شده در مخزنی از راه‌حل‌ها برای مرحلهٔ آمیزش جمع‌آوری می‌شوند. نسل بعدی راه‌حل‌های تولیدشده مجدداً با یکدیگر ترکیب شده و عملیات جهش روی نسل دوم صورت می‌پذیرد. چنانچه جواب‌های بهینه از نظر کاربر رضایت‌بخش باشد، روند بهینه‌یابی پایان یافته است و در صورت عدم رضایت از جواب‌ها مجدداً نسل تولیدشده مورد ارزیابی واقع می‌شوند.

نتیجه‌گیری

تمامی راهبردها و تئوری‌های طراحی هدف کاوش راه‌حل‌های نوین و طرح‌هایی خلاق را دنبال می‌کنند. برای طراحان، فرایند دستیابی به طرح مناسب بسیار اساسی‌تر

جدول ۲. مقادیر متغیرهای گزینهٔ بهینه. مأخذ: نگارندگان.

حالت شمارهٔ دو- دو جبههٔ ساخت روبه‌روی هم	یکی از ۷ حالت توده و حیاط
دو ایوان متقارن روی یک ضلع	قانون ایوان
۱	شمارهٔ حالت ایوان
X= (۰,۶), y= (۰,۶), z= (-۳)	مختصات حیاط
(۰ ۶) (۶ ۱۱) (۱۲ ۴) (۰ ۶) (۰ ۵-) (۱۱ ۷)	مختصات اتاق‌های اصلی



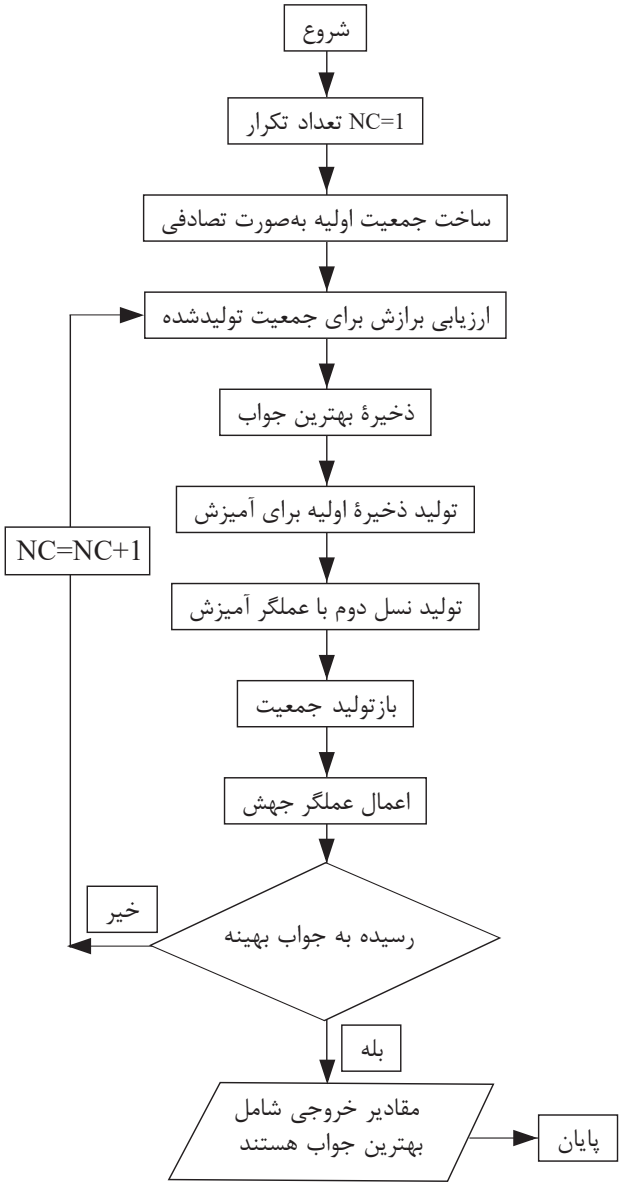
تصویر ۱۲. بهینه‌ترین گزینه‌های تولیدشده در نسل شصتم برای حالت‌های ۱و ۲ تا ۶ توده و حیاط، پس از اعمال توابع برازش. مأخذ: نگارندگان.

از یافتن جواب مناسب است. در مسائل طراحی ساختار جدید مبتنی بر قدیم، لایه‌های پیچیده، درهم‌تنیده و گاه متناقض و پارامترهای گسترده‌ای دخیل‌اند که بررسی آنها در سیستم‌های طراحی سنتی و خطی مستلزم صرف زمان زیادی است و فضای کاوش گسترده را در اختیار طراح قرار نمی‌دهد. در این پژوهش، فرایند تکاملی مولد جهت پاسخگویی به این چالش پیشنهاد شده است. در فرایند پژوهش این مقاله تلاش شده است تا کاستی‌های مورد بررسی در مطالعات موضوعی بررسی‌شده که شامل موارد ذیل است برطرف شود:

- توجه بیشتر بر نحوهٔ پیاده‌سازی روش به‌جای بررسی قابلیت‌های فرایند تکاملی مولد؛
- تمرکز بر نحوهٔ نمایش جواب‌ها در سیستم‌های برنامه‌نویسی طراح؛
- توجه بیشتر بر جنبه‌های کارایی-محور؛
- توجه بیشتر بر شبیه‌سازی ساختار سنتی؛
- عدم دخالت پارامترهای وابستهٔ متعدد؛
- عدم بررسی کیفی توابع برازش متناسب با مسئلهٔ طراحی.

این پژوهش سیستم طراحی تکاملی مولدی را پیشنهاد می‌کند که به‌صورت چرخه‌ای و ترکیبی از تحلیل داده‌ها توسط دستور زبان شکل و تولید و بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک در طول مراحل طراحی از ایده‌پردازی تا سایر مراحل را پیشنهاد می‌کند. این فرایند رویکرد ترکیبی فرم و کارایی را در نظر گرفته و انعطاف لازم برای کنترل‌شدن توسط طراح را داراست. در واقع طراح می‌تواند در هر مرحله از طراحی براساس نیازها یا محدودیت‌های جدید توابع را بازنویسی کرده و یا نمونه‌های مورد نظر را ذخیره و بهینه‌یابی کند. بدین ترتیب طراح می‌تواند در پروسهٔ کاوش جواب بهینه نقش داشته و نسل‌های جدید را براساس مسائل زیباشناسانه انتخاب کند. دستاورد اصلی پژوهش (پیشنهاد سیستم طراحی تکاملی مولد) در تصویر ۱۴ ترسیم شده است. همچنین در این پژوهش از

روش گونه‌شناسی برای تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و فضایی و کیفی-کمی نمونه‌های موردی استفاده شده است و شش زیرشاخص مطرح‌شده قابلیت ارزیابی کلی و جزئی نمونه‌ها را به‌صورت تکی و در مقایسه با یکدیگر فراهم آورده است. این نوشتار بستری مناسب جهت تحقیقات آتی در زمینه‌های متعدد کاوش فرم‌های کارامحور در مراحل اولیهٔ طراحی که مبتنی بر ساختارهای سنتی باشد را فراهم آورده است.



تصویر ۱۳. نحوهٔ پیاده‌سازی عملیات بهینه‌یابی توسط الگوریتم ژنتیک. مأخذ: نگارندگان.

تصویر ۱۴. ساختار پیشنهادی سیستم طراحی تکاملی مولد در این پژوهش. مأخذ: نگارندگان.

پی‌نوشت

۱. Shape grammar
۲. Giuseppe Terragni
۳. Frank Lloyd Wright
۴. Glenn Murcut
۵. Christopher Wren
۶. Glenn Murcutt، معماری استرالیایی و برندهٔ جایزهٔ پریتزکر
۷. Hybrid
۸. Evolutionary computing
۹. Meta heuristic
۱۰. Genetic algorithm
۱۱. Neural network
۱۲. Ant system
۱۳. Particle Swarm Optimization (PSO)
۱۴. Artificial Bee Colony Algorithm (ABC)
۱۵. Evolutionary Algorithms
۱۶. Pareto Optimal
۱۷. Global Optimum
۱۸. Lars Hesselgren, Director of KPF Research
۱۹. Mitchell
۲۰. اسکریپت نویسی (Scripting) یا پردازه‌نویسی دانشی برای نوشتن برنامه‌هایی است که کاربست آن به خودکارسازی سیستم‌ها می‌انجامد. استفاده از این دانش در برنامه‌های طراحی به کمک رایانه یا CAD امروزه متداول شده و براساس آن پلاگین‌های متعددی به نرم‌افزارهایی چون راینو و رویت اضافه شده است.
۲۱. یکی از مزایای متلب راهنمای متلب که شرکت سازندهٔ آن به همراه محیط برنامه‌نویس آن ارائه کرده و بسیار جامع و قدرتمند است. قدرت متلب از انعطاف‌پذیری آن و راحت‌بودن کار با آن ناشی می‌شود. همچنین شرکت سازنده و گروه‌های مختلف، از جمله دانشگاه‌های سرتاسر جهان و برخی شرکت‌های مهندسی هر ساله جعبه‌ابزارهای خاص کاربردی (برای جمع‌آوری

داده، پردازش تصویر و محاسبات شبکهٔ عصبی و غیره) به آن می‌افزایند که باعث افزایش کارایی و محبوبیت آن شده است. بنابراین نرم‌افزار متلب انتخاب بسیار مناسب برای مدل‌کردن جریان سیال تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر در هندسه‌های مختلف است.

فهرست منابع

• AbdulRaheem, O. B. (2016). Design of generative model for the language of traditional Suakin using parametric shape grammar. *International Journal of Computer- Aided Technologies (IJCAx)*, 3(2/3), 1-18.

• Bäck, T. F. (2000). A history of evolutionary computation. In Introduction to evolutionary algorithms. In *Evolutionary computation* (pp. 40-59). New York: Taylor & Francis Group .

• Benrós, D. (2018). *A generic housing grammar for the generation of different housing languages: a generic housing shape grammar for Palladian villas, Prairie and Malagueira Houses* (Doctoral dissertation), UCL University College, London.

• Caldas, L. (2002). Pareto Genetic Algorithms in Architecture Design: An Application to Multicriteria Optimization Problems. Toulouse, France: *Proceedings of PLEA 2002* (pp. 37-45).

• Downing, F. &. Flemming, U. (1981). The Bungalows of Buffalo. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 8(3), 269-293.

• Duarte, J. P. (2005). A discursive grammar for customizing mass housing: the case of Siza's houses at Malagueira. *Automation in construction*, (14), 265-275.

• Ekici, B., Kutucu, S., Sarıyıldız I. S. & Taşgetiren, M. F. (2015). Addressing the high-rise form finding problem by evolutionary computation. Sendai: *2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 2253-2260).

• Flemming, U. (1987). More than the sum of parts: The grammar of Queen Anne Houses. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 14(3), 323-350.

• Frazer, J. (1995). *An Evolutionary Architecture*. London: Architectural Association publication.

• Granadeiro, V. P. (2013). A general indirect representation for optimization of generative design systems by genetic algorithms: Application to a shape grammar-based design system. *Automation in construction*, (35), 374-382.

• Ligler, H. & Economou, T. (2015). Lost in translation: towards an automated description of John Portman's domestic architecture. *XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2015* (pp. 657-661).

• Hensel, M. (2010). Performance-oriented Architecture - Towards a Biological Paradigm for Architectural Design and the Built Environment. *Formakademisk*, 3(1), 36-56.

• Janssen, P. F. (2005). Generative evolutionary design: a framework for generating and evolving three-dimensional building models. *Innovation in Architecture, Engineering and Construction*, (1), 35-44.

• Kicinger, R. A. (2005). Parameterized versus generative representations in structural design: an empirical comparison. In *Proceedings of the 7th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation* (pp. 2007-2014). New York: Association for Computing Machinery.

• Kielarova و S. W. & Pradujphongphet, P. (2015). New interactive-generative design system: hybrid of shape grammar and evolutionary design - an application of jewelry design. *Advances in Swarm and Computational Intelligence, ICSI 2015. Lecture Notes in Computer Science*, (9140), 302-313.

• Knight, T. W. (1991). Designing with grammars. Zürich: *Computer Aided Architectural Design Futures: Education, Research, Applications, CAAD Futures '91 Conference Proceedings* (pp. 33-48).

• Knight, T. W. (1999). Shape grammars: six types. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(1), 15-31.

• Koning, H. &. (1981). The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's Prairie Houses. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 8(3), 295-323.

• Lee, J. L., Ostwald, M. J. & Gu, N. (2015). A syntactical and grammatical approach to architectural configuration, analysis and generation. *Architectural Science Review*, 58(3), 189-204.

• Mckay, M. H. & Pennington. A. (2006). Combining evolutionary algorithms and shape grammars to generate branded product design. In J. S. Gero (Ed.), *Design Computing and Cognition 2006*. Dordrecht: Springer.

• Mitchell, W. J. (1990). *The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition*. New York: MIT press.

• Sadeghi Moghadam, M. R. (2009). Material flow modeling in supply chain management with genetic algorithm approach. *Industrial Management Journal*, 1(2), 71-88.

• Schroeders U., Wilhelm, O. & Olaru, G. (2016). Meta-Heuristics in Short Scale Construction: Ant Colony Optimization and Genetic Algorithm. *PLoS*, 11(11), 1-19.

• Sims, K. (1994). Evolving virtual creatures. New York: *Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 15-22).

• Stiny, G. & Gips, J. (1971). Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. Ljubljana: *IFIP Congress, Information Processing 71* (pp. 1460-1465).

• Stiny, G. &. Mitchell, W. J. (1978). The Palladian grammar. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 5(1), 5-18.

• Van Buelow, P. (2009). A comparison of methods for using genetic algorithms to guide parametric associative design. Valencia: *Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures (50th. 2009. Valencia). Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures.*

• Von Buelow, P. F. (2010). Optimization of structural form using a genetic algorithm to search associative parametric geometry. Guimarães: *Proceedings of the First International Conference on Structures and Architecture (ICSA 2010).*

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوهٔ ارجاع به این مقاله:

اسمعیلیان طوسی، هدی، اعتصام، ایرج و مهدوی+نژاد، محمدجواد. (۱۴۰۰). کاربست «الگوریتم‌های تکاملی» و روش «دستور زبان شکل» در فرایند طراحی مبتنی بر ساختارهای سنتی. *باغ نظر*، ۱۸(۹۵)، ۱۹-۳۶.

DOI: 10.22034/bagh.2019.161797.3914
URL: http://www.bagh-sj.com/article_119389.html