

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

## مقاله پژوهشی

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

هدی اسمعیلیان طوسی\*\*<sup>۱</sup>، ایرج اعتصام<sup>۲</sup>، محمدجواد مهدوی‌نژاد<sup>۳</sup>

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، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۱

## چکیده

**بیان مسئله:** کاربرد 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 قرار گرفته‌اند، 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. کاربرد 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 در نظر گرفتن نمونه‌های موردی از میان خانه‌های سنتی کاشان، از ترکیب روش شیپ گرامر (دستور زبان شکل) جهت تحلیل ویژگی‌های ترکیب‌بندی و روابط فیزیکی-فضایی در خانه‌های سنتی، و ابزار الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌یابی ساختارهای جدید تولیدشده، استفاده می‌کند. **نتیجه‌گیری:** نتیجه تحقیق نشان‌دهنده کارایی روش‌های تکاملی مولد در بهبود و تسریع فرایند تحلیل ویژگی‌های ساختارهای سنتی و همچنین تولید طرح‌های متنوع جدیدی است که می‌توانند جوهره فضایی ساختارهای سنتی را حفظ کنند.

**واژگان کلیدی:** طراحی تکاملی مولد، الگوریتم‌های تکاملی، دستور زبان شکل، طرحواره قوانین فضایی، الگوریتم ژنتیک.

دکتر «محمدجواد مهدوی‌نژاد» در «دانشکده هنر و معماری»، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران در سال ۱۳۹۷ ارائه شده است. \*\* نویسنده مسئول: ۰۰۹۰۵۳۹۱۰۵۵۲۱۱، hoda.esmaelian@neu.edu.tr

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری خانم «هدی اسمعیلیان طوسی» با عنوان «معماری تکاملی مولد، کاربرد الگوریتم ژنتیک در چالش تداوم و تغییر در معماری» است که به راهنمایی دکتر «ایرج اعتصام» و مشاوره

## 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 دخیل کردن 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 تسهیل کردن روند توصیفی-تحلیلی ساختارهای سنتی و امر اتخاذ پاسخ بهینه طراحی دارد. اگرچه مسئله تولید (مولدبودن) امر ذاتی در کلیه 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 منصف ظهور رسید. از آن زمان، مرحله نوینی از ابزارهای طراحی در دست توسعه قرار گرفته است. این ابزارها در برابر منفعل بودن، فعال توصیف می‌شوند، زیرا نه تنها 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 آزاد کردن طراح را از تعیین طرح و محدودیت‌های عقل قراردادی، هدف قرار داده‌اند، بنابراین امکان کاوش در میان تعداد زیادی پیشنهادها 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 حوزه تحقیق، دو دسته 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. به علاوه 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 نمونه موردی از میان ۵۰ خانه سنتی دوره 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 مسئله 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 کاوش شده انتخاب کرد.

## سوالات 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؟

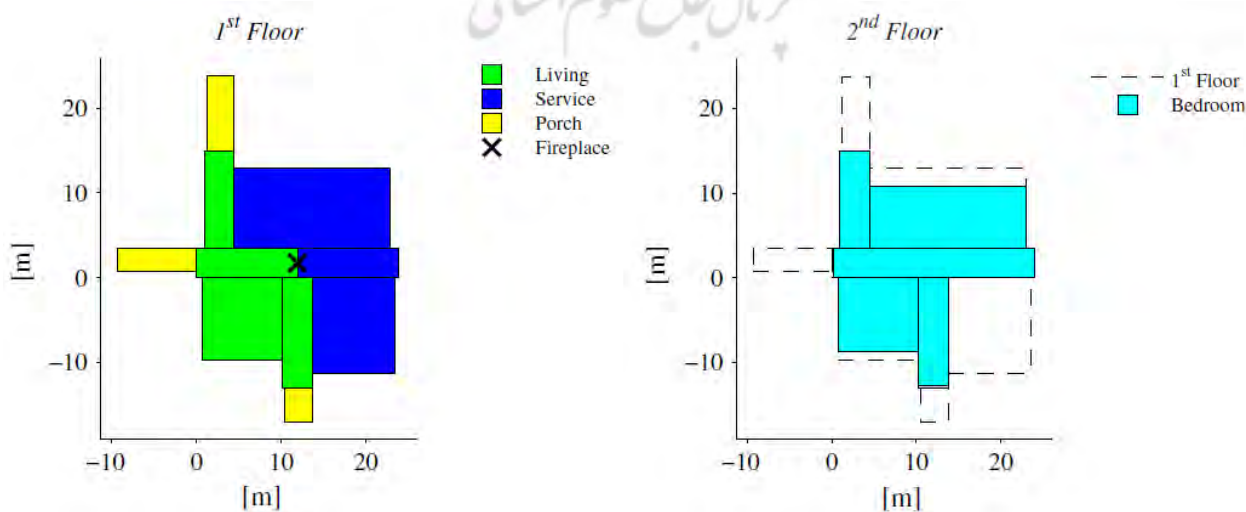
## پیشینه تحقیق

جهت تحلیل نمونه‌های موردی در این پژوهش، خانه‌های سنتی کاشان، از روش دستور زبان شکلی (شیپ گرامر)<sup>۱</sup> 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»<sup>۲</sup>، خانه‌های «فرانک لوید رایت»<sup>۳</sup>، «گلن مرکوت»<sup>۴</sup>، «کریستوفر رن»<sup>۵</sup>، 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 زمینه تحلیل ساختارهای سنتی با روش دستور زبان شکل در بازه 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 مقاله «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»<sup>۶</sup>، ترکیب کرده‌اند. لیگلر و اکونومو (Ligler & Economou, 2015) در مقاله «گمشده در ترجمه: به‌سوی توصیف خودکار از معماری محلی جان پورتمن»، به بررسی رویکرد شیپ گرامر از طریق نمونه موردی خانه مسکونی «جان پورتمن»، معمار آمریکایی نوآینده‌گرا، می‌پردازند و چالش‌ها و فرصت‌هایی که این ترجمه برای زمینه گسترده‌تری از محاسبات شکلی فراهم می‌آورد را مطرح می‌کنند (ibid.). غالب مقالات

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 زمینه الگوریتم‌های تکاملی، به رویکرد بهینه‌سازی راه‌حل‌ها براساس مسائل کارایی-محور پرداخته و در مطالعات اندکی می‌توان ترکیب روش‌های مولد و تکاملی در مراحل اولیه طراحی را بررسی کرد. پژوهش‌های ترکیبی<sup>۶</sup> بیشتر در حوزه طراحی محصولات و برند (Mckay & Pennington, 2006) و طراحی جواهرآلات (Kielarova & Pradujphonphet, 2015) بوده است. از مطالعات ترکیبی که روش دستور زبان شکل با کاربردی الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است می‌توان به مقاله نمایش عمومی غیرمستقیم برای بهینه‌سازی سیستم مولد توسط الگوریتم ژنتیک: کاربردی سیستم طراحی برای دستور زبان شکل» (Granadeiro, 2013) اشاره کرد. در این مقاله دستور زبان شکل برای خانه‌های «فرانک لوید رایت»، به‌عنوان نمونه موردی برداشت شده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک با استفاده از یک تابع برازش بهینه‌یابی صورت گرفته است. این مقاله بیشتر بر نحوه 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 نشان‌دهنده طرح پلان تولیدشده با قوانین مشخص در نرم‌افزار متلب است.

کاربردی در زمینه دستور زبان شکل، یا به تحلیل تک اثر معماری و یا به چگونگی بهینه‌یابی نمونه‌های تولیدشده به‌صورت مجزا پرداخته‌اند. با این وجود، مطالعات کمتری کاربردی 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 جنبه مولد بودن الگوریتم‌های تکاملی را مورد مطالعه قرار داده است (Frazer, 1995). سیمز (Sims, 1994) نیز تجربیات نخستین را در زمینه کاربردی 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; Kicingler, 2005). به‌عنوان مثال در تحقیقی با عنوان «بررسی مسئله شکلیابی ساختمان‌های بلندمرتبه توسط روش محاسباتی تکاملی» نگارندگان (Ekici, Kutucu, Sariyıldız & Taşgetiren, 2015) با استفاده از دو ابزار الگوریتم تکاملی «NSGA-II» و «DE» بر طراحی مفهومی ساختمان بلندمرتبه براساس کارایی محاسباتی بودن و ویژگی‌های معمارانه 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



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

به صورت کلی در تفکر عمومی نسبت به فرایند طراحی طبیعی تغییری صورت پذیرفته است و «طبیعت» به عنوان مأخذی از اشکال، به «طبیعت» به عنوان 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 فراابتکاری<sup>۹</sup> در کنار الگوریتم ژنتیک<sup>۱۰</sup>، شبکه عصبی<sup>۱۱</sup>، کلونی مورچگان<sup>۱۲</sup>، ازدحام ذرات<sup>۱۳</sup>، کلونی زنبور<sup>۱۴</sup> و غیره، بنیاد دانش تکاملی را تشکیل می‌دهند. روش محاسباتی تکاملی به صورت 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 تکامل یافته) مبتنی بر انتخاب اصلح در محیط (تابع هدف) هستند. عبارت الگوریتم‌های تکاملی<sup>۱۵</sup> بیان‌کننده یک دسته از روش‌های آماری بهینه‌سازی است که مبتنی بر شبیه‌سازی فرایند تکامل طبیعی است. در دهه 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 سازش یافته که به آن جواب‌های بهینه پارتو<sup>۱۶</sup> گفته می‌شود (Caldas, 2002) به دست می‌آید. در صورتی که اهداف بر یکدیگر ارجحیتی نداشته باشند، هیچ کدام 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.

## 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 به کار رفته است. سپس از طریق بررسی میدانی و تجزیه و تحلیل ۵۰ نمونه موردی از میان خانه‌های سنتی کاشان در سلسله قاجار، ۳۰ خانه انتخاب شده و با استفاده از قوانین ترکیبی دستور زبان شکل ارائه شده است. این قوانین در نرم‌افزار متلب به عنوان 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 حوزه تحقیق و بررسی تئوری‌ها و روش‌های طراحی تکاملی و طراحی مولد، ۲- بررسی و تحلیل انواع شیوه‌های کاربری این تئوری‌ها جهت تحلیل ساختارهای سنتی و تولید طرح‌های جدید و ۳- کاربری روش شپ گرامر و الگوریتم ژنتیک در دستیابی به طرحواره قوانین فضایی ساختارهای سنتی در نمونه‌های موردی (خانه‌های سنتی کاشان) و بهینه‌یابی نمونه‌های جدید استخراج شده با الگوریتم ژنتیک. تصویر ۲ نشان‌دهنده ساختار این تحقیق است.

## فرایندهای محاسباتی تکاملی<sup>۸</sup> (EC)

فرایند محاسباتی تکاملی، حوزه تحقیقاتی در علوم کامپیوتری را شامل می‌شود که الهام گرفته از مکانیزم‌های تکامل طبیعی است. ای. سی. در گستره‌ای از مسائل گوناگون در حوزه‌های هنر، بیولوژی، شیمی، اقتصاد، مهندسی، ژنتیک، فیزیک، روباتیک و غیره، به صورت موفقیت‌آمیزی به کار برده شده است. با وجود اینکه معماری طراحی شده براساس این رویکرد را می‌توان ارگانیک (طبیعی) خواند، لزوماً از اشکال ارگانیک‌های طبیعی تقلید نمی‌کند، بلکه فرایندها و ساختارهای طبیعی شبیه‌سازی شده از بیولوژی را مورد استفاده قرار می‌دهد.



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 فرزندی 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 کدشده یک جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) از مسئله 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. مناسب بودن 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 مسئله مینیمم کردن هزینه را مد نظر قرار می‌دهد.

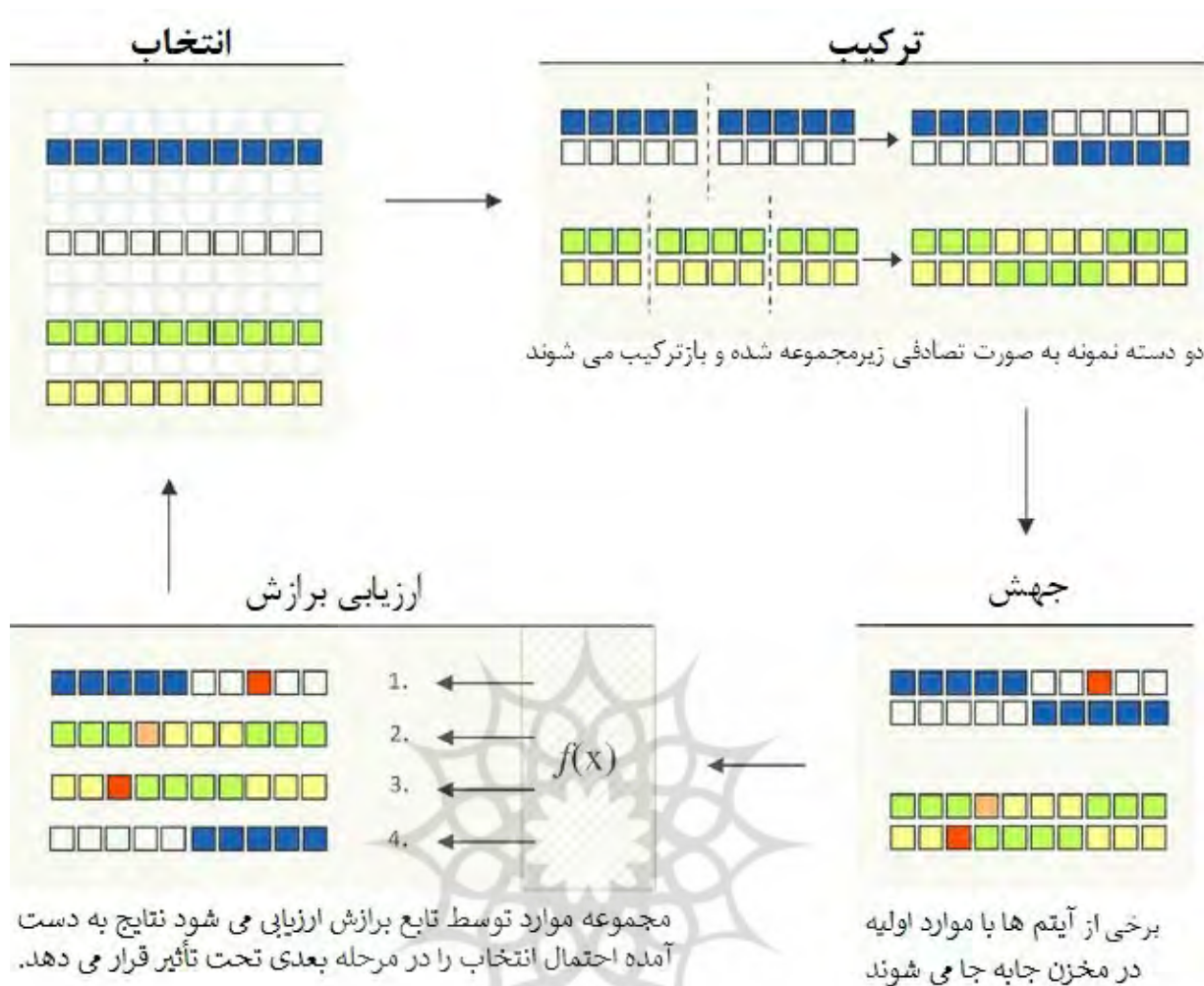
ج) اندازه جمعیت و تعداد تولید: تعداد کروموزوم‌ها را اندازه جمعیت می‌گویند. اندازه جمعیت در آزمایش‌های مختلف بررسی شده و جمعیت از یک نسل به نسل دیگر به‌منظور یافتن جواب بهتر با استفاده از روش‌های تولید مثل بهبود می‌یابد (ibid.).

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 بهینه کلی<sup>۱۷</sup> دارد. توانایی این روش در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی است که روش‌های کلاسیک یا قابل اعمال نیستند و یا

دریافتن بهینه کلی قابل اطمینان نیستند (Bäck, 2000).  
تصویر ۳ نشان‌دهنده 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 بالقوه متعدد توسط الگوریتم‌ها مشخص می‌شود، تعریف کرد. همان‌طور که «لارس هسلگرن»<sup>۱۸</sup>، 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»<sup>۱۹</sup> 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 کاربری یک سیستم مولد، مانند مجموعه‌ای از قوانین زبانی، برنامه کامپیوتری، مجموعه‌ای از تحولات هندسی، دیگرام، 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 توسعه نرم‌افزارهای معماری محور در اواسط قرن بیستم روی داد. یکی از نخستین سیستم‌های نوشته‌شده در معماری مبتنی بر شیب گرامر (قواعد فرمی) با هدف تولید ویلا پالادین بود (ibid.). استینی و میشل قواعد شکلی پارامتریکی ایجاد کردند که نه‌تنها پلان همکف ویلا پالادین بلکه پلان همکف ویلاهای نوینی را تولید می‌نمود که برگرفته از الگوهای اولیه خود بودند. تلاش‌های نخستین این افراد برای «از نو طرح‌ریزی بخش‌هایی از قواعد معمارانه 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 فوق‌العاده 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

می شوند تعریف می شود (مرحله تنظیم). شکل آغازین یا اولیه برای تولید طرح در هر قاعده گنجانده می شود. زمانی که تمامی طرح های اولیه برگرفته از ارتباطات فضایی مشخص تولید شدند، دستور زبان های پیچیده تری را می توان توسعه داد (مرحله بسط و گسترش). این قواعد پیچیده تر، طرح های پیچیده تری نیز تولید می کنند که از ترکیب ارتباطات فضایی به دست آمده از قواعد اولیه، تولید می شوند. قواعد پیچیده از بسط دادن قوانین و/ یا ترکیب قوانین اولیه با روش های متعدد تعریف می شوند. به عنوان مثال یکی از روش های ساده بسط دادن قوانین ترکیب دو یا تعداد بیشتری از قوانین اولیه تعیین شده با رابطه فضایی یکسان، به یک تک قانون است. قواعد پیچیده را نه تنها با بسط دادن قوانین، بلکه با پیچیده تر کردن اشکال اولیه نیز می توان به دست آورد. همچنین روش دستور زبان شکل را می توان براساس محدودیت های موجود در این

مکانیسم استفاده از قواعد شیپ گرامر و انواع آن فرایند ساخت طرح در دستور زبان شکل را می توان به سه مرحله تقسیم بندی کرد: مرحله ایده، مرحله توسعه یا تنظیم و مرحله بسط دادن (AbdulRaheem, 2016). برای تولید طرح، ابتدا روش هایی از دستور زبان که اشکال می توانند براساس آنها با یکدیگر ترکیب شوند باید مشخص شود (مرحله ایده). این روش های خاص ترکیب توسط ارتباطات فضایی تعریف می شود. فرم A و B که برای تولید رابطه فضایی با هم ترکیب بندی می شوند با AB مشخص شده و می توانند چهار قانون شکل را ایجاد کنند. دو تا از این قانون ها مربوط به اضافه شدن شکل و دو تا دیگر مربوط به کم شدن شکل است.

(1)  $A \rightarrow AB$  (2)  $B \rightarrow AB$  (3)  $AB \rightarrow A$  (4)  $AB \rightarrow B$

زمانی که ایده نحوه ترکیب بندی یا ارتباط فضایی مشخص شد، مجموعه ای از قواعد ساده که قواعد پایه خوانده

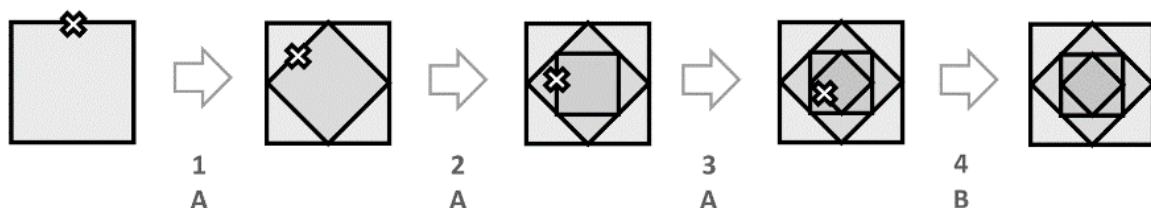
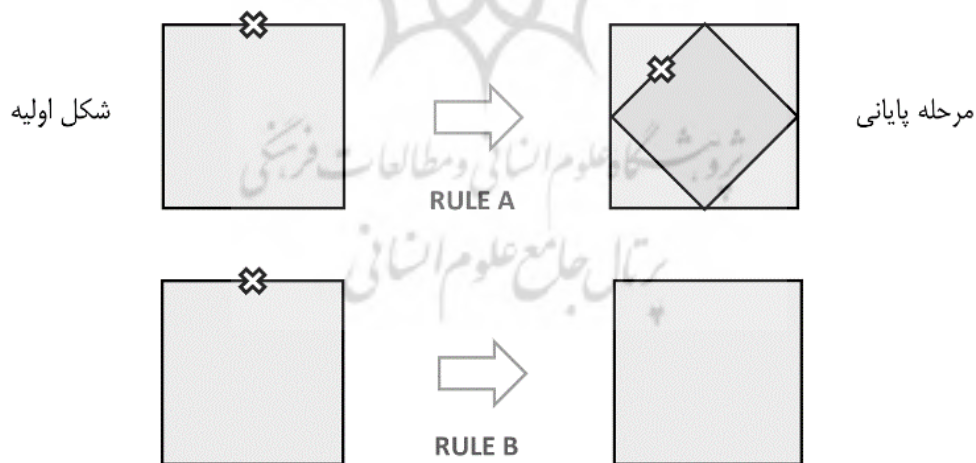
مشترک، می‌بایست مشخص شوند. تصویر ۴ نشان‌دهنده فرایند کلی ساخت در دستور زبان شکل است.

### بررسی کاربرست 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 خانه 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 جبهه ساخت روبه‌روی هم، دو جبهه ساخت مجاور هم، سه جبهه ساخت، چهار جبهه ساخت، دو حیاطه و چندحیاطه نشان می‌دهد.

همچنین نمونه‌های موردی براساس شش زیرشاخص ۱. جهت‌یابی عناصر ساختاری (حیاطه، 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

روش نیز تقسیم‌بندی کرد. یکی از محدودیت‌ها براساس نوع قانون است که مربوط به اشکال و برجسب‌هایی که ممکن است در قانون دیده شود. نوع دیگر محدودیت مربوط به نحوه کاربرست 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 مولد بودن روش دستور زبان را افزایش می‌دهد. براساس دو محدودیت مطرح‌شده، او شش مدل قواعد را نام می‌برد: قواعد پایه، قواعد نامتعیین 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 تولیدشده قبلی تولید نمی‌شود. در برابر این مدل، روش نامتعیین منجر به طرح‌های متنوع و متعددی می‌شود. کاربرست 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



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
چهار جبهه ساخت	رحمتی سجادی صاحب فرشاد لذیدی	
دو جبهه روبه‌روی هم	ابریشمی آزادمنش صالح عزیززادگان فیلسوف	
دو جبهه کنار هم	بلال‌زاده پهلوان‌زاده حاج قربان کارخانه‌چی گلی‌زاده	
سه جبهه ساخت	اصفهانیان آل‌یاسین بنی‌کاطمی تهامی شریفیان	
یک بیرونی و یک اندرونی	استوار برفروش بافنده بخشی محتشمی صدوری تاج	
یک بیرونی و دو اندرونی	بروجردی‌ها طباطبایی علاقه‌بند	

خانه‌های تک‌حیاطه

خانه‌های دو و سه‌حیاطه

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 نشان‌دهنده دسته‌بندی ارتباطات فضایی مابین شش عنصر حیاط، حیاط دوم، ایوان، اتاق اصلی، اتاق فرعی و ورودی است. دسته اول (RG1) مربوط به روابط فضایی بین حیاط و ایوان است که خود شامل نه قانون مجزاست. دسته دوم (RG2) ترکیب اتاق اصلی و ایوان را نشان می‌دهد و شامل پنج قانون است. دسته سوم (RG3) ترکیب اتاق اصلی و اتاق فرعی را نشان می‌دهد و دارای شش قانون است. دسته چهارم (RG4) ارتباط فضایی بین اتاق‌های فرعی با یکدیگر را نشان می‌دهد و شامل شش قانون است. دسته 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. دسته 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.

شش زیرشاخص پارامترهای هندسی اشکال اولیه، نحوه 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 مرحله اول دارای الگوی هندسی هستند که تعیین‌کننده 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 وابسته بین پارامترها ترسیم شده‌اند. تصویر ۶ نشان‌دهنده گونه‌های ممکن از جانمایی و مختصات حیاط نسبت به فضای توده پیرامونش براساس جهت جغرافیایی و مکان ساخت توده در خانه‌های تک‌حیاطه



با تناسباتی مشابه اتاق‌های سه‌دری و یا به صورت عمق کم (یک تا یک و نیم متر) و طول هم‌اندازه اتاق و یا به صورت 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 جبهه شمالی به سمت بالا در نظر گرفته شده است و بر این اساس ایوان‌ها ترسیم شده‌اند.

۳- مشخص کردن قيود و ترجیحات هندسی مسئله: محدودیت‌های هندسی و مختصاتی (مکانی) نمونه‌های موردی که براساس تحلیل گونه‌شناختی با شش زیرشاخص استخراج شده بود، در مقایسه 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 به عبارتی متقارن هستند؛

- آکس حیاط مرکزی بر آکس فضای هم‌چوار 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 به صورت ذیل است:

- مکان ورودی در جهات هشتگانه 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 (۱٫۷۲) است؛

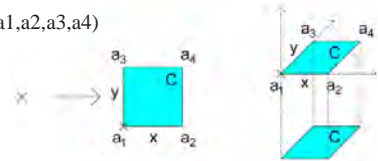
- نسبت طول به عرض حیاط از نسبت مساوی تا ۳٫۱ برابر متغیر است و متوسط این نسبت ۱٫۴ (۱٫۷۲) است؛

- در خانه‌های دوحیاطه مساحت حیاط اندرونی از مساحت حیاط بیرونی بیشتر است که نسبتی بین ۳ تا ۱۲ برابر دارد؛

- هندسه اتاق‌های اصلی (پنج‌دری و تالار در قسمت

C --> Courtyard, 2D plain (a1,a2,a3,a4)

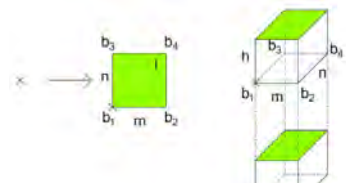
$$\begin{aligned} x < y \\ 4 < x < 33 \\ 5 < y < 72 \\ 1 < y/x < 3 \\ -1 < \text{move in z direction} < -8 \end{aligned}$$



الف

m=x or m=y if n=1  
I --> Ivan, 3D shape

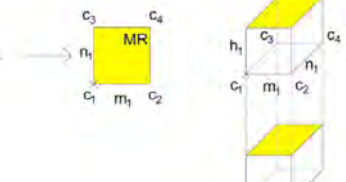
$$\begin{aligned} 3 < m < 31 \\ 1 < n < 7 \\ 1 < m/n < 7 \\ 4 < h < 16 \\ -1 < \text{move in z direction} < -8 \end{aligned}$$



ب

m=m1 or n=n1 m=m2 or n=n2  
MR --> Main Room, 3D shape

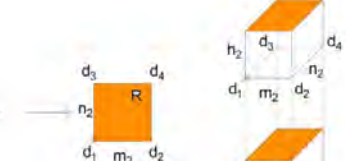
$$\begin{aligned} 3 < m1 < 18 \\ 2 < n1 < 12 \\ 1 < m1/n1 < 3 \\ 3 < h < 8 \\ -8 < \text{move in z direction} < 4 \end{aligned}$$



ج

R --> Room, 3D shape

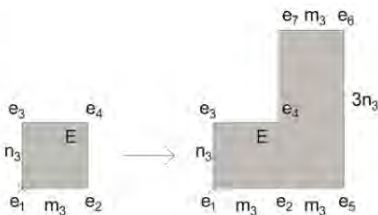
$$\begin{aligned} 3 < m2 < 7 \\ 2 < n2 < 5 \\ 1 < m2/n2 < 2 \\ 3 < h < 5 \\ -8 < \text{move in z direction} < 4 \end{aligned}$$



د

E --> Entrance, 3D shape

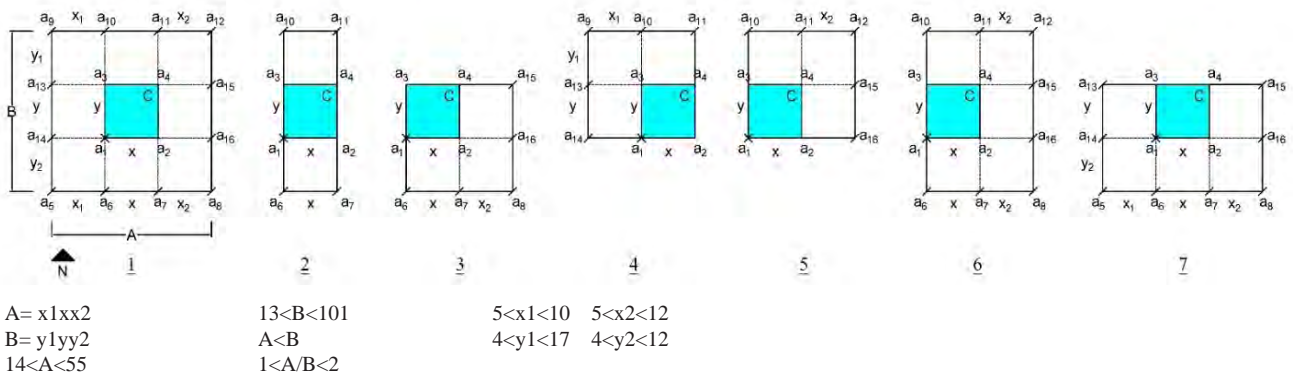
$$\begin{aligned} m3 = n3 \\ 1 < m3, n3 < 3 \\ 3 < h < 5 \\ -8 < \text{move in z direction} < 0 \end{aligned}$$



ه

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 نشان‌دهنده گونه‌های ممکن روابط فضایی بین حیاط به‌عنوان فضای باز، ایوان، نیمه‌باز و فضای بسته با توجه به جهت جغرافیایی و در هر چهار گونه تک‌حیاطه با دو جبهه ساخت روبه‌روی هم (A)، دو جبهه ساخت کنار هم (B)، سه جبهه ساخت (C) و چهار جبهه (D)، است. همان‌طور که در این تصویر دیده می‌شود، ایوان‌ها



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

است. این روابط به صورت مجموعه‌ای از توابع با متغیرهایی که می‌توانند اعدادی مختلف براساس دامنه مشخص شده 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 گستره وسیعی از برنامه‌های مورد استفاده در زمینه برنامه‌نویسی پارامتریک استفاده شوند. اصولاً کاربست طراحی الگوریتمیک در مرحله ایده‌پردازی و مفهومی طراحی، نیازمند دانش برنامه‌نویسی و اسکریپت‌نویسی توسط طراح است، زیرا می‌بایست متناسب با ایده و مسئله طراح باشد<sup>۲۰</sup>. 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<sup>۲۱</sup>، برای تولید نمونه‌ها در مرحله 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 تعیین‌کننده کدنویسی شده و جمعیت اولیه از حالت‌های ممکن ارتباط فضایی و قیود هندسی-مکانی عناصر ایجاد می‌شود. تصویر ۹ نشان‌دهنده نتایج به‌دست‌آمده از گزینه‌های تولیدشده در مرحله اول است. این تصاویر نشان‌دهنده پلان‌های تولیدشده در تولید تصادفی مقادیر متغیرها در سیستم برنامه‌نویسی طراح است. همان‌طور که در تصاویر دیده می‌شود در هر جمعیت تصادفی تولیدشده

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.

- به صورت گودال باغچه (دارای شارمی) با تراز تا ۸ متر زیرزمین و یا به صورت حیاط کمی پایین‌تر از سطح ورودی (متوسط تراز یک متر پایین‌تر از تراز بیرونی) است. بنابراین صفحه 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 (اتصال‌دهنده چند اتاق به حیاط) تا ۱:۱۷ نیز می‌رسد. تناسب ایوان‌های اصلی که در مرکز و آکس حیاط قرار می‌گیرند، نسبت ۱،۴ (۱:۱/۲) است؛

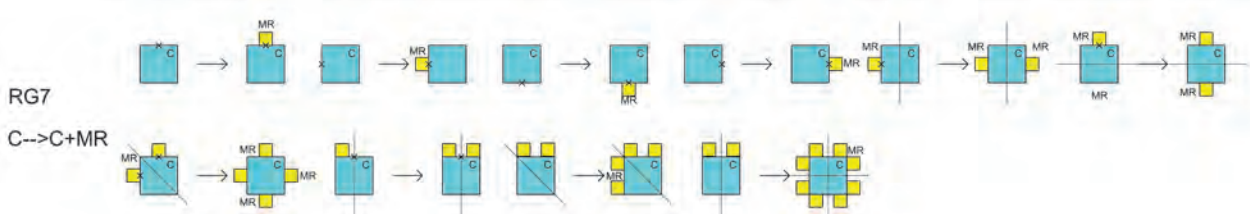
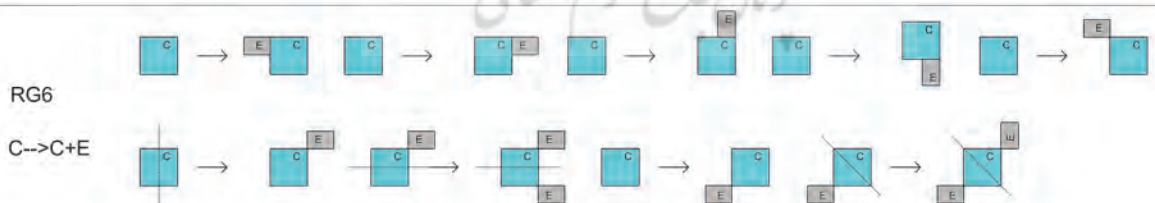
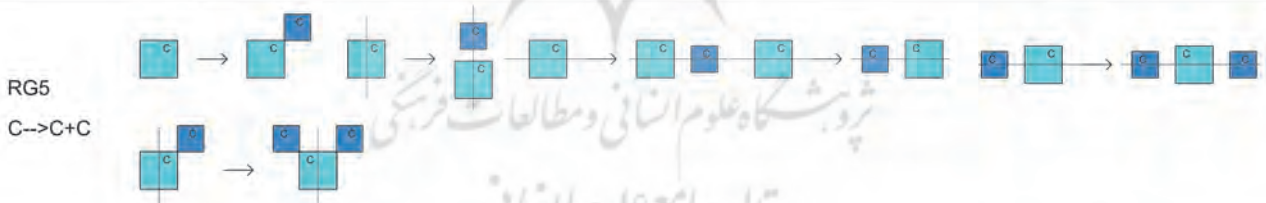
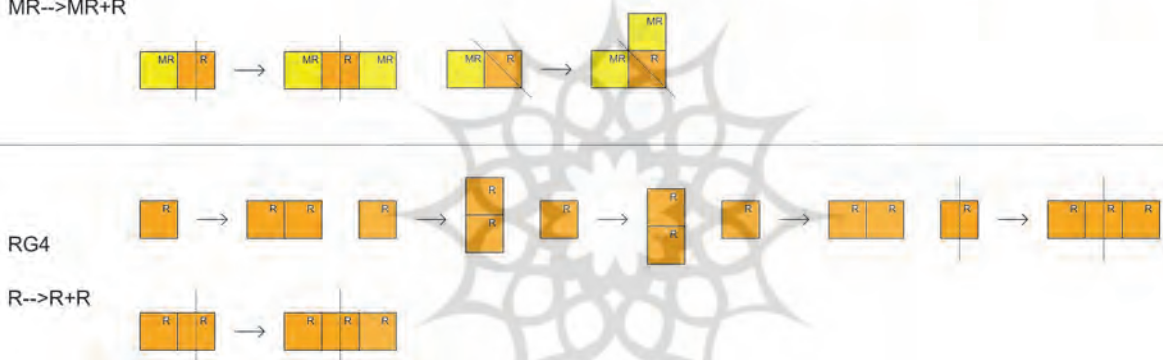
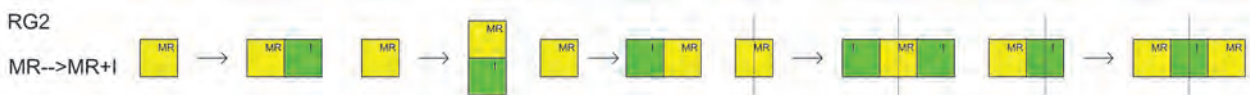
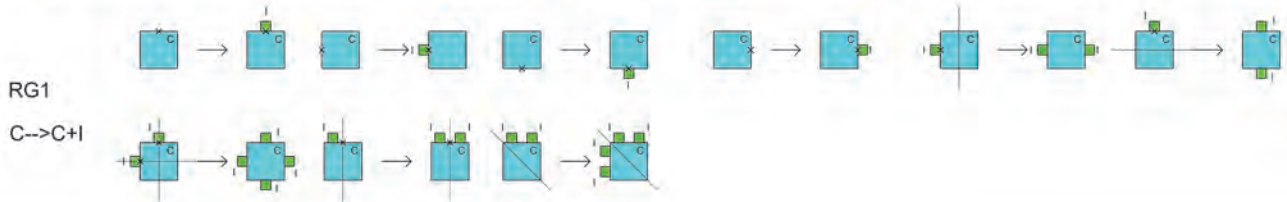
- بیشترین درصد ساخت در توده شمالی و جنوبی با متوسط ۳۴ و ۳۰ درصد است، با این تفاوت که در خانه‌های چهار جبهه ساخت بیشترین درصد توده ساخته‌شده در جبهه جنوبی (تابستان‌نشین) با میانگین ۳۷ درصد ساخت و بعد از آن جبهه شمالی، شرقی و غربی است؛

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

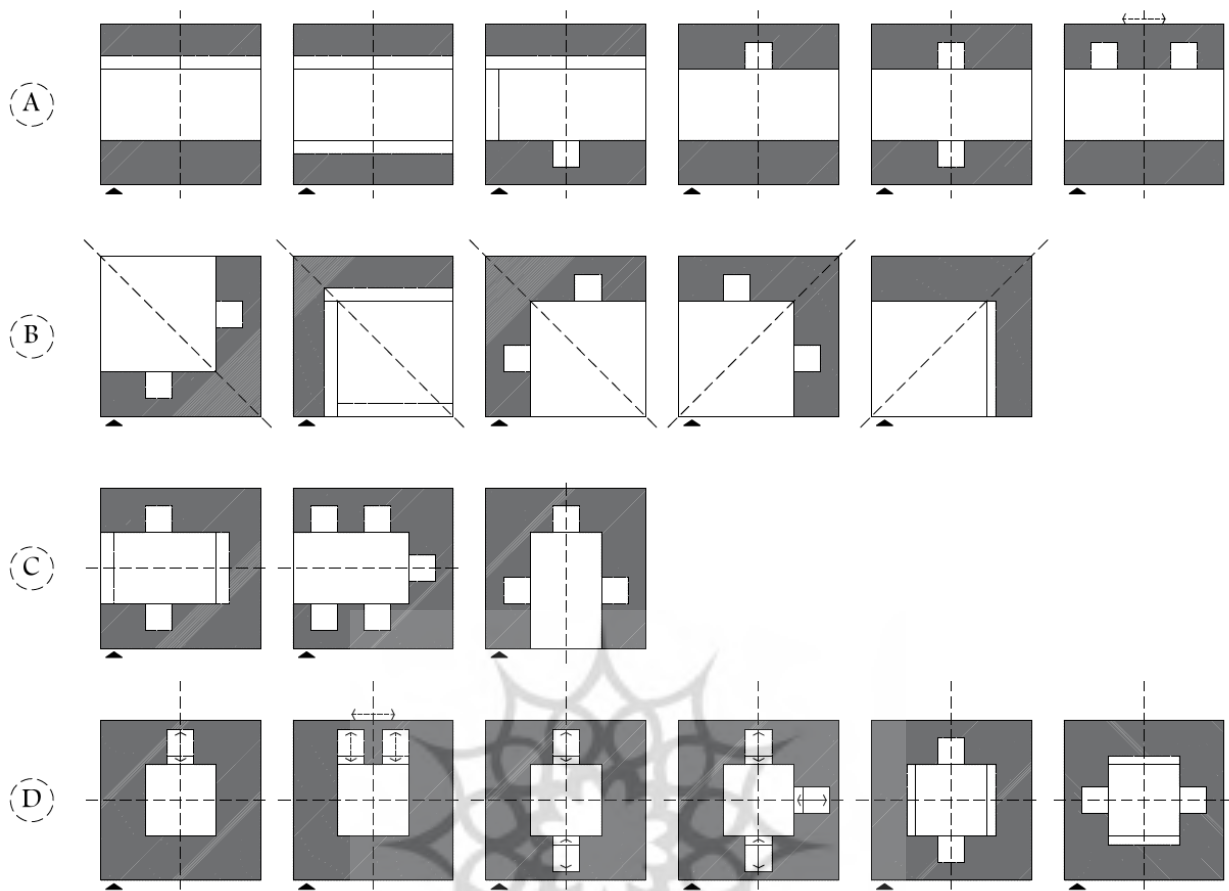
### تولید فرم با سیستم طراحی پارامتریک

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

Entrance Courtyard M.room 2<sup>nd</sup> yard Side room Ivan(porch)



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



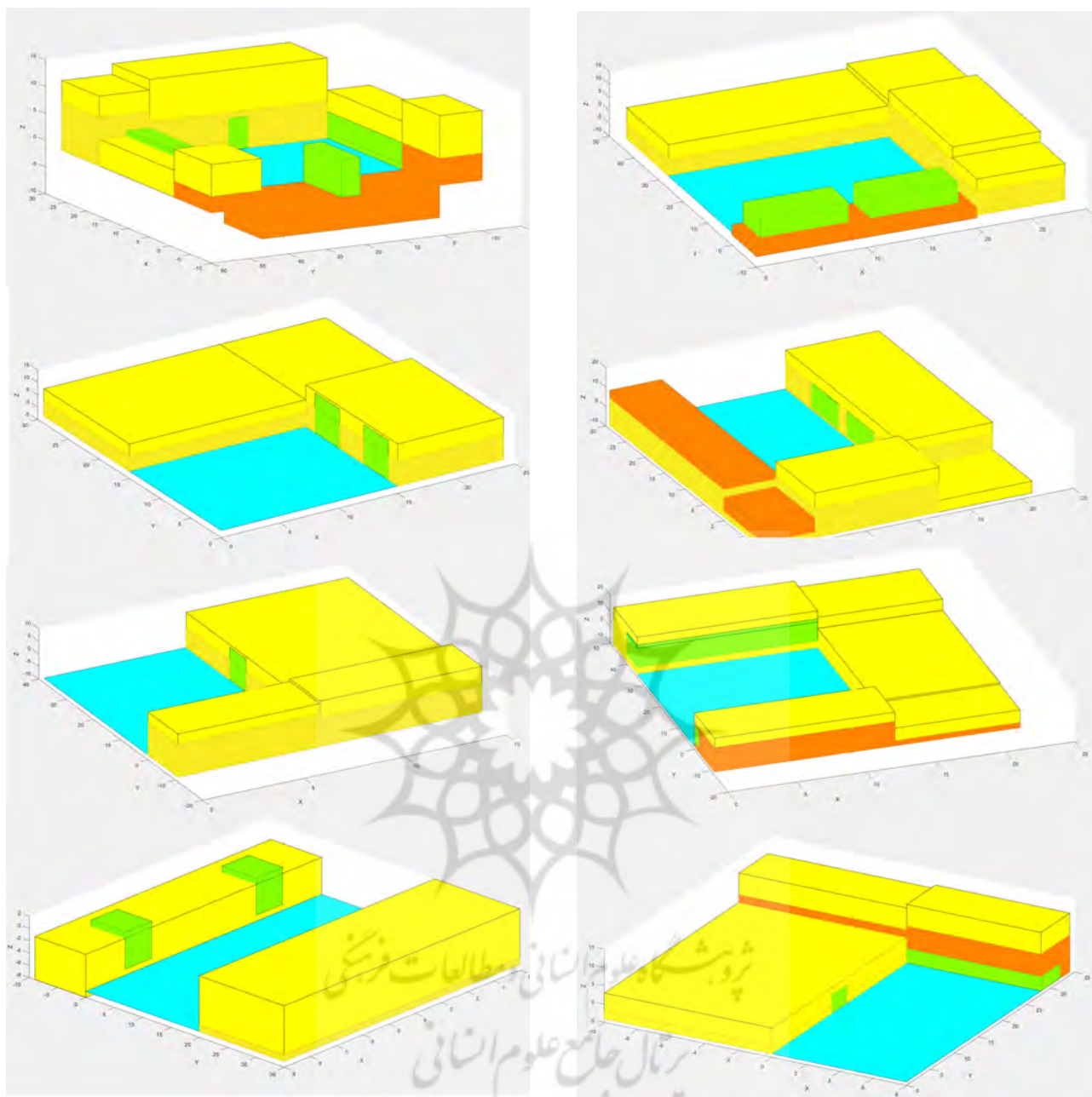
تصویر ۸. ارتباط فضایی مابین عناصر اصلی توده، حیاط و ایوان براساس جهت جغرافیایی مبتنی بر تحلیل نمونه‌های موردی. مأخذ: نگارندگان.

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 پروسه طبیعی، ایجاد نسل جدید مبتنی بر امکان انتخاب شدن است. پروسه بهینه‌یابی در این تحقیق به صورت ترکیبی و براساس فرم و کارایی است. درجه اهمیت کارآبودن 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 زیباشناسانه فرم، گزینه‌های مطلوب کارایی را نیز انتخاب کنند و نسل جدید را مبتنی بر این انتخاب پیش برد.

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 به صورت 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 بازه گسترده و نمونه‌های بی‌شمار تولیدشده، آن دسته از گزینه‌ها مطلوب به حساب 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 هر یک از عناصر حیاط،



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 به صورت زیر نوشته می‌شود:

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

در این تابع  $X$  عرض حیاط،  $Y$  طول حیاط و  $C$  نشانه حیاط است. - کمترین مساحت حیاط  $x_c y_c$  که در آنها نسبت مساحت

فضای بسته به حیاط  $1,7$  و نسبت مساحت فضای ایوان به بسته  $0,2$  و نسبت فضای ایوان به حیاط  $0,3$  باشد.

$$(2) \min x_c y_c + \left( \frac{x_m y_m}{x_c y_c} - 1.7 \right)^2 + \left( \frac{x_1 y_1}{x_m y_m} - 0.2 \right)^2 + \left( \frac{x_1 y_1}{x_c y_c} - 0.3 \right)^2$$

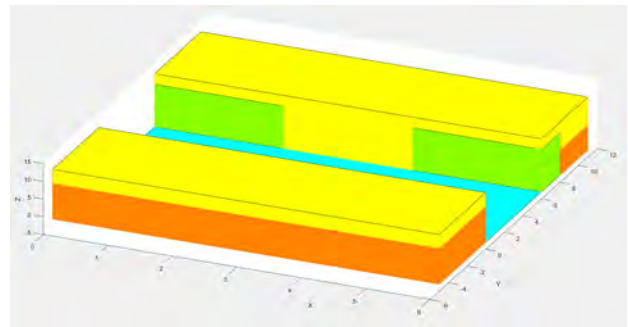
نسبت‌های تعریف‌شده در تابع (۲) از تحلیل تناسبات و هندسه نمونه‌های موردی به دست آمده است. به همین ترتیب می‌توان توابع مورد نظر را به دست آورد و در نهایت جهت حل بهینه‌یابی چندهدفه این توابع با یکدیگر جمع

گزینه بهینه را نشان می‌دهد. در مرحله نخست توابع برازش برای تمامی گزینه‌های تولیدشده در نظر گرفته شده است. دستیابی به نمونه بالا با فرایندی خودکار صورت پذیرفته است، اما همچنین می‌توان براساس نیاز و محدودیت‌های فضای طراحی از میان هفت حالت به‌وجودآمده گزینه‌های 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 نشان‌دهنده بهینه‌ترین گزینه‌های ایجادشده برای هر یک از هفت حالت توده و حیاط (به‌جز حالت دوم که در تصویر ۱۰ به‌عنوان بهینه‌ترین حالت انتخاب شده بود) است.

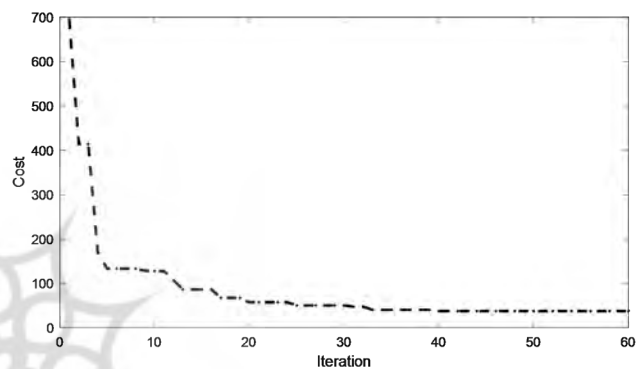
تصویر ۱۳ روند پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک در برنامه متلب را نشان می‌دهد. تعداد تکرارها در هر مرحله بسته به جواب‌های به‌دست‌آمده می‌تواند افزایش یابد. در هر مرحله پس از اعمال توابع مورد نظر کاوش برای جواب‌های بهینه آغاز می‌شود. این مرحله می‌تواند با نظارت کاربر و طراح صورت پذیرد و بهترین جواب‌ها ذخیره شود. جواب‌های ذخیره‌شده در مخزنی از راه‌حل‌ها برای مرحله 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



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

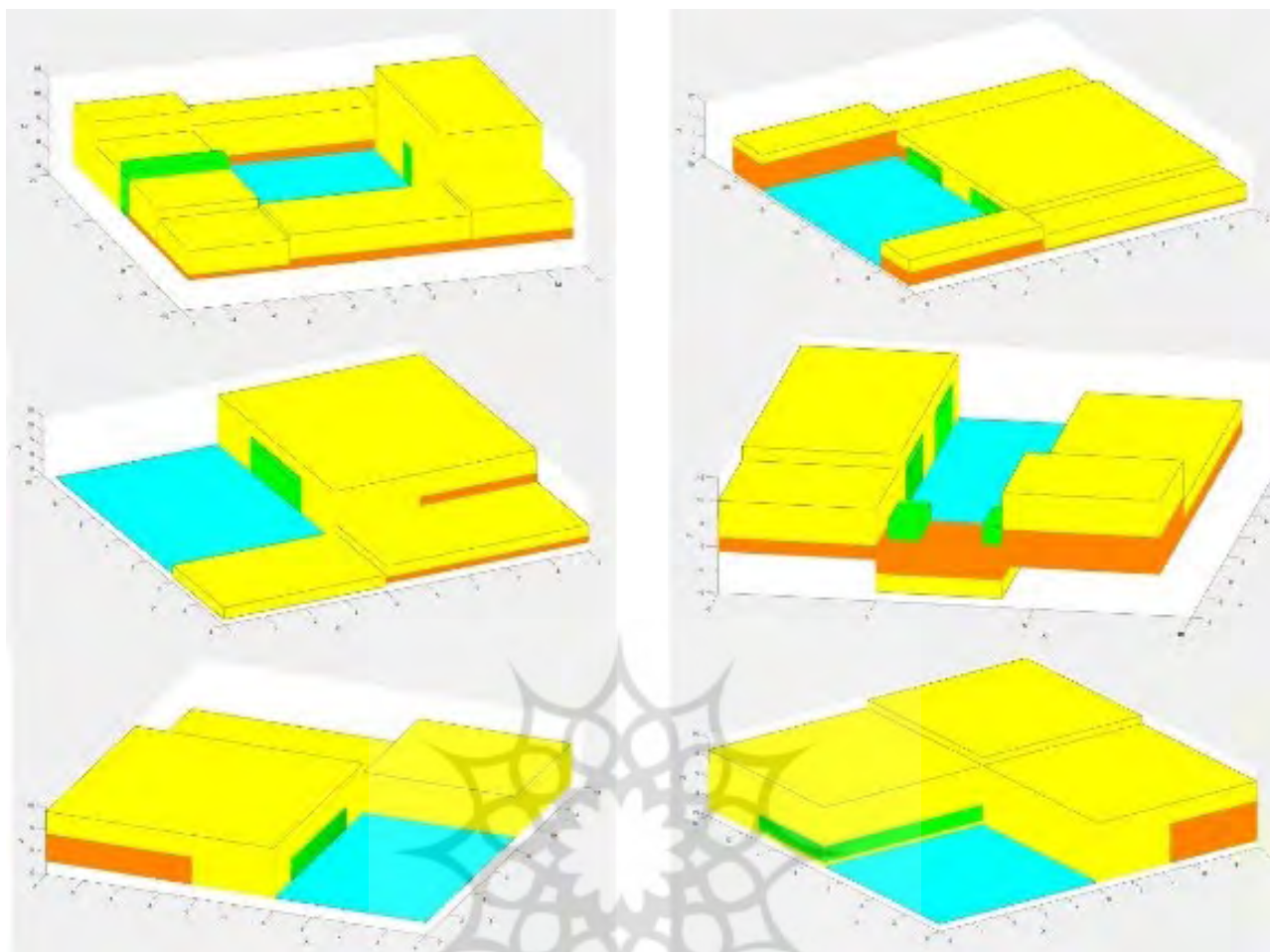


تصویر ۱۱. روند بهینه‌یابی نمونه‌ها در شصت نسل کاوش شده در نرم‌افزار متلب. مأخذ: نگارندگان.

می‌شوند. تصویر ۱۰ نشان‌دهنده 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 اولیه 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

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

حالت شماره دو- دو جبهه ساخت روبه‌روی هم	یکی از ۷ حالت توده و حیاط
دو ایوان متقارن روی یک ضلع	قانون ایوان
۱	شماره حالت ایوان
$X = (0, 6), y = (0, 6), z = (3-)$	مختصات حیاط
$(0, 6), (11, 6), (12, 4)$	مختصات اتاق‌های اصلی
$(6, 0), (0, 5-), (11, 7)$	



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

- عدم دخالت پارامترهای وابسته متعدد؛  
 - عدم بررسی کیفی توابع برازش متناسب با مسئله طراحی.  
 این پژوهش سیستم طراحی تکاملی مولدی را پیشنهاد می‌کند که به صورت 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 کنترل شدن 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 پروسه 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

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 بررسی شده که شامل موارد ذیل است برطرف شود:

- توجه بیشتر بر نحوه پیاده‌سازی روش به جای بررسی قابلیت‌های فرایند تکاملی مولد؛
- تمرکز بر نحوه نمایش جواب‌ها در سیستم‌های برنامه‌نویسی طراح؛
- توجه بیشتر بر جنبه‌های کارایی-محور؛
- توجه بیشتر بر شبیه‌سازی ساختار سنتی؛

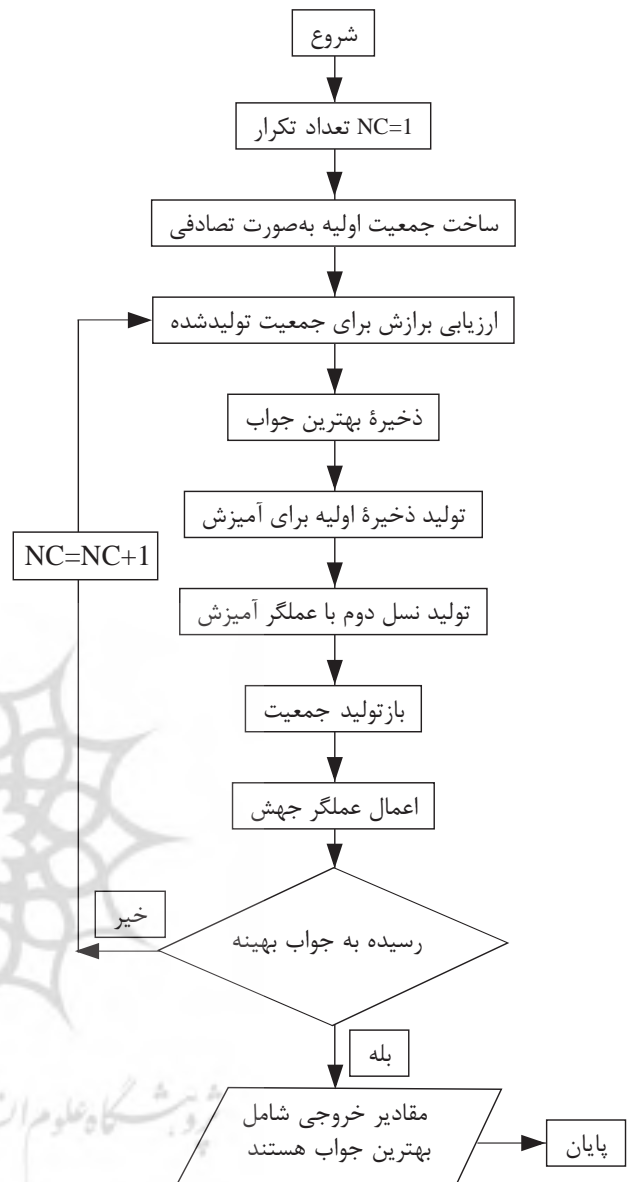
روش گونه‌شناسی برای تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و فضایی و کیفی-کمی نمونه‌های موردی استفاده شده است و شش زیرشاخص مطرح‌شده قابلیت ارزیابی کلی و جزئی نمونه‌ها را به صورت تکی و در مقایسه با یکدیگر فراهم آورده است. این نوشتار بستری مناسب جهت تحقیقات آتی در زمینه‌های متعدد کاوش فرم‌های کارامحور در مراحل اولیه طراحی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

### پی‌نوشت

۱. Shape grammar
۲. Giuseppe Terragni
۳. Frank Lloyd Wright
۴. Glenn Murcutt
۵. Christopher Wren
۶. Glenn Murcutt، معماری استرالیایی و برنده جایزه پریترکر Hybrid
۷. Evolutionary computing
۸. Meta heuristic
۹. Genetic algorithm
۱۰. Neural network
۱۱. Ant system
۱۲. Particle Swarm Optimization (PSO)
۱۳. Artificial Bee Colony Algorithm (ABC)
۱۴. Evolutionary Algorithms
۱۵. Pareto Optimal
۱۶. Global Optimum
۱۷. Lars Hesselgren, Director of KPF Research
۱۸. Mitchell
- ۱۹.

۲۰. اسکریپت نویسی (Scripting) یا پردازنده نویسی دانشی برای نوشتن برنامه‌هایی است که کاربرد 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 سازنده آن به همراه محیط برنامه‌نویسی آن ارائه کرده و بسیار جامع و قدرتمند است. قدرت متلب از انعطاف‌پذیری آن و راحت بودن 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



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



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



- 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.
- Kicing, 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, S. W. & Pradujphonphet, 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.

داده، پردازش تصویر و محاسبات شبکه عصبی و غیره) به آن می‌افزایند که باعث افزایش کارایی و محبوبیت آن شده است. بنابراین نرم‌افزار متلب انتخاب بسیار مناسب برای مدل کردن 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., Sariyıldız 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.

- 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/>).



نحوه 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](http://www.bagh-sj.com/article_119389.html)

