شاپای الکترونیکی: ۲۸۵۶-۲۷۸۳
شاپای چاپی: ۰۴۵۴-۲۷۱۷
دو فصلنامه نوآوری و ارزش آفرینی
Http://journalie.ir

الگوریتم تکاملی ژنتیک در معماری: تحلیل روش‌های الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک در فرآیند باز تولید ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری

* سیدعلی یار ابراهیمی‌وفائی ** مهدی خاکزند *** محمدحسن طالبیان **** محمد بهزادپور
***** فهیمه معتضدیان

* دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
aliyar.ebrahimi@ iau.ac.ir
** دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و طراحی محیطی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.
khakzand@ut.ac.ir
*** استاد تمام گروه معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
mh.talebian@ut.ac.ir
**** استادیار گروه معماری، واحد هشتگرد، دانشگاه آزاد اسلامی، هشتگرد، کرج ایران.
mohammad.behzadpour@hiau.ac.ir
***** استادیار گروه معماری، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
motazedian@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

چکیده

این پژوهش با هدف تحلیل روش‌های الگوریتم تکاملی ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی طراحی معماری انجام شده است. بیان مسئله از آن‌جا ناشی می‌شود که با وجود پیشرفت‌های روزافزون فناوری‌های محاسباتی، کاربرد الگوریتم ژنتیک در حوزه معماری عمدتاً بر بهینه‌سازی سازه و عملکرد متمرکز بوده و بهره‌گیری از آن در بازآفرینی معیارهای زیبایی‌شناسی نظیر تعادل، تناسب، ریتم، هماهنگی و نوآوری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. نوآوری پژوهش در ادغام پارامترهای زیبایی‌شناسی با سازوکارهای انتخاب، جهش و ترکیب ژنتیکی به‌منظور خلق فرم‌هایی خلاقانه، هماهنگ و کارا است. اهمیت و ضرورت تحقیق در پاسخ به نیاز معماری معاصر برای ابزارهای طراحی هوشمند، انعطاف‌پذیر و چندهدفه، و همچنین در حفظ و بازآفرینی ارزش‌های فرهنگی و هنری در بستر دیجیتال نهفته است.

روش تحقیق به‌صورت مطالعه تحلیلی و مبتنی بر تحلیل محتوای کیفی انجام شد. داده‌ها از منابع معتبر بین‌المللی گردآوری و بر اساس هفت محور اصلی شامل ابعاد فراکتال، شبکه عصبی، چارچوب تعاملی طراحی سازه، تولید فرم مکالمه، هندسه تاریخی، بازنمایی افزونگی ضمنی و بهینه‌سازی شکل معماری کدگذاری و تحلیل شدند. فرضیه اصلی بیان می‌دارد که الگوریتم ژنتیک قادر است فرآیند بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناسی در معماری را بهینه و تسهیل کند، مشروط بر آنکه ساختار کروموزوم، معیارهای برازندگی و روابط عملکردی به‌درستی تعریف شوند.

نتایج حاکی از آن است که استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک در طراحی مولد، امکان کاوش هزاران گزینه، کاهش خطا، افزایش یکپارچگی با بافت و ارتقاء عملکرد پروژه را فراهم می‌آورد. این رویکرد ضمن همسویی با یافته‌های پژوهش‌های پیشین، چارچوبی جامع‌تر ارائه می‌دهد که می‌تواند در آموزش معماری، توسعه نرم‌افزارهای طراحی، پروژه‌های بازآفرینی بافت تاریخی و طراحی پایدار به‌کار رود. پیشنهاد می‌شود استفاده از یادگیری عمیق، واقعیت مجازی و شاخص‌های چندبعدی عملکرد برای ارتقاء دقت و کارایی این فرآیند در تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: طراحی معماری، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تکاملی، زیبایی‌شناسی.

نوع مقاله: پژوهشی

نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات: مهدی خاکزند Khakzand@ut.ac.ir

۱- مقدمه

الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک (Genetic Algorithms یا GAs) به‌عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند در بهینه‌سازی مسائل پیچیده، در دهه‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای در طراحی معماری یافته‌اند. این الگوریتم‌ها با الهام از فرآیندهای طبیعی مانند انتخاب طبیعی، جهش و ترکیب ژنتیکی، امکان تولید و بهینه‌سازی فرم‌های معماری را فراهم می‌کنند که نه‌تنها از نظر عملکردی مؤثرند، بلکه از نظر زیبایی‌شناسی نیز ارزشمند هستند. (Mars et al., 2019, p. 631) در طراحی معماری، درک و بازتولید کیفیت‌های زیبایی‌شناختی همواره از چالش‌برانگیزترین مراحل بوده است، چرا که زیبایی مفهومی ذهنی و وابسته به ادراک است. با این حال، الگوریتم‌های ژنتیک با تعریف توابع برازندگی که می‌توانند معیارهای زیبایی‌شناسی همچون تعادل، نظم، نسبت طلایی و هماهنگی را در بر بگیرند، بستری برای ارزیابی و بهینه‌سازی فرم‌های معماری فراهم کرده‌اند (Mars et al., 2020, p. 149). در معماری، چالش اصلی آن است که بسیاری از ارزش‌های زیبایی‌شناسی – همچون تعادل، نظم، تکرار، تناسب و هماهنگی – به سختی قابل کمی‌سازی هستند. با این وجود، الگوریتم‌های ژنتیکی با استفاده از توابع برازندگی که معیارهای زیبایی‌شناسی را در قالب داده‌های کمی تعریف می‌کنند، قادرند فرم‌هایی خلق کنند که واجد ارزش‌های زیبایی‌شناختی مطلوب باشند(Mars et al., 2020, p. 148).

از طرفی طراحی مولد یک فرآیند طراحی تکراری است که شامل برنامه‌ای است که تعداد معینی از خروجی‌ها را تولید می‌کند که محدودیت‌های خاصی را برآورده می‌کنند، و همچنین شامل یک طراح است که منطقه امکان‌پذیر را با انتخاب خروجی خاص یا تغییر مقادیر ورودی، محدوده و توزیع دقیق تنظیم می‌کند. نیازی نیست که طراح یک انسان باشد، می‌تواند یک برنامه آزمایشی در یک محیط آزمایشی یا یک هوش مصنوعی باشد. طراح یاد می‌گیرد که برنامه را (معمولا شامل الگوریتم‌ها) با هر تکرار اصلاح کند زیرا اهداف طراحی آنها در طول زمان بهتر تعریف می‌شوند (Meintjes, Keith، ۲۰۱۸). این فرآیند همراه با قدرت رایانه‌های دیجیتالی که می‌توانند تعداد بسیار زیادی از جایگشت‌های احتمالی یک راه‌حل را کاوش کنند، طراحان را قادر می‌سازد تا گزینه‌های کاملا جدید را تولید و آزمایش کنند، فراتر از آنچه که یک انسان به تنهایی می‌تواند انجام دهد، تا به طراحی مؤثر و بهینه‌ای دست یابند. این رویکرد تکامل طبیعت برای طراحی از طریق تنوع و انتخاب ژنتیکی را تقلید می‌کند. طراحی مولد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، تا حد زیادی به دلیل محیط‌های برنامه‌نویسی جدید یا قابلیت‌های برنامه‌نویسی که اجرای ایده‌های خود را حتی برای طراحان با تجربه برنامه‌نویسی کمی آسان کرده است (Katharine ,Schwab، ۲۰۱۹). علاوه بر این، این فرآیند می‌تواند راه‌حل‌هایی برای مسائل بسیار پیچیده ایجاد کند که در غیر این صورت با یک رویکرد جایگزین، منبع جامعی خواهند داشت و آن را به گزینه جذاب‌تری برای مشکلات با مجموعه راه‌حل‌های بزرگ یا ناشناخته تبدیل می‌کند (Prasanta, Rajamoney و همکاران، ۲۰۱۴) طراحی مولد در معماری یک فرآیند طراحی تکراری است که معماران را قادر می‌سازد تا فضای راه حل وسیع‌تری را با امکان و خلاقیت بیشتر کشف کنند (Krish, Sivam، ۲۰۱۱). در مقایسه با رویکرد طراحی سنتی از بالا به پایین، طراحی مولد می‌تواند مشکلات طراحی را با استفاده از یک پارادایم از پایین به بالا که از قوانین تعریف شده پارامتریک برای تولید راه‌حل های پیچیده استفاده می‌کند، به طور کارآمد برطرف کند. سپس خود به یک راه حل خوب، اگر نه بهینه، تبدیل می‌شود (Taylor; Mitchell، ۱۹۹۹).

مزیت استفاده از طراحی مولد به عنوان ابزار طراحی این است که هندسه‌های ثابتی ایجاد نمی‌کند، بلکه مجموعه‌ای از قوانین طراحی را در نظر می‌گیرد که می‌تواند مجموعه بی نهایتی از راه‌حل‌های طراحی ممکن را ایجاد کند. راه‌حل‌های طراحی ایجاد شده می‌توانند حساس‌تر، پاسخگوتر و سازگارتر با مشکل بد باشند. طراحی مولد شامل تعریف قانون و تجزیه و تحلیل نتیجه است که با فرآیند طراحی یکپارچه شده است (Kristina ,Shea، ۲۰۰۵). با تعریف پارامترها و قوانین، رویکرد مولد قادر به ارائه راه‌حل بهینه برای پایداری سازه و زیبایی شناسی است. یکی از الگوریتم‌های طراحی احتمالی، الگوریتم ژنتیک می‌باشد

(Charles ,Dapogny، ۲۰۱۷). الگوریتم‌های ژنتیک به دلیل استحکام خاص و اجرای نسبتا ساده از ده‌ها سال پیش به طور کلی وارد عرصه طراحی معماری شده‌اند. از آن زمان، آنها به طور خاص در بهینه‌سازی چیدمان پلان‌های طبقات و نقشه‌های سایت، بهینه‌سازی طرح های نمای ساختمان، بهینه‌سازی اشکال سازه‌های ساختمانی و در برخی از طراحی‌های مفهومی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Papapavlou and Turner, 2009). با این حال، بر خلاف سایر زمینه‌های تحقیقاتی صرفاً علمی، مشکلات در طرح‌های معماری اغلب با عوامل اجتماعی و زیبایی‌شناسی ترکیب می‌شوند که با مدل‌های ریاضی قابل توصیف نیستند. هنگامی که یک طراح سعی می‌کند مسائل طراحی را با کمک الگوریتم ژنتیک بهینه کند، با چنین پیچیدگی‌هایی که در طراحی‌های معماری وجود دارد، باید مسائل خاص را به مسائل ترکیبی و/یا عددی تبدیل کند که می‌تواند توسط الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گیرد. به ویژه در مورد ترکیب این دو نوع مشکل، گسترش شدید فضای جستجو را می‌توان به عنوان یک آزمون سخت برای توانایی جستجوی الگوریتم ژنتیک در نظر گرفت. نحوه استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک، نحوه تبدیل مسائل طراحی و نحوه کنترل موثر مقیاس فضای جستجو سه موضوع اصلی در بهینه‌سازی طرح های معماری با استفاده از الگوریتم ژنتیک[1] است.

۲- بیان مسئله

با پیشرفت روزافزون فناوری‌های محاسباتی و توسعه روش‌های هوشمند، الگوریتم‌های تکاملی و به‌ویژه الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm) به‌عنوان ابزارهایی توانمند در فرآیند طراحی معماری مطرح شده‌اند. این الگوریتم‌ها با بهره‌گیری از سازوکارهایی نظیر انتخاب، جهش و ترکیب ژنتیکی، قابلیت جست‌وجو و تولید راه‌حل‌های بهینه را در مسائل پیچیده فراهم می‌سازند. هرچند تاکنون کاربرد آن‌ها در حوزه‌هایی مانند مهندسی، هوش مصنوعی و بهینه‌سازی سازه‌ای به‌طور گسترده بررسی شده است، استفاده هدفمند از این الگوریتم‌ها در بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی معماری ـ همچون تعادل، تناسب، ریتم، هماهنگی و نوآوری ـ کمتر مورد توجه قرار گرفته و خلأ پژوهشی محسوسی در این زمینه وجود دارد. طراحی معماری، علاوه بر الزامات عملکردی، نیازمند بازنمایی مفاهیم ذهنی و ادراکی زیبایی است که اغلب در رویکردهای کمی و محاسباتی سنتی نادیده انگاشته می‌شوند. نوآوری این پژوهش در آن است که با ادغام معیارهای زیبایی‌شناختی در چارچوب الگوریتم ژنتیک، روشی نوین برای تولید فرم‌های معماری ارائه می‌دهد که همزمان از کارایی عملکردی و غنای زیبایی‌شناختی برخوردار باشند.

بدین منظور، چارچوبی تحلیلی–کاربردی تدوین می‌شود که ضمن ایجاد بستر تعاملی میان طراح و ماشین، فرآیند طراحی را از یک نظام سنتی مبتنی بر تجربه فردی، به سیستمی هوشمند، انعطاف‌پذیر و پاسخگو ارتقاء می‌دهد. انتخاب این موضوع ناشی از سه ضرورت اصلی است: نخست، پاسخ به نیاز روزافزون به ابزارهای طراحی هوشمند و داده‌محور در معماری معاصر؛ دوم، بهره‌گیری از قابلیت‌های انعطاف‌پذیر و مولد الگوریتم‌های تکاملی برای خلق فرم‌های نوآورانه؛ و سوم، حفظ و بازآفرینی ارزش‌های زیبایی‌شناسی به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر هویت و کیفیت فضایی آثار معماری. این رویکرد، گامی در جهت پیوند میان ادراک انسانی و توان محاسباتی است که می‌تواند افق‌های جدیدی را در فرآیند طراحی معماری بگشاید.

۳- اهمیت پژوهش

اهمیت این پژوهش در آن است که به یکی از چالش‌های اساسی معماری معاصر، یعنی چگونگی ترکیب خلاقیت هنری با ابزارهای محاسباتی پیشرفته، پاسخ می‌دهد. امروزه، افزایش پیچیدگی پروژه‌های معماری و نیاز به پاسخ‌گویی به معیارهای چندگانه عملکردی، زیبایی‌شناختی و پایداری، ضرورت استفاده از رویکردهای هوشمند و الگوریتمیک را بیش از پیش آشکار ساخته است. الگوریتم‌های ژنتیک به دلیل قابلیت جست‌وجوی گسترده در فضای راه‌حل‌ها و توانایی انطباق با معیارهای تعریف‌شده، ظرفیت بالایی برای ایجاد فرم‌های نوآورانه و بهینه دارند. از سوی دیگر، ادغام معیارهای زیبایی‌شناسی در این فرآیند می‌تواند به خلق آثاری منجر شود که علاوه بر کارایی، واجد ارزش‌های

1. Genetic Algorithms (GA)

فرهنگی، هنری و هویتی باشند. از منظر علمی، این تحقیق با پر کردن خلأ موجود در کاربرد الگوریتم ژنتیک برای بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی در معماری، به توسعه دانش میان‌رشته‌ای در حوزه طراحی معماری و هوش مصنوعی کمک می‌کند. از منظر عملی نیز، نتایج آن می‌تواند به عنوان الگویی کارآمد در فرآیندهای طراحی دیجیتال، آموزش معماری، و توسعه نرم‌افزارهای طراحی نسل جدید به کار گرفته شود. در نهایت، این پژوهش پلی میان توانایی‌های محاسباتی و حساسیت‌های زیبایی‌شناختی برقرار می‌کند که می‌تواند مسیر تحول در روش‌های طراحی معماری را هموار سازد .

۴- سوال و فرضیه پژوهش

سوال: تحلیل روش‌های الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک در فرآیند بازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری به چه صورت است؟

فرضیه: به نظر می‌رسد که تحقق الگوریتم ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری کار بسیار دشواری نباشد. به طور کلی، تا زمانی که فرد بداند چگونه کروموزوم را کدنویسی کند و چگونه تناسب اندام را ارزیابی کند، می‌تواند با استفاده از الگوریتم ژنتیک مسائل را بهینه کند و نیازی به در نظر گرفتن روابط عملکردی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها نیست.

۵- بیان مفاهیم

۱. الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک (GA) به‌عنوان یک الگوریتم الهام‌گرفته از فرآیندهای زیستی، توانسته است نقش مؤثری در طراحی معماری ایفا کند. این الگوریتم از مفاهیمی همچون انتخاب طبیعی، جهش و ترکیب ژنتیکی بهره می‌برد و از آن می‌توان در طراحی فرم‌های نوآورانه و انطباق‌پذیر بهره گرفت. از سوی دیگر، زیبایی‌شناسی در معماری به مجموعه‌ای از اصول و ادراکات بصری و مفهومی اطلاق می‌شود که کیفیت فضایی را افزایش می‌دهد. نظریه‌هایی مانند تقارن، ریتم، تعادل و تناسب ازجمله اصولی هستند که در تحلیل فرم معماری کاربرد دارند. در مطالعات گذشته، از جمله پژوهش‌های Rawi (2020)، Driscoll (۲۰۱۹)، و Li (۲۰۱۲)، کاربرد الگوریتم‌های تکاملی در فرم‌سازی معماری مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال، اغلب این مطالعات کمتر به پیوند سیستماتیک الگوریتم‌های تکاملی با نظریه‌های زیبایی‌شناسی پرداخته‌اند. خلأ موجود در این حوزه، ضرورت انجام پژوهش حاضر را تقویت می‌کند تا زمینه‌ای برای طراحی خلاقانه و هدفمند فراهم گردد.

۲. الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک در طراحی معماری

الگوریتم‌های ژنتیک (Genetic Algorithms) به عنوان یکی از ابزارهای مهم طراحی مولد و بهینه‌سازی در معماری شناخته می‌شوند. این الگوریتم‌ها با الهام از فرآیند تکامل طبیعی، از مفاهیمی مانند انتخاب، جهش، و ترکیب ژنتیکی برای تولید نسل‌های جدیدی از طرح‌های معماری استفاده می‌کنند. استفاده از GAs در معماری به طراحان امکان می‌دهد تا راه‌حل‌های چندهدفه را با توجه به محدودیت‌ها و معیارهای زیبایی‌شناختی جستجو کنند(Grabska et al., 2020, p. 148). در پژوهش Mars و همکاران (۲۰۱۹) الگوریتم ژنتیک برای ایجاد فرم‌های معماری استفاده شد که به‌طور مستقیم توسط معیارهای زیبایی‌شناختی هدایت می‌شدند. آن‌ها نشان دادند که ترکیب روش‌های سبک‌محور با الگوریتم‌های تکاملی می‌تواند منجر به تولید فرم‌های جدید و خلاقانه شود(Mars et al., 2019, p. 633). در طراحی معماری، به‌ویژه در حوزه زیبایی‌شناسی و فرم‌های پیچیده، الگوریتم‌های ژنتیک می‌توانند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای بازتولید، کشف و بهینه‌سازی فرم‌های معماری عمل کنند. این الگوریتم‌ها قادرند با تعریف معیارهای زیبایی‌شناسی به‌عنوان تابع هدف، فرم‌هایی خلق کنند که هم از منظر عملکرد و هم زیبایی‌شناسی مطلوب باشند (Frazer, 1995).

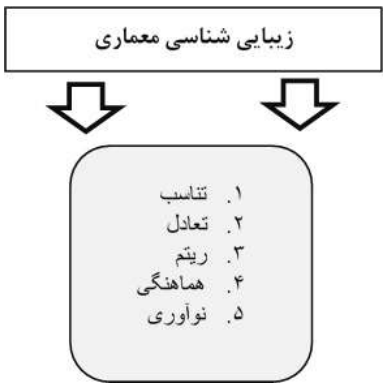
۳. بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناسی از طریق طراحی مولد

طراحی مولد، فرایندی خودکار است که در آن سیستم‌های الگوریتمی قادر به تولید تنوع وسیعی از گزینه‌های طراحی هستند که هر یک به نحوی معیارهای زیبایی‌شناختی،

عملکردی و زمینه‌ای را تأمین می‌کنند(Schumacher, 2016, p. 274). در این فرآیند، طراح (چه انسان، چه هوش مصنوعی) با هدایت الگوریتم‌ها می‌تواند فرم‌هایی را بیافریند که حاصل جستجوی وسیع‌تری نسبت به ظرفیت ذهن انسان است. این نوع طراحی خصوصاً در بسترهای دیجیتال جدید و زبان‌های برنامه‌نویسیِ معماری مانند Grasshopper یا Processing امکان‌پذیر شده است، و هوش مصنوعی نیز در نقش «طراح مشارکتی» با انسان همکاری می‌کند(Schwab, 2019, p. 1).

۴. بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی

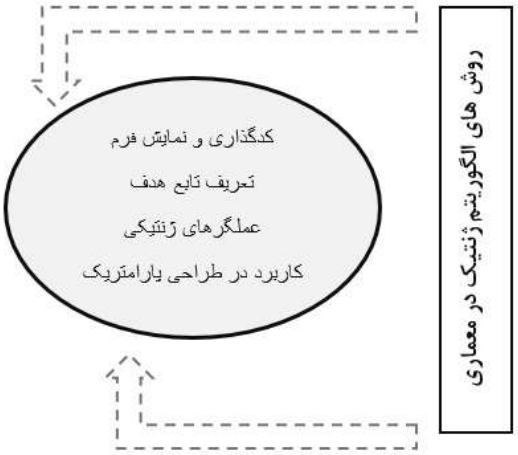
زیبایی‌شناسی معماری مفهومی پیچیده و چندبعدی است که شامل پارامترهایی چون تناسب، تعادل، ریتم، هماهنگی و نوآوری می‌شود.(دیاگرام۱) الگوریتم‌های ژنتیک با مدل‌سازی این پارامترها به عنوان معیارهای بهینه‌سازی، امکان بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی را در فرآیند طراحی فراهم می‌آورند. این امر به طراح اجازه می‌دهد تا فرم‌هایی نوآورانه و در عین حال هماهنگ با ارزش‌های زیبایی‌شناختی ایجاد کند (Oxman, 2008).



دیاگرام ۱. معیارهای زیبایی شناسی در معماری

۵. تحلیل روش‌های الگوریتم‌های ژنتیک در معماری

الگوریتم‌های ژنتیک به‌عنوان یکی از روش‌های هوشمند تکاملی، در طراحی معماری برای تولید و بهینه‌سازی فرم‌های نوآورانه کاربرد دارند. این الگوریتم‌ها با شبیه‌سازی فرآیندهای زیستی، امکان تحلیل و بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی را در طراحی فراهم می‌سازند. (Frazer, 1995).



دیاگرام ۲. روش‌های الگوریتم ژنتیک در معماری

۵-۱- کدگذاری و نمایش فرم: یکی از مراحل مهم در استفاده از GA در معماری، انتخاب روش مناسب کدگذاری فرم‌های معماری (رشته‌های ژنتیکی) است که می‌تواند شامل پارامترهای هندسی، مصالح، و ویژگی‌های زیبایی‌شناختی باشد.

۵-۲- تعریف تابع هدف: تابع هدف که معیارهای زیبایی‌شناختی و عملکردی را ترکیب می‌کند، نقش کلیدی در هدایت فرآیند تکاملی دارد.

۵-۳- عملگرهای ژنتیکی: استفاده از عملگرهای جهش، ترکیب و انتخاب به گونه‌ای که تنوع در فرم‌ها حفظ شود و همزمان به سمت فرم‌های بهینه حرکت شود.

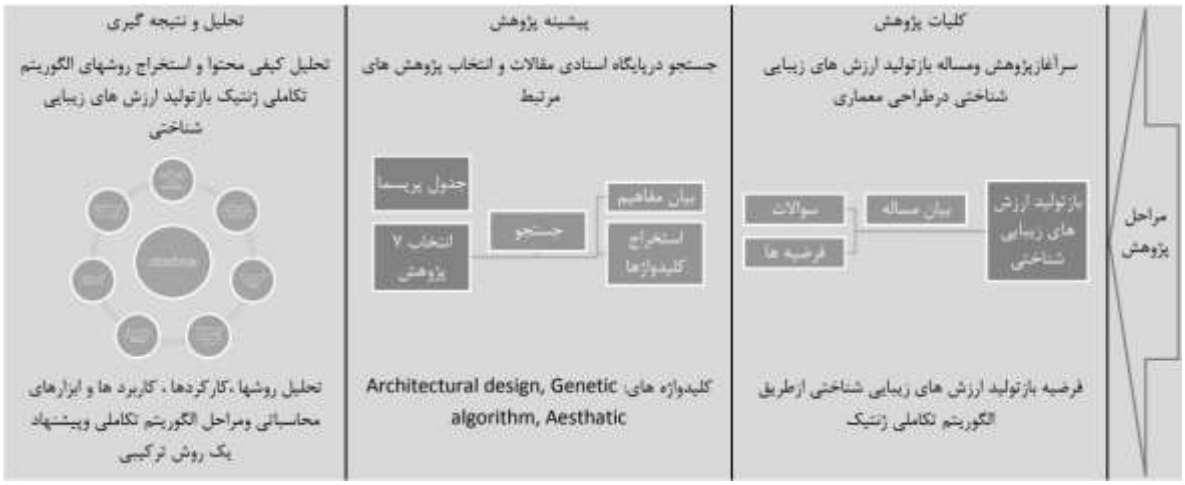
۵-۴- کاربرد در طراحی پارامتریک و الگوریتمیک: GA به عنوان بخشی از طراحی پارامتریک، توانسته است امکان خلق فرم‌های پیچیده و دارای ارزش‌های زیبایی‌شناسی بالاتر را فراهم کند (Aish & Woodbury, 2005).

۶- روش پژوهش

پژوهش حاضر یک مطالعه تحلیلی است که به بررسی روش‌های طراحی مبتنی بر هفت الگوریتم تکاملی ژنتیک می‌پردازد. روش تحلیل داده‌ها در این تحقیق، تحلیل کیفی محتوا می‌باشد که به عنوان یک تکنیک پژوهشی، برای استخراج و بررسی مفاهیم موجود در متون به منظور پاسخگویی به سؤال‌های پژوهشی به کار می‌رود. این روش از

مهم‌ترین کاربردهای خود برای توصیف و طبقه‌بندی ویژگی‌های مفاهیم استفاده می‌کند و قابلیت تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده مبتنی بر ارتباطات معنایی (مفاهیم) را داراست.

تحلیل محتوای کیفی، فرآیندی عینی، نظام‌مند، گام‌به‌گام، منطقی و قابل تکرار است که از قابلیت تعمیم نیز برخوردار می‌باشد. این روش امکان شناسایی مقوله‌ها و الگوهای محتوایی را فراهم ساخته و معانی کیفی را به صورت سیستماتیک توصیف و طبقه‌بندی می‌کند. فرآیند کدگذاری در تحلیل محتوا با هدف تعریف ویژگی‌های اصلی از طریق کاهش داده‌های کیفی انجام می‌شود. تحلیل محتوای کیفی رویکردی مناسب برای تفسیر داده‌ها به شمار می‌آید و قادر است دسته‌بندی‌های مفهومی را به طور مستقیم از داده‌های خام استخراج کند، به‌ویژه زمانی که دانش پیشین درباره پدیده مورد مطالعه محدود یا ناقص باشد. در این رویکرد، کدهای مفهومی، طبقه‌بندی‌ها و مقوله‌ها مستقیماً از داده‌ها استخراج و ساختارمند می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱. مراحل پژوهش

۷- پیشینه پژوهش

اوساما محمد الراوی[1](۲۰۲۰) در مقاله خود (مقاله ۱ جدول ۱) نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از ابزارهای مختلف برای شکل‌دهی به یک مدل نوین در فرآیند تولید فرم بهره گرفت. او اثبات می‌کند که فرآیند طراحی معماری با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای CAD باید به گونه‌ای تنظیم شود که به حساسیت‌های طراح و خلاقیت‌های مورفولوژیکی توجه داشته باشد. الراوی با تحلیل و پیگیری ریشه‌های مفاهیم بنیادین هندسه در تاریخ معماری و شناسایی کاربردهای اصلی آن‌ها، به این نتیجه می‌رسد که این مفاهیم و مراحل پردازشی، همان مراحلی هستند که امروزه در طراحی دیجیتال و رایانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مایکانتیس[2] و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان «بازسازی معماری نرم‌افزار از طریق الگوریتم ژنتیک» (مقاله ۲، جدول ۱)، با هدف شناسایی فرصت‌های بازسازی در کلاس‌های حرکتی، از یک فرآیند بهینه‌سازی مبتنی بر جستجو استفاده کردند. در این فرآیند، با اتکا به معیارهای بهینه‌سازی، حرکات بهینه استخراج شدند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که معماری بازسازی‌شده پیشنهادی می‌تواند موجب بهبود ساختار و افزایش انسجام سیستم شود.

1. Osama Muhammad Al-Rawi

2. Maikantis

جان چارلز دریسکول (۲۰۱۹) در مقاله‌ای (مقاله ۳، جدول ۱) به بررسی نحوه به‌کارگیری ابعاد فراکتال به عنوان ابزاری در نرم‌افزار مدل‌سازی سه‌بعدی SketchUp می‌پردازد. وی توضیح می‌دهد که چگونه از این ابزار می‌توان به عنوان یک پشتیبان طراحی برای ارائه یک طرح ساختمانی در پاسخ به یک جریان مشخص استفاده کرد. دریسکول در نتیجه‌گیری خود بیان می‌کند که بهره‌گیری از ابعاد فراکتال به عنوان تابع هدف می‌تواند موجب شکل‌گیری یک زبان انتزاعی مشترک در سراسر پروژه شود، به ایجاد احساس کلیت و انسجام کمک کند و همچنین باعث هماهنگی بیشتر با بافت محیط پیرامون گردد. اینگجی لویی[2](۲۰۱۸) در مقاله خود (مقاله ۴، جدول ۱) به بررسی چگونگی تقویت فرآیند طراحی به عنوان یک گفت‌وگوی بازگشتی میان بازنمایی و تعامل با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک تعاملی می‌پردازد. او بر اساس این تعامل، مدلی جایگزین برای رابطه میان طراحان و ابزارهای محاسباتی ارائه می‌دهد که در آن ارزیابی‌ها و اصلاحات انجام‌شده توسط طراحان در طول فرآیند محاسباتی لحاظ می‌شود. این رویکرد به طراحان امکان می‌دهد تا ضمن بهینه‌سازی ایده‌های طراحی، خلاقیت خود را نیز به حداکثر برسانند.

یان ژانگ[3](۲۰۱۷) در مقاله خود (مقاله ۵، جدول ۱) از الگوریتم ژنتیک تعاملی برای سازماندهی طراحی صحنه سه‌بعدی بهره می‌برد تا بهترین ویژگی‌های تطبیقی را به‌دست آورد. همچنین، او از ترکیب شبکه ART ۱برای شبیه‌سازی رفتار کاربران و ارزیابی آن‌ها استفاده می‌کند. شبکه ART ۱بر اساس اصول روانشناسی تجربی بهبود یافته است تا با افزایش ظرفیت حافظه و کارایی محاسباتی، بار سنگین طراحی هنری را کاهش داده و به طور مؤثر فرآیند طراحی صحنه سه‌بعدی را هدایت کند.

هوایون سانگ[4]و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله خود (مقاله ۶، جدول ۱) روشی مبتنی بر تکامل جایگزین برای طراحی معماری ارائه می‌دهند که از الگوریتم ژنتیک بازنمایی غیرمستقیم (IRRGA) بهره می‌برد و برای کشف فرموله‌سازی‌های مسائل بدون ساختار مانند طراحی مفهومی بسیار مناسب است. علاوه بر این، آن‌ها یک نمایش رشته‌ای جدید برای طرح‌های ساختمان‌های آپارتمانی معرفی می‌کنند که در چارچوب عملکرد IRRGA و با استفاده از تابع تناسب چندهدفه، معیارهایی همچون تقارن، ساختار، گردش و نما را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

هانگ لو[5]و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان «استفاده از تئوری زیبایی‌شناسی و الگوریتم‌های ژنتیک برای بهینه‌سازی فرم محصول» (مقاله ۷، جدول ۱) نشان دادند که در گذشته، طراحان با تکیه بر انباشت تجربیات و ادراک زیبایی‌شناختی خود، محصولات جدیدی را توسعه می‌دادند. اما به دلیل محدودیت دسترسی به اطلاعات، توسعه سریع و جلب رضایت بازارهای مصرف‌کننده‌محور دشوار بود و این محدودیت می‌توانست خطرات غیرضروری را برای شرکت‌ها به همراه داشته باشد. بنابراین، در این مطالعه مجموعه‌ای از ارزیابی‌های زیبایی‌شناختی همراه با یک سیستم بهینه‌سازی فرم زیبایی‌شناسی پیشنهاد شد. در ابتدا، محاسبات معادلات صریح به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های زیبایی‌شناختی انجام گرفت. سپس، با استفاده از قضاوت فازی، معیارهای زیبایی‌شناسی ادراکی سبک محصول محاسبه شد تا استاندارد کلی زیبایی‌شناسی محصول تعیین شود. در نهایت، اصول اندازه‌گیری زیبایی‌شناسی با الگوریتم ژنتیک ترکیب و برای بهینه‌سازی شکل محصول به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که پس از بهینه‌سازی، معیارهای زیبایی‌شناختی افزایش یافته و خطاهای ناشی از معادلات اندازه‌گیری و قضاوت‌های زیبایی‌شناختی به طور چشمگیری کاهش یافته است.

جولیان فلکنر[6] و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله خود (مقاله ۸، جدول ۱) چارچوبی تعاملی برای طراحی سازه‌های خرپایی با معیارهای زیبایی‌شناسی ارائه می‌دهند که از NURBS در نرم‌افزارهای طراحی به کمک کامپیوتر بهره می‌برد. این چارچوب رابطی مناسب میان فرایند بهینه‌سازی طرح، بهینه‌ساز ازدحام ذرات و کاربر ایجاد می‌کند. در این سیستم،

1. John Charles Driscoll
2. Yingjie Lou
3. Yan Zhang
4. Hoveyoun Sang
5. Hang Luo
6. Julian Flickner

کاربر قادر است راه‌حل‌های مختلف را به‌صورت بصری بررسی و ذخیره کند و به‌طور فعال به سمت اهداف شخصی خود، فرآیند بهینه‌سازی را هدایت نماید.

لی لی[1](۲۰۱۲) در مقاله خود (مقاله ۹، جدول ۱) به بررسی روش‌های تبدیل مسائل طراحی معماری به مدل‌های ریاضی می‌پردازد که قابل حل با الگوریتم ژنتیک مهره‌بندی باشند. او مسائل قابل حل توسط الگوریتم ژنتیک را به دو دسته مسائل ترکیبی و مسائل عددی تقسیم‌بندی می‌کند. با تمرکز بر تجزیه مسائل پیچیده معماری به این دو نوع مسئله، امکان‌پذیری و کارایی حل آن‌ها با الگوریتم ژنتیک را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و همچنین مزایا و معایب این الگوریتم را در مقایسه با سایر روش‌ها به روشنی بیان می‌کند.

اسچوور(۲۰۱۱) پژوهشی (مقاله۱۰ جدول۱) را با هدف بررسی انعطاف‌پذیری ساختمان‌ها با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی مشخص شده توسط داروین انجام دادند. به عنوان یک مدل کاری برای توسعه، الگوریتم تکاملی شامل تنوع، انتخاب و بازتولید است. نتیجه یک الگوریتم سازگاری است. اگر این مدل کاری در معماری اعمال شود، می‌توان بررسی کرد که تا چه اندازه سازگاری ساختمان‌ها تابع اصول تکاملی است و در کدام حوزه این مدل برای معیارهای «ساختمان‌های باز» نامناسب به نظر می‌رسد. این اهمیت تنوع، انتخاب و تکرار در معماری و چگونگی انتقال اصول تکاملی به مسائل ساختمان‌های انعطاف‌پذیر را نشان می‌دهد. به طور خلاصه می‌توان گفت که می‌توان فرآیندهای انطباق در معماری را بر اساس اصل انتخاب طبیعی داروین توضیح داد و به تصویرکشید.

جدول ۱. ویژگی‌های مقالات

ردیف	نویسندگان	سال و کشور	عنوان	روش تحقیق	یافته‌ها	نتیجه گیری
۱	Ossama MOHAM ED al-Rawi	2020 Egypte	ریشه‌های طراحی محاسباتی در معماری	تحلیل تطبیقی برای رسیدن به این منشأهای نظری مطالعه موردی کاخ سلطنتی الحمرا به همراه سبک‌های مرتبط با معماری اسلامی	فرآیند طراحی CAD باید با حساسیت طراح قابل قبول باشند و به مورفولوژی خلاقانه توجه کنند.	مزایای به دست آمده از این تحقیق می‌تواند به تقویت روش‌های جدید در طراحی معماری در رابطه با تولید فرم کمک کند.
۲	Maikantis و همکاران	2020 Greece	بازسازی معماری نرم افزار از طریق الگوریتم ژنتیِ "	استفاده از یک فرآیند بهینه‌سازی مبتنی بر جستجو	جهت شناسایی فرصت‌های بازسازی کلاس حرکت، از یک فرآیند بهینه‌سازی مبتنی بر جستجو، با تکیه بر معیارهای بهینه‌سازی استفاده شد، که از طریق آن حرکات بهینه استخراج شد.	نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بازسازی معماری پیشنهادی قادر به بهبود و انسجام است.
۳	John Charles Driscoll	2019, USA, Portla nd State Univer sity	ابعاد فراکتال به عنوان تابع هدف در الگوریتم ژنتیک برای کاربرد در طراحی معماری	استفاده از ابعاد فراکتال (FD) به عنوان ابزاری برای نرم افزار مدل سازی سه بعدی SketchUp	با افزایش مقیاس عناصر ساختمان، بعد فراکتال افزایش می‌یابد	استفاده ازابعاد فراکتال به عنوان تابع هدف می‌تواند به ایجاد یک رشته مشترک انتزاعی در سراسر ساختمان، احساس یک کل یکپارچه و ایجاد هماهنگی با بافت اطراف کمک کند

1. LiLi

۴	Yingxiu Lu	2018 USA CARNEGIE MELLON UNIVERSITY	تولید فرم مکالمه: کاربرد الگوریتم ژنتیک تعاملی در طراحی معماری	بر اساس الگوی کاری پیشنهادی بین طراحان و ابزارهای محاسباتی، یک نرم افزار تولید فرم بر اساس IGA توسعه یافته است.	این پلتفرم با ارائه انواع اتاق-های مختلف، فرمی را تولید می‌کند که حاصل همکاری طراح و ابزار محاسباتی است.	اهمیت تعامل بین طراحان و ابزارهای محاسباتی را می‌توان به عنوان یادگیری، هماهنگی و همکاری خلاصه کرد. یادگیری از خروجی ابزار محاسباتی و یادگیری از فرآیند تعامل.
۵	Yan Zhang	2017, China	بهینه سازی نما معماری سه بعدی بر اساس الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی	الگوریتم ژنتیک تعاملی برای به دست آوردن بهترین ویژگی‌های تطبیقی، و ترکیب شبکه ART ۱ برای شبیه سازی رفتار کاربران برای ارزیابی افراد.	از طریق تجزیه و تحلیل، مشخص گردیده پیچیدگی محاسباتی الگوریتم این پژوهش کمتر از شبکه ۱ ARTسنتی است.	روش حل در این مقاله می‌تواند به طور موثری کارایی تکامل را بهبود بخشیده و نسل‌های تکاملی را بدون مشارکت مصنوعی با ترکیبی از کاربر گسترش دهد. که در طراحی بهینه سازی صحنه سه بعدی استفاده شود.
۶	Hwayeon Song, Jamshid Ghaboussi, Tae-Hyun Kwon	2016, Korea, USA	طراحی معماری ساختمان‌های آپارتمانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بازنمایی ضمنی	الگوریتم با استفاده از زبان برنامه نویسیC++ و طراحی ساختمان آپارتمان با زبان مدل سازی واقعیت مجازی (VRML) به تصویر کشیده شده است.	یک نمایش جدید برای طراحی ساختمان آپارتمان و فرآیند ارزیابی تناسب اندام برای اعمال معیارهای طراحی ساده شده برای طراحی ساختمان آپارتمان پیشنهاد شده است.	روش جدیدی برای استفاده از رشته الگوریتم ژنتیک برای تکامل طرح‌های خرپایی بهینه بدون طرح‌های از پیش تعیین شده. واینکه IRRGA با استفاده از یک نمایش اضافی ضمنی از رشته الگوریتم ژنتیک برای مدل‌سازی چنین حوزه مشکل بدون ساختاری مطلوب است
۷	Hung Loو همکاران	2015 Taiwan	تئوری زیبایی شناسی و الگوریتم‌های ژنتیک برای بهینه سازی فرم محصول	محاسبات معادلات صریح به منظور کمک به اندازه گیری ویژگی‌های زیبایی شناختی انجام شد.	اصول اندازه گیری زیبایی شناسی با الگوریتم ژنتیک ترکیب شد و نتایج نشان داد که معیارهای زیبایی‌شناختی آنها پس از بهینه‌سازی افزایش یافته است.	خطاهای حاصل از معادلات اندازه-گیری‌ها و قضاوت‌های زیبایی شناختی کاهش یافت.
۸	Juliana Felkner, Eleni Chatzi	2013, Zurich, Switzerland, ETH Zurich,	بهینه سازی ازدحام ذرات تعاملی برای طراحی معماری سازه-های خرپایی	روش بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) بر اساس تقلید از رفتار گله‌ها یا "ازدحام "در جستجوی غذا یا فرار از شکارچی در طراحی ساختارهای خرپایی	اعتبارسنجی خرپا، NURBS و A.10تشریح یک چارچوب بهینه سازی تعاملی برای طراحی سازه‌های خرپایی	استفاده ازپتانسیل بهینه سازی تعاملی در طراحی برج خرپایی با استفاده از منحنی‌های NURBS موفقیت آمیز است.
۹	Li Li	2012 Z¨uric, Z¨urich 8092,Switzerland	بهینه سازی شکل معماری بر اساس الگوریتم ژنتیک	بهینه سازی مدل سازی برای طراحی شماتیک موزه ویرانه های دروازه باستانی با کمک الگوریتم ژنتیک و افشای مزایا و معایب الگوریتم ژنتیک با مقایسه آن با سایر الگوریتم‌های غیر اکتشافی	در ریتم الگوریتم بهینه سازی لبه‌های تقسیم شده، رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ظاهراً به اندازه الگوریتم مبتنی بر توالی از نظر توانایی جستجو مؤثر نیست.	با مقایسه دو الگوریتم آشکارسازی شده، می‌توان دریافت که تحقق الگوریتم ژنتیک کمتر دشوار است. به طور کلی، تا زمانی که فرد بداند چگونه کروموزوم را کدگذاری کند و چگونه تناسب اندام را ارزیابی کند، می تواند مشکلات را بهینه کند.
۱۰	Schwehrو همکاران	2011 Switzerland	بررسی انعطاف پذیری ساختمان‌ها با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی مشخص شده توسط داروین	به عنوان یک مدل کاری برای توسعه، الگوریتم تکاملی شامل تنوع، انتخاب و بازتولید است.	نتیجه یک الگوریتم سازگاری است. اگر این مدل کاری در معماری اعمال شود، می‌توان بررسی کرد که تا چه اندازه سازگاری ساختمان‌ها تابع اصول تکاملی است.	می‌توان فرآیندهای انطباق در معماری را بر اساس اصل انتخاب طبیعی داروین توضیح داد و به تصویر کشید.

۸- بحث و تحلیل

موضوع کلیدی پژوهش‌های الگوریتم تکاملی ژنتیک در زمینه ارزش‌های زیبایی‌شناختی طراحی معماری را می‌توان در قالب هفت محور اصلی دسته‌بندی کرد (جدول ۲).

جدول ۲. پژوهش‌های الگوریتم تکاملی ژنتیک درحوزه ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری

موضوع اصلی پژوهش‌ها	A: بعد فراکتال به عنوان تابع عینی در الگوریتم ژنتیک
	B: الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی
	C: چارچوب تعاملی برای طراحی سازه‌های خرپایی با معیارهای زیبایی شناختی
	D: تولید فرم مکالمه
	E: مفاهیم اصلی هندسه در تاریخ معماری
	F: الگوریتم ژنتیک بازنمایی افزونگی ضمنی
	G: بهینه سازی شکل معماری بر اساس الگوریتم ژنتیک

جدول ۳. موضوع اصلی مقالات بر اساس یافته‌ها و نتایج

نویسندگان		موضوع اصلی پژوهش‌ها						
		A	B	C	D	E	F	G
John Charles Driscoll		■						
Juliana Felkner, Eleni Chatzi			■					
Li Li				■				
Yingxiu Lu					■			
Ossama MOHAMED al-Rawi						■		
Hwayeon Song, Jamshid Ghaboussi, Tae-Hyun Kwon							■	
Yan Zhang								■

۹- تحلیل کارکردی، کاربردی و ابزاری الگوریتم ژنتیک دربازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی معماری

کاربرد الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی معماری را می‌توان از سه دیدگاه تحلیلی، تجویزی و تعاملی مورد بررسی قرار داد (جدول ۳). این الگوریتم‌ها نه تنها در زمینه بهینه‌سازی کاربرد دارند، بلکه در خلاقیت مفهومی و اخیراً در حوزه هوش مصنوعی نیز به کار گرفته شده‌اند. مدل سنتی الگوریتم‌های ژنتیک با تعریف اولیه معیارهای تناسب آغاز شده و با جستجوی خودکار برای یافتن راه‌حل بهینه ادامه می‌یابد. این الگوریتم‌ها عمدتاً به‌عنوان ابزار نرم‌افزاری از طریق برنامه‌نویسی کامپیوتری قابل اجرا هستند.

جدول ۴. تحلیل کارکردی، کاربردی و ابزارهای الگوریتم تکاملی ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی معماری

کارکرد تحلیلی	تحلیل تطبیقی ریشه‌های مفاهیم اصلی هندسه در تاریخ معماری
کارکرد تجویزی	ابعاد فراکتال (FD) برای احساس یک کل یکپارچه و ایجاد هماهنگی با بافت اطراف، طرح پلان طبقه چند سطحی با توجه به عملکرد حرارتی، فرآیند محاسباتی خودکار برای تبدیل اطلاعات مکانی به مدل های ساختاری، پیامد گرامرهای شکل ساختمان بر عملکرد انرژی
کارکرد تعاملی	تولید فرم مکالمه از طریق الگوریتم ژنتیک تعاملی
کاربرد در حوزه های بهینه سازی	زمینه مهندسی سازه، عملکرد انرژی، عملکرد حرارتی، تبدیل اطلاعات مکانی به مدل‌های ساختاری
کاربرد در خلاقیت مفهومی	IRRGA برای تولید جایگزین‌های طراحی معماری خلاقانه
کاربرد مدرن در هوش مصنوعی	یادگیری ماشینی از طریق شبکه عصبی ART ۱ برای یادگیری قوانین ارزیابی کاربر و شبیه سازی فرآیند ارزیابی
مدل سنتی الگوریتم های ژنتیک	معیارهای تناسب را از پیش تعریف می‌کنند و سپس جستجوی خودکار را برای یافتن راه حل بهینه آغاز می‌کنند.
زبان برنامه نویسی	Java،RhinoScript ،Grasshopper ،MEL ،C# ،Python
نرم افزار مدل سازی سه بعدی	SketchUp, Rhino, JMonkey Engine(برای ارائه رندر سه بعدی و سایه زنی)

پس از بررسی روش‌های الگوریتم تکاملی ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری، هفت روش در ساختار این روش‌های بهینه سازی تکاملی مشخص گردید (شکل ۲).

شکل ۲. روش‌های الگوریتم تکاملی ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری

تحلیل الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری، فرآیندی در ۵ مرحله را مشخص می‌سازد (شکل ۳). الگوریتم‌های ژنتیک معمولا برای تولید راه‌حل‌های با کیفیت بالا برای مسائل بهینه سازی و جستجو با تکیه بر عملگرهای الهام گرفته شده از بیولوژیکی مانند جهش، متقاطع و انتخاب استفاده می‌شوند. الگوریتم‌های ژنتیک به جای اینکه به طور مستقیم با مقادیر پارامترهای مسأله سروکار داشته باشند، با نمایشی کدبندی شده از مجموعه پارامترهای مسأله کار می‌کنند و جمعیتی متشکل از نقاط در یک فضای جستجو را برای یافتن جواب‌های مسأله جستجو می‌کنند. بنابراین اولین گام تبدیل مساله زیبایی شناسی معماری به پارامترهایی است که قابلیت کد گذاری داشته باشند، با تجزیه مسئله پیچیده معماری در مسائل ترکیبی و عددی این امرامکان پذیراست (لی[1] ۲۰۱۲). در یک الگوریتم ژنتیک، جمعیتی از راه‌حل‌های کاندید (به نام افراد، موجودات، ارگانیسم‌ها یا فنوتیپ‌ها) برای یک مسئله بهینه‌سازی به سمت راه‌حل‌های بهتر تکامل می‌یابند. یعنی هر محلول کاندید دارای مجموعه‌ای از خواص (کروموزوم‌ها یا ژنوتیپ آن) است که می‌تواند جهش یافته و تغییر یابد (دارل و ویتلی[2] ۱۹۹۴). بنابراین مهمترین گام، تولید جمعیت (اولیه) از جواب‌های مسأله است برای فرموله کردن جمعیت ابتدایی متشکل از جواب‌های مسأله استخراج ساختارهای طراحی مولد از طریق ردیابی ریشه‌های مفاهیم اصلی هندسه در تاریخ آن حوزه معماری (راوی و همکاران[3] ۲۰۲۰) می‌تواند راهگشا باشد. به طور سنتی، راه‌حل‌ها به صورت باینری به عنوان رشته‌های ۰ و ۱ نمایش داده می‌شوند (دارل و ویتلی، ۱۹۹۴). بنابراین گام بعدی کدگذاری است (هوایون و همکاران[4] ۲۰۱۲) دو نوع کدگذاری کروموزوم‌ها را پیشنهاد می‌دهند: ۱- الگوی ژن یاب برای شناسایی مکان نمونه‌های ژن ۲- تعداد مشخصی از بیت‌ها که متغیرها را رمزگذاری می‌کنند.

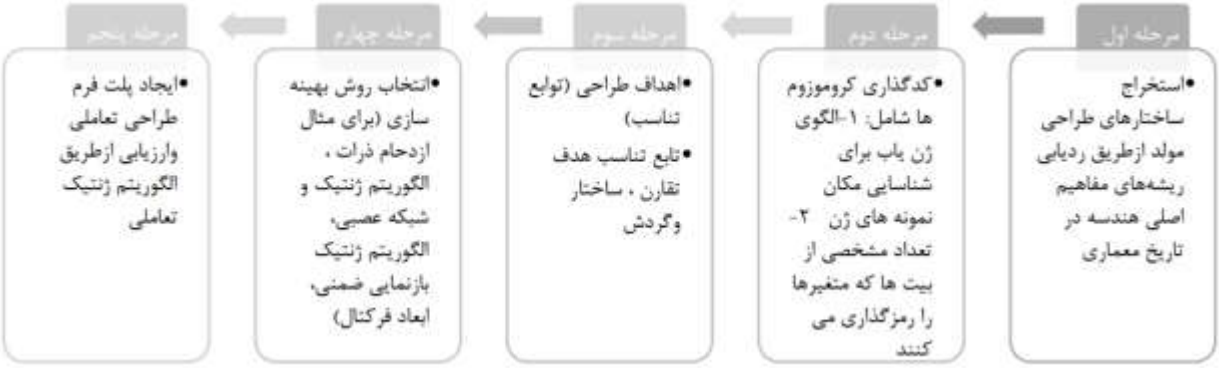
مرحله بعدی مشخص کردن تابع هدف است. تکامل معمولا از جمعیتی از افراد به طور تصادفی ایجاد می‌شود و یک فرآیند تکراری است که جمعیت در هر تکرار یک نسل نامیده می‌شود. درهر نسل، تناسب اندام هر فرد در جمعیت ارزیابی می‌شود. برازش معمولا مقدار تابع هدف در مسئله بهینه‌سازی در حال حل است. تابع هدف یا تابع تناسب در معماری از طریق مشخص کردن اهداف طراحی بدست می آید. برای مثال تابع تناسب هدف تقارن، تابع تناسب هدف ساختار، تابع تناسب هدف گردش. گام بعدی به کار گرفتن «عملگرهای ژنتیک»[5] جهت ایجاد تغییرات در جمعیت جواب‌های مسأله می‌باشد. برای مثال ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک بازنمایی ضمنی، ابعاد فرکتال (جدول ۱).

در مرحله نهایی، ایجاد بستری برای شکل‌گیری یک گفت‌وگوی بازگشتی بین بازنمایی و تعامل در فرآیند تولید فرم امری کاملاً طبیعی و ضروری است. اینگی (۲۰۱۸) نشان می‌دهد که چگونه می‌توان این گفت‌وگوی بازگشتی را با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک تعاملی تقویت کرد؛ جایی که طراحان به طور مداوم بازنمایی‌هایی از تعاملات خود را خلق

1. Li

2. Darrell & Whitley
3. Rawi et al
4. Hwayeon Song et al
5. Operators Genetic

می‌کنند و با تعامل همزمان با این بازنمایی‌ها، روابط جدیدی با نمایش‌های آن شکل می‌دهند که امکان ادامه تعامل و تکرار این فرآیند بازگشتی را فراهم می‌آورد.



شکل۳. فرآیند طراحی الگوریتم تکاملی ژنتیک در بازتولید ارزش‌های زیبایی شناختی طراحی معماری

۱۰- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تحلیل نقش و ظرفیت‌های الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک (GA) در بازتولید ارزش‌های زیبایی‌شناختی معماری انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که با مدل‌سازی و کدگذاری پارامترهای زیبایی‌شناختی شامل تناسب، تعادل، ریتم، هماهنگی و نوآوری، می‌توان فرم‌های معماری را به شیوه‌ای بهینه، خلاقانه و منطبق بر اصول زیبایی‌شناسی تولید کرد.

به‌کارگیری عملگرهای ژنتیکی مانند انتخاب، جهش و ترکیب در این فرآیند، به معماران امکان می‌دهد که به جای اتکای صرف به تجربه یا شهود، با رویکردی داده‌محور و مولد، هزاران راه‌حل بالقوه را کاوش و ارزیابی کنند. این امر منجر به افزایش کیفیت فرم، کاهش خطای طراحی، و ایجاد یکپارچگی بیشتر با بافت و عملکرد پروژه گردید.

از مهم‌ترین یافته‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الگوریتم‌های ژنتیک قابلیت شبیه‌سازی فرآیند تکامل طبیعی را در طراحی معماری دارند و می‌توانند نقش یک همکار خلاق برای طراح ایفا کنند.

استفاده از GA منجر به تنوع بالای خروجی‌ها شده و انتخاب طرح نهایی را انعطاف‌پذیرتر می‌کند.

با تعریف مناسب تابع هدف، می‌توان اهداف چندبعدی شامل زیبایی‌شناسی، عملکرد و پایداری را هم‌زمان دنبال کرد.

ادغام GA با نرم‌افزارهای پارامتریک مانند Grasshopper و Rhino سبب تسریع فرآیند طراحی و ارتقاء دقت می‌شود.

۱۱- مقایسه با نتایج پژوهش‌های پیشین

یافته‌های این پژوهش همسو با نتایج Al-Rawi (2020) است که نشان داد ادغام الگوریتم‌های ژنتیک با مدل‌سازی CADمی‌تواند به خلق فرم‌هایی منطبق بر اصول زیبایی‌شناسی اسلامی منجر شود.

نتایج همچنین با مطالعه Driscoll (2019) که از ابعاد فراکتال به عنوان تابع هدف استفاده کرد، مشابه است؛ هر دو پژوهش بر اهمیت ریاضیات بصری در هدایت فرآیند طراحی تأکید دارند.

مطالعه Lu (2018) درباره طراحی مکالمه‌محور نیز با یافته‌های پژوهش هم‌راستا است، به‌ویژه در تأکید بر نقش تعامل طراح و الگوریتم در ارتقاء کیفیت خروجی.

پژوهش Zhang (2017) درباره بهینه‌سازی نما با GA و شبکه عصبی نیز مشابهت زیادی با این تحقیق دارد، زیرا هر دو برترکیب روش‌های محاسباتی برای افزایش کارایی و زیبایی‌شناسی تمرکز دارند.

تفاوت این پژوهش با مطالعات پیشین در آن است که چارچوب آن بر ادغام پنج معیار اصلی زیبایی‌شناسی با

رویکرد مولد و تعاملی متمرکز بوده و تلاش کرده از یک مدل مفهومی جامع برای ترکیب ارزش‌های زیبایی‌شناسی و عملکردی استفاده کند.

۱۲- پیشنهادهای کاربردی

بر اساس نتایج تحقیق، پیشنهادهای زیر برای حوزه معماری و طراحی ارائه می‌شود:

پیاده‌سازی در نرم‌افزارهای طراحی: توسعه افزونه‌ها و پلاگین‌های مبتنی بر GA در محیط‌های طراحی دیجیتال برای تسهیل فرآیند بهینه‌سازی فرم.

آموزش در دانشگاه‌ها: گنجاندن مباحث مربوط به الگوریتم‌های ژنتیک و طراحی مولد در برنامه درسی رشته معماری.

کاربرد در پروژه‌های پایدار: استفاده از GA برای ایجاد فرم‌هایی که هم از نظر زیبایی‌شناسی و هم از نظر مصرف انرژی و سازگاری با اقلیم بهینه باشند.

بازآفرینی بافت‌های تاریخی: طراحی فرم‌های جدید که با اصول زیبایی‌شناسی بومی و هویت فرهنگی منطقه هماهنگ باشند.

توسعه معیارهای چندهدفه: ترکیب معیارهای زیبایی‌شناسی با شاخص‌های عملکردی (مصرف انرژی، نورگیری، تهویه و هزینه ساخت).

۱۳- پیشنهاد برای تحقیقات آینده :

ترکیب GA با روش‌های هوش مصنوعی پیشرفته مانند یادگیری عمیق (Deep Learning) برای ارتقاء دقت و خلاقیت خروجی‌ها.

توسعه چارچوب‌های ارزیابی کیفی-کمی برای سنجش همزمان زیبایی‌شناسی و عملکرد.

مطالعه تأثیر ادغام GA با واقعیت مجازی و افزوده (VR/AR)در فرآیند تصمیم‌گیری طراحی.

بررسی امکان استفاده از GA در مقیاس طراحی شهری و منظر.

منابع

1.Aish, R., & Woodbury, R. (2005). Multi-level interaction in parametric design. In Proceedings of the CAAD Futures Conference.

2.al-Rawi, O. M. (2020). Origins of computational design in architecture. Future Engineering Journal, 1(1), Article 5.

3.Caldas, L., & Rocha, J. (2001). A generative design system applied to Siza's School of Architecture at Oporto. In Proceedings of the Sixth Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (pp. 253–264). Sydney, Australia.

4.Cohoon, J., et al. (2003). Evolutionary algorithms for the physical design of VLSI circuits. In A. Ghosh & S. Tsutsui (Eds.), Advances in evolutionary computing: Theory and applications (pp. 683–712). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-35488-8_30

5.Dapogny, C., Faure, A., Michailidis, G., Allaire, G., Couvelas, A., & Estevez, R. (2017). Geometric constraints for shape and topology optimization in architectural design. Computational Mechanics, 59(6), 933–965. https://doi.org/10.1007/s00466-017-1383-6

6.Driscoll, J. C. (2019). Fractal dimension as objective function in a genetic algorithm for application in architectural design. Systems Science Friday Noon Seminar Series, (80).

7.Felkner, J., Chatzi, E., & Kotnik, T. (2013). Interactive particle swarm optimization for the architectural design of truss structures. In 2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Engineering Solutions (CIES) (pp. 15–22). IEEE. https://doi.org/10.1109/CIES.2013.6611723

8.Frazer, J. (1995). An evolutionary architecture. Architectural Association Publications.

Manufacturing, 34(2), 147–159. https://doi.org/10.1017/S0890060420000153
17. Meintjes, K. (2018). "Generative design" – What's that? CIMdata. Retrieved from https://www.cimdata.com
18. Mitchell, M., & Taylor, C. E. (1999). Evolutionary computation: An overview. Annual Review of Ecology and Systematics, 30(1), 593–616. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.593
19. Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: Theory, knowledge, models and medium. Design Studies, 29(2), 99–120. https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003
20. Papapavlou, A., & Turner, A. (2009). Structural evolution: A genetic algorithm method to generate structurally optimal Delaunay triangulated space frames for dynamic loads. In 27th eCAADe Conference, Istanbul.
21. Rajamoney, P., Rosenbloom, P. S., Wagner, C., & Bose, C. (2014). Compositional model based design: A generative approach to the conceptual design of physical systems. University of Southern California(OCLC 1003551283)
22. Schumacher, P. (2016). Parametricism 2.0: Gearing up to impact the global built environment. Architectural Design, 86(2), 14–23.
23. Schwab, K. (2019). How generative design is changing the way architects work. Fast Company. Retrieved from https://www.fastcompany.com
24. Schwab, K. (2019, April 16). This is the first commercial chair made using generative design. Fast Company. Retrieved from https://www.fastcompany.com
25. Schwehr, P. (2011). Evolutionary algorithms in architecture. Open House International, 36(1), 16–24. https://doi.org/10.1108/OHI-01-2011-B0003
26. Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M. (2005). Towards integrated performance-
9.Hung Lo, C., Ko, Y.-C., & Hsiao, S.-W. (2015). A study that applies aesthetic theory and genetic algorithms to product form optimization. Advanced Engineering Informatics, 29(3), 662–679. https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.05.005
10. Kolarevic, B. (2003). Architecture in the digital age: Design and manufacturing. New York: Spon Press.
11. Krish, S. (2011). A practical generative design method. Computer-Aided Design, 43(1), 88–100. https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.09.009
12. Li, L. (2012). The optimization of architectural shape based on genetic algorithm. Frontiers of Architectural Research, 1(4), 392–399. https://doi.org/10.1016/j.foar.2012.07.005
13. Lu, Y. (2018). Conversational form-generation: An application of interactive genetic algorithm to architectural design (Master's thesis, Carnegie Mellon University). https://doi.org/10.1184/R1/7182263.v1
14. Maikantis, T., Tsintzira, A.-A., Ampatzoglou, A., Arvanitou, E.-M., Chatzigeorgiou, A., Stamelos, I., Bibi, S., & Deligiannis, I. (2020). Software architecture reconstruction via a genetic algorithm: Applying the move class refactoring. In Proceedings of the 24th Pan-Hellenic Conference on Informatics (pp. 135–139).
15. Mars, A., Grabska, E., Ślusarczyk, G., & Strug, B. (2019). Style-oriented evolutionary design of architectural forms directed by aesthetic measure. In J. S. Gero (Ed.), Design computing and cognition '18 (pp. 629–646). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05363-5_38
16. Mars, A., Grabska, E., Ślusarczyk, G., & Strug, B. (2020). Design characteristics and aesthetics in evolutionary design of architectural forms directed by fuzzy evaluation. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and

driven generative design tools. Automation in Construction, 14(2), 253–264. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.002
27. Song, H., et al. (2016). Architectural design of apartment buildings using the implicit redundant representation genetic algorithm. Automation in Construction. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.09.000
28. Tedeschi, A. (2014). AAD – Algorithms-Aided Design: Parametric strategies using Grasshopper. [Self-published or publisher needed.
29. Vikhar, P. A. (2016). Evolutionary algorithms: A critical review and its future prospects. In 2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC) (pp. 261–265). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICGTSPICC.2016.7955308
30. Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. Statistics and Computing, 4(2), 65–85. https://doi.org/10.1007/BF00175354
31. Zhang, Y., Fei, G., & Shang, W. (2017). 3D architecture facade optimization based on genetic algorithm and neural network. In 2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS) (pp. 693–698). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICIS.2017.7960082