DOI: 10.30495/HOVIATSHAHR.2021.15714

صفحات ۳۴-۱۷

بررسی کارایی روشهای بهینه‌سازی تکاملی در دستیابی به اهداف معماری و ساخت

مهندس مریم صادقیان**، دکتر اکرم حسینی***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶

چکیده

با افزایش محبوبیت روش‌های بهینه‌سازی در علوم مختلف، معماران نیز با اهداف گوناگون به استفاده از این روش‌ها در طراحی و اجرای ساختمان پرداخته‌اند. نحوه‌ی کارکرد و ویژگی‌های هرکدام، با توجه به جدید بودن آن‌ها در معماری، ناشناخته است. در این تحقیق، ضمن تدوین مبانی روش‌های بهینه‌سازی تکاملی، با مرور ۷۷ مطالعه پیشین که در حوزه‌ی ساختمان، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده کرده‌اند؛ به بررسی میزان کارایی روش‌ها در دستیابی به اهداف معماری و ساخت، به روش تحلیل محتوای متن اقدام می‌گردد. الگوریتم‌های بهینه‌سازی با شش هدف مختلف در معماری پیاده‌سازی شده‌اند؛ از این اهداف، بیشترین کاربرد مربوط به بهینه‌سازی نظام فضایی در کاربری مسکونی و بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌های اداری است. در بررسی انجام‌شده، الگوریتم ژنتیک پرکاربردترین الگوریتم تکاملی و بهینه‌سازی انبوه ذرات، رایج‌ترین روش در تحقیقات مبتنی بر هوش‌جمعی است. با توجه به برخورد عمدتاً نظری پژوهشگران با این موضوع، طراحان نیازمند تعاملات بین‌رشته‌ای بیش‌تر با سایر محققین به‌ویژه متخصصین کامپیوتر جهت پیاده‌سازی و عملیاتی شدن کاربرد الگوریتم‌ها می‌باشند.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی، روشهای فرااکتشافی، الگوریتم‌های تکاملی، فرایند طراحی معماری.

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد نگارنده اول در رشته‌ی معماری با عنوان «توسعه طرح مجموعه آپارتمان‌های مرتفع مشهد مبتنی بر روش‌های بهینه‌سازی تکاملی در فرایند طراحی» است که به راهنمایی دکتر اکرم حسینی در دانشکده‌ی معماری و شهرسازی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفته است.

** دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. Email:sadeghian.maryam@mail.um.ac.ir

*** استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. (مسئول مکاتبات)

Email:akram.hosseini@um.ac.ir

مقاله پژوهشی- کاربردی

© 2021 IAU

ISSN 17359562

مقدمه

تکامل[1] به معنی کامل شدن و تکامل بیولوژیکی یا ارگانیک، تغییری است که طی نسل‌های متوالی در یک یا چند صفت ارثی در جمعیت به وجود می‌آید (Hall et al., 2008, 21). صفات ارثی، ویژگی‌های متمایزکننده ناشی از تعامل ژن و محیط هستند. منابع اصلی چنین تغییراتی جهش، ترکیب‌های ژنتیکی و جریان ژن‌ها است که باعث ایجاد تنوع در موجودات زنده شده است (Futuyma, 2017, 14).

چارلز داروین در سال ۱۸۵۹ نظریه‌ای در مورد منشأ گونه‌ها در اثر «منشأ گونه‌ها با استفاده از انتخاب طبیعی: یا حفظ نژاد مطلوب در رقابت برای زندگی»[2] منتشر کرد. این نظریه بر اساس چند قانون طبیعی تولیدمثل، وراثت، تنوع و انتخاب طبیعی است؛ که منجر به واگرایی شخصیت‌ها و انقراض گونه‌های کمتر بهبودیافته می‌شود (Feldmeth, 1996). زیست‌شناسی تکاملی منشاء تغییرات و تکثیر گونه‌ها را در طول زمان مطالعه می‌کند و بسیاری از رشته‌ها را تحت تأثیر قرار داده‌است (Fasoulaki, 2007).

بهینه‌سازی روش جست‌وجوی بهترین پیکربندی از متغیّرها برای دستیابی به اهداف است (Blum & Roli, 2003). هر روش محاسباتی که یک یا چند مقدار را دریافت و یک یا چند مقدار خروجی تولید کند، الگوریتم نام دارد. الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی سلسله‌مراتبی از کارهای محاسباتی (Cormen et al., 2009, 5) بر اساس تکامل است که خروجی موردنظر دست پیدا می‌کند (Blum & Roli, 2003).

کامپیوتر از مهم‌ترین تحولات در تاریخ رشته‌های علمی بوده و به انسان در کشف، پیش‌بینی و کنترل طبیعت کمک کرده است(Fasoulaki, 2007). بدون کامپیوترها انجام برخی محاسبات غیرممکن و یا همراه با صرف انرژی و زمان بسیار است (Cichock et al., 2017).

در این تحقیق، ضمن بررسی مبانی موضوع بهینه‌سازی تکاملی، ۷۷ تحقیق که در حوزه ساختمان، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده کرده‌اند؛ به روش تحلیل محتوای متن مرور گردیده است تا اهداف قابل‌دستیابی و کارایی الگوریتم‌ها در دستیابی به اهداف نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

پیشینه پژوهش

اکثر مطالعات صورت پذیرفته در مورد الگوریتم‌های بهینه‌سازی در این حوزه، به‌گونه‌ای می‌باشند که کاربرد یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی را در طراحی یک پروژه‌ی خاص بیان می‌کنند، تحقیقات محدودی نیز در هماهنگی با موضوع این تحقیق به انجام رسیده است:

در سال ۲۰۱۴، ماکاریس[3] و همکاران در «مروری بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی در طراحی ساختمان»[4] موضوع غالب تحقیقات سال‌های ۲۰۱۲- ۱۹۹۵ را کنترل ساختمان و سازه معرفی کرده (Machairas et al., 2014) و اسدی و جیم[5] در «طراحی ساختمان پایدار: مروری بر روش‌های فرااکتشافی اخیر»[6] کاربرد الگوریتم‌های فرااکتشافی را در طراحی و کنترل ساختمان پایدار مرور می‌کنند (Asadi & Geem, 2015).

اکیچی[7] و همکاران در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی با عنوان «مروری بر استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی و تکاملی در معماری محاسباتی عملکردی»[8] پس از بررسی تحقیقات به ارائه‌ی اطلاعات آماری مختلف ازجمله نوع الگوریتم‌ها و تقسیم‌بندی رویکردها در حوزه‌های پایداری، هزینه، عملکرد و سازه می‌پردازند و بیان می‌کنند که تمرکز بیشتر تحقیقات در حوزه‌ی پایداری است (Ekici et al., 2018).

این تحقیق ضمن جامعیت بخشیدن به تحقیقات بالا در اهداف و متغیرهای طراحی، به بررسی حوزه تخصص محققین و کاربری پروژه‌های بهینه‌سازی شده، می‌پردازد. همچنین موضوعات مذکور را علاوه بر پایگاه‌های معتبر بین‌المللی در پایگاه‌های معتبر داخلی نیز مرور می‌نماید.

مبانی نظری پژوهش

الگوریتم‌های بهینه‌سازی

روشهای بهینه‌سازی در سه دسته‌ی معین[9]، اکتشافی[10] و فرااکتشافی[11] به افراد در یافتن پاسخ‌های بهینه یا نزدیک به بهینه کمک می‌کنند.

الگوریتم معین: در این الگوریتم، پیشرفت بدون تصادف و احتمال بوده و الگوریتم از یک مقدار شروع و به مقدار مشخصی می‌رسد (Yang & Karamanoglu, 2013, 6). و با پیچیده شدن رابطه‌ی معیارها و تابع هدف، حل مسئله نیز سخت می‌گردد (Datta et al., 2019, 3).

الگوریتم اکتشافی: اکتشافی، به معنای «آزمایش و خطا» (Yang & Karamanoglu, 2013, 6) برای یافتن پاسخ مسئله است، اما پیچیدگی از یافتن راه‌حل بهینه جلوگیری می‌کند. این بهینه‌سازها راه‌حل‌ها را با حداقل زمان و ذخیره‌سازی تولید کرده (Zanakis & Evans, 1981) و به دلیل وابستگی به ماهیت مسئله (Datta et al., 2019, 3) برای راه‌حل‌های نزدیک به بهینه طراحی‌شده‌اند. (Hansen et al., 2010)

الگوریتم فرااکتشافی (فراشناختی- فراابتکاری): واژه «فرااکتشافی» توسط گلوور[12] در ۱۹۸۶ ابداع شد(Yang & Karamanoglu, 2013, 6). این الگوریتم‌ها بدون وابستگی به ساختار مسئله، با ترکیب اکتشاف و تابع هدف (Datta et al., 2019, 3)، راهنمایی و اصلاح راه‌حل‌های اکتشافی را بر عهده دارند

(Mukherjee & Ray, 2006). ایـن تکنیک‌هـا بـه دلیل توانایی حل مسـائل پیچیده، در برنامه‌های واقعـی، علوم فیزیکی و اجتماعی پذیرفته‌شده‌اند (Hansen et al., 2010). سه گروه اصلی فرااکتشافی به‌صورت زیر معرفی می‌گردند. (شکل ۲)

الگوریتم‌های محاسبات تکاملی[۱۳] (EC)

روش‌هـای محاسـبات تکاملی یـک روش کلی برای حل مسـائل بهینه‌سـازی اسـت که تابع هدف را بدون اسـتفاده از بینش عمیقتر و با توجه به خواص ریاضی آن، به شـیوه‌ی کارآمد مورداسـتفاده قرار می‌دهند(Cuevas et al., 2019, 8). علاوه بر تاریخچه غنی، افزایش ناگهانی اسـتفاده از آن‌ها در حوزه‌های تحقیقاتی نشان‌دهنده توانایی آنهـا به‌عنوان ابزار یافتن راه‌حل‌های بهینه در فضاهای جسـت‌وجوی چندهدفه و پیچیـده اسـت (Juneja & Nagar, 2016). برخی از الگوریتم‌های پرکاربرد در این گروه به‌صورت زیر معرفی می‌گردند:

الگوریتم ژنتیک[۱۴] (GA): این الگوریتم از اوایل دهه‌ی ۶۰ میلادی توسـط فوگل[۱۵] با ارائه‌ی مقاله‌ی «دربـاره تکامل هوش مصنوعی»[۱۶] (Fogel et al., 1964) و پـس‌ازآن در ۱۹۷۱ توسـط ریچنبـرگ[۱۷] با رسـاله‌ی دکترا «اسـتراتژی تکامل- بهینه‌سـازی سیسـتم‌های فنی با اسـتفاده از اصول تکامـل بیولوژیکی»[۱۸] گسـترش پیدا کرد (Rechenberg, 1971). در ۱۹۷۵ هالنـد[۱۹] بـه این ایده در کتاب «سـازگاری در سیسـتم‌های طبیعی و مصنوعی»[۲۰] توسعه بخشید و اولین الگوریتم ژنتیک را ساخت (Sivanandam & Deepa, 2008, 15). این روش در ۱۹۸۶ با انتشـار کتاب ساعت‌سـاز کور[۲۱] توسـط داوکین[۲۲] که شـامل برنامه‌ای مبتنی بر روش‌های تکاملی بود، مطرح گشت (Dawkins, 1986, 57).

ژنتیک رایج‌ترین الگوریتم محاسبات تکاملی و مبتنی بر تکامل زیستی و هدایت تصادفی است. این الگوریتم برای فضاهای جست‌وجوی بزرگ با هزینه‌ی بالای یافتن پاسخ که راه‌حل‌های به‌اندازه کافی خوب کفایت می‌کند، کارآمد است (Rodrigues et al., 2013, 4).

الگوریتم‌هـای ژنتیـک تک‌هدفـه (SOGA) می‌توانند در مسـائل چندهدفه (MOGA) به‌وسـیله تجمیـع چندین مقـدار برازندگی استفاده شوند (Coello Coello, 2002). اگرچه یک تعریف رسمی از الگوریتم‌های ژنتیک وجود ندارد، اما همه آنها از ۴ عنصر تشکیل‌شده‌اند: اولین آنها جمعیت کروموزوم‌ها (پاسـخ‌های احتمالی برای مسئله) و پس‌ازآن انتخاب[۲۳] بر اسـاس یک تابع برازندگی اسـت و به بخشـی از جمعیت اشـاره می‌کند که در نسـل بعدی تکامـل خواهند یافت. عنصر سـوم عملگر ترکیب[۲۴] است که به‌وسیله آن اعضای جدید تولید می‌گردنـد؛ همچنین قبل از اعمال مجـدد انتخاب، جهت ایجاد تنوع ژنتیکی، جهش[۲۵] بر روی برخی از اعضا نیز اتفاق می‌افتد (Fasoulaki, 2007).

الگوریتم برنامه‌نویسـی ژنتیک[۲۶] (GP): در این روش الگوریتم ژنتیک پیاده شـده بر روی برنامه‌های کامپیوتری، در مسـائل خاص با انسـان رقابت می‌کنـد و در ماهواره‌های فضایی، زیست‌شناسـی و مدارهای الکتریکی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Koza, ۱۹۹۷, ۴۶۹).

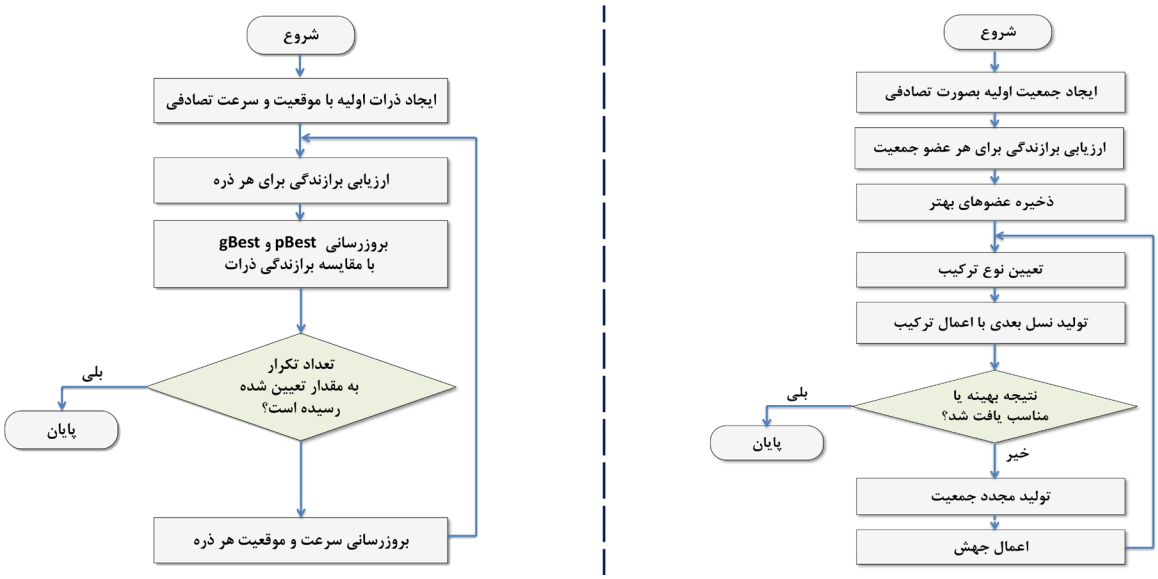
الگوریتم استراتژی تکاملی[۲۷] (ES): این الگوریتم در بهینه‌سازی فضاهای جسـت‌وجوی پیوسـته و مبهم کاربرد دارد و یک روش الهام گرفته‌شده از تکامل است که راه‌حل‌های تصادفی را اغلب از یک توزیع احتمالی چند متغیره انتخاب می‌کند(Hansen et al., 2015, 872).

الگوریتم‌های هوش‌جمعی[۲۸] (SI)

روش‌های هوش جمعی الهام گرفته‌شده از سیستم‌های زیست‌شناختی، طبیعی و اجتماعی است که در سطوح انتزاع، به‌عنوان فرایند بهینه‌سازی مطرح می‌گردند (Cuevas et al., 2019, 6). آن‌ها به‌عنوان بخشـی از محاسبات تکاملی، رفتار سیستم‌های خودسازمان‌یافته (Zhang et al., 2015) و تعامـلات اجتماعی جانوران را بررسـی می‌کنند؛ مانند بهینه‌سازی انبوه ذرات[۲۹]، کلونی زنبورعسل[۳۰] و کلونی مورچه‌ها[۳۱].

الگوریتم بهینه‌سـازی انبوه ذرات (PSO): در سال ۱۹۹۵ دکتر ابرهـارت[۳۲]، مهندس الکترونیـک و دکتر کندی[۳۳]، روانشـناس علوم اجتماعـی، یک روش را که بعداً بهینه‌سـازی انبـوه ذرات نام گرفت، ابداع کردند. این روش از زندگی طبیعی گله‌ها الهام گرفته‌شـده است (Juneja & Nagar, 2016). برخـلاف قانون حفظ نسـل برتر، تمام ذرات در فرآیند جسـت‌وجو حفظ‌شده و شـرایط خود را تحت تأثیر سـه عامل تغییر می‌دهند: پایداری، بهتریـن موقعیت خود و بهترین موقعیـت در گـروه(Juneja & Nagar, 2016). شـکل ۱ مراحـل الگوریتـم را در مقایسـه با الگوریتـم ژنتیک معرفـی می‌نماید. در مطالعات ژانگ و همکاران[۳۴] با عنوان «بررسی جامع در مورد الگوریتم بهینه‌سـازی انبوه ذرات و کاربردهای آن»[۳۵]، تعداد انتشارات آن، بالاتر از دیگر الگوریتم‌های هوش جمعی اسـت (Cichock et al., 2017) و در هشـت زمینه‌ی الکترونیک، کنترل خودکار، ارتباطات، تحقیقات عملیاتی، مکانیک، انرژی، پزشکی، شیمی و زیست‌شناسی کاربرد دارد (Zhang et al., 2015).

بهینه‌سـازی کلونی مورچه‌ها (ACO): این روش فرااکتشافی از به‌جای ماندن ماده‌ی فرمون[۳۶] در مسـیر مورچه‌ها الهام گرفته‌شـده است. مسیرهایی که پیوسته تغییر می‌کنند، باعث ساخت راه‌حل‌های مختلف و انتخـاب بهترین راه‌حل می‌گـردد (Dorigo & Stützle, 2019, 312).



شکل ۱. مقایسه مراحل الگوریتم ژنتیک (راست) (Sivanandam & Deepa, 2008) و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (چپ) (Juneja & Nagar, 2016)

الگوریتم‌های تکاملی[۳۷]: تکنیک‌های موجود در دو گروه الگوریتم‌های محاسبات تکاملی و هوش جمعی، ریشه در مبانی زیست‌شناسی تکاملی دارند و به‌عنوان روش‌های بهینه‌سازی بیولوژیک و یا الگوریتم‌های تکاملی نام‌گذاری می‌شوند (Juneja & Nagar, 2016).

الگوریتم‌های مرتبط با فیزیک[۳۸]

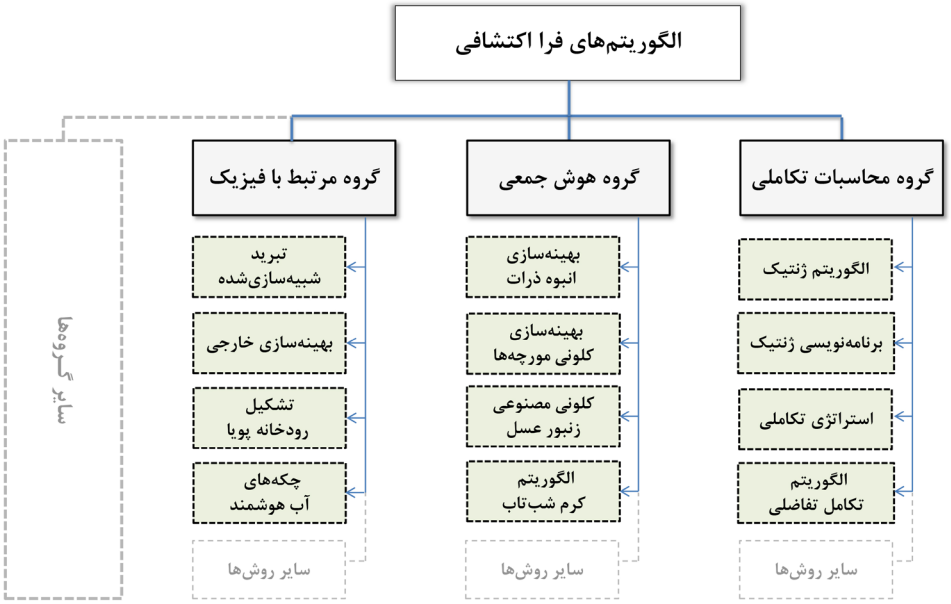
در روش‌های بهینه‌سازی فیزیکی، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده[۳۹]، متداول‌ترین ابزار و الهام گرفته از مراحل ذوب فلزات است(Datta et al., 2019, 4). بهینه‌سازی خارجی[۴۰]، تشکیل رودخانه پویا[۴۱] و چکه‌های آب هوشمند[۴۲] از دیگر الگوریتم‌های این گروه می‌باشند.

کاربرد کامپیوتر در معماری

نرم‌افزارهای کمک طراحی از زمان ظهور کامپیوتر در محیط‌های آکادمیک (۱۹۵۰) و به‌طور خاص، از زمان معرفی کامپیوترهای شخصی (۱۹۸۰)، تأثیر زیادی بر طراحی داشته‌اند. اگرچه محققان تعاملی گسترده بین کامپیوتر و طراحان پیش‌بینی می‌کردند، اما ابتدا، کامپیوترها به‌عنوان ابزار نقشه‌کشی و رندر، صرفاً محتوا را سریع‌تر از روش سنتی تولید می‌کردند و در روند طراحی تغییری ایجاد نمی‌کردند (Nagy et al., 2017). در دهه‌های اخیر، شبیه‌سازی کامپیوتری، به‌جای روش‌های سنتی راه‌حل‌های طراح را ارزیابی می‌کند؛ اما به دلیل سرعت پایین، تعداد راه‌حل کمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. امروزه با توجه به گستردگی متغیّرها، یک گام در به‌کارگیری کامپیوتر فراتر رفته و علاوه بر شبیه‌سازی، از آن به‌عنوان یک روش مولد استفاده می‌گردد. پیشرفت ابزارها در پیوند با هوش مصنوعی منجر به تعامل کامپیوترها با فرایند طراحی‌شده است، در این روش کامپیوتر فضای جست‌وجو را برای یافتن راه‌حل‌های بهینه بررسی می‌کند و پس از تولید و ارزیابی گزینه‌ها، پاسخ‌های بهینه یا نزدیک به بهینه را ارائه می‌دهد (Caldas & Norford, 2002). برخلاف انسان‌ها، ماشین‌ها توانایی اجرای کار تکراری را بدون خستگی و خطا دارند. آن چیزی که انسان در خلاقیت دارد، در کارهای تکراری نداشته و مستعد خطا است. هدف نه جایگزین کردن نوآوری معمار با بهره‌وری کامپیوتر، بلکه استفاده از آن برای کارهای تکراری و پیچیده است.(Rodrigues et al., 2013, 1).

سابقه کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی در معماری

روش‌های نخستین استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در معماری، در سال ۱۹۶۰ توسط جان فریزر[۴۳] معرفی گردید. نتیجهٔ پژوهش او به ایدهٔ طراحی فضای پاسخ‌گو ختم گردید (مردمی و همکاران، ۱۳۹۴). او با معرفی معماری تکاملی در سال ۱۹۹۵ تلاش کرد تا یک مبنای نظری با مقایسه معماری و فرآیند تکامل ارائه کند (Frazer, 1995, 110). پیش‌بینی او از آینده ساخت بناهای ارگانیک بود؛ سیستم‌هایی



شکل ۲. انواع اصلی الگوریتم‌های فرااکتشافی(Asadi & Geem, 2015)

پویا که ازلحاظ زیست‌محیطی، جامعه‌شناختی و اقتصاد دارای آگاهی و پایداری باشند. در سال ۱۹۹۰ معماران آوانگارد، فناوری‌های زیست‌شناسی تکاملی را همراه با پیچیدگی معماری امروز که توسط روش‌های مرسوم حل نمی‌گردند؛ به تصویر کشیدند (Sakamoto et al., 1999).

الگوریتم ژنتیک از سال ۱۹۹۹ به دلیل اجرای ساده و بهبود عملکرد، به‌عنوان یک روش تکاملی، به معماری معرفی شد (Fasoulaki, 2007). سپس در بهینه‌سازی پلان (Michalek & Papalambros, 2002)، سایت پلان (Finucane et al., 2006)، نما (Caldas & Norford, 1999)، سازه‌ی ساختمانی (Papapavlou & Turner, 2009) و چند طرح مفهومی (Soddu, 2005) استفاده گردید (Li, 2012).

محدودیت‌های کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی در معماری

مسائل معماری طبق اصول میشالویچ و فوگل[۴۴] به‌عنوان مسائل دشوار طبقه‌بندی می‌گردند (Cichock et al., 2017). زیرا برخلاف سایر علوم مهندسی، در معماری حل مسئله یعنی طراحی را به علت تعدد پارامترها و نبود معیار سنجش واقعی، نمی‌توان به‌طور کامل به الگوریتم سپرد و می‌توان از آن به‌عنوان کمک طراح استفاده کرد تا بهینه‌سازی‌های موضعی را انجام دهد (گلابچی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۲۵). راه‌های تبدیل مسائل به مدل‌های ریاضی که الگوریتم بتواند با آن ارتباط برقرار کند، امری مهم در به دست آوردن نتایج بهینه است، اما مسائل معماری اغلب با عوامل زیبایی‌شناسی و اجتماعی ترکیب‌شده و نمی‌توانند به‌طور کامل با مدل‌های ریاضیاتی بیان گردند (Li, 2012).

نیزتوک و پاول[۴۵] بیان می‌کنند که راه‌حل‌های پیاده‌سازی تحقیقات، اغلب فاقد رابط بصری و ازنظر کاربری محدود می‌باشند. باوجود این‌که نرم‌افزارها و افزونه‌های رایج دارای الگوریتم‌های پایه می‌باشند، ولی امکان تغییر آن‌ها مگر با برنامه‌نویسی برقرار نمی‌باشد (Nisztuk & Paweł, 2018). این امر باعث کاربرد الگوریتم‌های شناخته‌شده‌تر و محدودیت در توسعه آنها یا استفاده از الگوریتم‌های جدید می‌گردد.

سؤالات و روش پژوهش

جهت بررسی میزان کارایی روش‌های بهینه‌سازی تکاملی در دستیابی به اهداف معماری و ساخت، سؤالات فرعی زیر مطرح گردیدند:

- الگوریتم‌های بهینه‌سازی جهت تحقق کدام‌یک از اهداف معماری و ساخت کاربرد بیشتری دارند؟
- کدام‌یک از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در پاسخ‌گویی به اهداف این حوزه کاربردی‌تر می‌باشند؟
- چه کاربری‌هایی از ساختمان قابلیت بیشتری در استفاده از روش‌های بهینه‌سازی دارند؟
- با توجه به ماهیت الگوریتم‌های تکاملی، تحقیقات حوزه ساختمان،

توسط متخصصین کدام رشته‌ها انجام و پشتیبانی شده‌اند؟

با توجه به گسترده شدن و پیشرفت کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی در صنایع مختلف، انتشـــارات بی‌شـــماری در این زمینه موجود است. ازاین‌رو جهت یافتن انتشـــارات مرتبط، در طول جست‌وجو، پایگاه‌های داده‌ی Science Direct، Scopus، IEEXplore، Research Gate و Springer Link به‌عنـــوان پایگاه‌هـــای داده‌ی معتبر در تحقیقات انگلیســـی‌زبان و پایگاه‌های اطلاعات علمـــی ایران (Irandoc) و مرکز علمی جهاد دانشـــگاهی (SID) در حوزه‌ی انتشـــارات داخلی، همراه بـــا کلیدواژه‌هایی مانند بهینه‌ســـازی، طراحی ســـاختمان، معماری، الگوریتم‌هـــای تکاملی، محاســـبات تکاملی، الگوریتـــم ژنتیک، هوش جمعی، بهینه‌ســـازی انبـــوه ذرات و الگوریتم‌های مرتبـــط با فیزیک، مورداستفاده قرار گرفتند.

تاریخ انتشار ۱۶۸ اثر یافت‌شده از ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۹ متغیر بود که در ۷۷ تحقیق منتخب حداقل یکی از الگوریتم‌های محاســـبات تکاملی، هوش جمعی یا مرتبط با فیزیک به کار گرفته‌شـــده‌اند؛ زیرا با توجه به محدودیت روش‌های معین و اکتشـــافی، گروه فرااکتشـــافی از توانایی بالاتری در مسائل پیچیده چون معماری برخوردار است. این تحقیقات به یک طرح ختم شده و شـــامل مقالات مروری، مقایسه‌ای یا معرفی نمی‌گردند.

پس از مرور پیشـــینه و ادبیات موضوع، بررســـی یافته‌های تحقیقات منتخب، جهت پاسخ به سؤالات به شیوه‌ی تحلیل محتوای متن انجام گردید.

یافته‌های پژوهش

در ۷۷ تحقیق موردمطالعه، اطلاعـــات در ۴ بخش تحلیل گردیده‌اند جدول ۱ انتشارات و خلاصه‌ی بررسی را به ترتیب تاریخ نشان می‌دهد.

جدول ۱. ارائه داده‌های تحقیقات پیشین حوزه‌ی بهینه‌سازی معماری و ساخت.

روش بهینه‌سازی					اهداف بهینه‌سازی					اطلاعات انتشار		
کاربری	سایر روش‌ها	مرتبط با فیزیک	هوش جمعی	محاسبات تکاملی	انرژی نما-بام	نظام فضایی	فرم ساختمان	سازه ساختمان	مدیریت ساخت	توده و دسترسی شهری	سال	تخصص نویسندگان	نویسندگان
_				GA		۵-۷					1996	CS/AC	Schnier & Gero
_				GA		۷					1997	AC	Rosenman
_				GA		۵-۶-۷					1997	CS/AC	Gero & Kazakov
_				GP		۵-۶-۷					1997	CS/AC	Jagielski & Gero
_				GA		۵-۶-۷					1998	CS/AC	Jo & Gero
_				GA		۵-۶-۸					1998	CS	Bentley
_				GA					۱-۲-۳-۴		1999	CS	Hegazy
_				GA		۷-۸-۱۰					1999	AC	Elezkurtaj & Franck
_	L-S			GP			۱				2001	CS	Jackson
مسکونی	SQP	SA		GA		۵-۷-۸-۱۰					2002	MC	Michalek & Papalambros
_				GA	۸-۹						2002	MC/AC	Caldas & Norford
_				GP	۹	۷-۸-۱۰-۱۱					2003	AC	Virirakis
اداری			PSO	GA				۳	۲-۵-۶		2003	MC/CV	Khajehpour & Grierson
اداری				GA	۱-۷-۸-۹	۴					2004	MC/CV	Wetter & Wright

ادامه جدول ۱. ارائه داده‌های تحقیقات پیشین حوزه‌ی بهینه‌سازی معماری و ساخت.

روش بهینه‌سازی				اهداف بهینه‌سازی						اطلاعات انتشار		
کاربری	سایر روش‌ها	مرتبط با فیزیک	هوش جمعی	محاسبات تکاملی	انرژی نما-بام	نظام فضایی	فرم ساختمان	سازه ساختمان	مدیریت ساخت	توده و دسترسی شهری	سال	تخصص نویسندگان	نویسندگان
_				GA		۷-۸					2005	MC/CV	Bausys & Pankrašovaite
_				GA		۵-۷					2006	CS	.Makris et al
اداری				GA	۱-۷	۵					2006	CV	.Wang et al
مسکونی				GA		۷-۸					2007	AC	Homayouni
_				GA		۵-۶-۷-۸-۱۰					2007	AC	Doulgerakis
_				GA		۵-۷-۸					2008	CS	.Banerjee et al
کتابخانه				GA			۱				2008	CS	Serag et al.
_	VD			GA		۵-۷-۸					2008	CS	Inoue & Takagi
_				GA	۳-۶		۱-۶				2008	AC	Marin et al.
_				GA		۸					2009	CS	Wong & Chan
_	DA			GA		۷-۸-۱۰					2010	CS	Thakur et al.
_	K-DT			GA		۵-۷-۸					2010	CS	Knecht & Koenig
_				GA GP		۵-۶-۷-۸-۱۰					2011	CS	Flack
_	VD			GA		۵-۷					2011	CV	Poblete & de la
اداری			PSO		۱-۲-۷						2012	MC	& Rapone Saro
موزه				GA			۱	۴			2012	AC	Li
_			PSO	GA		۸-۹				۶-۷	2012	EC	Chiu et al.
_				GA						۱-۶	2013	AC/CS	Özer & Şener
_	SHC			ES	۸-۹	۵-۷-۱۰					2013	MC	Rodrigues et al.
اداری				NSGA-II	۱-۷-۸						2013	MC	Talbourdet et al.
اداری				IVC GA					۷		2013	CV	Rafiq & Rustel
چندعملکرده				GA	۱		۱				2014	AC	Shih-Hsin & Gerber
چندعملکرده				GA	۱-۶		۱				2014	AC	Gerber & Lin
اداری				GA	۱-۶		۱				2014	AC	Yi
مسکونی				GA	۴-۵-۶-۹					۸	2014	CV	Karatas & El-Rayes

ادامه جدول ۱. ارائه داده‌های تحقیقات پیشین حوزه‌ی بهینه‌سازی معماری و ساخت.

روش بهینه‌سازی				اهداف بهینه‌سازی						اطلاعات انتشار		
کاربری	سایر روش ها	مرتبط با فیزیک	هوش جمعی	محاسبات تکاملی	انرژی نما-بام	نظام فضایی	فرم ساختمان	سازه ساختمان	مدیریت ساخت	توده و دسترسی شهری	سال	تخصص نویسندگان	نویسندگان
–				GA	۱-۶-۷	۲					2014	MC	Conceição António et al.
پرستاری				GA	۹	۹					2015	AC/CS	Su & Yan
آموزشی	PS		PSO	GA	۱-۴-۶						2015	AC/CS	Futrell et al.
–				GA	۵	۵-۶	۱-۴-۵				2015	AC	Wang & Malkawi
اداری				-NSGA II	۱-۲-۴				۲		2015	CV	Evins
کتابخانه				GA		۵-۶-۷-۸					2015	AC	Sönmez
–				GA	۱-۴-۶-۹-۱۱		۱-۵				2015	AC/EC	Naboni et al.
اداری				GA	۱-۴						2016	MC/CV	Wright & Alajmi
–			PSO		۱-۴-۷-۹-۱۱		۵				2016	MC/EC	Delgarm et al.
–				GA						۱-۹	2016	AC	Yazici
مسکونی				GA	۱-۴		۱				2016	AC/CS	Zhang et al.
–				GA	۱-۶-۷-۸						2016	AC/CS/ MC	Kirimtat et al.
رستوران				GA		۷-۸-۱۰-۱۱					2016	AC/MC	Cubukcuoglu et al.
–				GA			۲-۳	۵-۶			2016	CV	Babaei & Sheidaii
–				GA		۱-۲-۳					2016	CV	Papadaki & Chassiakos
اداری				MOGA	۶-۸	۷-۸-۹					2017	AC/CS	Nagy et al.
اداری				GA	۱-۴						2017	AC	Dhariwal & Banerjee
تجاری			ACO		۱						2017	AC/MC	.Bamdad et al
مسکونی				NSGA-II	۱-۵-۶-۸-۹		۵				2017	CV	Chen & Yang
کتابخانه				GA	۱-۶-۸-۹	۵-۶	۱-۵				2017	AC	Dino & Üçoluk
سلامتی			PSO				۲-۴	۱-۲			2017	AC/CS EC	Cichock et al.
تئاتر				GA		۷-۸-۱۰					2017	CS	Bahrehmand et al.
صنعتی				GA		۱-۲-۳					2017	CS/CV	RazaviAlavi & AbouRizk
–				GA						۲-۳-۴-۵	2017	AC	Koma et al.
مسکونی				GA		۵-۷-۸					2017	CS	Kumar et al.

ادامه جدول ۱. ارائه داده‌های تحقیقات پیشین حوزه‌ی بهینه‌سازی معماری و ساخت.

روش بهینه‌سازی				اهداف بهینه‌سازی							اطلاعات انتشار		
کاربری	سایر روش‌ها	مرتبط با فیزیک	هوش جمعی	محاسبات تکاملی	انرژی نما-بام	نظام فضایی	فرم ساختمان	سازه ساختمان	مدیریت ساخت	توده و دسترسی شهری	سال	تخصصی نویسندگان	نویسندگان
_				DE	۱-۵-۶-۷-۱۱						2018	CS/EC	Bizjak et al.
مسکونی				NSGA-II	۴-۹-۱۱						2018	MC/CV	Harkouss et al.
_			PSO							۶-۸	2018	UB/CS	Li et al.
چندعملکرده			HS					۷			2018	AC/CV	Lee et al.
اداری				NSGA-II	۱-۴-۵-۶-۷		۱				2018	AC	Chen et al.
تجاری				GA	۱-۱۰		۱				2018	AC/CV	Youssef et al.
مسکونی				GA	۶	۷-۸					۱۳۹۳	AC	جعفری
_				GA			۲-۳-۶	۲-۶			۱۳۹۴	AC	مردمی و همکاران
اداری				GA	۱-۴-۶-۷-۸-۹						۱۳۹۴	AC	حیدری
فرودگاه				NSGA-II						۶-۷-۸	۱۳۹۵	UB	امین‌زاده گوهرریزی و همکاران
_		SA						۱-۲-۳-۶			۱۳۹۵	MC	لطف خدایی و ابوالبشری
_	nelder_m			GP				۱-۲-۳-۴			۱۳۹۶	MC	اسلیمی و همکاران
اداری				GA	۱-۴-۶-۷-۸-۹						۱۳۹۸	AC	مهدوی‌نژاد و همکاران

تحلیل و بحث

اهداف بهینه‌سازی: در این بررسی، علاوه بر تعیین اهداف بهینه‌سازی، متغیرهای طراحی نیز به تفکیک هر هدف استخراج گردیدند. اهداف و متغیرها در ۶ دسته طبقه‌بندی و مطابق جدول ۲ کدگذاری گردیدند. شکل ۳ فراوانی هر دسته از اهداف را در تحقیقات ارائه می‌دهد.

بهینه‌سازی توده‌فضاها و دسترسی‌های شهری: روش‌های بهینه‌سازی در این حوزه از مباحثی چون جانمایی، دسترسی، چیدمان و ارتفاع توده فضاها آغاز گشته و به حوزه‌های پرسپکتیو، بافت‌ها و فاصله‌ی فضاها گسترش‌یافته است. ٪۷ از اهداف تحقیقات با این زمینه مرتبط است.

بهینه‌سازی در مدیریت ساخت و هزینه: این حوزه به‌عنوان یکی از محاسباتی‌ترین علوم ساختمان، زمینه‌ی مناسبی برای استفاده از روش‌های تکاملی دارد. مدیریت زمان، هزینه، منابع، مصالح و ایمنی از اهداف این حوزه می‌باشند. ٪۳ از اهداف نمونه‌ها به این موضوع اختصاص دارد.

بهینه‌سازی در طراحی سازه ساختمان: هدف اصلی از بهینه‌سازی سازه، یافتن ساختار هندسی متناسب، برای رفتار یکپارچه، پایدار و در تعامل با معماری است (Hassani et al., 2011). ٪۷ از اهداف پیگیری‌شده در نمونه‌ها، در ارتباط با طراحی سازه و مسائل مربوط به آن است.

بهینه‌سازی انرژی: تحلیل‌های محیطی دارای زمینهٔ مناسبی برای طراحی هدف‌گرا می‌باشند، زیرا با امکان تشخیص معیارهای عددی مانند نور، دما، گرمایش و سرمایش، امکان بهینه‌سازی اجزای نما و

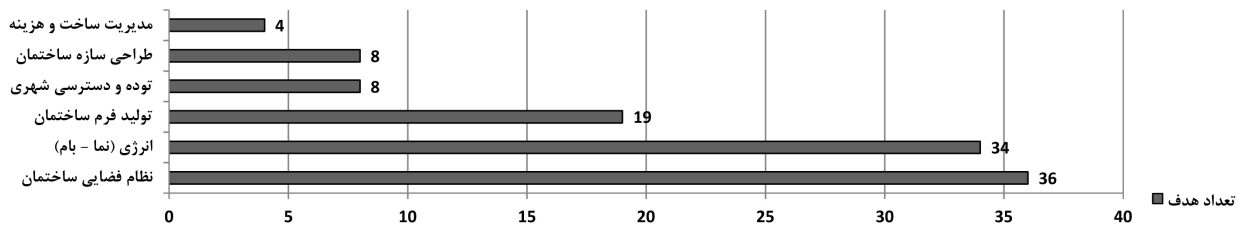
جدول ۲. اهداف و متغیرهای طراحی در تحقیقات بهینه‌سازی حوزه‌ی معماری و ساخت.

هدف		توده و دسترسی شهری		مدیریت ساخت و هزینه		سازه ساختمان		تولید فرم ساختمان		نظام فضایی ساختمان		انرژی (نما-بام)
متغیرهای طراحی	۱	چیدمان بافت	۱	مدیریت زمان	۱	کاهش وزن سازه	۱	فرم کلی	۱	مرزهای سایت پلان	۱	مصرف انرژی
	۲	پرسپکتیو شهری	۲	مدیریت هزینه	۲	توزیع نیروها	۲	فرم سقف	۲	مکان‌یابی توده و فضاها	۲	تولید کربن
	۳	موقعیت دیوارها	۳	مدیریت منابع	۳	مقاومت فروپاشی	۳	فرم سازه	۳	فاصله اجزای سایت	۳	عوامل محیطی
	۴	ارتفاع بافت شهری	۴	سطح‌بندی منابع	۴	پوسته خرپایی	۴	ارتفاع	۴	جهت‌گیری ساختمان	۴	سرمایش و گرمایش
	۵	پوشش ساختمان‌ها	۵	مصالح	۵	گنبد فضاکار	۵	جهت‌گیری	۵	مرز ساختمان	۵	تهویه طبیعی
	۶	فاصله ساختمان‌ها	۶	ایمنی	۶	بار وارد بر سازه	۶	سطح پوششی	۶	سطح‌بندی طبقات	۶	نور روز
	۷	مجاورت ساختمان‌ها	۷	BIM	۷	قالب‌بندی فونداسیون			۷	ابعاد و شکل فضاها	۷	سایه‌اندازی
	۸	مکان‌یابی در بافت							۸	مجاورت فضاها	۸	جهت‌گیری بازشو
	۹	فضای سبز شهری							۹	فاصله فضاها	۹	ابعاد پنجره
									۱۰	درهای داخلی و خارجی	۱۰	پنل خورشیدی
									۱۱	چیدمان مبلمان	۱۱	ویژگی مصالح

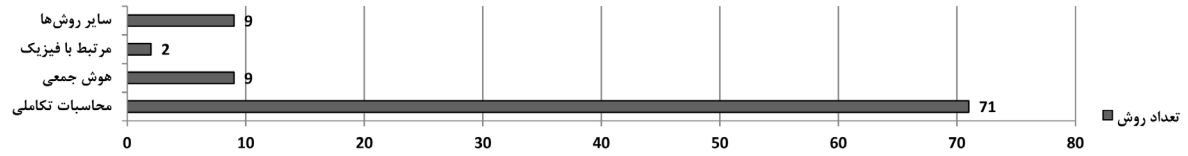
بام، طوری که در بهترین جایگذاری و تناسبات قرار گیرند، میسر است (Caldas & Norford, 2002). ٪۳۱ از اهداف تحقیقات به این حوزه اختصاص‌یافته که مؤید کارایی الگوریتم‌ها در مبحث پایداری است.

بهینه‌سازی فرم ساختمان: جست‌وجوی فرم بهینه با معیارهای متعدد، از اهداف موردتوجه در ٪۱۷ از نمونه‌ها می‌باشد. بهینه‌سازی فرم نیازمند به چرخه‌های تولید و ارزیابی متعدد است تا پس از تولید جمعیت و ارتقاء کیفیت، به گزینه‌ی مطلوب دست یابد (خبازی، ۱۳۹۱، ۱۰۰).

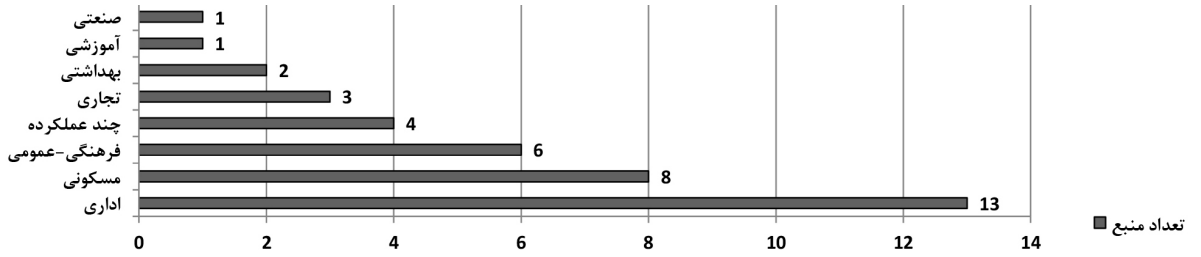
بهینه‌سازی نظام فضایی: سامان‌دهی فضاها به معنای روابط و هم‌جواری آن‌ها، جهت پاسخ‌گویی به عملکردها است؛ به‌گونه‌ای که در بهترین حالت نسبت به انواع سامان‌دهی قرار گیرد (Caldas & Norford, 2002). گاهی محدودیت هندسی به معنی شکل و تناسبات نیز به الگوریتم اعمال می‌گردد. الگوریتم‌ها در طراحی طبقات تا موقعیت اجزایی مانند در پنجره و مبلمان کاربرد دارند. ٪۳۴ از اهداف نمونه‌ها، به طراحی نظام فضایی اختصاص دارد طوری که بیشترین کاربرد در تحقیقات معماری و پروژه‌های اجرایی متعلق به این هدف است. از معدود پروژه‌های در دست بهره‌برداری دفتر اداری



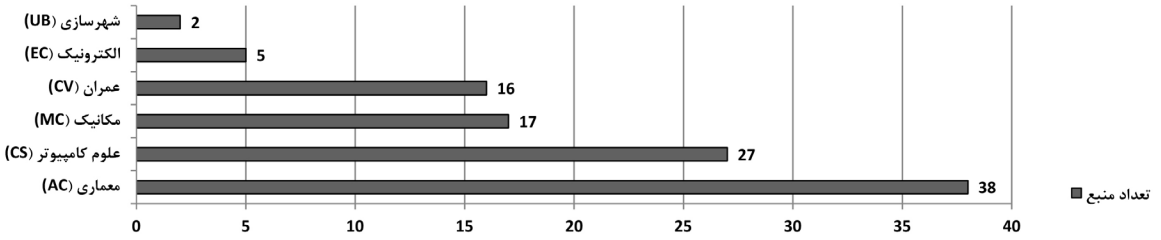
شکل ۳. فراوانی اهداف در تحقیقات بهینه‌سازی حوزه معماری.



شکل ۴. فراوانی نوع الگوریتم در تحقیقات بهینه‌سازی حوزه معماری.



شکل ۵. فراوانی کاربری بنا در تحقیقات بهینه‌سازی حوزه معماری و ساخت.



شکل ۶. فراوانی تخصص محققین در تحقیقات بهینه‌سازی ساختمان.

Living در تورنتو[۴۶] متعلق به Autodesk است که مراحل پژوهش آن در مقاله «جست‌وجوی طرح: کاربرد طراحی زایا در برنامه‌ریزی فضای معماری» در سال ۲۰۱۷ توسط نگی[۴۷] و همکاران ارائه گردیده است (Nagy et al., 2017).

تعداد اهداف بهینه‌سازی: متغیّرهای طراحی با توجه به اهداف آن متفاوت می‌باشند. تعداد متغیرها با افزودن اهداف گسترش پیداکرده و در هیچ روشی، همه‌ی متغیرها مورد بهینه‌سازی قرار نمی‌گیرند (Rodrigues et al., 2013, 4). ٪۶۲ تحقیقات یک هدف، ٪۳۴ دو هدف و ٪۴ از آن‌ها سه هدف را به‌طور هم‌زمان بهینه‌سازی می‌کنند که نمایانگر دشواری ترکیب اهداف گوناگون هنگام بهینه‌سازی است.

نوع الگوریتم بهینه‌سازی: بررسی‌ها نشان داد روش‌های محاسبات تکاملی، انواع الگوریتم ژنتیک به عنوان پایه‌ای‌ترین الگوریتم تکاملی و برنامه‌نویسی ژنتیک، استراتژی تکاملی و تکامل تفاضلی (DE)، به‌صورت مفرد یا ترکیبی، استفاده‌شده‌اند. در روش‌های هوش جمعی، بهینه‌سازی انبوه ذرات به‌عنوان نماینده و کلونی مورچه‌ها و جست‌وجوی هارمونی (HS)، موردتوجه قرارگرفته‌اند. روش‌های مرتبط با فیزیک با تبرید شبیه‌سازی‌شده، موردتوجه قرارگرفته‌اند. برخی آثار در این سه دسته گنجانیده نمی‌شود و برخی از دو گروه الگوریتم استفاده نموده‌اند.

در بیشتر تحقیقات الگوریتم‌های محاسبات تکاملی توسط محققین مورداستفاده قرار می‌گیرند (شکل ۴) و الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و انبوه ذرات به الگوریتم‌های کارآمد در حل مسائل بهینه‌سازی تبدیل‌شده‌اند (Juneja & Nagar, 2016) که دلیل آن احتمالاً هم‌گرایی سریع و بیرون آمدن سریع الگوریتم بهینه‌سازی انبوه

ذرات از بهینه‌هـــای محلی (Chen et al., 2018) و ســـابقه بیشـــتر الگوریتم ژنتیک است.

کاربری نمونه‌های بهینه‌سازی شده: آثار مختلف از جهت توجه به کاربری بنا به دو دسته تقســـیم می‌شوند. ۳۹ تحقیق، فارغ از کاربری به پیاده‌سازی الگوریتم می‌پردازند و در ۳۸ نمونه، کاربری، موردتوجه اســـت. مطابق شـــکل ۵، در نمونه‌هایی که نوع کاربری بنا مشـــخص گردیده است، عمده‌ی کاربری‌ها اداری و سپس مسکونی، به ترتیب با هدف غالب بهینه‌سازی مصرف انرژی و نظام فضایی می‌باشند.

زمینه فعالیت محققین: مطابق شـــکل ۶، تخصص محققین شامل حوزه‌های معماری، عمران، شهرســـازی، علـــوم کامپیوتر، مکانیک و الکترونیک میگردد. در این بین از ۷۷ تحقیق، محققین حوزه معماری در ۳۸ تحقیق حضورداشـــته‌اند که ۱۸ تحقیـــق بدون همکاری و ۲۰ تحقیق با همکاری محققین دیگر رشـــته‌ها انجام‌گرفته است. پس‌ازآن حضور رشته‌های علوم کامپیوتر با ۲۷ تحقیق، قابل‌توجه است.

حدود ٪۳۴ از تحقیقات، به‌صورت میان‌رشته‌ای، با همکاری محققین دو یا ســـه حوزه صورت گرفته اســـت. در ٪۶۲ این موارد، متخصصین حوزه‌ی معماری و در نیمی متخصصین کامپیوتر شرکت داشته‌اند که بیان‌گر نقش مهم همکاری با این محققین در پیاده‌سازی الگوریتم‌ها است.

نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های بهینه‌ســـازی با گذشـــت زمان بیش‌از پیـــش در علوم مختلف ازجملـــه معماری موردتوجه قرارگرفته‌اند. تحلیل آثار نشـــان می‌دهد کـــه هم‌زمان با افزوده‌شـــدن روش‌های متنوع بهینه‌ســـازی فرااکتشـــافی، این الگوریتم‌ها با شش هدف عمده‌ی طراحی تودههای ســـاختمانی و دسترسی‌های شهری، مدیریت ساخت و هزینه، طراحی سازه ســـاختمان، مباحث انرژی، تولید فرم ســـاختمان و نظام فضایی پیاده‌ســـازی گردیده‌اند. هرچند اغلب تحقیقـــات به‌صورت تک‌هدفه طرح‌ریزی شده‌اند، اما برخی تحقیقات نیز به پاسخ‌گویی به چند هدف در مسئله پرداخته‌اند.

از ابتدای توسعه محاسبات تکاملی، بهینه‌سازی نظام فضایی به‌عنوان یکی از مســـائل بنیادی در طراحی کاربری‌ها، زمینه‌ی گســـترده‌ای از اهداف تحقیقات را تشـــکیل می‌دهد. پـــس‌ازآن، از اوایل قرن ۲۱ و رشـــد روزافزون صنایع و اهمیت حفظ محیط‌زیســـت، مسائل مربوط به پایـــداری، علی‌رغم قدمت کمتر، به یکـــی از پرکاربردترین حوزه‌ها برای کاربرد این الگوریتم‌ها در ســـاختمان تبدیل‌شده‌اند. در تحقیقات این حوزه، الگوریتم ژنتیک، به دلیل ســـابقه‌ی بیشـــتر، پرکاربردترین الگوریتم در بین روش‌های تکاملی در پاسخ‌گویی به اهداف و الگوریتم بهینه‌ســـازی انبوه ذرات نیز رایج‌تریـــن الگوریتم این تحقیقات در بین مســـائل مبتنی بر هوش جمعی اســـت. از بین کاربری‌ها، بیشـــترین کاربرد، مرتبط با ســـاختمان‌های اداری به‌ویژه با موضوع بهینه‌ســـازی انرژی و پس‌ازآن در ساختمان‌های مسکونی، اغلب با هدف بهینه‌سازی نظام فضایی است.

لـــزوم برخورداری از دانـــش کامپیوتر به دلیل ماهیت پیاده‌ســـازی الگوریتم‌ها موجب شـــده تـــا بخش زیادی از تحقیقـــات این حوزه، با مشـــارکت متخصصین علوم کامپیوتر در کنار محققان دیگر به‌صورت میان‌رشـــته‌ای انجام گردد. بررســـی مطالعات نشـــان می‌دهد ورود الگوریتم‌ها در معمـــاری عمدتاً به حیطه‌ی پژوهش‌های نظری محدود گشته است. ازاین‌رو جهت عملیاتی شدن کاربرد الگوریتم‌ها در حوزه‌ی اجرایی، طراحان نیازمند همکاری بیشـــتر با متخصصین دیگر حوزه‌ها می‌باشـــند. مسائل بهینه‌سازی تکاملی در حوزه‌ی معماری و ساختمان علی‌رغم پیشـــرفت زیاد در ۲۳ سال گذشـــته، هنوز به‌طور کامل مورد اکتشـــاف قرار نگرفته‌اند. با اینکه محاسبات تکاملی در سال‌های اخیر تأثیر چشم‌گیری بر توسعه‌ی مسائل حوزه‌ی معماری و ساخت داشته است، اما جهت بهینه‌سازی زمان پردازش و افزایش تعداد متغیرها، به بهبود روش‌های قدیمـــی و الگوریتم‌های جدیدتر همچون گروه هوش جمعی نیاز اســـت؛ تا امکان استفاده از قابلیت آن‌ها به‌عنوان روش‌های کاربردی در این حوزه فراهم گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Evolution
2. The origin of species by means of natural selection: or the preservation of favored races in the struggle for life
3. Vasileios Machairas
4. Algorithms for optimization of building design: A review.
5. Somayeh Asadi and Zong Woo Geem
6. Sustainable Building Design: A Reviewon Recent Metaheuristic Methods.
7. Berk Ekici
8. Performative computational architecture using swarm and evolutionary optimisation: A review
9. Deterministic
10. Heuristic
11. Metaheuristic
12. Fred W Glover
13. Evolutionary Computation Algorithms

14. Genetic Algorithm
15. Lawrence Jerome Fogel
16. On the Evolution of Artificial Intelligence
17. Ingo Rechenberg
18. Evolutionsstrategie - Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution
19. John Holland
20. Adaptation in natural and artificial systems
21. The Blind Watchmaker
22. Richard Dawkins
23. Selection
24. Crossover
25. Mutation
26. Genetic Programming
27. Evolution Strategies
28. Swarm Intelligence Algorithms
29. Particle Swarm Optimization
30. Artificial Bee Colony
31. Ant Colony Optimization
32. Russel.C. Eberhart
33. James Kennedy
34. Yudong Zhang, Shuihua Wang and Genlin Ji
35. A Comprehensive Survey on Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications
36.Pheromone
37. Evolutionary Algorithms
38. Physics related Algorithms
39. Simulated annealing
40. External Optimization
41. River Formation Dynamic
42. Intelligent Water Drops
43. John Frazer
44. Michalewicz and Fogel
45. Maciej Nisztuk and Myszkowski B Paweł
۴۶. Autodesk offices in the MaRS Discovery District: در این پروژه که در سال ۲۰۱۸ به اتمام رسید، شش هدف بر اساس عملکرد و ترجیحات کارکنان با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه ارزیابی گردید (Nagy et al., 2017).

47. Project Discover: An application of generative design for architectural space planning, Danil Nagy

فهرست مراجع

۱. اسلیمی، هیراد؛ جمالی، علی؛ و نریمان زاده، نادر. (۱۳۹۶). بهینه‌سازی اندازه و توپولوژی سازه‌های خرپایی فضاکار با استفاده از الگوریتم ترکیبی برنامه‌ریزی ژنتیکی و نلدر-مید. مجله مهندسی مکانیک مدرس، ۴۰-۶،۳۲.

۲. امین‌زاده گوهرریزی، بهرام؛ توحیدی راد، سعید؛ و اسدی، روشنک. (۱۳۹۵). به‌کارگیری الگوریتم NSGA -II برای حل مسائل مکان‌یابی چندهدفه. *فصل‌نامه مطالعات شهری*، ۱۹، ۲۶-۱۵.

۳. جعفری، فاطمه. (۱۳۹۳). *کاربرد الگوریتم ژنتیک در حل مسئله طراحی معماری؛ (نمونه: طراحی مجتمع مسکونی باران)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۴. حیدری، مهدیه. (۱۳۹۴). *بهینه‌سازی فرم ساختمان‌های اداری بر اساس الگوریتم‌های تکاملی در جهت توسعه پایدار*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز.

۵. خبازی، زوبین. (۱۳۹۱). *پارادایم معماری الگوریتمیک*. مشهد: انتشارات کتابکده کسری.

۶. گلابچی، محمود؛ اندجی گرمارودی، علی؛ و باستانی، حسین. (۱۳۹۰). *معماری دیجیتال: کاربرد فناوری‌های CAD/CAM/CAE در معماری*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۷. لطف خدایی، بهزاد؛ و ابوالبشری، محمدحسین. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی طرح سازه‌های پیوسته دوبعدی با استفاده از روش الگوریتم تبرید تدریجی کارآمد. *مجله علمی پژوهشی مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها*، ۶ (۴)، ۴۸-۴۱.

۸. مردمی، کریم؛ سهیلی فرد، مهدی؛ و آقا عزیزی، مجید. (۱۳۹۴). همسازی سازه و معماری در راستای جانمایی بهینه تکیه‌گاه‌ها به روش الگوریتم ژنتیک (نمونه موردی: پوشانه‌های با فرم آزاد، طراحی‌شده بر اساس هندسه گره ایرانی). *فصلنامه علمی- پژوهشی نقش‌جهان*، ۵ (۲)، ۷۵-۶۵.

۹. مهدوی نژاد، محمدجواد؛ ارباب، مژگان؛ و ارباب، مریم. (۱۳۹۸). استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی چند هدفه لوورهای خارجی در ساختمان‌های اداری. *دوفصلنامه اندیشه معماری*، ۵، ۲۳۵-۲۱۴.

10. Asadi, S., & Geem, Z. W. (2015). Sustainable building design: A review on recent metaheuristic methods. *Studies in computational intelligence,* 585, 203-223.

11. Babaei, M., & Sheidaii, M. R. (2016). Desirability-based design of space structures using genetic algorithm and fuzzy logic. *Civil engineering*, 15(2), 231–245.

12. Bahrehmand, A., Batard, T., Marques, R., Evans, A., &

Blat, J. (2017). Optimizing layout using spatial quality metrics and user preferences. *Graphical models,* 93, 25–38.

13. Bamdad, K., Cholette, M. E., Guan, L., & Bell, J. (2017). Ant colony algorithm for building energy optimisation problems and comparison with benchmark algorithms. *Energy and buildings,* 154, 404-414.

14. Banerjee, A., Quiroz, J. C., & Louis, S. J. (2008). A model of creative design using collaborative interactive genetic algorithm. *Design computing and cognition,* 8, 397-416.

15. Bausys, R., & Pankrašovaite, I. (2005). Optimization of architectural layout by the improved genetic algorithm. *Civil engineering and management,* 11(1), 13-21.

16. Bentley, P. J. (1998). *The revolution of evolution in design: from coffee tables in Proceeding of recent advances in soft computing.* July 2-3, (pp. 172–182). Leicester.

17. Bizjak, M., Žalik, B., Štumberger, G., & Lukač, N. (2018). Estimation and optimisation of buildings' thermal load using LiDAR data. *Building and environment,* 128, 12-21.

18. Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: overview. *ACM computing surveys,* 35(3), 268–308.

19. Caldas, L., & Norford, L. K. (1999). *A genetic algorithm tool for design optimization.* ACADIA, 99.

20. Caldas, L., & Norford, L. K. (2002). A design optimization tool based on a genetic algorithm. *Automation in construction,* 11, 173–184.

21. Chen, K. W., Janssen, P., & Schlueter, A. (2018). Multi-objective optimisation of building form, envelope and cooling system for improved building energy performance. *Automation in construction,* 94, 449-457.

22. Chen, X., & Yang, H. (2017). A multi-stage optimization of passively designed high-rise residential buildings in multiple building operation scenarios. *Applied energy,* 206, 541-557.

23. Chiu, C. C., Cheng, Y. T., & Chang, C. W. (2012). Comparison of particle swarm optimization and genetic algorithm for the path loss reduction in an urban area. *Applied science and engineering,* 5(4), 371-380.

24. Cichock, J. M., Migalska, A., Browne, W. N., & Rodriguez, E. (2017). SILVEREYE– the implementation of Particle Swarm Optimization algorithm in a design optimization tool In *Proceeding of 17th International Conference CAAD Futures.* July 12-14, (pp.151–169). Singapore: Springer nature.

25. Coello Coello, C. (2002). Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: A survey of the state of the art. Computer methods in applied *Mechanics and engineering,* 19(11), 1245-1287.

26. Conceição António, C. A., Monteiro, J. B., & Afonso, C. F. (2014). Optimal topology of urban buildings for maximization of annual solar irradiation availability using a genetic algorithm. Applied *Thermal engineering*, 73(1), 424-437.

27. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). Introduction to algorithms. Cambridge: MIT press.

28. Cubukcuoglu, C., Chatzikonstantinou, I., Ekici, B., & Sariyildiz, S. (2016). Multi-objective optimization through differential evolution for restaurant design In *IEEE congress on evolutionary computation* (CEC). (pp. 2288 - 2295). July 24-29, Vancouver: IEEE.

29. Cuevas, E., Barocio, E., Emilio, E., & Arturo, C. (2019). *Introduction to metaheuristics methods in metaheuristics algorithms in power systems* (pp. 1 - 8). Basel: Springer.

30. Datta, S., Roy, S., & Davim, J. P. (2019). *Optimization techniques:* An overview In Datta, S., & Davim, J. P. (Eds.), Optimization in Industry, (Vol.2, pp. 1 - 11). Basel: Springer.

31. Dawkins, R. (1986). The blind watchmaker. New York: Norton & Company.

32. Delgarm, N., Sajadi, B., Kowsary, F., & Delgarm, S. (2016). Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO). Applied *Energy*, 170, 293-303.

33. Dhariwal, J., & Banerjee, R. (2017). An approach for building design optimization using design of experiments. *Building Simulation,* 10(3), 323–336.

34. Dino, I. G., & Üçoluk, G. (2017). Multiobjective design optimization of building space layout, energy and daylighting

performance. *Computing in Civil Engineering*, 31(5), 1-18.

35. Dorigo, M., & Stützle, T. (2019). Ant colony optimization: overview and recent advances In M. Gendreau, & J. Y. Potvin (Eds.), Handbook of metaheuristics: *International series in operations research and management science,* (Vol.272, pp. 311-351). Basel: Springer.

36. Doulgerakis, A. (2007). *Genetic programming + unfolding embryology in automated layout planning.* Unpublished master's thesis, Bartlett School of Graduate Studies, London.

37. Ekici, B., Cubukcuoglu, C., Turrin, M., & Sariyildiz, I. S. (2018). Performative computational architecture using swarm and evolutionary optimisation: A review. *Building and environment,* 147, 356–371.

38. Elezkurtaj, T., & Franck, G. (1999). Genetic algorithms in support of creative. *Architectural computing from Turing to 2000,* 645–651.

39. Evins, R. (2015). Multi-level optimization of building design. energy system sizing and operation. *Energy*, 90, 1775-1789.

40. Fasoulaki, E. (2007). Genetic algorithms in architecture: A necessity or a trend? *In 10th generative art international conference.* June 12-15, Milan.

41. Feldmeth, N. (1996). American church history," CH506, lecture "The attack upon orthodoxy. *Fuller theological seminary,* School of theology, California.

42. Finucane, E. L., Derix, C., & Coates, P. S. (2006). Evolving urban structures using computer optimisation techniques In *Generative Art Conference.* December 15-17, (pp. 1 26). Milan: Generative art

43. Flack, R. W. (2011). Evolution of architectural floor plans In *European conference on the applications of evolutionary computation.* April 27-29, (pp. 313-322). Torino: Applications of evolutionary computation.

44. Fogel, L. J., Owens, A., & Walsh, M. (1964). *On the Evolution of Artificial Intelligence In Fifth National Symposium on Human Factors in Electronics.* 5-6 May, (pp. 63–76). San Diego: IEEE.

45. Frazer, J. (1995). *An Evolutionary Architecture.* London: Architectural association.

46. Futrell, B. J., Ozelkan, E. C., & Brentrup, D. (2015). Bi-objective optimization of building enclosure design for thermal and lighting performance. *Building and Environment,* 92, 591-602.

47. Futuyma, D. J. (2017). *Evolution.* (4th ed.). Sunderland: Sinauer Associates.

48. Gerber, D. J., & Lin, S.H. E. (2014). Designing in complexity: Simulation, integration, and multidisciplinary design optimization for architecture. *Simulation*, 90(8), 936-959.

49. Gero, J. S., & Kazakov, V. A. (1997). Learning and re-using information in space layout planning problems using genetic engineering. *Artificial Intelligence in Engineering,* 12(3), 163-176.

50. Hall, B. K., Hallgrímsson, B., & Strickberger, M. W. (2008). *Strickberger's evolution: the integration of genes, organisms and populations.* (4th ed.). Sudbury: Jones and Bartlett.

51. Hansen, J. M., Raut, S., & Swami, S. (2010). Retail shelf allocation: A comparative analysis of heuristic and meta-heuristic approaches. *Journal of Retailing,* 86 (1), 94–105.

52. Hansen, N., Arnold, D. V., & Auger, A. (2015). *Evolution strategies* In J. Kacprzyk, & W. Pedrycz (Eds.), Springer handbook of computational intelligence (Vol.44, pp. 871 - 898). Berlin: Springer.

53. Harkouss, F., Fardoun, F., & Henry, P. B. (2018). Multi-objective optimization methodology for net zero energy buildings. *Building Engineering,* 16, 57-71.

54. Hassani, B., Tavakkoli, M., & Moghaddam, N. Z. (2011). Application of isogeometric analysis in structural shape optimization. *Scientia Iranica*, 18(8), 846-852.

55. Hegazy, T. (1999). Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management,* 125(3), 167-175.

56. Homayouni, H. (2007). *A genetic algorithm approach to*

space layout planning. Unpublished master's thesis, University of Washington, Seattle.

57. Inoue, M., & Takagi, H. (2008). Layout Algorithm for an EC-based Room In *IEEE Conference on Soft Computing in Industrial Applications.* June 25 - 27, (pp. 165–170). Muroran: IEEE.

58. Jackson, H. (2001). *Toward a symbiotic coevolutionary approach to architecture* In D. Corne, & P. C. Bentley (Ed.), Creative Evolutionary Systems (pp. 299–313). Burlington: Morgan Kaufmann.

59. Jagielski, R., & Gero, J. S. (1997). A genetic programming approach to the space. *CAAD futures,* 875, 875–884.

60. Jo, J. H., & Gero, J. (1998). Space layout planning using an evolutionary approach. *Artificial intelligence in engineering*, 12(3), 149-162.

61. Juneja, M., & Nagar, S. (2016). *Particle swarm optimization algorithm and its parameters: A review In International Conference on Control, Computing, Communication and Materials* (ICCCCM). October 21-22, (pp. 1-5). Piscataway: IEEE.

62. Karatas, A., & El-Rayes, K. (2014). Optimal trade-offs between social quality of life and life-cycle cost in housing units. *Construction Engineering and Management,* 140(12), 1-9.

63. Khajehpour, S., & Grierson, D. E. (2003). Profitability versus safety of high-rise office buildings. *Structural and Multidisciplinary Optimization,* 25(4), 279–293.

64. Kirimtat, A., Koyunbaba, B. K., Chatzikonstantinou, I., Sariyildiz, S., & Suganthan, P. N. (2016). Multi-objective optimization for shading devices in buildings by using evolutionary algorithms In *IEEE Congress on Evolutionary Computation* (CEC). July 24-29, (pp. 3917 – 3924). Vancouver: IEEE.

65. Knecht, K., & Koenig, R. (2010). Generating floor plan layouts with k-d trees and evolutionary algorithms In *GA2010 - 13th Generative Art Conference*. December 15-17, (pp. 238–253). Milan: Domus Argenia Publisher.

66. Koma, S., Yamabe, Y., & Tani, A. (2017). Research on urban landscape design using the interactive genetic algorithm and 3D images. *Visualization in Engineering,* 5(1), 1-10.

67. Koza, J. R. (1997). *Genetic programming* In H. Henderson (Ed.), Encyclopedia of computer science and technology (Vol.2, pp. 441–885). New York: Infobase publishing.

68. Kumar, A., Dutta, K., Gupta, A., Badyal, S., & Rohan, D. (2017). Assisting an architect with alternative automated space layout designs using order crossover genetic algorithm in Autocad in *International conference on advances in mechanical industrial, Automation and management systems* (AMIAMS). February 3-5, IEEE.

69. Lee, D., Lim, H., Kim, T., Cho, H., & Kang, K. I. (2018). Advanced planning model of formwork layout for productivity improvement. *Automation in Construction,* 85, 232–240.

70. Li, L. (2012). The optimization of architectural shape based on genetic algorithm. *Frontiers of architectural research,* 1(4), 392-399.

71. Li, Y., Chen, Y., Zhao, M., & Zha, X. (2018). Optimization of planning layout of urban building based on improved logit and PSO algorithms, *Complexity,* 2018, 1-11.

72. Machairas, V., Tsangrassoulis, A., & Axarli, K. (2014). Algorithms for optimization of building design: A review. *Renewable and sustainable energy reviews,* 31, 101-112.

73. Makris, D., Ioannis, H., Georges, M., & Dimitri, P. (2006). Multicad - MOGA: A system for conceptual style design of buildings in *Computer graphics and artificial intelligence conference.* May 23-24, (pp. 73-84).

74. Marin, P., Bignon, J.-C., & Lequay, H. (2008). A genetic algorithm for use in creative design processes. Halshs. Archives-ouvertes In *Annual conference of the association for computer aided design in architecture (ACADIA).* October 31, Minneapolis: halshs.

75. Michalek, J. J., & Papalambros, P. Y. (2002). Interactive design optimization of architectural layouts. *Engineering optimization,* 34(5), 485–501.

76. Mukherjee, I., & Ray, P. K. (2006). A review of optimization techniques in metal cutting processes. *Computers*

& Industrial Engineering, 50(1-2), 15–34.

77. Naboni, E., Malcangi, A., Zhang, Y., & Barzon, F. (2015). Defining the energy saving potential of architectural design. *Energy procedia,* 83, 140-146.

78. Nagy, D., Lau, D., Locke, J., Stoddart, J., Villaggi, L., Wang, R., Zhao, D. & Benjamin, D. (2017). Project Discover: An application of generative design for architectural space planning In SIMAUD 17: *Proceedings of the symposium on simulation for architecture and urban design*. May 22-24, (pp 1-8). Torento: John H. Daniels faculty of architecture.

79. Nisztuk, M., & Paweł, M. B. (2018). Sability of contemporary tools for the computational design of architectural objects: Review, features evaluation and reflection. *Architectural computing,* 16(1), 58 –84.

80. Özer, D. G., & Şener, S. M. (2013). User accessibility optimization using genetic algorithm: ADA. *A/Z ITU Journal of the faculty of architecture,* 10(2), 212-230.

81. Papadaki, I. N., & Chassiakos, A. P. (2016). Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms In M.H. Miroslaw, & J. Skibniewski (Eds.), *Creative construction conference 2016.* June 25-28, (Vol.164, pp. 20 – 27). Amsterdam: Elsevier B.V.

82. 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.* September 14-15, (pp. 173-180). Istanbul: Istanbul technical university.

83. Poblete, B., & de la, C. I. (2011). *Genetic algorithms as a design strategy in architecture.* Unpublished doctoral dissertation, Polytechnic University of Catalonia, Barcelona.

84. Rafiq, Y., & Rustell, M. (2013). Building information modeling steered by evolutionary computing, Journal of Computing in Civil Engineering. *Computing in Civil Engineering*, 28(4), 1-11.

85. Rapone, G., & Saro, O. (2012). Optimisation of curtain wall facades for office buildings by means of PSO algorithm. *Energy and Buildings,* 45, 189-196.

86. RazaviAlavi, S., & AbouRizk, S. (2017). Site layout and construction plan optimization using an integrated genetic algorithm simulation framework. *Computing in civil engineering,* 31(4), 1-10.

87. Rechenberg, I. (1971). *Evolutions strategie - Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution.* Unpublished doctoral dissertation, Technical University of Berlin, Berlin.

88. Rodrigues, E., Gaspa, A. R., & Gomes, A. (2013). Evolutionary strategy enhanced with local search technique for the space allocation problem in architecture Part 1: methodology. *Computer-aided design,* 45, 887-897.

89. Rosenman, M.A. (1997). *The generation of form using an evolutionary approach.* In: D. Dasgupta, & Z. Michalewicz (Eds), Evolutionary algorithms in engineering applications. (Vol.1, pp 69-85). Berlin: Springer.

90. Shih-Hsin, L., & Gerber, D. J. (2014). Multidisciplinary design optimization and performance boundaries for design decision support. *Energy and Buildings,* 84, 426-441.

91. Sakamoto, Y., Nagaiwa, A., Kobayasi, S., & Shinozaki, T. (1999). An optimization method of district heating and cooling plant operation based on genetic algorithm In *ASHRAE Annual Meeting,* June 19-23, (pp. 104-115). ASHRAE Transactions.

92. Schnier, T., & Gero, J. S. (1996). Learning genetic representations as alternative to hand-coded shape grammars. *Artificial intelligence in design,* 96, 39–57.

93. Serag, A., Ono, S., & Nakay, S. (2008). Using interactive evolutionary computation to generate creative building designs. *Artificial Life and Robotics*, 13(1), 246–250.

94. Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2008). *Genetic algorithms In Introduction to genetic algorithms* (pp. 15-37). Berlin: Springer.

95. Soddu, C. (2005). Argenìa, Artificial DNA and Visionary Variations In SIGraDi 2004. *Proceedings of the 8th Iberoamerican Congress of Digital Graphics.* november 10-12, Porto Alegre: Workshop e Palestras.

96. Sönmez, N. O. (2015). Architectural layout evolution through similarity-based evaluation. *Architectural computing,* 13(3-4), 271 – 279.

97. Su, Z., & Yan, W. (2015). A fast genetic algorithm for solving architectural design optimization problems. *Artificial intelligence for engineering design analysis and manufacturing*, 29(4), 457- 469.

98. Talbourdet, F., Michel, P., Andrieux, F., & Millet, J.-R. (2013). A knowledge-aid approach for designing high-performance buildings. *Building Simulation,* 6(4), 337–350.

99. Thakur, M. K., Kumari, M., & Das, M. (2010). Architectural layout planning using genetic algorithms In *3rd International conference on computer science and information technology.* July 9-11, (Vol.4, pp. 5–11). Beijing: Beijing University of Technology.

100. Virirakis, L. (2003). GENETICA: A computer language that supports general formal expression with evolving data structures. *Transactions on evolutionary computation,* 7(5), 456–481.

101. Wang, B., & Malkawi, A. (2015). Genetic algorithm based building form optimization study for natural ventilation potential in *14th conference of international building performance simulation association.* December 7-9, (pp. 640 – 647). Hyderabad, India.

102. Wang, W., Rivard, H., & Zmeureanu, R. (2006). Floor shape optimization for green building design. *Advanced engineering informatics,* 20(4), 363-378.

103. Wetter, M., & Wright, J. (2004). A comparison of deterministic and probabilistic optimization algorithms for nonsmooth simulation-based optimization. *Building and environment,* 39(8), 989-999.

104. Wong, S. S., & Chan, K. C. (2009). EvoArch: An evolutionary algorithm for architectural layout design. *Computer-Aided Design,* 41(9), 649-667.

105. Wright, J., & Alajmi, A. (2016). Efficient genetic algorithm sets for optimizing constrained building design problem. *Sustainable built environment,* 5(1), 123-131.

106. Yang, X. S., & Karamanoglu, M. (2013). 1 - *Swarm intelligence and bio-inspired computation:* an overview In X. Yang, Z. Cui, R. Xiao, A. H Gandomi., & M. Karamanoglu (Eds.), Swarm intelligence and bio-inspired computation-theory and applications (pp. 3-23). London: Elsevier.

107. Yazici, S. (2016). A parametric landscape urbanism method: The search for an optimal solution, *A/Z ITU Journal of the faculty of architecture.* 13(3), 155-16.

108. Yi, H. (2014). Automated generation of optimised building envelope: simulation based multiobjective process using evolutionary algorithm. *Sustainable building technology and urban development,* 5(3), 159 -170.

109. Youssef, A. M., Zhai, Z., & Reffat, R. M. (2018). Generating proper building envelopes for photovoltaics integration with shape grammar theory. *Energy and buildings,* 158, 326-341.

110. Zanakis, S. H., & Evans, J. R. (1981). Heuristic "Optimization": Why, When, and How to Use It. INFORMS *Journal on Applied Analytics*, 11(5), 84-91.

111. Zhang, L., Zhang, L., & Wang, Y. (2016). Shape optimization of free-form buildings based on solar radiation gain and space efficiency using a multi-objective genetic algorithm in the severe cold zones of China. *Solar energy*, 132, 38-50.

112. Zhang, X., & Shiu, Y. Y. (2015). A directional mutation operator for differential evolution algorithms. *Applied soft computing,* 30, 529-548.

113. Zhang, Y., Wang, S., & Ji, G. (2015). A Comprehensive survey on particle swarm optimization algorithm and its applications. *Mathematical problems in engineering,* 1-38.

ISSN 17359562 DOI: 10.30495/HOVIATSHAHR.2021.15714 © 2021 IAU

Investigating the Efficiency of Evolutionary Optimization Methods in Achieving Architectural and Construction Objectives

Maryam Sadeghian, *M. A, Faculty of Architecture and Urbanism, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*
Akram Hosseini*, *Assistant professor ,Faculty of Architecture and Urbanism, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

Abstract

The increasing popularity of the optimization approach in different sciences has led architects to use them to achieve various objectives in designing and constructing buildings. However, the functions, advantages, and limitations for each of these optimization strategies are scarcely known, due to their newness in architecture and construction fields Optimization algorithms are classified into three categories: deterministic, heuristic, and meta-heuristic algorithms. Meta-heuristic algorithms, are more efficient and categorized into three main groups: evolutionary computing, swarm intelligence, and physics-related algorithms. Most of the studies conducted on optimization algorithms, in this field, are on the application of one of the optimization algorithms in the design of a particular project. Limited research has been done in coordination with the subject of this study, investigating the application of these algorithms in a specific field. After reviewing the history and literature of the subject, to discuss how optimization methods are used in architecture, 77 related articles and theses that used optimization methods have been reviewed through scholar works published since 1996 (the first publications in this field) up to now. Selected research was analyzed using the textual content analysis method to determine "the efficiency of evolutionary optimization methods in achieving architectural and construction objectives" as the main research question; there were also several sub-questions on the way to answer the main question: Which architectural objectives are most achievable by using optimization algorithms? Which types of optimization algorithms are appropriate for architectural objectives? Which building functions have the most potential for using optimization methods? Which researchers conduct and support the research of evolutionary algorithms in building issues?. Optimization algorithms have been undertaken to solve design problems for six different objectives: mass design and urban access, construction and cost management, building's structural design, energy issues, building form generation and space planning. Various design variables have been defined to search for optimal response to each of the objectives. Among these objectives, the highest application of optimization algorithms is related to spatial planning optimization in residential buildings and energy optimization in official ones. The analysis of the publications demonstrates that various methods of meta-heuristic optimization have been used over time to solve architectural problems. Genetic Algorithm is the most widely used one in architectural optimization, and particle swarm optimization is the most common method in swarm intelligence based research. The review of studies indicates the predominantly theoretical attention of architectural scholars to this issue. Given the distance between the research and the implementation phase, architects should work more closely with researchers in other fields, especially those in computer science, to approach the implementation stage. However, the development of each of these areas requires the improvement of previous methods and research into how other algorithms, such as swarm intelligence based ones, can be used to solve design problems in architecture. The development of user-friendly software with a graphical user interface for a better grasp of the design process and results can affect architects' usage of evolutionary algorithms as a design method.

Keywords: Optimization, Metaheuristic Methods, Evolutionary Algorithms, Architectural Design Process.

* Corresponding Author Email:akram.hosseini@um.ac.ir