کاربرد الگوریتم‌های ریاضی پیشرفته در یکپارچه‌سازی فرآیند طراحی معماری*

کیا تدین[1]، محمدجواد مهدوی‌نژاد[2] و آزاده شاهچراغی[3]

تاریخ دریافت: 1398/12/10
تاریخ پذیرش: 1399/05/04

چکیده: هدف اصلی پژوهش بررسی ظرفیت و کاربرد الگوریتم‌های پیشرفته ریاضی در بازتعریف و یکپارچه‌سازی فرآیند طراحی معماری خلاق است. روش‌های نوین طراحی بیش از هر زمان دیگر بر اهمیت پایداری، بهینه‌سازی چندهدفه، انرژی رایانشی، فرم‌یابی اقلیمی، واقعیت مجازی، اینترنت اشیاء و کاربرد ابرداده‌ها تأکید دارند؛ الگویی که بر اساس نظریه معماری سرآمد، برای تعریف معماری آینده ضروری است. بر اساس روش‌شناسی پژوهش، برای تحلیل میزان تأثیر این الگوریتم‌ها، نمونه‌ای با حجم پنجاه عضو انتخاب شده تا کارآیی الگوریتم ژنتیک بررسی شود. بر اساس نتایج به دست آمده از طریق رگرسیون خطی و ضریب همبستگی اسپیرمن، میزان کارآیی الگوریتم ژنتیک به دلیل رفتار کاملا پیش‌بینی‌ناپذیر در مواجه با موضوعات مختلف از اعتبار کافی برخوردار نیست؛ اما مطابق با بررسی انجام گرفته در رگرسیون لجستیک، میزان رضایتمندی از نتیجه کاربرد الگوریتم ژنتیک بسیار بالا معادل 76% ارزیابی شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که الگوریتم‌های پیشرفته ریاضی مانند الگوریتم ژنتیک، توانایی اکتشاف و آفرینشگری خلاقانه در فرآیند طراحی معماری را تقویت می‌کنند، هرچند ممکن است که نتایج نهایی با خواسته‌های اولیه فاصله داشته باشد. از این رو در طراحی معماری با کمک هوش مصنوعی قوی، یادگیری عمیق ماشینی و در ترکیب با الگوریتم‌های ریاضی پیشرفته، نتایج مناسب‌تر و بهینه ارائه می‌شود.

واژگان کلیدی: الگوریتم‌های پیشرفته ریاضی، نظریه معماری سرآمد، بهینه‌سازی چندهدفه، یکپارچه‌سازی فرآیند طراحی معماری خلاق.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان "چارچوب‌سازی برای جانمایی بهینه پلان بناهای مسکونی با هایبرید الگوریتم‌های مولد و یادگیری ماشینی نظارت شده" است که در دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم دفاع شده است.

[1] **دانشجوی دکتری** معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[2] **استاد** گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)پست الکترونیکی: Mahdavinejad@modares.ac.ir

[3] **دانشیار** گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

1–مقدمه

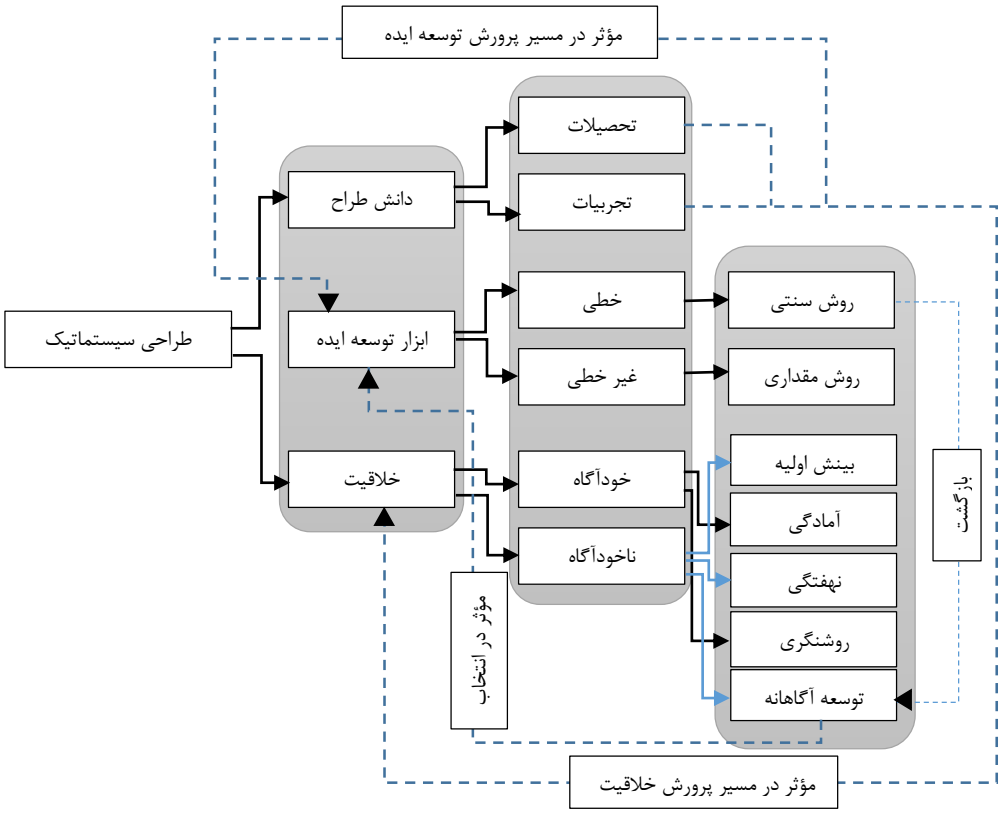
تحقق مفهوم «یکپارچگی» و یکپارچه‌سازی فرآیند طراحی معماری یکی از موضوعات بسیار مهم در ادبیات نوین فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری است. (Mahdavinejad and Hosseini, 2019) هرچند این موضوع به عنوان چالش پیش روی معماری معاصر جهان مطرح شده؛ اما تأکید بر مفهوم «یکپارچگی» ریشه در گذشته معماری سنتی ایرانی دارد. نگاهی تحلیلی به مفاهیم معماری گذشته گویای آن است که مفهوم «یکپارچگی» ریشه در معماری اسلامی و ایرانی دارد، (Sharghi et al., 2018) مفهومی که در معماری بومی از آن با عنوان «حکمت» یاد شده است. (Tereci, 2020) نوعی از که در آن نمی‌توان فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری را از معنویت جدا نمود. (Mahdinejad et al., 2020) روش‌های نوین تحلیل معماری مانند «عصب-شناسی» (Sadeghi et al., 2020) به خوبی نشان از تجلی مفهوم «یکپارچگی» در معماری سنتی ایرانی دارد.

فرآیند طراحی معماری موضوعی چندجانبه و تعاملی است، از این رو نیازمند تفکر سیستمی و یکپارچگی در فرآیند تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری شناخته می‌شود. (Daemei and Safari, 2018) از این مفهوم در نظریه معماری سرآمد با عنوان اصل یکپارچگی در فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری یاد می‌شود. (Mahdavinejad, 2017) میزان حضورپذیری و تعامل انسان با محیط (Shahcheraghi, and BandarAbad, 2018) به نحوی چشم‌گیر به یکپارچگی عناصر طراحی به کار رفته در آن بستگی دارد. مطالعات صورت گرفته در پیشینه پژوهش نشان داد که، فرآیند طراحی معماری یکپارچه، باعث کاهش هزینه‌های طراحی و اجرای ساختمان می‌شود (Lapinskienė et al., 2019)، البته به شرط آن که از نگاه معمارانه و رویکرد طراحی مبنا (Mahdavinejad, 2018) به خوبی استفاده شود. پیشینه پژوهش در حوزه «طراحی‌پژوهی» نشان می‌دهد که اساسا درک مساله پژوهش بدون توجه یکپارچه به اجزاء مختلف آن امکان پذیر نیست. (Yeretzian et al., 2020) توسعه مفهوم «پایداری» و اهمیت گرایش به معماری و شهرسازی پایدار موضوعی بسیار کلیدی و تأثیرگذار در شکل‌دهی به فرآیند طراحی معماری در جهان آینده است. (Mahdavinejad et al., 2014) این مهم با ورود فناوری‌های روزآمد و پیشرفته به جهان معماری و تغییرات شکلی و محتوایی آن، اهمیت بیشتری یافته است. (Mahdavinejad, 2014) رشد دانش معماری همراه با حضور رایانه در هدایت و راهبری فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری، باعث گسترش چندوجهی مفهوم «پایداری» شده است. (Mahdavinejad, 2018) از این رو ساختمان‌های آینده به شکلی جدی، ایجاد تعامل میان بخش‌های مختلف را با روش‌های پارامتریک و الگوریتمی دنبال می‌کنند. (Grydehøj and Kelman, 2016) مدل‌ها و الگوهای نوین «سنجش پایداری» ساختمان، رویکری یکپارچه به فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری را در دستور کار دارند، (Feria and Amado, 2019) مفهومی که توسط فِریا و آمادو با عنوان «فرآیند تصمیم-گیری یکپارچه» معرفی شده است.

«بهینه‌سازی چندهدفه» ماموریتی است که روز به روز، اهمیت آن در فرآیند طراحی معماری بیشتر احساس می‌شود. (Mahdavinejad and Javanroodi, 2014) اغلب روش‌های نوین طراحی معماری با استفاده از الگوریتم‌های ریاضی، به دنبال بهینه‌سازی فرم کلی ساختمان، جهت‌گیری (FallahTafti and Mahdavinejad, 2015)، تعامل فضاهای پر و خالی، تعامل فضاهای باز و بسته (HadianPour et al., 2018)، تعامل درون و برون (HadianPour et al., 2019) ، نوع ارتباط با محیط پیرامون (Javanroodi et al., 2018) و شکل دهی به ساختار کلی طرح (Javanroodi et al., 2019) است؛ موضوعی که به چالشی جدی برای آینده فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری تبدیل شده است. در رویکرد به پایداری با تأکید بر محیط (Zarghami and Sadeghi, 2015)، بهره‌وری در مصرف انرژی (Ghanbaran and HosseinPour, 2016) (Zarghami et al., 2018) و یا رویکرد همه جانبه (Pilechiha et al., 2020) ، چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی فرآیند طراحی معماری خلاق با «بهینه‌سازی چندهدفه» گره خورده است.

کاربردهای داده‌نگاری و روش‌های پیشرفته برنامه‌دهی مقداری روز به روز در فرآیند طراحی معماری معاصر افزایش می‌یابد. در این رویکرد، علاوه بر جنبه‌های فرهنگی و اجتماعی (Sharghi et al., 2018)، کاربرد فناوری‌های نوین تعاملی نیز مورد نظر است. (Gupta et al., 2019) روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های مقداری (Caetano and Leitão, 2019) و ریاضیات پیشرفته (Kasraei et al., 2016) یکی از مهمترین ابزارها برای ساماندهی این فرآیند پیچیده و هدایت همه‌جانبه آن محسوب می‌شود. تجربیات نوین فرآیند طراحی معماری پایدار در عمل، بر کارآیی الگوریتم‌های ریاضی پیشرفته در ساماندهی فرم کلی (Rahbar et al., 2019) و بازتعریف روابط پنهان در پلان معماری (Fan et al., 2019) تاکید دارند. از این رو می‌توان معماری دیجیتال را دریچه‌ای رو به یکپارچه‌سازی فرآیند طراحی معماری یا بخشی از تفکر روشمند و سیستمی معرفی نمود. بر اساس رویکرد سیستمی در فرآیند طراحی معماری، بخش‌های مختلف ایده و اجرا در هم تنیده می‌شوند. (Salama et al., 2019) مفهومی که در ادبیات موضوع با عنوان «روش‌شناسی پیوسته» شناخته می‌شود و هاردمن در رساله دکتری خود بر آن با عنوان «فرم‌دهی سیستماتیک» تاکید می‌کند. (Hardman et al., 2019) مطالعات صورت گرفته کارآیی این رویکرد در مراحل اولیه طراحی (Purup and Petersen, 2014) را به خوبی نشان می‌دهد. (شکل 1)

تحلیل خلاء دانش و ترسیم چارچوب بیان مسأله بیان می‌دارد که نکته‌ای که در پژوهش‌های قبلی مغفول مانده، معرفی ابزاری کاربردی در توسعه ایده و در فرآیند طراحی معماری استراتژیک است. ابزاری که به حل مسأله طراحی کمک کند و امکان پردازش اطلاعات نامحدود و بررسی بَرهَم کُنش این اطلاعات را ممکن گرداند. دلیل اصلی خلاء دانش، در زمینه معرفی یک ابزار کاربردی، دوری جستن پژوهشگران از ابزارهایی چون رایانه و احتمالا عدم اطمینان به کارآیی آنها بوده است.



شکل 1- مدلِ توصیف کننده تفکر الگوریتمی- سیستمی

Fig. 1- Prescribing model for algorithmic-systematic thinking

با بررسی روش‌های آموزشی طراحی معماری وجود یک روش هایبرید که انسان و رایانه را در کنار هم در طراحی معماری مورد ارزیابی قرار دهد به چشم نمی‌خورد. پژوهش حاضر در پی ارزیابی توانایی رایانه در شکل‌دهی به فرآیند طراحی معماری است. ابزاری که برای این ارزیابی انتخاب شده است «الگوریتم ژنتیک» است و دلیل این انتخاب، پتانسیل بالقوه این الگوریتم در پردازش اطلاعات عددی با تعداد بالاست. این پژوهش در پی یافتن پاسخ به این پرسش است که الگوهای مقداری و الگوریتم‌های ریاضیات پیشرفته به عنوان یکی از ابزارهای توسعه ایده چه نقشی در راهبری و هدایت فرآیند طراحی معماری یکپارچه، چه کاربردهایی دارند؟

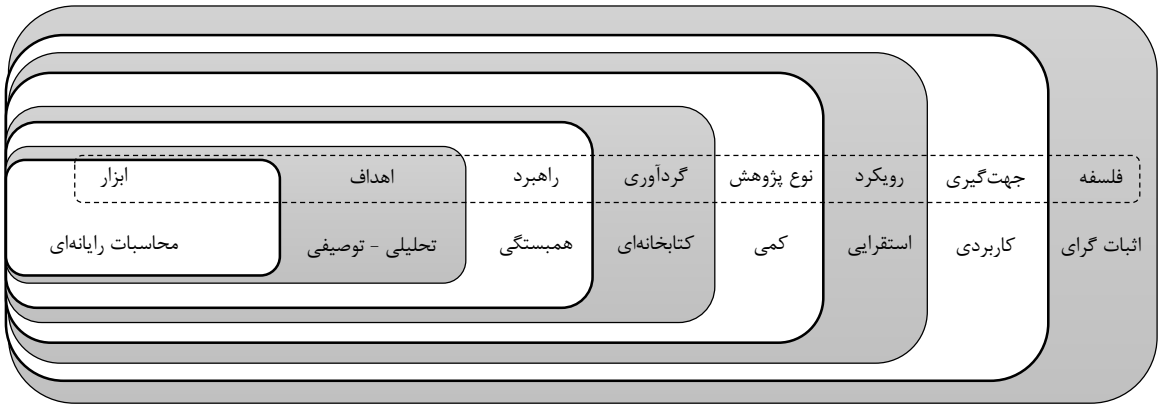
2–روش تحقیق

روش پژوهش حاضر از نظر فلسفی در زیر مجموعه اثبات گرایی و با جهت‌گیری کاربردی است. همچنین رویکرد پژوهش با توجه به ساختار الگوریتم ژنتیک استقرایی و از جزء به کل است. نوع پژوهش به دلیل ماهیت عددیِ آن کمی و گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای است همچنین راهبرد پژوهش از نوع همبستگی و با هدف توصیفی_تحلیلی و با ابزار شبیه‌سازی رایانه‌ای است. (شکل 2)

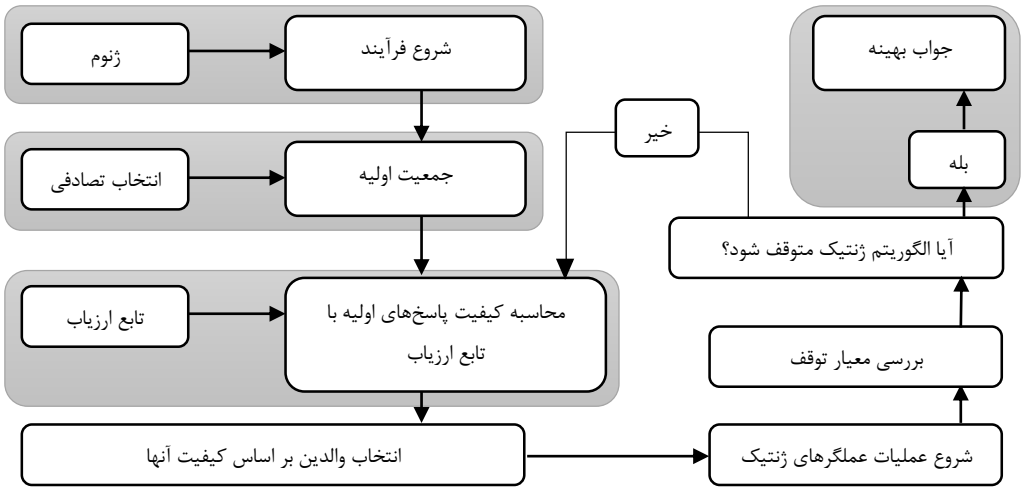
الگوریتم‌های پیشرفته ریاضی تکامل یافته‌ترین نمونه از پیشرفت ریاضیات در رایانه‌ها محسوب می‌شوند و نتیجه رشد قدرت محاسباتی‌ای هستند که با کمک زبان‌های برنامه نویسی سطح پایین و سطح بالا تولید شده‌اند و با زبان‌های برنامه‌نویسی بصری قابلیت ورود به عرصه معماری را به طور بالقوه در خود دارند. الگوریتم‌های ژنتیک در فضای پیچیده، جست‌وجوی قوی‌تری را فراهم می‌کنند. رفتار کلی الگوریتم ژنتیک (شکل 3) رایانش مبتنی بر بهینه‌یابی را تقویت می‌کند.

تعامل الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم ریاضیات پیشرفته در طراحی معماری با عوامل طراحی در چند سطح موازی صورت می‌پذیرد (شکل 4). در این مدل پارامترهای طراحی نقش کنترل فرم و شکل را بر عهده دارند و به عنوان ژنوم به الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شوند و تابع اقلیمی نیز پس همگام شدن با الگوریتم طراحی به عنوان تابع ارزیاب یا برازش به الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شود.

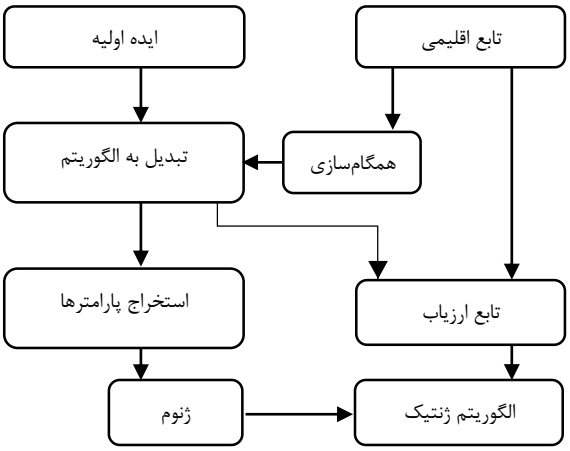
ابزار ارزشیابی ظرفیت الگوریتم ژنتیک در تفکر طراحی سیستماتیک معماری نرم‌افزار راینو و افزونه گرس‌هاپر تری دی در نرم‌افزار ذکر شده و افزونه لیدیباگ و هانی بی در گرسهاپر برای تحلیل نور و انرژی است. به این ترتیب موضوعی با عنوان طراحی یک برج مسکونی با مساحت 400 متر مربع در یک زمین مستطیلی با مساحت 900 متر مربع در شهر تهران مطرح شد. فرم اولیه پلان طبقه برج با توجه به ملاحظات زیبایی شناسی از شکل منحنی پیروی می‌کند. به این ترتیب جهت بررسی بهترین شکل ممکن برای حجم و پلان طبقه ساختمان، پارامترهایی برای بررسی جهت‌گیری، زاویه، چرخش و ارتفاع طبقات، به عنوان ژنوم تعریف شدند. در مرحله بعد فایل اطلاعات اقلیمی شهر تهران از پایگاه داده لیدی باگ برداشت شد، تا میزان تشعشع آسمان محاسبه شود و ماتریس آسمان به دست آید. در نهایت بر اساس این ماتریس و حجم خام ساختمان، آنالیز تشعشع به سطح پوسته بنا، به دست آید و از خروجی آنالیز تابش که با عنوان تشعشع کامل شناخته می‌شود، به عنوان تابع ارزیاب استفاده شود. در این تحقیق هدف این است که ساختمان در پلان طبقه و حجم، فرمی به خود بگیرد که در مرحله اول کمترین تابش و در مرحله دوم بیشترین تابش بر روی پوسته خود دریافت نماید. در نهایت نتایج به عنوان حجم نمونه مورد ارزیابی قرار گیرند. به دست آوردن فرم مناسب برای کمترین تابش، بخش مهمی از پژوهش است. برای محاسبه کمترین تابش، «تابع ارزیاب» (تشعشع کامل) را به عنوان معیار تناسب به الگوریتم ژنتیک (تابع گالاپاگوس) معرفی می‌شود و مقدار معیار تناسب بر روی حداقل قرار می‌گیرد. همچنین برای افزایش دقت بررسی، «میزان جمعیت والدین» و «تقویت اولیه» افزایش می‌یابد. در نهایت پارامترهای جهت‌گیری، زاویه چرخش، ارتفاع طبقات و شکل پلان طبقه را به عنوان ژنوم به الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شود. در شرایط فعلی الگوریتم ژنتیک به دنبال فرم و پلان طبقه‌ای است که با کمترین دریافت انرژی تابشی بر روی پوسته شکل گیرد.



شکل 2- ساختار پژوهش
Fig. 2- Research structure



شکل 3- رفتار کلی الگوریتم ژنتیک
Fig. 3- General behavior of genetic algorithm



شکل 4- تعامل الگوریتم ژنتیک و طراحی معماری
Fig. 4- Interaction of advanced mathematical algorithms and architectural design

(شکل 5) همان‌طور که مشاهده می‌شود پیشنهاد اولیه طراح، پلان طبقه‌ای با زیر بنای 400 متر مربع است، اما الگوریتم ژنتیک بهترین مساحت برای کمترین دریافت انرژی در پوسته و پلان طبقه را برای طبقه همکف 311 متر مربع به طراح پیشنهاد می‌کند که اختلاف قابل توجهی با پیشنهاد اولیه طراح از نظر ابعاد دارد. همان‌طور که مشخص است، هر چه فاصله بین توقف تابع ارزیاب و پاسخ بهینه کم می‌شود، نتایج به هم شبیه‌تر و به پاسخ نهایی نزدیک‌تر می‌شوند.

برای محاسبه بیشترین تابش، تابع ارزیاب (تشعشع کامل) به عنوان معیار تناسب بر روی حداکثر تنظیم شده است. در این شرایط الگوریتم ژنتیک به دنبال فرم و پلان طبقه‌ای می‌شود که با بیشترین دریافت انرژی تابشی بر روی پوسته شکل گیرد. (شکل 6) بر این اساس، طرح پیشنهادی الگوریتم ژنتیک برای بیشترین میزان تابش 408 متر مربع است که تقریبا با طرح اولیه طراح از نظر مساحت برابر است، اما از نظر شکلی متفاوت است.

بر اساس همین فرآیند طی شده، 50 پلان طبقه دیگر، با فرم و مساحت متفاوت (جهت ایجاد پراکندگی در حجم نمونه) در زمین با ابعاد 900 متر مربع (شکل مربعی) به عنوان حجم نمونه مورد آزمایش قرار گرفته است. از میانگین کمترین و بیشترین پیشنهاد الگوریتم ژنتیک برای مساحت پلان طبقه به عنوان «متغیر مستقل» استفاده شده. از مساحت فرم پیشنهادی اولیه طراح (ایده اولیه) نیز به عنوان «متغیر مستقل» دیگر استفاده شده. در این چارچوب فرایند طراحی معماری به عنوان «متغیر وابسته» و با مقدار (امتیاز) 100 (برای مثال اگر مساحت پیشنهادی طراح 400 و میانگین جواب الگوریتم ژنتیک 363 باشد این دو عدد در ابتدا از هم کم خواهند شد و حاصل آن عدد 37 خواهد بود. در نهایت عدد 100 از 37 کم شده و میزان متغیر وابسته فرایند طراحی معماری با 63 درصد رضایت از نتیجه در نظر گرفته خواهد شد) در نظر گرفته شده است. همچنین یک متغیر به عنوان «متغیر کیفی دو طبقه‌ای» تا مرز 40 متر مربع (به عنوان یک فرض) بالاتر یا پایین‌تر از عدد مساحت پیشنهادی طراح (ایده اولیه)، که توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود، را به عنوان «جواب رضایت‌بخش» در نظر می‌گیرد و بیش این عدد به عنوان «جواب نامناسب» محسوب می‌کند.

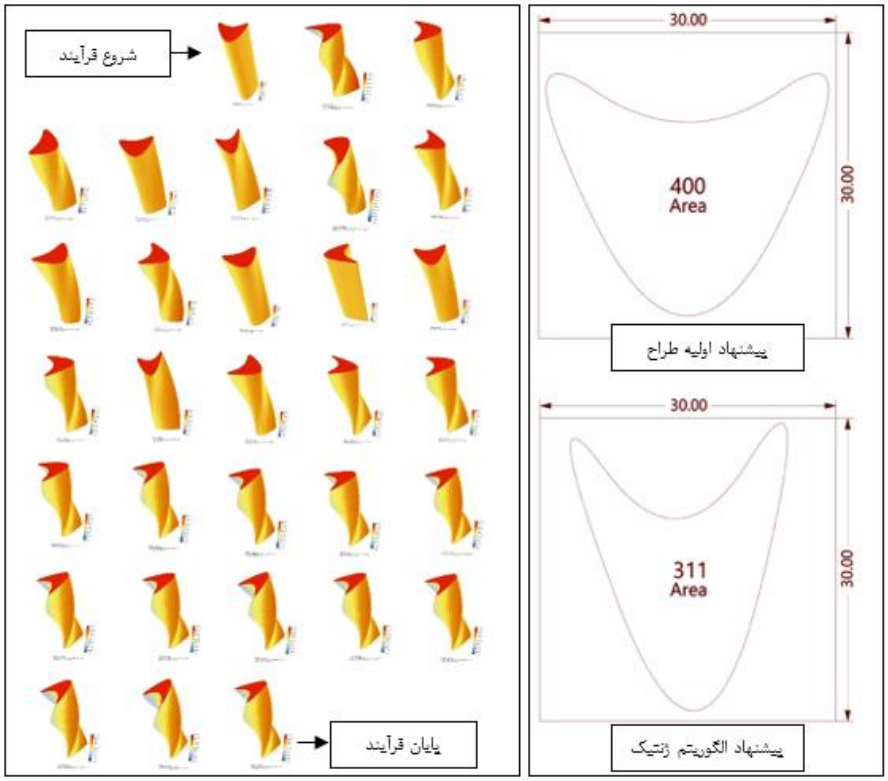
3- نتایج و بحث

برای بررسی میزان همبستگی میان متغیرها در نرم‌افزارSPSS در ابتدا توزیع نرمال داده‌ها بررسی شد. با مشاهده سطح معنا داری «زیگ» در زیر مجموعه «کولموگورو اسمیرنو» (جدول 1) مشاهده می‌شود که ایده اولیه و فرآیند «طراحی معماری» به احتمال بالای 95% از توزیع نرمال داده‌ها (با توجه به بیشتر بودن از عدد 0.05) پیروی می‌کنند. اما دو متغیر دیگر از توزیع نرمال پیروی نمی کنند، به همین جهت از «آزمون اسپیرمن» استفاده می‌شود.

طبق جدول اسپیرمن در (جدول 2)، میان الگوریتم ژنتیک و ایده اولیه با توجه به سطح معناداری 0.00 (که کمتر از 0.05) است و ضریب همبستگی 0.988%، می‌شود با اطمینان بالای 95% رابطه معنادار میان الگوریتم ژنتیک و ایده اولیه را تأیید نمود و در واقع می‌توان گفت، تغییرات این دو متغیر در جهت یکدیگر قرار دارند. اما میان فرایند طراحی معماری و رضایت از نتایج با توجه به سطح معناداری بالاتر از 0.05 از نظر آماری با اطمینان بالای 95% رابطه معناداری وجود ندارد.

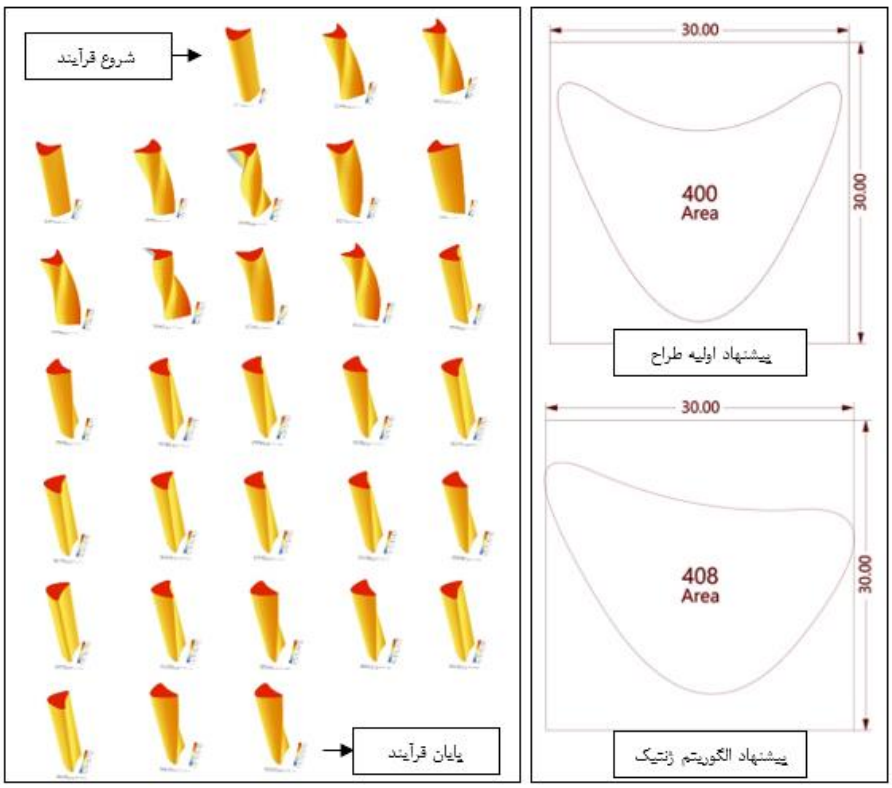
برای بررسی گرافیگی نتایج ضریب همبستگی (شکل 7)، نمودار پراکندگی در قالب ماتریکس، رابطه میان متغیرها را به صورت دو به دو نشان می‌دهد و به شکل کامل نتایج ضریب اسپیرمن را تأیید می‌نماید و تنها رابطه معنادار خطی میان الگوریتم ژنتیک و ایده اولیه طراحی است.

جهت بررسی دقیق نتایج، در (جدول 3) رگرسیون خطی به بررسی رابطه متغیر وابسته و متغیرهای مستقل پرداخته است. به دلیل وجود مقادیر کمتر از 0.1 در تولرانس و وی آی اف بالای 10، چند هم‌خطی و تکینی در رگرسیون وجود دارد که اعتبار آن را به چالش می‌کشد.



شکل 5- پیشنهاد الگوریتم ژنتیک برای کمترین تابش

Fig. 5- Proposing a genetic algorithm for minimum radiation



شکل 6- پیشنهاد الگوریتم ژنتیک برای بیشترین تابش

Fig .6- Proposing a genetic algorithm for maximum radiation

جدول 1- توزیع نرمال داده‌ها

Tab. 1- Normal distribution of data

نام	کولموگروف–اسمیرنو			شاپیرو–ویلک		
	آمار	درجه آزادی	سطح معناداری	آمار	درجه آزادی	سطح معناداری
ایده اولیه	0.121	50	0.066	0.931	50	0.006
میانگین الگوریتم ژنتیک	0.154	50	0.004	0.935	50	0.009
فرآیند طراحی معماری	0.079	50	0.200*	0.962	50	0.104
رضایت	0.471	50	0.000	0.530	50	0.000

جدول 2- ضریب همبستگی اسپیرمن

Tab. 2- Spearman's rank correlation coefficient

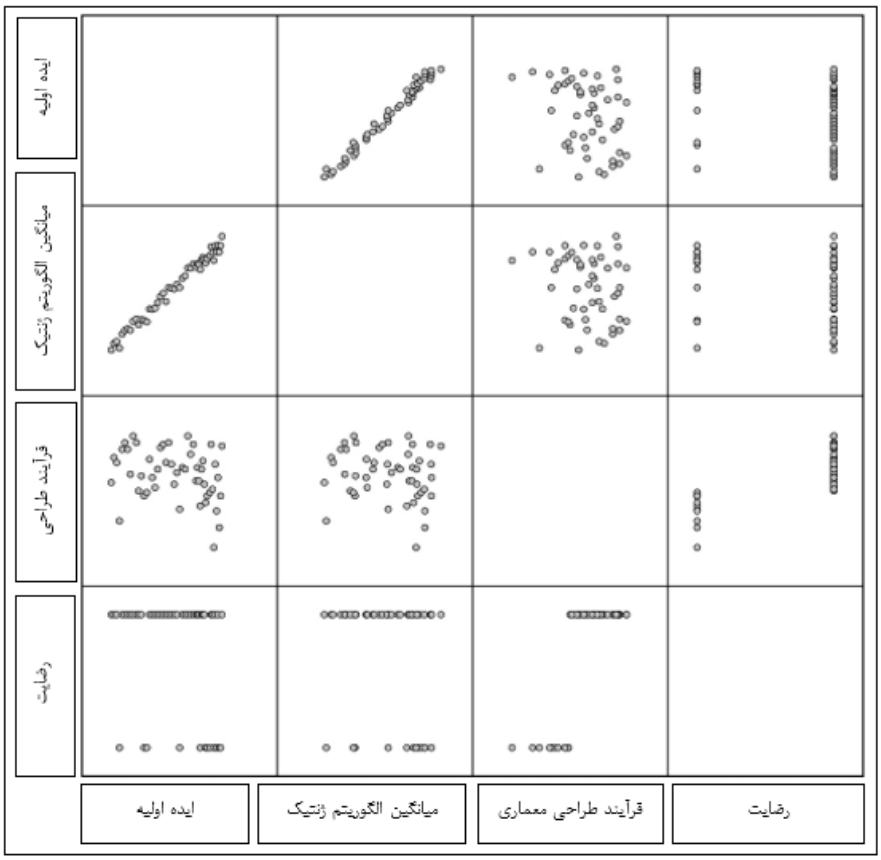
			ایده اولیه	میانگین الگوریتم ژنتیک	فرآیند طراحی معماری	رضایت
اسپیرمن	ایده اولیه	ضریب همبستگی	1.000	0.988**	-0.302*	-0.302*
		سطح معنا داری	.	0.000	0.033	0.033
		تعداد نمونه	50	50	50	50
	میانگین الگوریتم ژنتیک	ضریب همبستگی	0.988**	1.000	-0.194	-0.206
		سطح معنا داری	0.000	.	0.178	0.151
		تعداد نمونه	50	50	50	50
	فرآیند طراحی معماری	ضریب همبستگی	-0.302*	-0.194	1.000	0.740**
		سطح معنا داری	0.033	0.178	.	0.000
		تعداد نمونه	50	50	50	50
	رضایت	ضریب همبستگی	-0.302*	-0.206	0.740**	1.000
		سطح معنا داری	0.033	0.151	0.000	.
		تعداد نمونه	50	50	50	50

جدول 3- بررسی تولرانس و وی آی اف

Fig .3- Tolerance and VIF Review

مدل	ظرایب استاندارد نشده		ظرایب استاندارد شده	تی	سطح معنا داری	اطمینان 95٪ برای بی		همبستگی‌ها			آمار همخوانی	
	بی	انحراف استاندارد ارور	بتا			کران پایین	کران بالا	همبستگی حاشیه‌ای	جزئی	نیمه جزئی	تولرانس	وی آی اف
(ثابت)	100.22	2.99		33.46	0.000	94.20	106.25					
ایده اولیه	-.87	0.042	-7.28	-20.86	0.000	-0.96	-0.792	-0.285	-0.95	-0.93	0.017	60.5
میانگین الگوریتم ژنتیک	0.87	0.043	7.06	20.21	0.000	0.785	0.95	-0.166	0.94	0.908	0.017	60.5

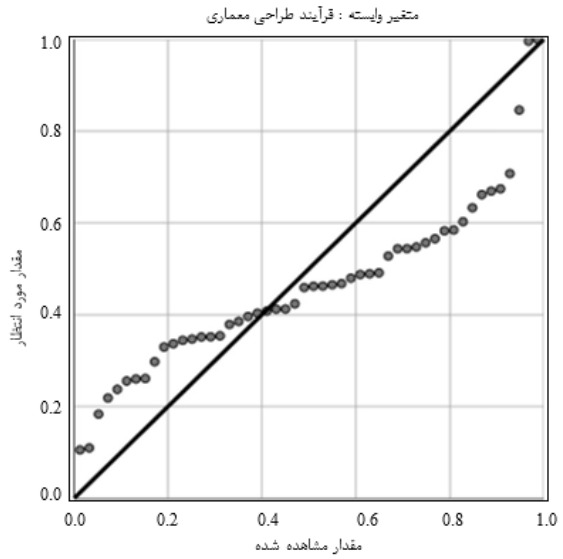
فرآیند طراحی معماری : متغیر وابسته



شکل 7- نمودار پراکندگی
Fig. 7- Scatterplot(matrix)

برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها در رگرسیون خطی (شکل 8) با توجه به اینکه مقادیر واقعی یا مشاهده شده (نقاط) بر روی مقادیر قابل انتظار(خط مورب) قرار نگرفته‌اند و فاصله قابل توجه دارند، نشان می‌دهد که توزیع نرمال وجود ندارد و فرض نرمال بودن پسماندها تأیید نمی‌شود؛ به عبارت دیگر بررسی نتایج دیگر رگرسیون خطی فاقد اعتبار علمی است. در واقع به دلیل غیر قابل پیش‌بینی بودن رفتار و نتایج الگوریتم ژنتیک در فرآیند سیستماتیک طراحی معماری، میزان تأثیر گذاری این متغیر مستقل در فرآیند طراحی معماری با رگرسیون خطی قابل بررسی نیست.

برای بررسی میزان رضایتمندی (به عنوان متغیر کیفی دو طبقه‌ای) از نتایج، تحت تأثیر آماره‌های دو متغیر الگوریتم ژنتیک و ایده اولیه طراحی (به عنوان متغیرهای مستقل) از رگرسیون لجستیک استفاده شده است. (جدول 4) طبق نتایج به دست آمده در فرآیند طراحی معماری از میان 50 آماره، 38 نمونه رضایت بخش و 12 نمونه عدم رضایت از نتایج را نشان می دهد. همچنین سطح رضایتمندی نهایی از نتایج 76%ارزیابی شده است.



شکل8- توزیع نرمال داده‌ها
Fig. 8- Normal p-p plot

جدول 4- سطح رضایتمندی
Tab. 4- Satisfaction level

مقادیر پیش بینی شده				
		رضایت		درصد درست
	مشاهده شده	راضی	ناراضی	
میزان رضایت	راضی	0	12	0.0
	ناراضی	0	38	100.0
درصد کلی				76.0

بر اساس نتایج نهایی رگرسیون لجستک (جدول 5) بین 56% تا 84% از تبیین متغیر وابسته کیفی دو طبقه‌ای (رضایت از نتایج) توسط متغیرهای مستقل (ایده اولیه و الگوریتم ژنتیک) انجام می‌شود.

جدول 5-درصد تبیین متغیر وابسته
Tab. 5- Percentage of explanation of dependent variable

خلاصه مدل			
مرحله	احتمال لوگ 2-	ضریب تعیین کوکس و اسنیل	ضریب تعیین ناگلکرک
1	13.928	0.561	0.840

4- نتیجه‌گیری

طبق نتایج این پژوهش الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم ریاضی پیشرفته در فرآیند طراحی معماری گذار است و آنچه مشخص است توانایی این ابزار توسعه ایده، در پردازش اطلاعات عددی است که می‌تواند پاسخ‌های بالقوه بیشتری را در اختیار طراح قرار دهد و امکان بیشترین حرکات غیر خطی را در فرآیند طراحی ممکن کند، اما تخمین دقیق میزان کارآیی این الگوریتم در فرآیند طراحی معماری به دلیل پیش‌بینی ناپذیربودن رفتار، نا ممکن به نظر می‌رسد. آنچه در آینده احتمالا درصد پیش‌بینی ناپذیریِ الگوریتم‌های ریاضیات پیشرفته را در فرآیند طراحی معماری کاهش خواهد داد، یادگیری ماشین خواهد بود. در صورتی که بتوان اطلاعات طراحی (منطبق با نیاز دقیق طراح) را به یک پایگاه داده وسیع (مانند پایگاه دانش مغز انسان) منتقل نمود و تمامی این پایگاه داده را در اختیار یک الگوریتم ریاضی پیشرفته با قابلیت یادگیری قرار داد، الگوریتم از پایگاه داده تجربه کسب کرده و پاسخ‌های مورد انتظار طراح را تولید خواهد نمود. به عبارت دیگر زمانی که قدرت استدلال و یادگیری از داده‌های آموزشی در یک الگوریتم ریاضی پیشرفته ممکن شود، تعامل میان ریاضی و معماری به بالاترین میزان ممکن خواهد رسید و احتمالا نقش ریاضیات پیشرفته در بخش‌های بیشتری از فرایند طراحی معماری ممکن خواهد شد و شاید این بخش‌ها تنها محدود به پارامترهای فیزیکی و عددی نباشند. در نهایت به نظر می‌رسد رویکردهای آینده نگرانه مانند معماری پایدار، بیشترین پتانسیل را در این زمینه داشته باشند. زیرا هم نگاهی منطقی به پیرامون خود دارند که این استدلال را برای ماشین ساده‌تر خواهد کرد و هم امکان ایجاد پایگاه داده‌های آموزشی (استانداردهای طراحی، اطلاعات اقلیمی، فرمول‌های ریاضی و...) در قالب کدها را ممکن می‌نماید. آنچه پیداست این که، کاربرد الگوریتم‌های ریاضیات پیشرفته، روز به روز در طراحی معماری افزایش خواهد داشت. این امر به عنوان جزئی از توسعه فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. بر اساس پیش‌بینی نگارندگان، شمایل فرآیند طراحی معماری در آینده به صورت کاملا سیستماتیک و تفکیک نشده برآورد می‌شود، به شکلی که الگوریتم‌های پیشرفته ریاضی در تعامل با پایگاه داده و یادگیری ماشین و تحت تأثیر دانش معمار در مسیر ابداع و اکتشاف قدم بر می‌دارند. در این فرآیند یادگیری ماشین با هدف محدود کردن جست‌وجوی تابع ارزیاب در بهترین نقطه ممکن الگوریتم ژنتیک را هدایت می‌کند. مفاهیم مطرح شده را به اختصار می‌توان این گونه جمع‌بندی نمود که کاربرد الگوریتم‌های ریاضی پیشرفته نقش بسیار قوی و مؤثری در یکپارچه سازی فرآیند طراحی خلاق در معماری بر عهده دارند.

منابع

Caetano, I. and Leitão, A. (2019). Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio. Journal of Computational Design and Engineering, 6(3), 327-336.

Daemei, A. B. Safari, H. (2018). Factors affecting creativity in the architectural education process

in hot-arid climate. Applied Energy, 231, 714-746.

Javanroodi, K. Nik, V. M. Mahdavinejad, M. (2019). A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas. Sustainable Cities and Society, 49, 101597.

Kasraei, M. H. Nourian, Y. Mahdavinejad, M. (2016). Girih for domes: analysis of three Iranian domes. Nexus Network Journal, 18(1), 311-321.

Lapinskienė, V. Motuzienė, V. Rogoža, A. (2019). The Assessment of Building Energy Functionality in the Integrated Building Design. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 16(1), 53.

Mahdavinejad, M. (2018). High-Performance Architecture: Grammar of the future architecture of Iran. Tehran: Tarbiat Modares University. [in Persian]

Mahdavinejad, M. (2014). Dilemma of Prosperity and Technology in Contemporary Architecture of Developing Countries. NaqsheJahan, 3(2), 35-42. [in Persian]

Mahdavinejad, M. (2017). Discourse of High-Performance Architecture: A Method to Understand Contemporary Architecture. HoviatShahr, 11(2), 53-67. [in Persian]

Mahdavinejad, M. (2020). Designedly Approach to Energy Efficiency in High-Performance Architecture Theory. NaqsheJahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 10(2), 75-83. [in Persian]

Mahdavinejad, M., and Hosseini, S. A. (2019). Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker Architecture prize (1977–2017). Journal of Architecture and Urbanism, 43(1), 71.

Mahdavinejad, M. Javanroodi, K. (2014). Natural ventilation performance of ancient wind catchers, an experimental and analytical study–case studies: one-sided, two-sided and four-sided wind catchers. International journal of energy technology and policy, 10(1), 36-60.

Mahdavinejad, M. Zia, A. Larki, A.N. Ghanavati, S. Elmi, N. (2014). Dilemma of green and pseudo green architecture based on LEED norms in case of developing countries. International journal of sustainable built environment, 3(2), 235-46.

based on computer-aided design. Frontiers of Architectural Research, 7(1), 100-106.

FallahTafti, R. and Mahdavinejad, M. (2015). Optimisation of building shape and orientation for better energy efficient architecture. International Journal of Energy Sector Management, 9(4), 593-618.

Fan, C. Sun, Y. Zhao, Y. Song, M. & Wang, J. (2019). Deep learning-based feature engineering methods for improved building energy prediction. Applied Energy, 240, 35-45.

Feria, M. and Amado, M. (2019). Architectural Design: Sustainability in the Decision-Making Process. Buildings, 9(5), 135.

Gupta, R. Tanwar, S. Tyagi, S. Kumar, N. (2019). Tactile-internet-based telesurgery system for healthcare 4.0: An architecture, research challenges, and future directions. IEEE Network, 33(6), 22-29.

Ghanbaran, A. and HosseinPour, M.A. (2016). Assessment of design parameter influence on energy efficiency in educational buildings in Tehran's climate. NaqsheJahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 6(3), 51-62. [in Persian]

Grydehøj, A. and Kelman, I. (2016). Island smart eco-cities: innovation, secessionary enclaves, and the selling of sustainability. Urban Island Studies, 2, 1-24.

HadianPour, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, M. Nasrollahi, F. (2018). Seasonal differences of subjective thermal sensation and neutral temperature in an outdoor shaded space in Tehran, Iran. Sustainable cities and society, 39, 751-764.

HadianPour, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, M. HaghShenas, M. KordJamshidi, M. (2019). Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran. Building and Environment, 150, 164-180. [in Persian]

Hardman III, R. (2019). Systemic Formation: Multi-Agent Simulations for Architecture (Doctoral dissertation, University of Cincinnati), ProQuest Dissertations Publishing, 27534897.

Javanroodi, K. Mahdavinejad, M. Nik, V. M. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential

Sharghi, A. Jahanzamin, Y. Ghanbaran, A. Jahanzamin, S. (2018). A study on evolution and development of urban regeneration with emphasis on the cultural approach. Turk. Online J. Des. ART Commune., 271-284.

Sharghi, A. Zarghami, E. Salehi Kousalari, F. (2018). A systematic analytical study about the effective criteria on the life quality in nursing homes. Journal of Gerontology, 2(3), 44-56.

Yamato, Y. Shen, Z. Mardin, R. (2019). International Review for Spatial Planning and Sustainable Development. International Review for Spatial Planning and Sustainable Development, 7(3), 63-78.

Yeretzian, A. Partamian, H. Dabaghi, M. Jabr, R. (2020). Integrating building shape optimization into the architectural design process. Architectural Science Review, 63(1), 63-73.

Zarghami, E. and Sadeghi HabibAbad A. (2015). New technologies in construction materials based on environmental approach (Case study: Double skin facades). Mediterranean Journal of Social Sciences, 6(6 S6), 17.

Zarghami, E. Sharghi, A. Olfat, M. Kousalari, F. S. (2018). Using multi-criteria decision-making method (MCDM) to study quality of life variables in the design of senior residences in Iran. Ageing International, 43(3), 279-296.

Mahdinejad, J. Azemati, H. Sadeghi HabibAbad, A. (2020). Religion and Spirituality: Mental Health Arbitrage in the Body of Mosques Architecture. J Relig Health, 59, 1635–1651.

Pilechiha, P. Mahdavinejad, M. Rahimian, F.P. Carnemolla, P. Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. Applied Energy, 261, 114356.

Purup, P. B. Petersen, S. (2020). Research framework for development of building performance simulation tools for early design stages. Automation in Construction, 109, 102966.

Rahbar, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, M. Davaie Markazi, A. H. Hovestadt, L. (2019). Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. Applied Artificial Intelligence, 33(8), 689-705.

Sadeghi HabibAbad, A. Mahdinejad, J. E. D. Azemati, H. Matracchi, P. (2020). Correction to: Using Neurology Sciences to Investigate the Color Component and Its Effect on Promoting the Sense of Spirituality in the Interior Space of the Vakil Mosque of Shiraz (Using Quantitative Electroencephalography Wave Recording). Journal of Religion and Health, 1-1.

Shahcheraghi, A. and BandarAbad, A. (2018). Environed in Environment. Tehran: Jahade_e_daneshgahi. [in Persian]

Salama, A.M. (2019). Methodological research in architecture and allied disciplines: Philosophical positions, frames of reference, and spheres of inquiry, Archnet-IJAR, 13(1), 8-24.