فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران
سال چهاردهم، شماره سی و هشتم، تابستان ۱۴۰۳



نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷
صفحات: ۱۸-۱
10.52547/mmi.1676.14020427

# طراحی و ترسیم خودکار پلان‌های معماری با ترکیب الگوریتم‌های تکاملی، یادگیری ماشین و مبتنی‌بر نمونه

رضا باباخانی* آزاده شاهچراغی** حسین ذبیحی***

## چکیده

اکنون ایجاد ادراک در نرم‌افزارهای رایانه‌ای از مهم‌ترین چالش‌های معماری دیجیتال است. چراکه نرم‌افزارهای رایانه‌ای از مهم‌ترین ادوات معماران و یا طراحان به شمار رفته و به‌صورت گسترده در زمینه طراحی پروژه‌ها، به کار گرفته می‌شوند. در طراحی به کمک نرم‌افزارهای دیجیتالی، رسیدن به طرح و چیدمان بهینه یکی از مراحل مهم و تأثیرگذار به شمار می‌رود. اما نرم‌افزارهای رایانه‌ای هیچ‌گونه شهود ذاتی دربارهٔ فرایند طراحی ندارند و این علت اصلی واگذار نکردن فرایندهای طراحی به رایانه‌هاست. ازاین‌رو هدف این پژوهش، تبیین روشی محاسباتی مبتنی‌بر نمونه داده‌های کمّی و کیفی برای ایجاد شهود نسبی در ماشین‌ها ازطریق ترکیب الگوریتم‌های تکاملی و یادگیری ماشین است. روش پژوهش کمّی و کیفی در بستر الگوریتم‌های ژنتیک (Genetics)، یادگیری ماشین (k-means clustering) و همچنین یادگیری مبتنی‌بر نمونه (instance based) است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد برخلاف روش‌های مبتنی‌بر ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و برنامه‌نویسی ژنتیک می‌توان با ترکیب سه الگوریتم: ژنتیک، یادگیری ماشین و مبتنی، علاوه‌بر ایجاد شهود نسبی در ماشین‌ها، دقت و سرعت تولید نقشه‌ها را افزایش داد. همچنین ویژگی دیگر روش پیشنهادی، نرخ یادگیری نزدیک به نود درصد در شناسایی و ارائه طرح‌هاست. البته تولید پلان توسط رایانه‌ها در گام‌های اولیه خود است و هنوز فرایند طولانی لازم است تا این گام توسط رایانه‌ها به‌طور کامل برداشته شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**واژگان کلیدی:** تولید خودکار پلان، الگوریتم ژنتیک، یادگیری ماشین، مبتنی‌بر نمونه، کی‌مینز.

* دکتری معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
reza.babakhani@srbiau.ac.ira
** دانشیار، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
*** دانشیار، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

**مقدمه**

نرم‌افزارهای طراحی به کمک رایانه‌ها (CAD) از زمان ظ‌هورشان در دانشگاه‌ها، دهه ۱۹۵۰، تأثیر چشمگیری در فرایند پیاده‌سازی طرح‌های معماری داشته‌اند. اگرچه پیشاپیش محققان تعامل گسترده‌ای را در آینده بین رایانه‌ها و طراحان انسانی را متصور بودند (Negroponte, 1969: 3). این تصور باعث گردید اولین ابزارهای رایانه‌ای برای طراحی به‌طور گسترده توسط معماران به کار گرفته شود. با اینکه نسخه‌های رایانه‌ای ابزارهایی جایگزین برای تهیه و ارائهٔ سنتی طرح‌ها بر روی برگه‌های بزرگ کاغذی محسوب می‌شدند، و ازطرفی نسخه‌های جدید امکان تولید طرح را به طراحان بسیار سریع‌تر از روش‌های سنتی ارائه می‌دادند اما این ابزارها یا نرم‌افزارهای رایانه روند طراحی را اساساً تغییر ندادند (Nagy et al., 2017: 6).

نرم‌افزارهای طراحی تأثیر چندانی در ایده و یا خلق طرح نداشته‌اند، به‌گونه‌ای که با گذشت بیش از سه دهه هنوز فرایند طراحی را انسان بر روی نسخه‌های کاغذی انجام و سپس کاربر ازطریق نرم‌افزارها آن را به رایانه‌ها انتقال می‌دهد. اما این فرایند را نمی‌توان دخالت رایانه در طراحی دانست، چراکه مفهوم طراحی مولد، نوعی تعیین‌تکلیف رایانه برای بررسی فضای طراحی به‌صورت نیمه‌مستقل است. همچنین طراحی مولد یعنی گزارش دادن نتایج به طراح و ارائه گزینه‌هایی که برای تجزیه‌وتحلیل بیشتر مؤثر هستند. درحقیقت ازآنجایی‌که رایانه‌ها می‌توانند خیلی سریع‌تر از انسان اطلاعات را پردازش کنند، بنابراین چنین سیستمی امکان کاوش عمیق‌تر فضاهای پیچیدهٔ طراحی را با سرعت و نتایج متنوع فراهم می‌کند. چنین رویکردی برای بهینه‌سازی یک مدل و دستیابی به حداکثرِ عملکرد ممکن در حداقلِ زمان براساس اهداف مشخص، می‌تواند استفاده شود (Marler, 2004: 369).

درواقع تلاش برای رسیدن به عملکرد مناسب و بهینه می‌تواند منطق ایجاد ادراک ابتدایی را در ماشین‌ها برای فرایند طراحی فراهم کند چراکه اکنون ماشین‌ها ذاتاً نسبت به انجام فرایند طراحی ادراکی ندارند و این، مسئلهٔ اصلی واگذار نکردن فرایند طراحی به رایانه‌هاست. در وضعیت کنونی، باید انسان طراح صریحاً برای رایانه شرح دهد که کدام طرح‌ها بهتر از سایر طرح‌ها عمل می‌کنند (باباخانی و همکاران، ۱۴۰۱، ۵). اما با ایجاد ادراک در ماشین‌ها این مدل به یک الگوریتم جست‌وجو متصل می‌شود که می‌تواند پارامترهای ورودی مدل را کنترل و از معیارها بازخورد گیرد و به‌طور هوشمندانه پارامترها را تنظیم نماید تا طرح‌هایی با عملکرد بالا را استخراج کند. برای مثال، یکی از امیدوارکننده‌ترین، این الگوریتم‌ها، الگوریتم ژنتیک است که از اصول تکامل و محاسبات پیچیده برای ایجاد نسل‌های پی‌درپی از طرح‌ها و تکامل آن‌ها برای طرح‌هایی با عملکرد بیشتر در طول زمان استفاده می‌کند (Murata, 2020: 289).

الگوریتم‌های تکاملی با استفاده از کراس‌اوورها و جهش‌ها، می‌توانند فضای جست‌وجوی طرح را به‌خوبی کشف نمایند. در این روش، از استراتژی تکامل برای قرار دادن فضاها یا اتاق‌ها در بخش‌های مختلف زمین استفاده می‌شود. همچنین برای رعایت تناسبات فضایی (ابعاد اتاق‌ها)، تابعی به‌صورت جریمه عملیات طراحی را هدایت می‌نماید. درضمن برای جابجایی چیدمان اتاق‌ها برای رسیدن به چیدمان بهینه می‌توان در کراس‌اوورها تغییرات جهش و تولید نسل‌های جدید را ایجاد کرد (Knecht & König, 2010: 238).

اخیراً، یک شیوه طراحی خودکار مبتنی‌بر بردار و کاوش کارآمد از فضای جست‌وجوی طراحی پیشنهاد شده است (Merrell, 2010: 181). بااین‌حال، این روش بُرداری برای پشتیبانی از طراحی تعاملی با کاربر یا همراه نمودن کاربران در فرایند طراحی و چیدمان جدید ارائه نگردیده است.

"هار ادا و همکاران" سیستمی را طراحی کرده‌اند که به کاربران امکان می‌دهد اتاق‌ها را به‌صورت تعاملی انتخاب کنند. در این روش به‌طور خاص، الگوریتم به‌دنبال یک حالت همسان یا مشابه است که به بهترین وجه نیازهای کاربر را از مجموعه‌ای از نمونه‌های ازپیش طراحی‌شده برای حالت‌های مختلف پیشنهاد کند. درواقع این روش مبتنی‌بر نمونه‌های مختلف ازپیش طراحی‌شده است (Harada et al., 1995: 208). همچنین در این فرایند به‌غیر از اشاره به مجموعه محدودی از قوانین، ضوابط و آیین‌نامه‌ها، فرایند بررسی هم‌زمان فیزیکی و روابط فضایی نیز در زمینه یافتن فرم هندسی مناسب بررسی شده است (Umetani, 2012: 8).

بررسی راهکارهای گوناگون نشان می‌دهد تولید طرح‌های معماری به برنامه‌ریزی فضایی نیاز دارد و هدف، یافتن مکان‌ها و ابعاد عملی برای مجموعه‌ای از فضاهای به‌هم‌پیوسته است که تمام الزامات طراحی را برآورده کنند و ازنظرِ ترجیحاتِ طراحی حداکثر کیفیت طراحی را داشته باشند (Michaleka et al., 2002: 46). زیرا باید به‌جای تولید راه‌حل‌های غیربهینه، به طرح‌های قابل‌قبول و بهینه پرداخته شود (Levin, 2022: 14).

اکنون بعد از سال‌ها پیشرفت در افزایش توانایی الگوریتم‌ها در محاسبات و انجام اصلاحات پی‌درپی، راه‌حل عملی برای ایجاد ادراک در فرایند طراحی توسط ماشین‌ها ممکن گردیده است، اما مسئله ایجاد درک در ماشین‌ها در میان پرداختن به

محدودیت‌های توپولوژیکی و ابعاد فضاها به‌عنوان اولویت‌های دوگانه در حال رفت‌وبرگشت است (Verma, 2010: 272).

درحقیقت، محدودیت‌های توپولوژیکی مجموعه‌ای از فضاها و رابطه بین آن‌ها را کنترل و آن‌ها را به‌ترتیب چیدمان فضایی پاسخگو به یکدیگر می‌کند. درحالی‌که محدودیت ابعاد فضا بر روی یک فضا اعمال می‌شود، یعنی حداقل و حداکثر ابعادی که برای یک فضای خاص امکان‌پذیر است. محققان و معماران مختلف پاسخ‌های مختلفی را به دو مجموعه از محدودیت‌های توپولوژیکی و ابعاد فضاها داده‌اند و اولویت‌های مختلفی را در فرایند طراحی خودکار مدنظر داشته‌اند (Manish, 2010: 9).

انگیزه اصلی یا هدف اول این تحقیق تبیین روشی محاسباتی مبتنی‌بر نمونه داده‌های کمّی و کیفی برای ایجاد ادراک نسبی در ماشین‌ها ازطریق ترکیب الگوریتم‌های تکاملی و یادگیری ماشین است. هدف دوم بسترسازی برای حضور طراح در فرایند یادگیری ماشین برای ارائه طرح اولیه است که مبتنی‌بر فعالیت و حاصل خلاقیت و ایده انسانی است.

درواقع هدف، رسیدن به یک روش مناسب برای تولید خودکار پلان‌های معماری توسط هوش مصنوعی است که توانایی شناسائی طرحی مناسب را براساس نیاز کاربر دارد و هم‌زمان می‌تواند قوانین، ضوابط و آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی را براساس ابعاد و اندازه‌های زمینِ مورد طراحی ارائه نماید.

اکنون فرضیه پژوهش بر این است که می‌توان با به‌کارگیری نمونه‌های تولیدشده توسط طراح و ترکیب الگوریتم‌های تکاملی (ژنتیک) و الگوریتم‌های یادگیریِ (KNN&K-means) ماشین به‌صورت تعاملی و هم‌زمان، فرایندی را ایجاد کرد که این هدف محقق گردد.

## پیشینه پژوهش

"میچل"[۱] در سال ۱۹۷۶ نخستین تئوری هم‌نهاد و بهینه‌سازی را در تولید پلان‌های معماری با نام برنامه‌ریزی چیدمان فضا با استفاده از رویکرد تکاملی ارائه نموده که در این پژوهش به شانزده حالت ممکنِ قرارگیری مربع و مستطیل‌ها دست یافته است (Jun & John, 1998: 154). همچنین سال ۱۹۹۶ "جو و ژرو"[۲] براساس پژوهشی با عنوان طراحی فضاهای معماری با استفاده از الگوریتم ژنتیک پلان‌های معماری را شبیه‌سازی کرده‌اند (Verma & Thakur, 2010: 268).

سال ۱۹۹۷ پژوهشگرانی همچون "اشنایر و گرو، گرو و کازاکوف یاگیلسکی"[۳] در قالب تحقیقاتی با نام ژن‌های طراحی درحال تکامل در مسائل برنامه‌ریزیِ چیدمان فضا توانستند با الگوریتم‌های ژنتیک و برنامه‌نویسی، نمونه‌هایی از پلان‌های معماری را تولید کردند (Gero, 1998: 166).

"گارزا و ماهر، بنتلی، السکورتاج و فرانک"[۴] از سال ۱۹۹۸ تا ۱۹۹۹ در پژوهشی با عنوان مروری بر ادبیات بهینه‌سازیِ برنامه‌ریزی فضایی با استفاده از رویکرد الگوریتم تکاملی به کمک الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم استراتژی تکاملی، توانستند ترکیبات فضایی معماری را پدید آوردند (Calixto & Celani, 2015: 21).

در ادامه طی پژوهش‌هایی که در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲ "کاتوش"[۵] با نام مروری بر الگوریتم ژنتیک: گذشته، حال و آینده انجام داده، تولید پلان را ازطریق الگوریتم‌های ژنتیک و برنامه‌نویسی درجه دومِ متوالی ممکن کرده است (Katoch, 2021: 80).

همچنین از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ تلاش‌های مجدد مختلفی توسط "دولگراکیس"[۶] و همکارانش در جهت تولید پلان‌های معماری با الگوریتم‌های ژنتیک و برنامه‌نویسی ژنتیک با عنوان برنامه‌نویسی ژنتیک + تبارشناسی آشکار در برنامه‌ریزی طرح‌بندی خودکار صورت گرفته است که این تلاش‌ها ازطرفِ محققانی همچون "ماکریس، ویریراکیس، باسیس پانکراسوویت، بانرجی، سراج، همایونی و دولگراکیس" بوده است (Doulgerakis, 2007: 28).

گرچه پیشینهٔ تحقیق نقشه راه را نشان می‌دهد اما از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ تغییراتی در پژوهش‌های این پارادایم صورت گرفت و رویکرد پژوهش‌ها در استفاده از تک‌الگوریتم ژنتیک یا برنامه‌نویسی به سمت ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک با سایر الگوریتم‌های نوظهور حرکت کرد. به‌نحوی‌که براساس جدول ۱ پژوهشگرانی چون "وونگ و چان، بنجامین دلنبرگر، تاکور و همکاران، دلا باررا پوبله، کنشت، فلاک"[۷] این پژوهش‌ها را صورت بخشیدند و نتایج آن، تولید پلان‌های معماری مختلف بود. همچنین در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲ دو پژوهشگر به نام‌های "ریکاردو لوپس و همکاران"[۸] و "راینهارد کونیگ"[۹] ازطریق روش الگوریتم سلسله‌مراتبی توانستند تقسیمات فضایی را جهت تولید پلان‌های جدید استفاده کنند.

ستون روش در جدول ۱، تکنیک پژوهش‌های ۱۰سال گذشته را نشان می‌دهد که حرکت به سمت ترکیب الگوریتم‌ها از اولویت‌های پژوهشگران بوده و موفقیت‌هایی در زمینهٔ استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی در تولید پلان براساس طراحیِ چندعاملی به دست آمده است. فرضیات این پژوهش‌ها بر این پایه استوار است که می‌توان با ترکیب الگوریتم‌های مختلف هوش مصنوعی (الگوریتم ژنتیک، تپه نوری، سوارم و غیره) فرایند تولید کردن پلان را درعین‌حال که سرعت بخشید، داده‌های مختلف محیطی، مباحث انرژی و ضوابط طراحی را

با کیفیت مناسب در فرایند طراحی پلان معماری دخالت داد.

نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می دهد این ترکیب الگوریتم‌ها نتوانسته‌اند بیش از ۱۰ فضا را به‌صورت منظم استخراج نماید و این الگوریتم‌ها در فرایند طراحی دچار جهش‌های مضر یا همان جانمایی فضاها به صورت غیر اصولی گردیدند. اما مهم‌ترین مسئله این است که این جهش‌ها در ساختار الگوریتم‌های تکاملی است، مانند جهش‌های ژنتیکی موجود در طبیعت که گاهی مفید و گاهی مضر هستند. گروه دوم، الگوریتم‌های یادگیری عمیق هستند که براساس پیشینه‌های بررسی‌شده هنوز ترکیبی از این الگوریتم‌ها را با یکدیگر مانند الگوریتم‌های تکاملی مشاهده نمی‌کنیم. در دسته الگوریتم‌های یادگیری عمیق نوعی از الگوریتم‌های تخاصمی وجود دارد که در سال‌های اخیر متداول گردیده و براساس پیکسل تصاویر پلان‌ها و یا قراردادن پیکسل‌های رنگی با مفهوم کاربری خاصی در مجاورت هم، فضاهایی به‌عنوان پلان معماری شبیه‌سازی می‌کند.

اکنون وجه تمایز و نوآوری این پژوهش با پژوهش‌های پیشین در این نکته است: از ترکیب الگوریتم تکاملی (ژنتیک)

جدول ۱.پیشینه پژوهش‌های صورت‌گرفته با الگوریتم‌های تکاملی

| Researcher | Year | Method | oF | wD | eD | eW | iD | S | fL | eF | bB | aB | oO | sA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thakur et al | 2010 | GA/DA | gts | | • | | • | | | | | | | • |
| de la Barrera Poblete | 2010 | GA+VD | g | | | | | • | | | | | | |
| Knecht | 2010 | GA/ES+K-D | gt | | | | | • | | | • | | | |
| Flack | 2011 | GA/GP | gt | | | | | • | • | | • | | | • |
| Ricardo Lopes et al | 2011 | AH | | | | | | | | | | | | |
| Reinhard Koenig | 2012 | AH | | | | | | | | | | | | |
| Rodrigues | 2014 | ES+SHC | gt | • | • | • | • | • | | | • | • | • | • |
| Victor Calixto | 2015 | GA/GP | | • | • | | | • | • | | • | | | • |
| Stanislas Chaillou | 2019 | GAN | | | | | | • | • | | • | | | • |
| RUIZHEN HU | 2020 | Graph2Plan | | | • | | | • | • | | • | | | • |
| Maciej Nisztuk | 2020 | GA | | • | • | | | • | • | | • | | | • |
| Kai-Hung Chang | 2021 | GNN | • | • | | | | • | • | | • | | | • |
| Wamiq Para | 2021 | GCG | • | | • | • | • | • | • | • | • | | • | • |
| Akshay Gadi Patil | 2021 | Neural Graph Matching | • | | • | • | • | | • | • | | | | • |

(باباخانی و همکاران، ۱۴۰۱)

SO: هم‌نهاد و بهینه‌سازی GA: الگوریتم ژنتیک - GP: برنامه‌نویسی ژنتیک - ES: استراتژی تکاملی - SA: شبیه‌سازی گرمایش - SQP: برنامه درجه دوم متوالی -L : سیستم لندمیر -VD : نمودار ورنوی - DA: الگوریتم دایجسترا - SHC: الگوریتم تپه‌نوردی -AH: الگوریتم سلسه‌مراتبی Graph2Plan: پیکسل تو پیکسل -t: توپولوژیک - h: گرمایش -c: سرمایش - l: روشنایی - s: مسافت پیاده‌روی - oF: تابع هدف - wD: ابعاد دیوار - eD: در بیرونی - eW: پنجره - iD: در داخلی - S: فضاها - fL: کف طبقات - st: پله - eL: آسانسور - eF: تجهیزات / مبلمان - bB: محدوده ساختمان - aB: ساختمان‌های مجاور - oO: جهت بازشوها - sL: موقعیت مکانی - sA: فضاهای هم‌جوار.

با ساختار الگوریتم‌های یادگیری ماشین (خوشه‌بندی کی- میانگین) و همچنین الگوریتم‌های مبتنی‌بر نمونه استفاده شده است. دومین تمایز، معرفی روشی براساس استفاده از داده‌های ورودی به‌صورت بردار عددی توسط کاربر برای شناسایی خواسته کاربر توسط الگوریتم و طراحی براساس استانداردها و شرایط محیطی است.

## روش پژوهش

روش پیشنهادی براساس الگوریتم‌های تکاملی (ژنتیک) و یادگیری ماشین (خوشه‌بندی کی- میانگین) برای تولید پلان‌های معماری با عنوان (MLGAFPG) است که برای تخصیص فضا در یک سطح دوبعدی برای زمین‌های متداول شهری پیشنهاد می‌شود. MLGAFPG متشکل از سه تکنیک است: اولی بر پایه یادگیری ماشین (خوشه‌بندی کی- میانگین)، دومی الگوریتم تکاملی (ژنتیک) و سومی مبتنی‌بر نمونه است. الگوریتم خوشه‌بندی کی- میانگین با دقت بسیار و نامحدود در شناسایی نمونه‌ها عمل می‌کند و الگوریتم ژنتیک قابلیت جست‌وجو و کشف فضای مسئله را به‌خوبی پیاده‌سازی می‌کند.

### تکنیک k-means Clustering

الگوریتم یادگیری ماشین اطلاعات ورودی توسط کاربر را دریافت کرده و سپس به داده‌های رمزنگارشده تبدیل می‌کند که شامل بردار عددی $U_{IIV}$ خواهد بود.

در ادامه براساس رابطه ریاضی زیر، محاسبه و بهترین حالت طراحی پلان را براساس نمونه‌های یادگیری خود به کاربر ارائه می‌کند.

UIV=[0,1,0,10,20,0,1,0,0,2,1,1,1,2,2,1]

### تکنیک دوم Instance Based

نمونه پلان‌های معماری براساس یادگیری نظارت شده توسط ماشین فراگیری گردیده است و الگوریتم براساس نیاز کاربر و اطلاعات زمین طراحی پلان موردنظر را از میان چند هزار مدل فراگیری شده، پیشنهاد می‌دهد.

در اینجا این نمونه‌ها براساس الگوریتم‌های مبتنی‌بر نمونه (instance based) که متداول‌ترین ابعاد زمین‌های شهری را شامل می‌گردد، جمع‌آوری‌شده است و سپس براساس استانداردهای مبحث چهار معماری تکمیل گردیده‌اند.

براساس شکل ۱ در این پژوهش، حداقل زمین ۷۰ متر با سطح اشغال ۴۲ مترمربع و حداکثر ۶۲۵ متر با سطح اشغال ۳۷۵ مترمربع مبنای بازه طراحی ماشین برای ساختمان‌های مسکونی یک تا پنج‌طبقه قرار گرفته است. این مبنا براساس اعمال فرایند کشف دانش از داده‌ها (KDD) بر روی داده‌های ساخت‌وساز پنجاه سال گذشتهٔ کل شهر تهران، منتشرشده در سایت رسمی بانک مرکزی استخراج و مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

### تکنیک سوم Genetic Algorithm

در مرحلهٔ سوم باید به مسئله اصلی که نحوه عملکرد الگوریتم GA در خلق و توسعه پلان‌های معماری براساس نمونه‌های صحیح، اطلاعات ورودی کاربر، ضوابط طراحی، مباحث بهینه‌سازی و سایر مؤلفه‌های اثربخش در فرایند طراحی است، اشاره نمود. در این فرایند هر پلان برای این که بتواند توسط الگوریتم ژنتیک خوانش شود و سپس توسعه یابد و تبدیل به نمونه جدیدی گردد، باید ساختارهایی را رعایت و عناصر متشکل خود را به بردارهای عددی یکه با مشخصاتی که در اینجا ذکر گردیده تبدیل کند؛ L: طول زمین، w: عرض زمین، S: فضا، E: آسانسور، ST: راه‌پله، Le: طبقات، P: پارکینگ، W: انباری.

{L.W}.{S1…SN}.{E1…EN}.{ST1…STN}.
{Le1…LeN}.{P1…PN}.{W1…WN})

سپس این بردار باید به بردارهایی با اطلاعات دقیق تبدیل گردد، (Lei{R1i…RNi}.Fh(i)) در اینجا Le: طبقه و R: تا هر فضا را در پلان به‌صورت اختصاصی نشان دهد که در درون خود طول و عرضی دارد و باید با Fh: که بیانگر ارتفاع طبقه است، تشکیل‌دهنده فضا باشد. در ادامه وضعیت بازشوها هم باید به بردار افزوده شود.

(R1i{Fr1…FrN}.{Wr1…WrN}.{Dr1…DrN})

که Fr: نمایانگر مرز فضاها و Wr: پنجره‌ها و Dr: اطلاعات درهای اتاق‌ها را دارد. درحقیقت Fri(x,y,w,h) که نمایه‌هایی است از درجه آزادی عمل هر فضا، x , y مختصاتی حرکت مستطیل یا مربع به چپ یا راست در مختصات دکارتی را و

| x,y | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 42 | 46 | 50 | 54 | 58 | 63 | 67 | 71 | 76 | 79 | 84 | 88 | 92 | 96 | 100 | 105 |
| 8 | 48 | 52 | 57 | 62 | 67 | 72 | 76 | 81 | 86 | 91 | 96 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 |
| 9 | 54 | 59 | 64 | 70 | 75 | 81 | 68 | 91 | 97 | 102 | 108 | 113 | 118 | 124 | 129 | 135 |
| 10 | 60 | 66 | 72 | 78 | 84 | 90 | 96 | 102 | 108 | 114 | 120 | 126 | 132 | 138 | 144 | 150 |
| 11 | 66 | 72 | 79 | 85 | 92 | 99 | 105 | 112 | 118 | 125 | 132 | 138 | 145 | 151 | 158 | 165 |
| 12 | 72 | 79 | 86 | 93 | 100 | 108 | 115 | 122 | 129 | 136 | 144 | 151 | 158 | 165 | 172 | 180 |
| 13 | 78 | 85 | 93 | 101 | 109 | 117 | 124 | 132 | 140 | 148 | 156 | 163 | 171 | 179 | 187 | 195 |
| 14 | 84 | 92 | 100 | 109 | 117 | 126 | 134 | 142 | 151 | 159 | 168 | 176 | 184 | 193 | 201 | 210 |
| 15 | 90 | 99 | 108 | 117 | 126 | 135 | 144 | 153 | 162 | 171 | 180 | 189 | 198 | 207 | 216 | 225 |
| 16 | 96 | 105 | 115 | 124 | 134 | 144 | 153 | 163 | 172 | 182 | 192 | 201 | 211 | 220 | 230 | 240 |
| 17 | 102 | 112 | 122 | 132 | 142 | 153 | 163 | 173 | 183 | 193 | 204 | 214 | 224 | 234 | 244 | 255 |
| 18 | 108 | 118 | 129 | 140 | 151 | 162 | 172 | 183 | 194 | 205 | 216 | 226 | 237 | 248 | 259 | 270 |
| 19 | 114 | 125 | 136 | 148 | 159 | 171 | 182 | 193 | 205 | 216 | 228 | 239 | 250 | 262 | 273 | 285 |
| 20 | 120 | 132 | 144 | 156 | 168 | 180 | 192 | 204 | 216 | 228 | 240 | 252 | 264 | 276 | 288 | 300 |
| 21 | 126 | 138 | 151 | 163 | 176 | 189 | 201 | 214 | 226 | 239 | 252 | 264 | 277 | 289 | 302 | 315 |
| 22 | 132 | 145 | 158 | 171 | 184 | 198 | 211 | 224 | 237 | 250 | 264 | 277 | 290 | 303 | 316 | 330 |
| 23 | 138 | 151 | 165 | 179 | 193 | 207 | 220 | 234 | 246 | 262 | 276 | 289 | 303 | 317 | 331 | 345 |
| 24 | 144 | 158 | 172 | 187 | 201 | 216 | 230 | 244 | 259 | 273 | 288 | 302 | 316 | 331 | 345 | 360 |
| 25 | 150 | 165 | 180 | 195 | 210 | 225 | 240 | 255 | 270 | 285 | 300 | 315 | 330 | 345 | 360 | 375 |

شکل ۱. ماتریسی از حداقل و حداکثر ابعاد زمین‌های شهری با اعمال ۶۰٪ سطح اشغال (باباخانی،۱۴۰۱)

w,h عرض و ارتفاع هر فضا را کنترل می‌نمایند. بازشوهای Wr براساس ترکیبی از استانداردهای بهینه‌سازی انرژی ASHRAE و حداقل‌ها تعیین شده در ضوابط مقررات ملی و Dr برگرفته از حداقل ابعاد ذکرشده در مبحث ۴ مقررات ملی براساس جدول ۲ است.

(S1i(x.y{x.y.w.h}…{xN.yN.wN.hN})a.b)

برای راه‌پله در پلان‌ها باید برداری ساخته شود که حاوی اطلاعات مختصات راه‌پله و ارتفاع و همچنین کف و ارتفاع پله‌ها باشد. این فرایند نیز برای آسانسور که به‌عنوان دومین رابط بین طبقات است، به این شکل ساخته می‌شود:

(E1i(x.y{x.y.w.h}…{xN.yN.wN.hN})a.b)

در این پژوهش برای کاهش پیچیدگی فرمی و محدودیت‌های پژوهش (ازنظرِ زمان)، اشکال ساختمان اصلی و ساختمان‌های مجاور مدولی از اشکال مستطیل و مربع در نظر گرفته شده است. پس از ایجاد بردارها که درواقع داده‌های عناصر اصلی پلان را شکل می‌دهند اکنون باید تابعی جهت محاسبه مختصات این فضاها براساس معادله‌های (۱) نوشته شود:

$$Np = (\sum x.y.w(\sum_{i}^{L} \sum_{i}^{s}(Wr + Dr) + Ns + Ne)) \quad (1)$$

اما برای محاسبه ابعاد فضاها که باید از میزان سطح اشغال یعنی ۶۰٪ بیشتر نشود، باید تابعی به‌عنوان تابع جریمه نوشته شود که این تابع براساس معادله‌های (۲) است:

$$OLA = \sum_{i}^{\tilde{}} |(Ol(W(L)\%\,60) - fa(Np))| = 0)) \quad (2)$$

که OLA: مساحت نهایی، Ol: سطح اشغال مجاز، fa: مساحت فضاهاست و باید عدد حاصل‌شده از این رابطه همواره پس از خروج از قدرمطلق برابر صفر باشد. در غیر این صورت تابع، عدد بزرگ‌تر از صفر را به‌عنوان میزان جریمه به الگوریتم برگردانده و فرایند تا زمانی که عدد صفر شود، تکرار خواهد شد.

در ادامه باید تابع جریمه‌کننده به بررسی هم‌جواریِ پنجره، در، آسانسور، پله، پارکینگ، انباری و فضاهای اتاق‌ها در پلان معماری بپردازد تا محاسبه شود که هریک باید چه میزان خطا را در جابه‌جایی اصلاح نماید.

برای این امر باید توابعی با عنوان مختصری از DC1: ارزیابی اتصال، DC2: هم‌پوشانی عناصر پلان، DC3: هم‌جوارشناسی فضاهای خاص در پلان، DC4: ارزیابی بازشوها DC5: جهت‌های عناصر، DC6: محدوده خالص، DC7: تنظیم درهای داخلی، نوشته شود.

مثلاً برای نمونه پیاده‌سازی DC1 ابتدا باید تمام عناصر دارای ماتریس هم‌جواری رمزنگار باشد تا بتوان از این طریق ارتباط مجاز هر فضا را با فضای جانبی ارزیابی کرد تا براساس معادله‌های (۳)، خطای هم‌جواری استخراج و اصلاح گردد:

F(i)=Fpco(i)+Fpno(i)+Fpmo(i) (3)

Fpco: ماتریس اتصال فضاها، Fpno: ماتریس هم‌جوارشناسی و Fpmo: ماتریس فضای ارتباطی را در اینجا نشان می‌دهد. اگر باقی‌مانده تابع F(i)=< > از O1 باشد، آن را محاسبه و به الگوریتم ژنتیک بازتاب می‌دهد.. تابع ارزیابی DC1 آن را محاسبه و به الگوریتم ژنتیک بازتاب می‌دهد و بدین‌ترتیب، تمام DCهای فرایند برای هریک از عناصر ۱ تا ۷ بررسی و اعمال می‌گردد که برای هرکدام از DCها مدل محاسبه متفاوت است. چراکه انجام تمام این محاسبات از حوصله و ظرفیت این مقاله به‌لحاظ استانداردهای پژوهشی خارج است، اما در نهایت باید DC همه عناصر برابر صفر باشد، نه بزرگ‌تر و نه کوچک‌تر، تا طرحِ تولیدشده هم ازنظرِ روابط فضایی، تقسیمات فضایی، استانداردهای طراحی و همچنین اطلاعات ورودی کاربر مطابقت داشته باشد. بدین منظور باید براساس ماتریس ابعاد زمین‌های متداول شهری باشد، تا هوش طراحی خودکار بتواند دسته‌بندی مناسبی را از نمونه‌های آموزش‌دیده در ذهن خود ارائه دهد سپس با تابع‌های هدف و جریمه آن را توسعه و نمونه‌های جدیدتری را تولید و بعد در فرایند حافظه‌سپاری خود دوباره نمونه جدید را رمزنگاری و ذخیره نماید. این، یک رویکرد ویژهٔ سه مرحله‌ای است که می‌تواند برای تولید پلان‌های معماری متداول شود. درواقع در مرحله اول پلان‌های معماری به‌عنوان نمونه‌های قابل یادگیری به الگوریتم یادگیری ماشین آموخته می‌شود. در مرحله بعد، نیازهای کاربر توسط الگوریتم یادگیری ماشین ادراک شده و در ادامه به کمک GA در فرایند چندین تکرار، فرم هندسی تغییر یافته و به مختصات‌های اصلی زمین طراحی می‌رسد. هدف از مرحله GA جست‌وجوی محلی برای مناسب‌ترین حالت قرارگیری فضاهای پلان معماری در زمین مورد انتخاب براساس نمونه‌های متداول شهری برای طراحی به‌صورت غیرتصادفی است. با این روش پیشنهادیِ تولید خودکار پلان‌های معماری، می‌توان فرایندی را ایجاد کرد که در آن مجموعه‌ای از اشیا (فضاها/اتاق‌ها، درها و پنجره‌های خارجی و درهای داخلی) روی صفحه دوبعدی ترسیم شوند. روشی که در آن هم روابط توپولوژیکی، هم محدودیت‌های هندسی و هم مطابقت با خواسته‌های کاربر برآورده می‌گردد.

درواقع هر طرح نقشهٔ طبقه تولیدشده، مجموعه‌ای از پلان‌های فراگیری‌شده توسط الگوریتم یادگیری ماشین و در ترکیب با اطلاعات ورودی کاربر به‌صورت سلسله‌مراتبی است. در هر طبقه از پلان فضاها، عناصر مختلفی اختصاص داده شده که شامل: پنجره‌هایی بیرونی، درهای خارجی و

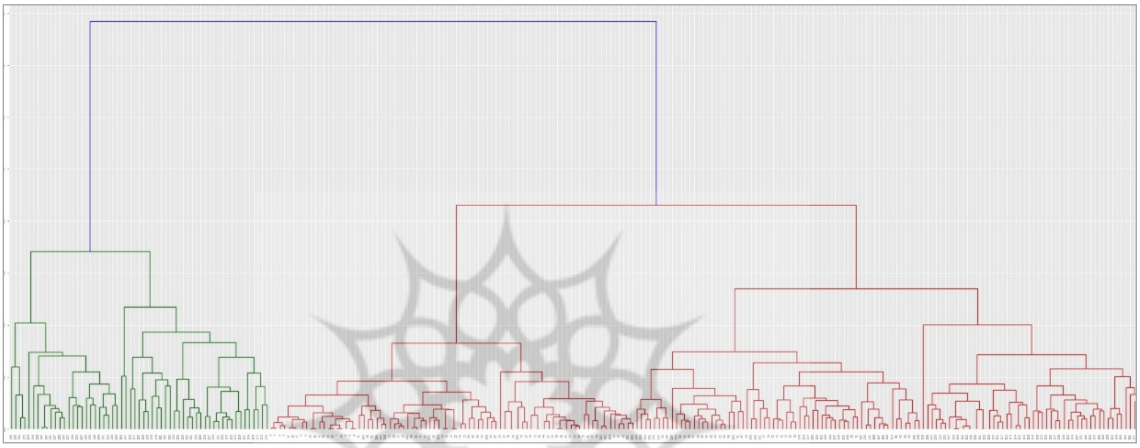
داخلی و کف طبقات است. این روش می‌تواند مشکل اصلی جهش در روش تک‌الگوریتم‌های تکاملی را که منجر به تولید فضاهای تصادفی در بیش از ۸ یا ۱۰ فضا می‌شد، حل کند.

## تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

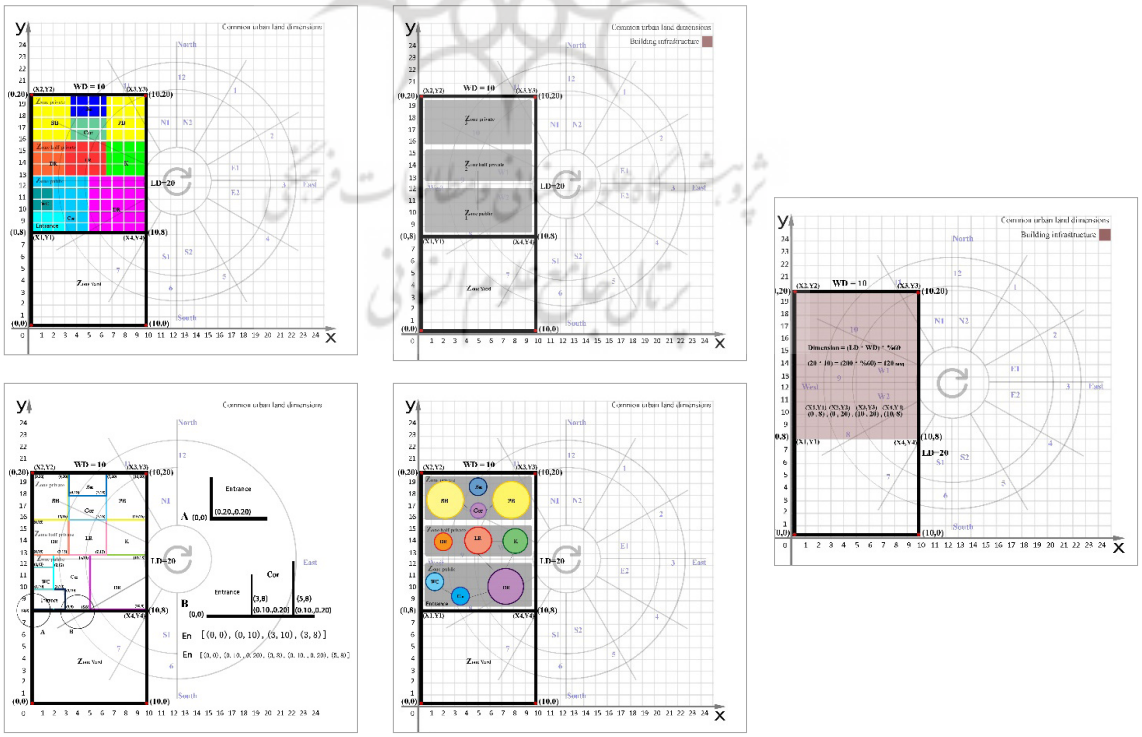
### مجموعه داده

مجموعه داده‌های معیار به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی، استفاده از ۲۶۰ نمونه از پلان‌های مسکونی یک‌طبقه در بازهٔ حداقل مساحت ۷۰ متر با زیربنای ۴۲ مترمربع حداکثر با مساحت ۳۷۵ متر و سطح اشغال ۲۲۵ مترمربع جهت فراگیری ماشین است که در نهایت براساس شکل ۲، دو دسته اساسی و چهار دسته فرعی و هشت دسته زیرفرعی در دسته‌بندی درختی این داده‌ها ارائه شده است.

مروری بر چارچوب تولید خودکار پلان معماری که ترکیبی از مدل‌سازی مولد با استفاده از شبکه گرافِ مبتنی‌بر مدل، یادگیری ماشین و الگوریتم‌های ژنتیک است. براساس شکل ۳، (الف): کاربر اندازهٔ زمین و اشغال محاسبه شده را وارد می‌کند



شکل ۲. دسته‌بندی پلان‌های فراگیری‌شده توسط هوش طراحی خودکار (باباخانی و همکاران، ۱۴۰۱)



شکل ۳. چارچوبی برای تولید خودکار پلان طبقه که ترکیبی از مدل‌سازی مولد با استفاده از شبکهٔ مبتنی‌بر نمونه، یادگیری ماشین و الگوریتم‌های ژنتیک است (نگارندگان)
(الف): مرز ساختمان ورودی.....(ب): فضاهای ایجادشده برای تقسیمات پلان طبقه.....(ج): پس از اضافه‌کردن تعداد اتاق

و همچنین می‌تواند محدودیت‌های تعداد اتاق‌ها، طبقات، جهت زمین و جمعیت ساکن را مشخص کند. (ب): الگوریتمی که فضاهای عمومی، نیمه‌خصوصی و خصوصی را جدا می‌کند و یک نمودار شبکه همسایگی ایجاد می‌کند. (ج): پس از برقراری ارتباط، الگوریتم به‌طور خودکار فضاها را براساس نمونه‌های آموزشی، داده‌های شبکه هیستوگرام و حداقل معیارها مرتب می‌کند.

## معیار ارزیابی

ارزیابیِ روش پیشنهادی براساس فرمول خطای جذر میانگین مربعات یا RMSE با استفاده از معادله (۴) محاسبه شده است:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(yi - yi)^2}{n}} \qquad (4)$$

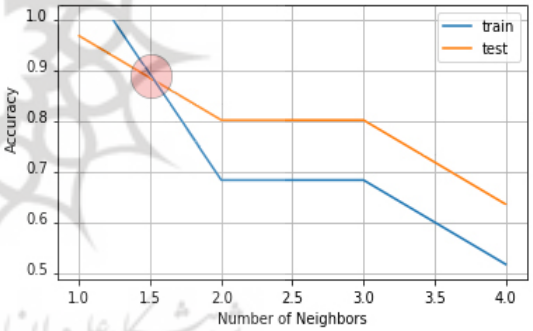
برآورد میزان خطا نیز ازطریق MSE محاسبه شده که درواقع تفاوت بین مقادیر تخمینی و آنچه را تخمین زده شده است، با استفاده از معادله (۵) نشان می‌دهد.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (yi - yi)^2 \qquad (5)$$

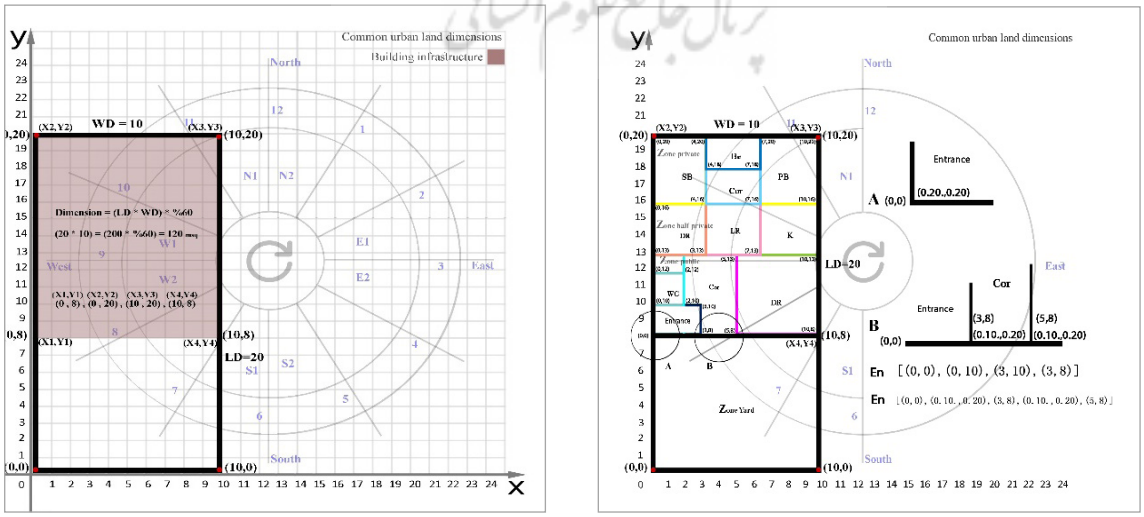
گروهی از مجموعه داده‌ها برای یادگیری و ساخت مدل که با نام Training data شناخته می‌شود و گروهی دیگر برای ارزیابی عملکرد مدل که به نام Validation data شناخته می‌شود، به‌عنوان داده‌های آموزشی و ارزیابی به نسبت ۷۰ به ۳۰ فاز آموزش و یادگیری (Training) و فاز ارزیابی (Validation) انتخاب شده‌اند.

جداسازی داده‌ها و ایجاد مجموعه‌های Train set و Validation set به‌صورت دستی نیز امکان‌پذیر است، اما با استفاده از sklearn می‌توان به‌راحتی این کار را به‌صورت داینامیک انجام داد. برای همین از کتابخانه سای‌کلین و از ماژول یادگیری و تست استفاده شده است. بدین صورت که ۷۰درصد داده‌های موجود در پایگاه داده (بردارهای ابعاد و اندازه فضاهای مسکونی) به‌عنوان داده‌های آموزشی تفکیک و به ماشین آموزش داده شده است. سپس ۳۰درصد از داده‌های باقی‌مانده به‌عنوان داده‌های تست پس از فراگیری الگوریتم از ماشین، آزمون گرفته شده که براساس شکل۴ میزان دقت نزدیک به ۹۰درصد است.

شکل۵ نمونه‌ای از طرحی را نشان می‌دهد که در سیستم مختصات دکارتی در مرحله اول براساس ابعاد زمین، سطح اشغال، تعداد اتاق‌ها، گیاهان، جهت زمین، جمعیت ساکن، عمومی، نیمه‌خصوصی و سیاست‌های خصوصی فضاها،




شکل۴. ارزیابی عملکرد ماشین در یادگیری داده‌های آموزشی (نگارندگان)




شکل۵. همسان‌سازی ابعاد فضاهای پلان توسط الگوریتم ژنتیک با ابعاد زمین اصلی (نگارندگان)

محیط‌ها، روابط فضایی، در مکان ویندوز براساس نمودار شبکه و الگوریتم یادگیری ماشین و ژنتیک است.

در شکل۶ می‌توان مشاهده کرد که چگونه الگوریتم، هر فضا را به‌شکل یک مربع و مستطیل با کنترل مرکزی ازطریق نقاط چهارگوش (x,y) به جهت‌های عمودی و افقی هدایت می‌نماید تا فضای افزوده شده به ابعاد پلانِ آموزش‌داده‌شده به ماشین، به‌صورت دوسویه خود را با ابعاد اصلی زمین همسان کند. این روش به‌مرور زمان دامنهٔ یادگیری ماشین را گسترش داده و این امکان را فراهم می‌کند تا ازطریق یادگیری غیرنظارتی دسته‌بندی جدیدی در حافظهٔ هوش طراحی خودکار ایجاد کند.

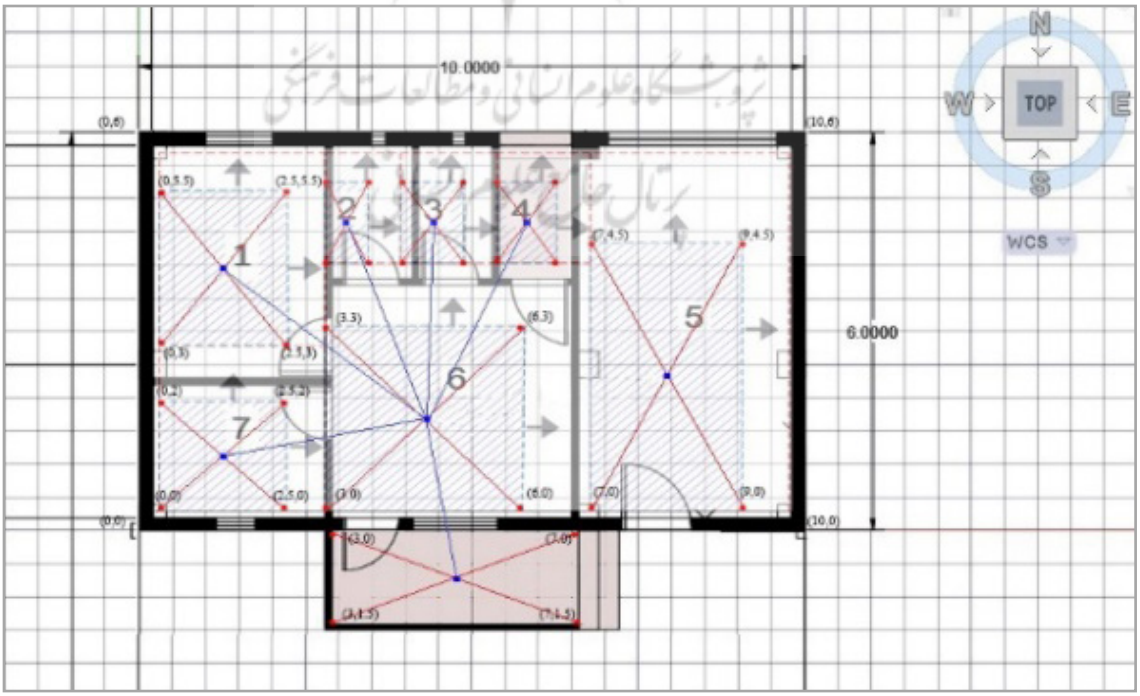
براساس الگوریتم هوش طراحی خودکار، پلان داده‌های ورودی را از کاربر دریافت و سپس آن‌ها را به داده‌های رمزنگارشده تبدیل می‌نماید که شامل اعداد گوناگونی خواهد بود. در ادامه آن اعداد را تحلیل می کند. سپس داده‌هایی را که رمزنگاری شده‌اند به یک بردار یکه رمزنگار مانند شکل۹ تبدیل می‌کند. در ادامه الگوریتم طراحی خودکار براساس بردار رمزنگار که متناسب با نیازهای کاربر است، آن را به کمک رابطه ریاضیِ شکل۱۰ محاسبه و بهترین حالت طراحی پلان را براساس آموزش‌ها، یادگیری‌ها و تجربه خود به کاربر ارائه می‌نماید.

براساس شکل۱۰، محاسبه تشابه دو بردار شامل اطلاعات ورودی کاربر و داده‌های موجود در حافظهٔ ماشین یادگیری، به‌صورت خودکار آغاز می‌شود. در اینجا برای کاهش پیچیدگی بردار نمونه به دو بردار با اعداد 2,3,4,2 و 1,−2,1,3 تبدیل شده است. سپس براساس رابطه فوق عملیات تشابه‌سنجی بردار A و بردار B با رابطه xi-yi اعمال می گردد که می‌توان این معادله را براساس شکل۱۰ بدین‌گونه:

$(2-3)^2 + (4-1)^2 + (3-2)^2 + (2-1)^2$ مشاهده نمود.

حاصل تفریق و به توان رساندن آن‌ها می شود این معادله $\sqrt{1+25+9+1}$ که اگر عملگرهای جمع را اعمال کنیم با عدد $\sqrt{36}$ روبرو خواهیم شد.

در ادامه اگر را از رادیکال خارج کنیم به عدد۶ خواهیم رسید که این عدد برچسب بردار است. همچنین براساس این روش محاسباتی، ادارک نسبی در الگوریتم طراحی خودکار ایجاد می‌شود که پس از شناخت نیاز کاربر و ادراک داده‌های مرتبط با پلان، معماری اکنون می‌تواند نمونه مناسب را یافته و با اعمال استانداردها، ضوابط و مقررات ملی ساختمان، طراحی و ترسیم کند. تمام این فرایند از زمان دریافت اطلاعات توسط الگوریتم و تحلیل آن و دسته‌بندی و ترسیم در نرم‌افزار اتوکد و ذخیره‌سازی و ارسال به کاربر مطابق شکل۱۱ بین ۵۰ تا ۱۰۰ ثانیه زمان می‌طلبد. البته میزان این رقم به سخت‌افزار و سرعت اینترنت در هنگام پردازش داده‌ها توسط ماشین بستگی دارد.




شکل۶. جست‌وجوی فضای مسئله طراحی به کمک الگوریتم ژنتیک (نگارندگان)

1. Let’s USR user enters the land information
2. Numeric data is converted into a vector(LCi,WGi,LGi,LTi,BTi,WTi,NFi,NUi,NRi,NPi)
3. Numeric vectors are distances measured through a mathematical relationship.

$$d\,(X.Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{\vec{n}} d(xi - yi)} \qquad d\,(X.Y) = \sum_{i=1}^{\vec{p}} |xi - yi|$$

4. Then the criterion of similarity of data with samples is extracted D E D B $u^{\rightarrow}$=(2,3,4,2) and $v^{\rightarrow}$ =(1,−2,1,3).

$$d(u^{\rightarrow}, v^{\rightarrow}) = \|u^{\rightarrow} - v^{\rightarrow}\| = \sqrt{(2-1)^2 + (3+2)^2 + (4-1)^2 + (2-3)^2}$$

5. The desired sample is called
6. After the call, the sample data is extracted
7. The data is transferred to the machine learning section
8. Land di

$$Np = (\sum 0\, x.y.w(\sum_{i}^{L} 0 \sum_{i}^{s} (Wr + Dr) + Ns + Ne))$$

9. mensions entered by the user

$$OLA = \sum_{i}^{s} |(Ol(W(L)\%\,60) - fa(Np))| = 0))$$

**Machine Learnin (ML)**

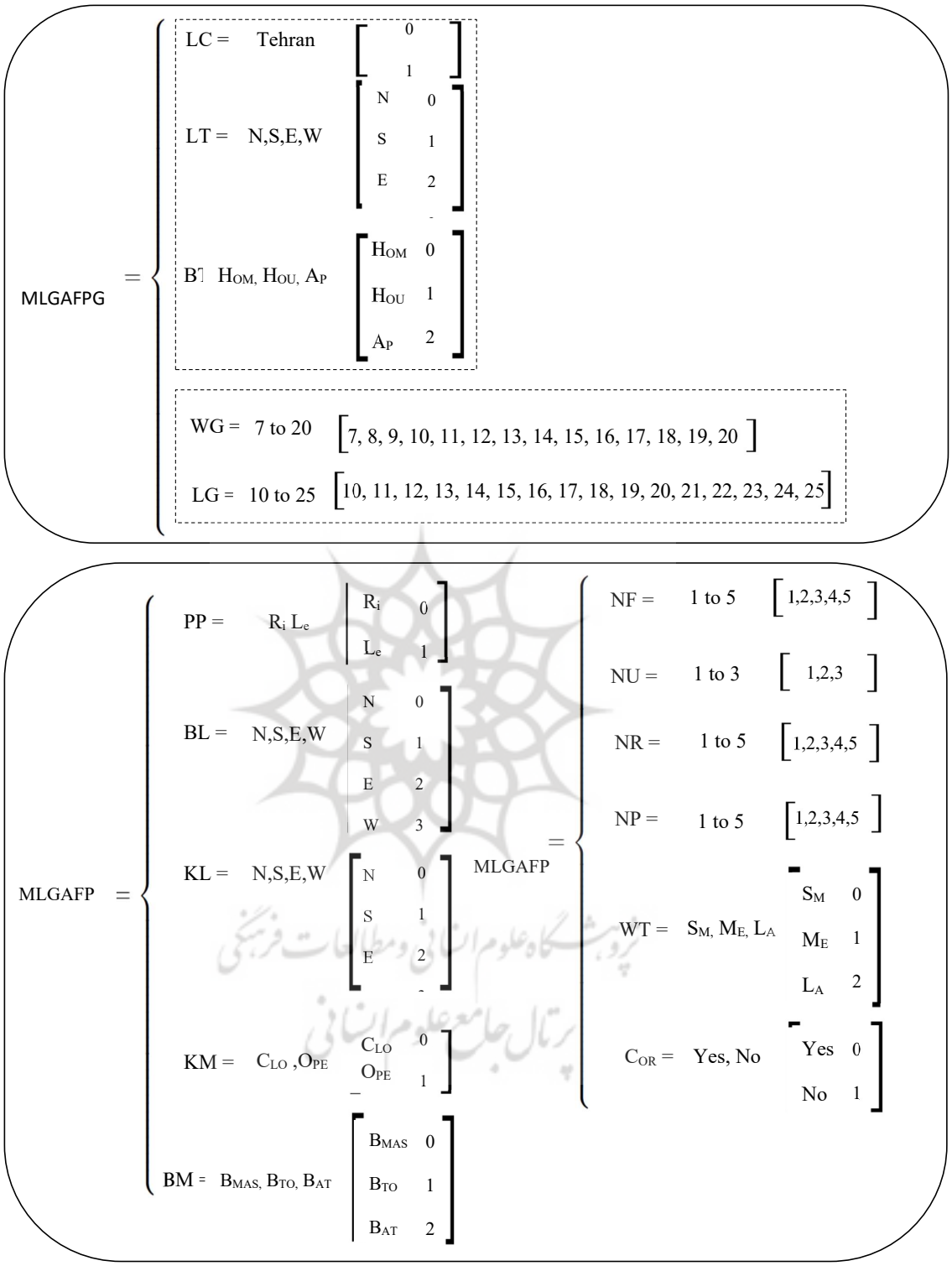
10. It is matched with the dimensions of the sample
11. The size difference is calculated
12. Then this difference is sent to the genetic algorithm
13. The algorithm searches for new space
14. After t he search, the sample changes and matches the new conditions

$$F(i) = Fpco(i) + Fpno(i) + Fpmo(i)$$

15. Then the information is sent to the drawing department.
16. START
17. Generate the initial population f(x, y) = sin(sqrt(x^2 + y^2))
18. Compute fitness
19. REPEAT
20. Selection
21. Crossover
22. Mutation
23. Compute fitness
24. UNTIL population has converged
25. STOP

**Genetic algorithm (GA)**

شکل۷. کدهای کوتاه برای روش پیشنهادی (نگارندگان)




شکل۸. نمایی از فرایند محاسباتی تشخیص ورودی‌ها و تعیین هدف طراحی در هوش طراحی خودکار (نگارندگان)

شکل ۱۲ نمونه پلان‌هایی است که ازطریقِ الگوریتم طراحی خودکار پس از ورود اطلاعات براساس علاقه کاربر و اعمال ضوابط طراحی و استانداردهای مقررات ملی مبحث ۴ برای ساختمان یک طبقهٔ پرتکرار با فضاهایی چون اتاق‌خواب، آشپزخانه، پذیرایی، پارکینگ، حمام و سرویس بهداشتی برای زمینی با عرض ۱۰ و طول ۲۰ متر و سطح اشغال ۶۰٪ محاسبه، طراحی و ترسیم شده است.

$$U_{IIV} \left\{ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \end{matrix} \right\} \qquad U_{IIV} = \left[ 0, 1, 0, 10, 20, 0, 1, 0, 0, 2,1, 1, 1, 2, 2, 1 \right]$$

شکل ۹. تبدیل داده‌های ورودی از کاربر به بردار رمزنگار (نگارندگان)

$$d\,(X.Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{\vec{n}} d(xi - yi)} \qquad d\,(X.Y) = \sum_{i=1}^{\vec{p}} |xi - yi|$$

Determine the Euclidean distance between $\vec{u}=(2,3,4,2)$ and $\vec{v}=(1,-2,1,3)$.

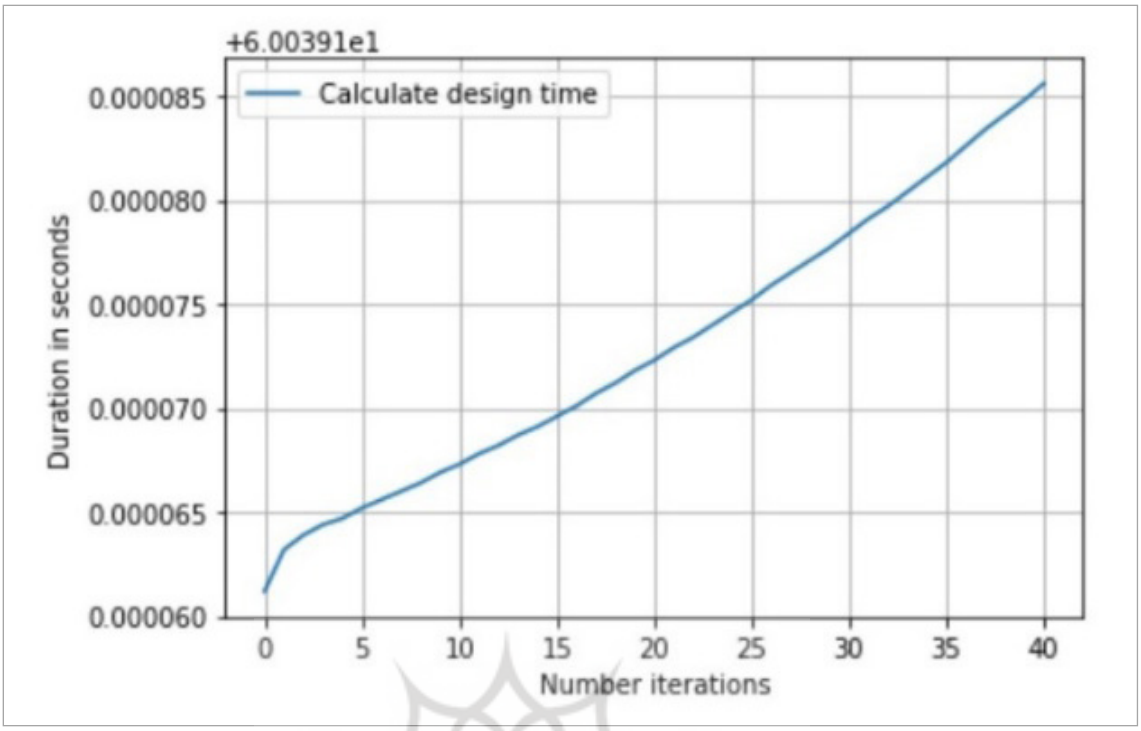
$$d(\vec{u},\vec{v}) = \|\vec{u} - \vec{v}\| = \sqrt{(2-1)^2 + (3+2)^2 + (4-1)^2 + (2-3)^2}$$

$$d(\vec{u},\vec{v}) = \|\vec{u} - \vec{v}\| = \sqrt{1 + 25 + 9 + 1}$$

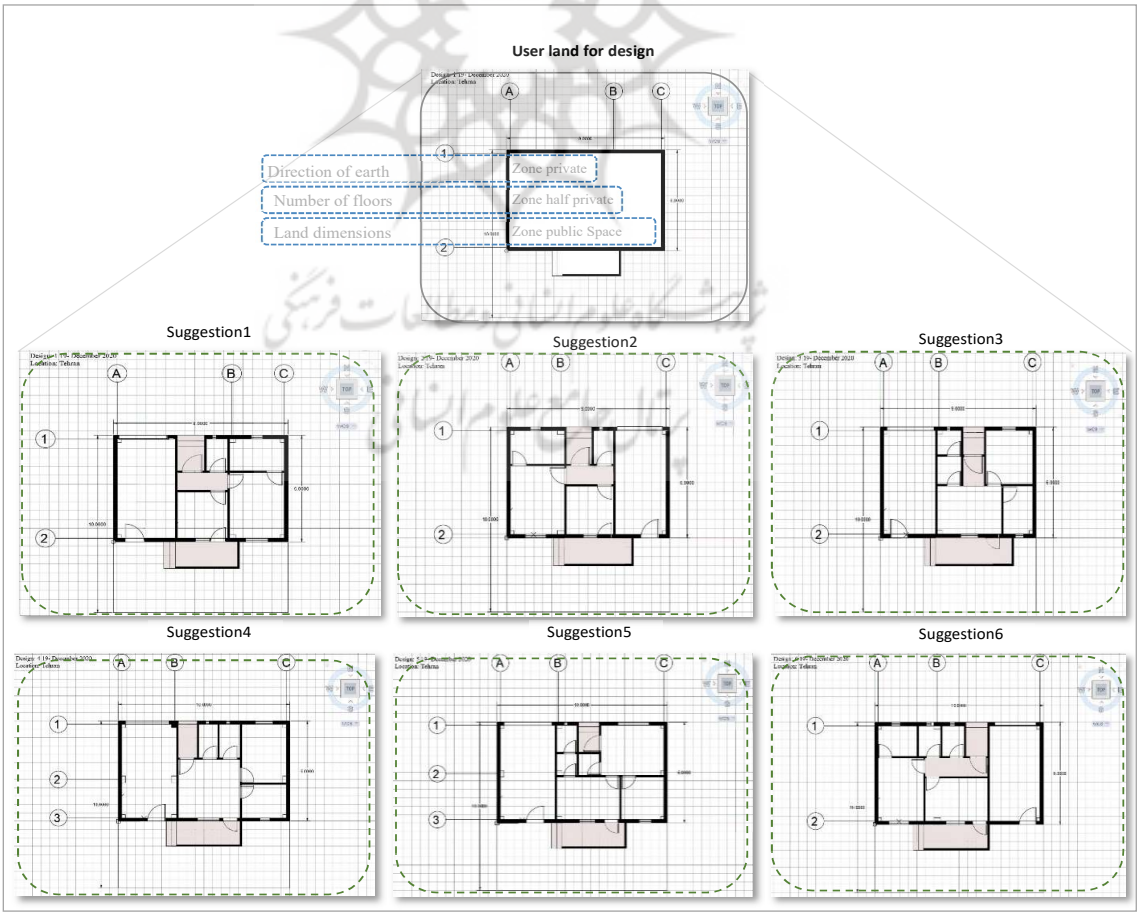
$$d(\vec{u},\vec{v}) = \|\vec{u} - \vec{v}\| = \sqrt{36}$$

$$d(\vec{u},\vec{v}) = \|\vec{u} - \vec{v}\| = 6$$

شکل ۱۰. فرمول محاسبه هر بردار رمزنگاری‌شده با بردار مشابه آن در دستگاه مختصات دکارتی (نگارندگان)




شکل۱۱. محاسبه زمان تحلیل و اعمال فرایند طراحی توسط هوش طراحی خودکار (نگارندگان)

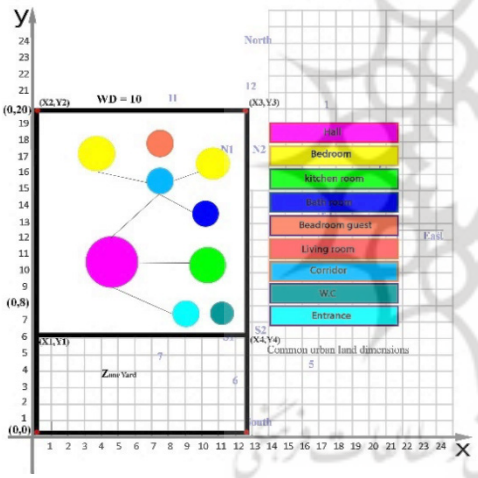
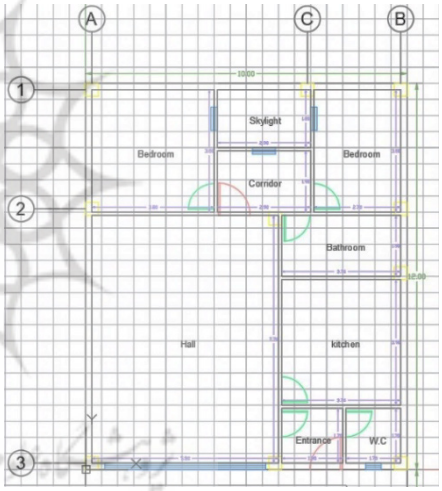
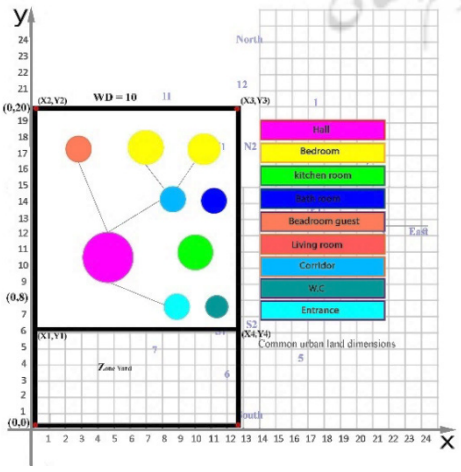
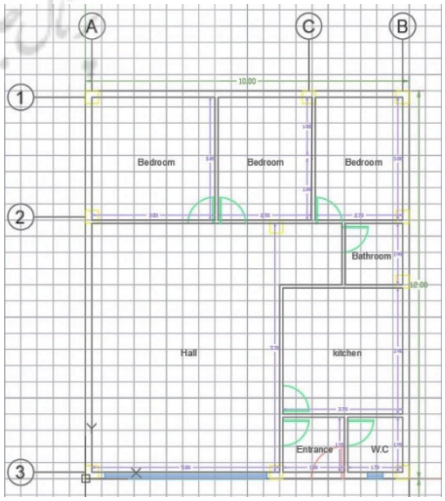


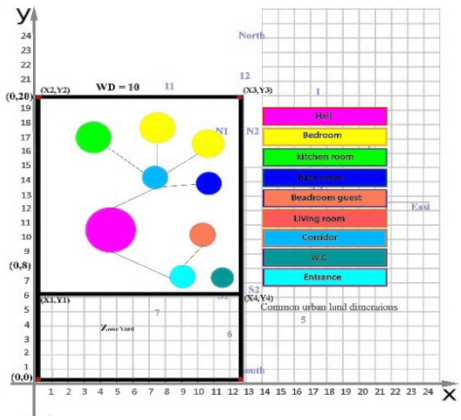
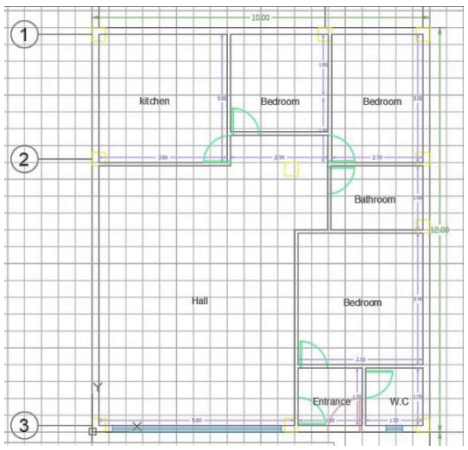
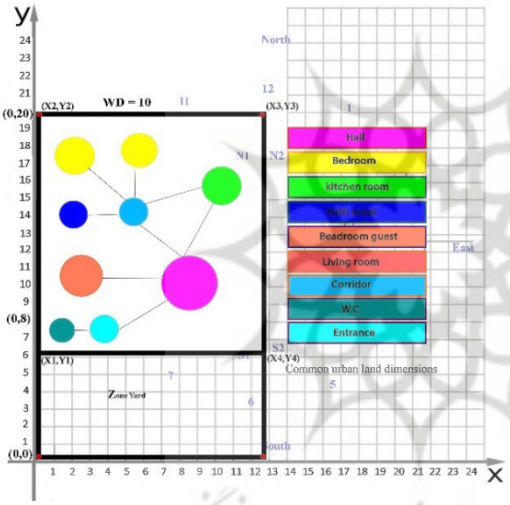
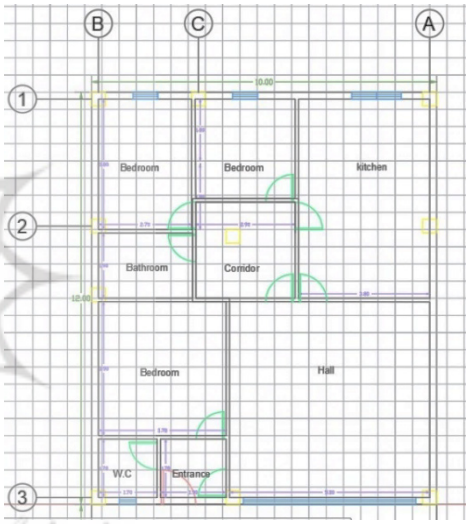
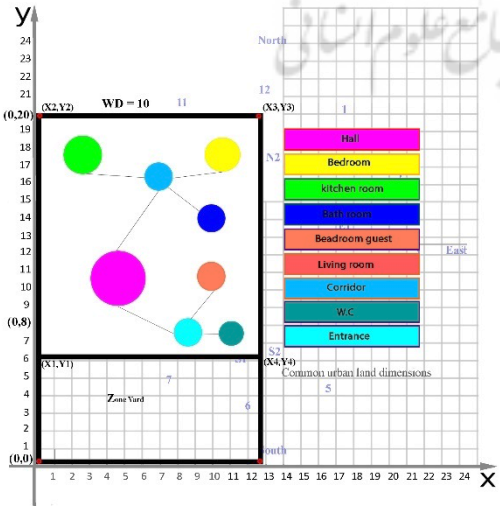
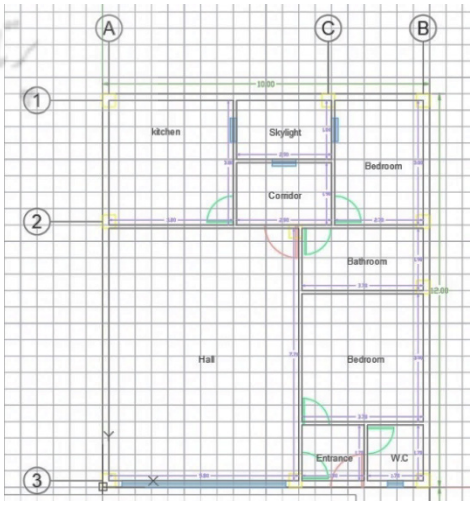

شکل۱۲. نمونه پلان‌های ترسیم‌شده توسط هوش طراحی خودکار (نگارندگان)

## نتیجه‌گیری

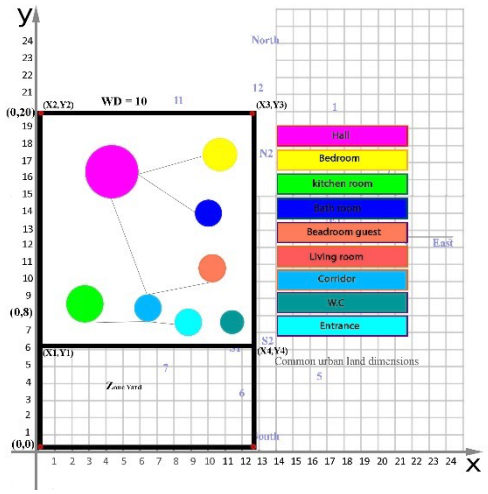
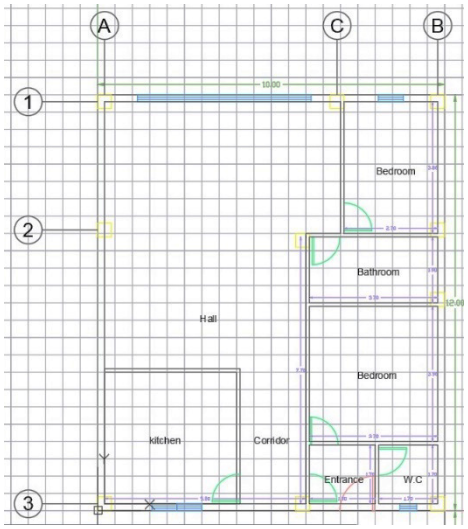
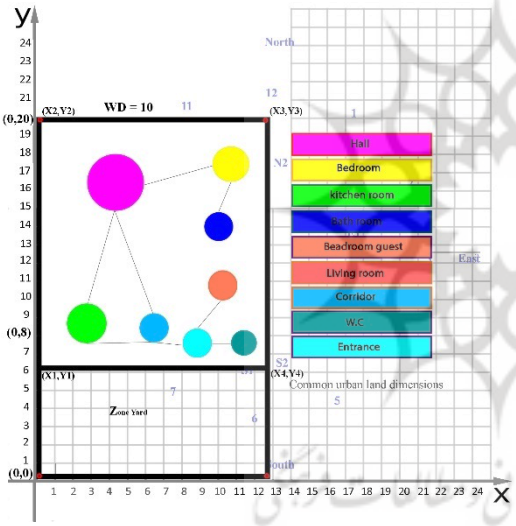
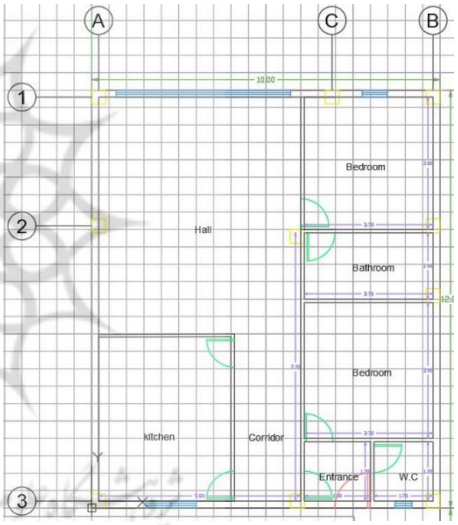
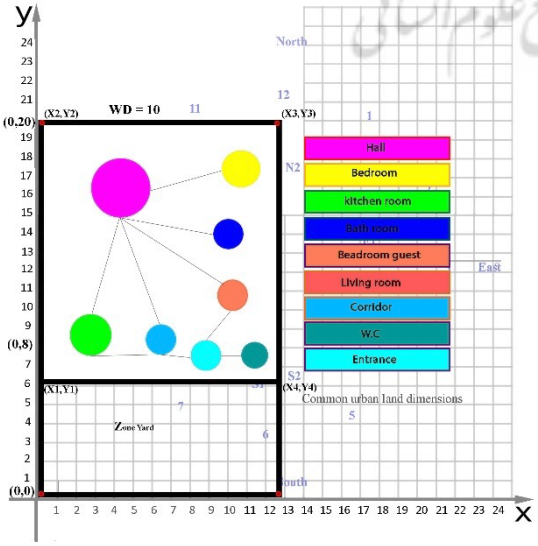
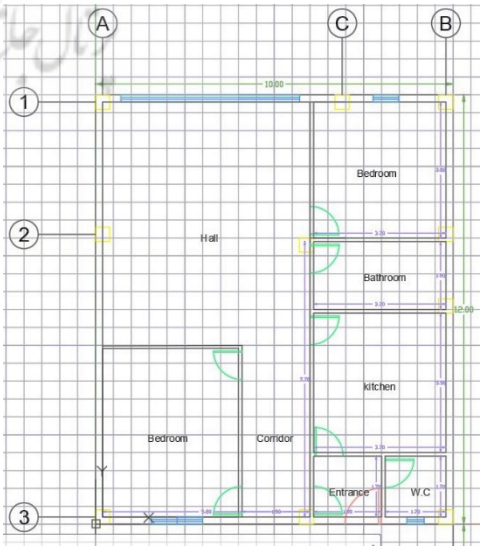
نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، استفاده از بردار ویژگی‌های عددی که حاوی اطلاعات اصلی پلان‌های معماری است، ازطریق الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه و خوشه‌بندی کی- میانگین می‌تواند منجر به تشخیص و تولید پلان‌های جدید گردد و درک نظارت‌شده‌ای را در ماشین فراهم کند. همچنین الگوریتم ژنتیک راهکار مناسبی برای هم‌اندازه کردن پلان ایجادشده با قطعات زمین‌های متداول شهری است. یافتهٔ دیگر پژوهش بحث مدت‌زمان لازم برای دریافت اطلاعات از کاربر، ادراک نیاز، یافتن نمونه‌های صحیح، تولید نمونه جدید و ترسیم آن در نرم‌افزار اتوکد و ارائه به کاربر است. این مدت‌زمان لازم برای فرایند طراحی پلان در بازه ۵۰ تا ۱۰۰ ثانیه خواهد بود که این زمان، رسیدن به طرح مناسب را بسیار کوتاه می‌کند. پیشنهاد تحقیق برای ادامه پژوهش در این پارادایم، ارائهٔ الگوریتمی برای ترسیم هم‌زمان پلان و نما به‌صورت خودکار است.

## پیوست نمونه‌های بیشتر

| NO. | Location graph | Produced plans |
|---|---|---|
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |

| NO. | Location graph | Produced plans |
|---|---|---|
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |
| 5 |  |  |

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

| NO. | Location graph | Produced plans |
|---|---|---|
| 6 |  |  |
| 7 |  |  |
| 8 |  |  |

## پی‌نوشت

1. Mitchell
2. Jo & Gero
3. Schneier & Gero, Gero & Kazakov Jagielski
4. Garza & Maher, Bentley, Elskurtaj & Frank
5. Katoch
6. Dolgrakis
7. Wong & Chan, Benjamin Dellenberger, Thakur et al., Dela Barrera Poble, Knecht, Flack
8. Ricardo Lopes et al.
9. Reinhard Koenig

## فهرست منابع

- باباخانی، رضا؛ شاهچراغی، آزاده و ذبیحی، حسین (۱۴۰۱). تبیین مدل نظری تولید و توسعه پلان‌های معماری در تعامل الگوریتم‌های یادگیری ماشین و ژنتیک. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۴(۳): ۱۵-۱.

- Calixto, V. and G. Celani.( 2015). A literature review for space planning optimization using an evolutionary algorithm approach: 1992-2014. *Computer Science,* pp 662–671. https://doi.org/10.5151/DESPRO-SIGRADI2015-110166.
- Doulgerakis, A. (2007). Genetic Programming + Unfolding Embryology in Automated Layout Planning. **Electronic Theses and Dissertations** . Paper 84, University College London. http://discovery.ucl.ac.uk/4981/1/4981.
- Gero, J. S. and V. A. Kazakov. (1998). Evolving design genes in space layout planning problems. *Artificial Intelligence in Engineering,* 12 (3):, Pages 163-176. https://doi.org/10.1016/S0954-1810%2897%2900022-8.
- Harada, M.; A. Witkin and D. Baraff. (1995). Interactive physically-based manipulation of discrete/continuous models. **Paper presented at the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniquesSeptember**, New York, NY, United States. 15 September. https://doi.org/10.1145/218380.218443.
- Jun H. Jo, John S. Gero. (1998). Space layout planning using an evolutionary approach, *Artificial Intelligence in Engineering*, Volume 12, Issue 3, Pages 149-162.
- Katoch, S.; S. S. Chauhan and V. Kumar. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications,* 80: 8091 - 8126. https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6
- Knecht, K. and R. König. (2010). Generating Floor Plan Layouts with K-d Trees and Evolutionary Algorithms. **13th Generative Art Conference**, Italy, at Politecnico di Milano University, the 15-16-17 December. Corpus ID: 9145563.
- Levin, P. H. (2022). **Use of graphs to decide the optimum layout of buildings**. Building Research Station, 14.
- Marler, R. and J. Arora.( 2004). Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 26: 369-395. https://doi.org/10.1007/S00158-003-0368-6.

- Merrell, P.; E. Schkufza and V. Koltun. (2010). Computer-generated residential building layouts. **ACM SIGGRAPH Asia .Association for Computing Machinery**, New York ,NY, United States .papers Seoul South Korea December 15 – 18. https://doi.org/10.1145/1866158.1866203.
- Michaleka, J. J. Choudhary, R. & Papalambrosa, P. Y. (2002). Architectural Layout Design Optimization. taylor and francis, *Eng. Opt.*,Vol. 34(5),pp. 46.
- Negroponte, N. (1969). Toward a theory of architecture machines. *Journal of* Architectural Education 23. 2: 9-12. https://doi.org/10.1080/00472239.1969.11102296.
- Nagy, D., D. Lau, J. Locke, J. Stoddart, L. Villaggi, R. Wang, D. Zhao and D. Benjamin. (2017). Project discover: an application of generative design for architectural space planning. . **Paper presented at the International Conference SIMAUD '17: Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban DesignMay 2017Article No**.: 7Pages 1–8 https://doi.org/10.22360/simaud.2017.simaud.007.
- Umetani, N.; T. Igarashi and N. J. Mitra. (2012). Guided exploration of physically valid shapes for furniture design. ACM Transactions on Graphics (TOG) 31: 1 - 11. https://doi.org/10.1145/2185520.2185582.
- Verma, M. and M. K. Thakur. (2010). Architectural space planning using Genetic Algorithms. **Paper presented at the 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)**, Singapore, 26-28 February 2: 268-275. https://doi.org/10.1109/ICCAE.2010.5451497.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Received: 2023/03/11
Accepted: 2023/07/18





# Automatic Design and Drawing of Architectural Plans by Combining Evolutionary Algorithms, Machine Learning, and Instance-Based Methods

**Reza Babakhani[*] Azadeh Shahcheraghi[**] Hossein Zabihi[***]**

## Abstract

Creating perception in computer software is one of the most significant challenges in digital architecture today. Computer software is considered one of the most important tools for architects and designers and is widely used in project design. In digital software-assisted design, achieving an optimal layout and design is one of the crucial and impactful stages. However, computer software lacks any inherent intuition regarding the design process, which is the main reason for not fully delegating design processes to computers. Therefore, the aim of this research is to elucidate a computational method based on quantitative and qualitative data to create relative intuition in machines through the combination of evolutionary algorithms and machine learning. The research method is both quantitative and qualitative, based on genetic algorithms, machine learning (k-means clustering), and instance-based learning. The results of this research indicate that, contrary to methods based on the combination of genetic algorithms and genetic programming, it is possible to enhance both the intuition in machines and the accuracy and speed of map production by combining three algorithms: genetic, machine learning, and instance-based. Another feature of the proposed method is a learning rate of nearly ninety percent in identifying and presenting designs. However, the production of plans by computers is still in its early stages, and a lengthy process is still required for this step to be fully accomplished by computers.

**Keywords:** automatic plan generation, genetic algorithm, machine learning, instance-based, k-means.

[*] PhD in Architecture, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author). *reza.babakhani@srbiau.ac.ir*

[**] Associate Professor, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[***] Associate Professor, Department of Urban Planning, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.