مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره سه، خرداد ماه ۱۴۰۱(۱۵-۱)

تبیین مدل نظری تولید و توسعه پلان های معماری در تعامل الگوریتم های یادگیری ماشین و ژنتیک

رضاباباخانی [۱]

آزاده شاهچراغی [*۲]

a.shahcheraghi@gmail.com

حسین ذبیحی [۳]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۵ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۸**

چکیده

زمینه و هدف: مساله این پژوهش تبیین مدل نظری در جهت یافتن راهکاری نوین برای تولید و توسعه چیدمان فضایی پلان های معماری مبتنی بر روش های تعاملی و تلفیقی با کمک الگوریتم های یادگیری ماشین و ژنتیک است، در واقع هدف رسیدن به یک مدل نظری است که بیان می دارد الگوریتم های تکاملی به تنهایی مثمر ثمر نیستند، بلکه الگوریتم های یادگیری ماشین می توانند پلان ها را فراگیری کرده و مبنای مدل عملی شوند که به واسطه استفاده از الگوریتم های ژنتیک می توانند توسعه و تولید کننده نمونه های جدید باشند.

روش بررسی: در همین راستا روش پژوهش ترکیبی شامل مطالعات کتابخانه ای، گردآوری داده های خام، بررسی نمونه های موردی و استفاده از فرمول های محاسباتی به صورت تابع های هدف و جریمه است.

یافته ها: مطالعات این تحقیق نشان می دهد که الگوریتم ژنتیک توانایی حافظه سپاری ندارد و از طرفی مبنای محاسبات آن جهش و تصادفی عمل نمودن است که این فرآیند در تولید پلان های معماری به تنهایی اثربخش نخواهد بود.

نتیجه گیری: نتایج پژوهش نشان می دهد که براساس مدل نظری ارائه شده، الگوریتم یادگیری ماشین به واسطه ساختار نمونه پذیر خود می تواند نمونه هایی را ذخیره و بازشناسی نماید و الگوریتم ژنتیک که یک الگوریتم جستجوگر و توسعه پذیر است، هر بار نمونه های بیشتری را از پلان های معماری براساس مدل ریاضی ارائه شده تولید نماید.

واژه های کلیدی: یادگیری ماشین، الگوریتم ژنتیک، تولید پلان، تولید خودکار پلان.

۱- دکتری معماری، پژوهشگر، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دکتری معماری، دانشیار گروه معماری ، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.*(مسوول مکاتبات)

۳ - دکتری شهرسازی، دانشیار گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 3, June, 2022

Explain the theoretical model of production and development of architectural plans in the interaction of machine learning algorithms and genetics

Reza babakhani [1]
Azadeh Shahcheraghi [2*]
a.shahcheraghi@gmail.com
Hossein Zabihi [3]

Admission Date:March 8, 2021 Date Received: February 3, 2021

Abstract

Background and Objective: The aim of this study is to explain to the theoretical model in order to find a new solution for the production and development of spatial arrangement of architectural plans based on interactive and integrated methods with the help of machine learning and genetic algorithms. Evolutionary algorithms alone are not effective, but machine learning algorithms can learn plans and form the basis of practical models that can develop and generate new samples through the use of genetic algorithms.

Material and Methodology: In this regard, the combined research method includes library studies, collecting raw data, reviewing case samples, and using computational formulas as objective and penalty functions.

Findings: Studies show that the genetic algorithm does not have the ability to store memory and on the other hand, the basis of its calculations is jumping and random action that this process is not effective in the production of architectural plans alone and research.

Discussion and Conclusion: findings show that the algorithm Machine learning, due to its exemplary structure, can store and recognize examples, and the genetic algorithm, which is a searchable and scalable algorithm, can produce more examples of architectural plans each time based on the proposed mathematical model.

Key words: machine learning, genetic algorithm, plan production, automatic plan production.

1- Researcher PhD of Architecture, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
PhD of Architecture, Associate Professor, Department of Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. **(Correspondence Author)*
3- PhD of Urban Development, Associate Professor, Department of Urban Development, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

همانگونه که واضح است طراحی چیدمان پلان ساختمان ها یکی از اصلی ترین وظایف در طراحی معماری قلمداد می شود. این اشکال چیدمان، ابعاد و موقعیت فضاهای داخلی ساختمان را تعیین می کنند تا معیارهای معماری را برآورده نمایند. این وظیفه برای طراحان و معماران پیچیده می شود که اگر روابط توپولوژی فضاها پیچیده باشد. بنابراین، روش طراحی خودکار توجه ها را به خود جلب نموده است، زیرا ممکن است راهی بالقوه برای محققان برای یافتن راه حل های جدید برای طراحی فضاها یا برنامه ریزی سریع برای پروژه های پیچیده معماری، مانند کاربری های مسکونی، بیمارستان ها، مدارس و آزمایشگاه ها باشد. اما ایده معرفی چنین تکنیکی به معنای جایگزینی معماران نیست، بلکه به معنی توسعه ابزارهای قدرتمند برای یافتن راه حل های سریع، تأیید ایده ها و انتخاب بهترین ابزار و فرآیند برای پیشرفت طراحی است(۱).

مطالعات چند دهه اخیر نشان می دهد، تولید خودکار نقشه های طبقات ساختمان کار دشوار و پیچیده ای است. روش پیشنهادی باید با ماهیت ترکیبی ساختار فضا سروکار داشته باشد، با این فرض که جلب رضایت کاربران کار دشواری است (به عنوان مثال برای برآوردن تمام روابط فضایی داخلی ممکن در یک طرح واحد)، اهداف و محدودیت های متناقض و مبهم وجود دارد و این مبهم بودن برنامه طراحی، جزء مراحل اولیه معماری است(۲).

بیشتر تلاش های اولیه برای ایجاد سیستم های طراحی خودکار معماری، نوعی عملکرد عینی را به عنوان اندازه گیری کلی از کیفیت یک راه حل به کار گرفته است، سپس سعی نموده کیفیت این عملکرد را با اعمال محدودیت های مختلف به حداکثر برساند یا به حداقل برساند. برای مثال، هدف در اغلب طراحی خودکار پلان ها، اندازه گیری فاصله فضاها به عنوان یک عامل افزایشی یا کاهشی بین یکدیگر در یک نقشه کف طبقات است. یعنی نزدیکترین چیدمان ممکن فضاها نسبت به هم، بنابراین طراحی معماری به شکل خاصی از مسئله انتساب درجه دوم که توسط کوپمنز و بکمن (۱۹۵۷) و بسیاری از نویسندگان از آن زمان فرموله شده بود تقلیل یافته است(۳). و معمولاً هدف به حداقل رساندن هزینه ها(فاصله فضاها)، که شامل زمان یا مسافت بین فضاها از طریق بخش های مختلف است(۴). این روش ها از راهکار های جستجوی ابتکاری(۵). و الگوریتم های تکاملی (ژنتیک)(۶). تا برنامه نویسی مختلط متفاوت و الگوریتم پذیرش آستانه (۷). بهره برده است.

در واقع الگوریتم های ژنتیک به دلیل ساختار خاص و اجرای نسبتاً ساده آن ها، به طور کلی در زمینه طراحی معماری وارد شده اند. از آن زمان به بعد، آن ها به ویژه در بهینه سازی طرح های طبقات (۸) و نقشه سایت ها (۹). بهینه سازی طرح های ساختمانی (۱۰). بهینه سازی فرم های سازه های ساختمان (۱۱). و در برخی از طرح های مفهومی کارایی داشته اند، اما با این حال، بر خلاف سایر زمینه های تحقیقاتی کاملاً علمی، مشکلات در طراحی های معماری اغلب با زیبایی شناسی و مسائل اجتماعی نیز آمیخته شده است. عواملی که با مدل های ریاضی قابل توصیف نیستند و وقتی یک طراح سعی می کند با کمک GA، مشکلات طراحی معماری را با چنین پیچیدگی های ذاتی بهینه نماید، باید مشکلات ویژه (روانشناسی محیطی) را به مشکلات ترکیبی و یا عددی تبدیل کند که توسط GA قابل حل گردد(۱۲).

در واقع در مرحله برنامه ریزی فضا است که معماران خواسته ها، الزامات قانونی، محدودیت های توپوگرافی، ترجیحات زیبایی شناختی، مسائل روانشناسی و سایر جنبه های مهم برای مشتری را که ممکن است به طرح نهایی کمک کند، تجزیه و تحلیل و ترکیب می نمایند. برای مثال ممکن است مهمترین تصمیمات مربوط به طراحی سیستم های منفعل خورشیدی با مصرف بهینه انرژی باشد، یا تولید ابعاد پنجره ها در پلان معماری با در نظر گرفتن زمان و چیدمان بهینه که مورد بررسی و اجرا قرار گیرد. در این مرحله معماران سعی می کنند با استفاده از روش های دستی و ابتکاری در ترسیم، راه حل های

1- Quadratic assignment problem
2- Threshold transition algorithm

جایگزین و تغییرات طراحی بیابند تا بهترین راه حل را برای ترکیب تمام ترجیحات و نیازها ارائه نمایند. اما تکمیل این مرحله طراحی اولیه زمان قابل توجهی به طول می انجامد و کیفیت حاصل از آن تا حد زیادی به تجربه گذشته معمار بستگی دارد(۱۳).

به نظر می رسد که در حال حاضر مسئله AFPG[1] با توجه به استفاده و توسعه ابزارهای محاسباتی (یادگیری ماشین، طراحی زایا و غیره) در حل مشکلات معماری، کانون اصلی باشد. تعداد نیازها و ترکیبات احتمالی مکان اتاق ها در نقشه طبقات معماری، این مسئله را بسیار پیچیده و از نظر محاسباتی طاقت فرسا کرده است، که می توان آن را متعلق به گروه مشکلات کامل چند جمله ای که به آن ان‌پی سخت (NP[2]) اطلاق می-شود، دانست(۱۴). در حقیقت مشکلات زیبایی شناسی، روانشناسی محیطی، قوانین طراحی، ترکیبات فضایی، خواسته کاربر و چندین عامل دیگر که فرآیند معماری را چندعاملی می نماید، می تواند پیاده سازی فرآیند طراحی خودکار را ناموفق نماید و همه این مسائل از یک سو و در سوی دیگر عدم کسب موفقیت کامل در بهره برداری از الگوریتم های تکاملی و یادگیری عمیق در تولید پلان های معماری، بیشتر پژوهشگران این حوزه را نگران و سردرگم نموده است، اکنون سوال این پژوهش یافتن راهکاری نوین در تولید فضا برای پلان های معماری با استفاده از فرآیندی جدیدی از الگوریتم های هوش مصنوعی است، راهکاری که در جهت ارائه راه حل جایگزین در فرآیند طراحی خودکار فعلی معماری است. در واقع چند مرحله اصلی در فرآیند طراحی خودکار وجود دارد، یک شناخت نیازکاربر، دو دریافت اطلاعات طراحی، سه تولید طرح و چهار بهینه سازی طرح است که برای تحقق چنین هدفی می توان برای هر مرحله از الگوریتم های تکاملی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق استفاده نمود. که در این پژوهش به بررسی و پیشنهاد الگوریتمی ترکیبی از ژنتیک و یادگیری ماشین در فرآیند تولید طرح پرداخته شده است.

Doulgerakisدر سال ۲۰۰۷ از برنامه نویسی ژنتیک (GP) با رویکرد مبتنی بر عامل برای اختصاص فعالیت ها (توابع فضایی) به شکل اتاق ها استفاده نموده است (۱۵). در این حالت، فضاهای گردشی عمودی(راه پله) و کارکردهای ناشی از آن نادیده گرفته شد، بود و در سال ۲۰۱۱ Flack دو آزمایش دیگر را با روش تکاملی مورد آزمون قرار داد، مساله اصلی فضاهای ارتباطی مانند؛ پله ها، آسانسورها بود که برای حل مساله فضاهای ارتباطی از روش تکنیک های محاسباتی، الگوریتم ژنتیک و برنامه نویسی ژنتیکی استفاده شد. پژوهشگران تصمیم گرفتند که مساله راه پله را به عنوان یک فضای ثابت در مسئله بگنجاننده به طوری که در هر سطح تکرار شود، راه حلی که تاکنون هم ادامه دارد(۱۶). در سال ۲۰۱۰ از الگوریتم ژنتیک (GA) برای تولید نقشه های توپولوژیکی استفاده کردند و از الگوریتم Dijkstra برای قرار دادن درها و راه پله ها استفاده نموده اند تا مقررات ارتباط فضاها را رعایت کنند.

در پژوهشی دیگر که فراتر از زمینه محاسبات تکاملی بود، زیمرمن از یک روش تقسیمات مستطیل استفاده کرد که در آن محدودیت های چند سطح خاص اعمال شد، مانند؛ ترازهای دیواره عمودی یا محدودیت های پیش آمدگی (۱۷). این روش شامل بررسی محدودیت ها از توپولوژی به هندسه بود. پژوهشگر توپولوژی را به عنوان تخصیص فضا با مناطق واقعی خالص(زیربنا)، و هندسه را به عنوان نتیجه دقیق با ضخامت دیواره و سایر ابعاد در نظر گرفته بود. اما مساله بعدی تولید پلان در تعداد طبقات بیشتر بود. مشکل تولید نقشه های چند طبقه نیز فراتر از حوزه معماری مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال، در زمینه گرافیک رایانه ای، Merrell و همکاران در۲۰۱۰ از روش رویه ای استفاده نموده اند که در آن برنامه طراحی با استفاده از یک شبکه آموزش دیده بیز، بر روی داده های واقعی نقشه طبقات معماری فراگیری و سطح کف ها توسط پله هایی به شکل L، U و یا خطی به هم متصل می گردیدند. و Rodrigues در سال ۲۰۱۴ پس از آزمایش

1- Automated Floor Plan Generation
2- nondeterministic polynomial

چندین تکنیک تکاملی، استراتژی تکاملی (ES) خود را به عنوان نویدبخش ترین مورد استفاده در رویکرد تخصیص فضا معرفی نمود. ES یک تکنیک مبتنی بر جمعیت است که امکان می دهد در سطح وسیع به جستجو در فضای مساله پرداخته شود. همچنین در سال ۲۰۱۹ Maciej Nisztuk در مقاله شرح می دهد برای تولید چندین اتاق (تعریف شده توسط کاربر)، برنامه[۲]ELISi ارائه شده موثر است و برای حل مشکل AFPG کاربرد مفیدی را برای معمار ارائه می دهد. نتایج ELISi نشان می دهد که فرمول بندی مسئله AFPG و روش توسعه یافته می تواند در تولید پلان ها موثر باشد(۱۸).

در پژوهش های صورت گرفته براساس جدول ۱ می توان انواع خروجی های هر پژوهش را مشاهده نمود، برای مثال در پژوهش Rodrigues در سال ۲۰۱۲ اکثر آیتم های طراحی خودکار پلان لحاظ گردیده است که می توان این پژوهش را یکی از تحقیقات بسیار ویژه در حوزه تحقق بخشیدن طراحی خودکار توسط هوش مصنوعی دانست، البته هنوز برای تکمیل این پارادایم جدید نیاز به توسعه و ترکیب شیوه های جدید وجود دارد. مثلاً از کاستی های این فرآیندها عدم محاسبه ستون ها و ستون گذاری همزمان با طراحی است، چرا که اگر محاسبه ستون ها همزمان صورت نگیرد طرح باید مجدداً اصلاح و دوباره طراحی شود و به این فرآیند در پژوهش های پیشین پرداخته نشده است و همچنین عدم وجود پیشنهاد مشخص برای مشارکت کاربر در فرآیند طراحی است، در واقع باید کاربر خود نیز در فرآیند طراحی مشارکت نماید و سهم بسزایی را در چینش فضاها براساس سلیقه های خود داشته باشد. در این پژوهش سعی گردیده تا جای ممکن علاوه بر حفظ دستاوردهای پیشین، مساله افزایش دقت و سرعت طراحی مدنظر قرار گیرد و عملکرد تصادفی ماشین کاهش یابد چرا که در پژوهش های قبلی به علت استفاده صرف از الگوریتم ژنتیک، خروجی های تولید شده ماشین دارای عملکرد تصادفی و در نقشه های طراحی شده دارای ایرادات اساسی بوده است.

روش بررسی

در این پژوهش از روش های ترکیبی که شامل مطالعات کتابخانه ای، گردآوری داده های خام، بررسی نمونه های موردی، محاسبات و فرمول های ریاضی به همراه الگوریتم ها و کتابخانه های هوش مصنوعی استفاده گردیده است. مطالعات کتابخانه ای در جهت استخراج حداقل ابعاد فضاها، بازشوها و روابط فضایی براساس استانداردها و ضوابط طراحی پلان های معماری که در مبحث ۴ کتب مقرارت ملی ساختمان هست، صورت پذیرفته است. و همچنین گردآوری داده های خام در راستای آموزش نمونه های صحیح طراحی پلان معماری به الگوریتم های یادگیری ماشین انجام گردیده که از طریق محاسبه ضریب همبستگی و پیش پردازش و پس پردازش تجزیه و تحلیل و سپس تبدیل به پایگاه داده شده است. همچنین نمونه های موردی صورت گرفته در تحقیقات پیشن که در مسیر تولید پلان های معماری براساس طراحی خودکار بوده اند، نیز بررسی و ایرادات، مشکلات و کاستی های آن ها نیز استخراج گردیده است. در ادامه از طریق فرمول های ریاضی و تابع نویسی، الگوریتمی مبتنی بر ساختار ژنتیک که در جهت همکاری با الگوریتم های یادگیری ماشین هست، به صورت حل مساله پرداخته شده است.

الگوریتم ژنتیک در این پژوهش به عنوان الگوریتمی برای تولید و توسعه فضای پلان های معماری براساس استانداردها و نمونه های آموزشی استفاده شده است، در واقع هدف از الگوریتم ژنتیک در این پژوهش تولید فضاهای جدید براساس اطلاعات ورودی کاربر و استانداردها و مقرارت طراحی محبث ۴ و همچنین نمونه های صحیح آموزشی از فرآیندهای طراحی پلان های معماری است. اما در این پژوهش الگوریتم ژنتیک با یادگیری ماشین در یک تعامل دو سویه قرار گرفته است، چرا که در پژوهش های پیشین مساله ای که وجود دارد تولید فضا فقط از طریق الگوریتم های تکاملی منجر به چند مشکل گردیده است، اولین مساله، تصادفی عمل نمودن الگوریتم است که منجر به تولید فضاهای خارج از منطق طراحی معماری می-گردد (۱۳). چرا که الگوریتم های تکاملی مانند ژنتیک برپایه

1- Evolutionary Strategy
2- EvoLutionary ArchItecture Aided DeSign

جهش ها و تصادفی عمل کردن هستند، مانند آنچه در طبیعت در دوره های تکامل صورت می پذیرد و این نحوه عملکرد براساس اظهارات خود پژوهشگران باعث تولید فضاهایی در پلان می گردد که در تعداد بالا خطای طراحی را ایجاد می نماید، دومین مساله زمان طولانی این الگوریتم برای پردازش است که تولید پلان را با مشکل مواجه می نماید، لذا با مطالعات صورت گرفته در نهایت این جمع بندی حاصل گردید که استفاده از یادگیری ماشین همزمان با الگوریتم ژنتیک می تواند این مساله را حل نماید.

برای رسیدن به این امر ابتدا باید اطلاعات طراحی براساس جدول ۲ استخراج و حداقل هایی که باید در طراحی مدنظر قرار گرفته شود به هوش طراحی خودکار انتقال داده شود که این کار توسط زبان برنامه نویسی خواهد بود، سپس نمونه هایی از پلان های معماری که استانداردها را رعایت نموده اند به یک پایگاه داده تبدیل و سپس به ماشین از طریق زبان برنامه نویسی پایتون آموزش داده می شود. اکنون الگوریتم ژنتیک هم نمونه های آموزشی را می تواند مشاهده نماید و هم نسبت به حداقل های طراحی براساس استانداردها آگاه باشد و در ادامه براساس اطلاعات ورودی کاربر که شامل، محل طراحی، تعداد طبقات، تعداد واحدها، عرض زمین، طول زمین، تعداد اتاق خواب ها، محل قرارگیری آن ها براساس علایق کاربر(شمال، جنوب، شرق و غرب)، محل قرارگیری آشپزخانه، ابعاد پنجره ها (بزرگ،کوچک، متوسط، کف تا سقف) و پارگینگ، انباری و سایر فضاها است، می تواند طرحی را در مدت زمان بسیار کوتاه آماده و ارائه نماید. در واقع در این پژوهش به واسطه ارائه نمونه پلان های صحیح با طول و عرض های متداول زمین های شهری که گام آن براساس تغییر یک متر هست، می توانیم، یادگیری را قوی تر نماییم، برای نمونه، عرض یک زمین ۱۰ متر و طول آن ۲۰ متر است و نمونه طراحی آن با ۶۰٪ سطح اشغال به ماشین آموزش داده می شود، که هرچه تعداد نمونه ها بیشتر باشد دقت و قدرت یادگیری هوش طراحی خودکار نیز بیشتر خواهد بود، مانند؛ دانشجوی معماری که هرچه طرح های بیشتری را مشاهده نماید، می تواند طراحی بهتری را تولید نماید، اما قطعاً کاربر می تواند زمین هایی با ابعاد غیر متداول داشته باشد، در این صورت هوش طراحی خودکار اطلاعات زمین را از کاربر دریافت و نمونه متناظر آن را از حافظه خود استخراج و سپس به وسیله فرمول های ریاضی (تقریب استرلینگ، فاصله منهتن، فاصله کسینوسی، قانون پولیش، فاکتوریل و جایگشت) تقسیمات فضایی و روابط فضایی را اعمال و ابعاد جدید را در پلان معماری براساس طول، عرض و سطح اشغال طراحی می نماید. بدین روش دیگر احتمال تصادفی عمل کردن الگوریتم در تولید پلان به واسطه وجود نمونه های آموزشی به صفر خواهد رسید (۱۹).

جدول۱- پیشینه پژوهش های صورت گرفته با الگوریتم های تکاملی و یادگیری ماشین

Table1. Background of research with evolutionary algorithms and machine learning

	پژوهشگر	سال	روش	oF	wD	eD	eW	iD	S	fL	bB	eF	aB	oO	sA
۱	W J Mitchell et al	1956	SO												
۲	Jo and Gero	1996	GA	g					•	•	•				
۳	Schnier and Gero	1997	GA	g											
۴	Rosenman	1997	GA	g					•						
۵	Gero and Kazakov	1997	GA	g					•	•	•				
۶	Jagielski and Gero	1997	GP	g					•	•	•				
۷	Bentley	1998	GA	gt						•	•				•

۸	Garza and Maher	1999	GA	gt		•	•	•							•
۹	Elezkurtaj and Franck	1999	GA/ES	gt					•	•					•
۱۰	Michalek	2001	GA+SA/SQP	gthcl			•		•	•					•
۱۱	Jackson	2002	GP+L-system	g											
۱۲	Virirakis	2003	GA	gt		•	•	•	•	•					•
۱۳	Makris	2005	GA	gt					•						•
۱۴	Bausys and Pankrasovait	2005	GA	ghl				•	•						
۱۵	Homayouni	2007	GA	gt			•		•	•					•
۱۶	Doulgerakis	2007	GP	gt				•	•						•
۱۷	Banerjee et al	2008	GA	gt											•
۱۸	Serag et al	2008	GA	g					•						
۱۹	Makoto INOUE	2008	LA+EC												
۲۰	Inoue and Takagi	2009	GA+VD	gtls											•
۲۱	Wong and Chan	2009	GA	t				•	•						•
۲۳	Benjamin Dillenburger	2009	GA+SA												
۲۴	Thakur et al	2010	GA/DA	gts					•	•					•
۲۵	de la Barrera Poblete	2010	GA+VD	g				•							
۲۶	Knecht	2010	GA/ES+K-D	gt				•						•	
۲۷	Flack	2011	GA/GP	gt			•	•						•	•
۲۸	Ricardo Lopes et al	2011	AH												
۲۹	Reinhard Koenig	2012	AH												
۳۰	Rodrigues	2012	ES+SHC	gt	•	•	•	•	•	•				•	•
۳۱	Victor Calixto	2015	GA/GP		•	•	•	•						•	•
۳۲	Stanislas Chaillou	2019	GAN				•	•						•	•
۳۳	RUIZHEN HU	2020	Graph2Plan			•	•	•						•	•
۳۴	Maciej Nisztuk	2020	GA		•	•	•	•						•	•

GA: الگوریتم ژنتیک- GP: برنامه نویسی ژنتیک- ES: استراتژی تکاملی- SA: شبیه سازی گرمایش- SQP: برنامه درجه دوم متوالی- L: سیستم لندمیر- VD: نمودار ورنوی- DA: الگوریتم دایجسترا- SHC: الگوریتم تپه نوردی- t: توپولوژیک- h: گرمایش-c: سرمایش- l: روشنایی- s: مسافت پیاده روی- 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: ساختمان های مجاور- oO: جهت بازشوها- sL: موقعیت مکانی- sA: فضاهای همجوار

جدول۲- حداقل های طراحی پلان براساس مبحث ۴ مقرارت ملی ساختمان

Table4. Minimum plan design based on topic 4 of the National Building Regulations

ردیف	نام فضای مسکونی	حداقل مساحت	حداقل عرض	حداقل طول	حداقل ارتفاع	حداقل پنجره	حداقل در	جهت گیری	ماتریس فضا
۱	راهروی ورودی خروجی	-	۱/۴۰	-	۳/۲۴	-	۱m	-	۰
۲	راهروی ورودی داخلی	-	۱/۱۰	-	۳/۲۴	-	۱m	-	۰
۳	اتاق خواب اول	۱۲	۲/۷۰	-	۳/۲۴	۱/۸	۹۰cm	شرق	۱
۴	اتاق خواب دوم	۶/۵	۲/۵	-	۳/۲۴	۱/۸	۹۰cm	شرق	۱
۵	پذیرایی	۱۲	۲/۷۰	-	۳/۲۴	۱/۸	۱m	جنوب	۱
۶	آشپزخانه	۷/۵	۲/۱۵	-	۳/۲۴	۱/۸	۱m	شمال	۲
۷	پارکینگ	۱۲/۵	۲/۵	۵	۲/۸۸	-	۳m	-	۰
۸	حمام	-	۱/۲۰	-	۳/۲۴	۱/۸	۸۰m	غرب	۲
۹	انباری	۲	۱/۲۰	۱/۷۰	۳/۲۴	-	۹۰cm	غرب	۰
۱۰	پاسیو	۶	۲	۳	-	-	۹۰cm	-	۱
۱۱	حیاط خلوت	-	۲	-	-	-	۹۰cm	-	۱
۱۲	تراس و بالکن	۱/۵۶	۱/۲۰	۱/۳۰	۱/۱۰	-	۸۰cm	شرق	۱
۱۳	چاله آسانسور	۳/۲۳	۱/۷۰	۱/۹۰	-	-	۹۰cm	-	۰
۱۴	سرویس بهداشتی	-	۱/۱۰	۱/۲۰	۳/۲۴	۱/۸	۸۰cm	غرب	۲
۱۵	سرویس بهداشتی معلولین	-	۱/۵۰	۱/۷۰	۳/۲۴	۱/۸	۸۰cm	غرب	۲
۱۶	پیش ورودی ساختمان	-	۱/۴۰	-	۳/۲۴	-	۱m	-	۰
۱۷	محل نگهداری تاسیسات	۱۲	۳	۴	۲/۸۸	-	۱m	-	۰
۱۸	موتور خانه آسانسور	۱۲	۲/۵	۳/۴۰	۳/۱۰	-	۱m	-	۰

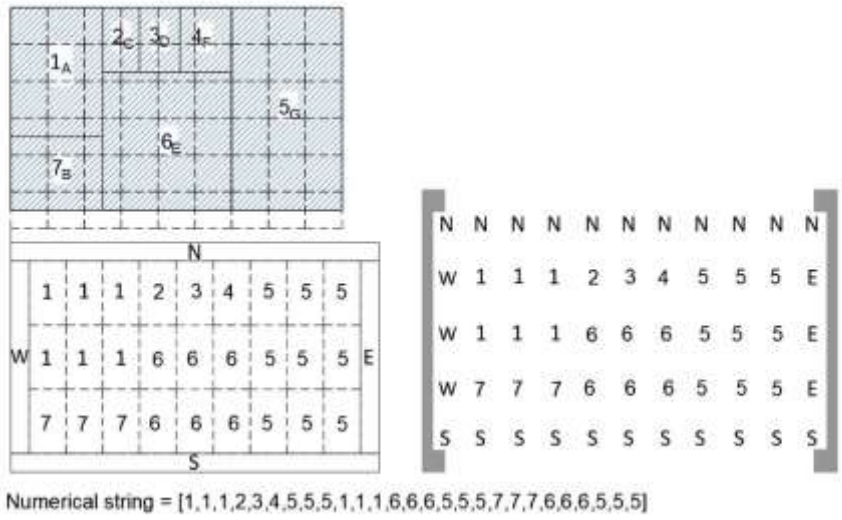
برای این امر باید ابتدا نمونه پلان های معماری بر مبنای یک متر افزایش در طول و عرض در بازه زمین های متداول شهری تولید و سپس با پیش پردازش داده ها نویز گیری و در ادامه اطلاعات آن از طریق رمزنگاری به یک بردار یکه تبدیل گردد تا الگوریتم یادگیری ماشین توان خوانش آن را از طریق کتابخانه های خود داشته باشد، سپس باید تابع هدف، تابع هزینه نحوه محاسبه فضاها و شیوه تخصیص آن ها و همچنین فرآیند هماهنگ کردن این توابع با الگوریتم ژنتیک صورت پذیرد.

یافته ها

تاکنون در روش های قبلی که در سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۴ صورت گرفته است، برای طراحی خودکار صرفاً از الگوریتم های تکاملی استفاده شده و تمام فضاها، بازشوها و فضاهای ارتباطی به روش جستجو در فضای مساله یافت و اعمال گردیده است که در این فرآیندها هم خطای تصادفی عمل نمودن الگوریتم به خاطر ساختارش وجود داشته و هم زمان زیادی صرف گردیده و در نهایت با افزایش تعداد فضاها یا عناصر دیگر پلان، نتایج قابل دفاع استخراج نگردیده است. اما در این پژوهش با توجه به مطالعات وسیع صورت گرفته برای نخستین بار جهت پیشگیری از وقوع چنین خطاهایی، به صورت ترکیبی از الگوریتم های یادگیری ماشین و ژنتیک براساس نمونه های صحیح چیدمان عناصر پلان ها استفاده شده است. از یادگیری ماشین برای آموزش نمونه های صحیح طراحی و از الگوریتم ژنتیک در

راستای توسعه و تولید نمونه های جدیدتر براساس پلان های فراگیری شده توسط هوش طراحی خودکار در ابعاد های مختلف در راستای محدوده استانداردها و ضوابط طراحی و همچنین تامین نیاز کاربر استفاده گردیده است.

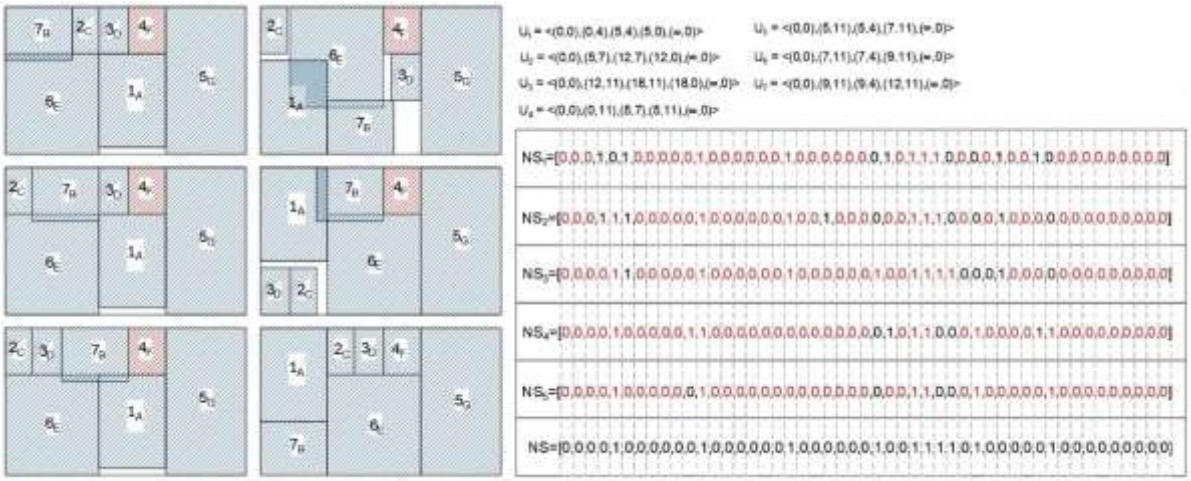
بدین منظور در پژوهش های پیشین نحوه آموزش پلان های معماری به الگوریتم های یادگیری ماشین با چندین روش به صورت کامل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، اما به صورت اجمالی باید بیان نمود که برای یادگیری ماشین ابتدا باید مختصات پلان های نمونه آموزشی براساس شکل ۱ رمزنگاری شده و به بردارهای عددی تبدیل گردیده و سپس این بردارها از طریق فرمول های فاصله سنجی دسته بندی و اطلاعات آن ها مرتب و در نهایت به وسیله کدنویسی زبان پایتون به الگوریتم یادگیری ماشین آموزش داده شود.



شکل۱- ماتریس روابط فضایی و همجواری

Figure 1. Spatial and neighborhood relations matrix

در واقع در این روش که هدف یافتن روشی برای تعامل الگوریتم ژنتیک و یادگیری ماشین است، پلان های آموزشی نمونه های خواهند بود که مختصات اولیه را به وسیله کدهای نوشته شده از هر فضای پلان به الگوریتم GA انتقال می دهند و الگوریتم GA فرآیند توسعه و تولید نمونه های جدید را با حافظه سپاری توسط الگوریتم یادگیری ماشین ساختار کلی پلان ها که شامل، تقسیمات فضایی، روابط فضایی، جهت بازشوها و سایر مولفه ها هست آغاز می نماید و در ادامه این مختصات های آموزش دیده را توسعه و با نیازهای کاربر، شرایط اقلیمی، ضوابط طراحی و مولفه های دیگر توسعه و به فرم جدید تبدیل می نماید. بدین روش از جهش و تصافی عمل کردن هوش طراحی خودکار پیشگیری خواهد شد، چرا که ساختار کلی پیشتر به الگوریتم GA با یادگیری ماشین آموزش داده شده است.



شکل۲- تبدیل روابط فضایی به بردارهای عددی

Figure 2. Converting spatial relations to numerical vectors

می توان این محدوده های که باید الگوریتم GA در آن فعالیت نماید را در شکل ۲ به صورت کامل مشاهده نمود بردارهایی که از کدهای صفر و یک تشکیل یافته اند و همچنین کدهای مختصات فضاهای اولیه که توسط یادگیری ماشین شناسایی شده و جهت توسعه و تولید نمونه های جدیدتر آماده هستند. اما در ادامه باید به مساله اصلی که نحوه عملکرد الگوریتم GA در تولید و توسعه پلان های معماری براساس نمونه های صحیح، اطلاعات ورودی کاربر، ضوابط طراحی، مباحث بهینه سازی و سایر مولفه های اثربخش در فرآیند 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 ساختارهای را رعایت و عناصر متشکل خود را به بردارهای عددی یکه با مشخصاتی که در اینجا ذکر گردیده تبدیل نماید؛ L: طول زمین، w: عرض زمین، S: فضا، E: آسانسور، ST: راه پله، Le: طبقات، P: پارکینگ،W : انباری.

$$(\{L.W\}.\{S1 \dots SN\}.\{E1 \dots EN\}.\{ST1 \dots STN\}.\{Le1 \dots LeN\}.\{P1 \dots PN\}.\{W1 \dots WN\})$$

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

$$(R1i\{Fr1 \dots FrN\}.\{Wr1 \dots WrN\}.\{Dr1 \dots DrN\})$$

که Fr: نماینگر مرز فضاها و Wr: پنجره ها و Dr: اطلاعات در های اتاق ها را دارد. در حقیقت Fri(x,y,w,h) که نمایه های است از درجه آزادی عمل هر فضا، x , y مختصات های حرکت مستطیل یا مربع به چپ یا راست در مختصات دکارتی را و w,h عرض و ارتفاع هر فضا را کنترل می نمایند. در مورد بازشو ها باید گفت که Wr بر اساس ترکیبی از استاندارد های بهینه سازی انرژی SET[1] و حداقل ها تعیین شده در ضوابط مقرارت ملی و Dr برگرفته از حداقل ابعاد ذکر شده در مبحث ۴ مقرارت ملی براساس جدول ۲ است.

برای راه پله در پلان ها باید برداری از $(S1i(x.y\{x.y.w.h\} \dots \{xN.yN.wN.hN\})a.b)$ ساخته شود که حاوی اطلاعات مختصات راه پله و ارتفاع و همچنین کف و ارتفاع پله ها است و این فرآیند نیز برای آسانسور که به عنوان دومین رابط بین طبقات است به این شکل $(E1i(x.y\{x.y.w.h\} \dots \{xN.yN.wN.hN\})a.b)$

1- Sustainable Energy Technology

ساخته می شود. در این پژوهش برای کاهش پیچیدگی فرمی و محدودیت های پژوهش (از نظر زمان)، اشکال ساختمان اصلی و ساختمان های مجاور تابعی از اشکال مستطیل و مربع در نظر گرفته شده است. پس از ایجاد بردارها که در واقع داده های عناصر اصلی پلان را شکل می دهند اکنون باید تابعی جهت محاسبه مختصات این فضاها بدین صورت نوشته شود.

اما برای محاسبه ابعاد فضاها که باید از میزان سطح اشغال یعنی ۶۰٪ بیشتر نشود، باید تابعی را به عنوان تابع جریمه نوشته شود که این تابع بدین صورت است که OLA: مساحت نهایی، Ol: سطح اشغال مجاز، fa: مساحت فضاها است و باید عدد حاصل شده از این رابطه همواره پس از خروج از قدر مطلق برابر صفر باشد در غیر اینصورت تابع عدد بزرگتر از صفر را به عنوان میزان جریمه به الگوریتم برگردانده و فرآیند تا زمانی که عدد صفر شود تکرار خواهد شد. در ادامه باید تابع جریمه کننده به بررسی همجواری پنجره، در، آسانسور، پله، پارکینگ، انباری و فضاهای اتاق ها در پلان معماری بپرداز تا محاسبه شود که هریک باید چه میزان خطا را در جابجایی اصلاح نمایند. برای این امر باید توابعی با عنوان مختصری از DC_1: ارزیابی اتصال، DC2: همپوشانی عناصر پلان، DC3: همجوار شناسی فضاهای خاص در پلان، DC4: ارزیابی بازشوها DC_5: جهت های عناصر، DC_6: محدوده خالص، DC7: تنظیم در های داخلی، نوشته شود.

مثلاً برای نمونه پیاده سازی DC_1 ابتدا باید تمام عناصر دارای ماتریس همجواری رمزنگار باشند تا بتوان از این طریق ارتباط مجاز هر فضا با فضای جانبی را ارزیابی نمود، سپس براساس این تابع

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

خطای همجواری استخراج و اصلاح گردد، که در اینجا $Fpco$ ماتریس اتصال فضاها، $Fpno$ ماتریس همجوارشناسی $Fpmo$ ماتریس فضای ارتباطی، را نشان می دهند. اگر باقی مانده تابع $F(i) =<>$ از Ol باشد، تابع ارزیابی DC_1 آن را محاسبه و به الگوریتم ژنتیک بازتاب می نماید و بدین ترتیب تمام DC های فرآیند برای هریک از عناصر ۱ تا ۷ بررسی و اعمال می گردد که برای هرکدام ازDC ها مدل محاسبه متفاوت است که انجام تمام این محاسبات از حوصله و ظرفیت این مقاله به لحاظ استاندارد های پژوهشی خارج است، اما در نهایت باید DC همه عناصر برابر صفر باشد و نه بزرگتر و نه کوچکتر تا طرح تولید گردیده هم از نظر روابط فضایی، تقسیمات فضایی، استاندارد های طراحی و با اطلاعات ورودی کاربر مطابقت داشته باشد. لذا بدین منظور باید براساس ماتریس ابعاد زمین های متداول شهری که در شکل ۳ قابل مشاهده هست، هوش طراحی خودکار نمونه هایی را آموزش دیده و بتواند دسته بندی مناسبی را از آن در ذهن خود ارائه دهد و سپس با تابع های هدف و جریمه آن را توسعه و نمونه های جدیدتری را تولید و سپس در فرآیند حافظه سپاری خود دوباره نمونه جدید را رمزنگاری و ذخیره نماید.

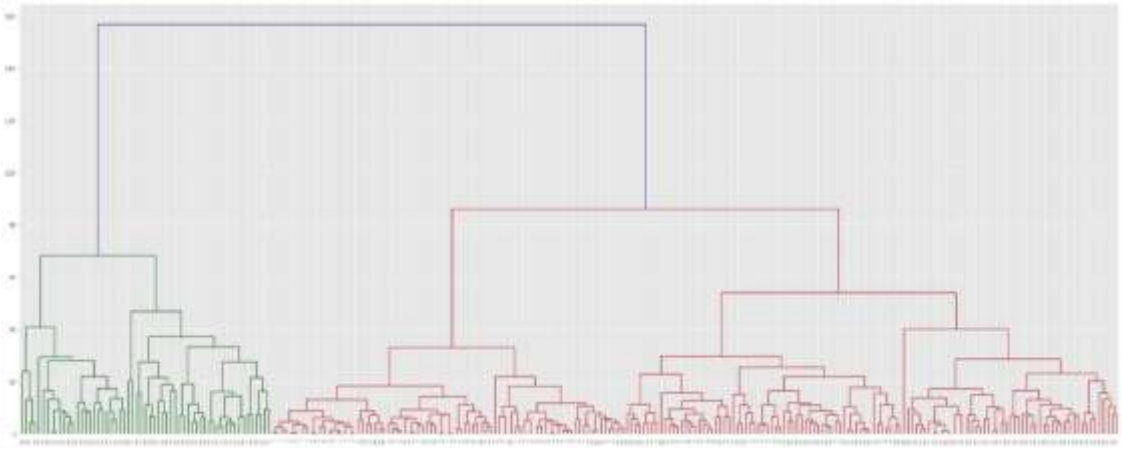
شکل۳- ماتریس زمین های متداول شهری

Figure 3. Matrix of common urban lands

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

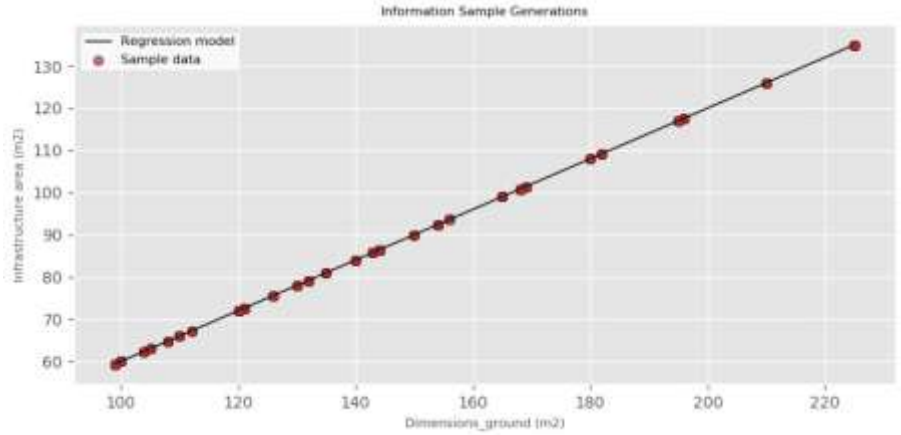
در همین راستا براساس شکل ۴ می توان دسته بندی درختی را از نمونه های فراگیری شده در هوش طراحی خودکار این پژوهش مشاهده نمود، براین اساس در گام اول این پژوهش هوش طراحی خودکار۲۶۰ نمونه از پلان مسکونی یک طبقه در بازه حداقل مساحت ۷۰ متر با سطح اشغال ۴۲ متر مربع و حداکثر با مساحت ۳۷۵ متر و سطح اشغال ۲۲۵ متر مربع را فراگیری نموده و در نهایت دو دسته اساسی و چهار دسته فرعی و هشت دسته زیر فرعی را ارائه نموده است، همچنین شکل ۴ نشان دهنده میزان فراوانی در تنوع پلان های یک طبقه فراگیری شده توسط هوش طراحی خودکار نیز است.



شکل۴- دسته بندی پلان های فراگیری شده توسط هوش طراحی خودکار

Figure 4. Classification of plans learned by automated design intelligence

اکنون باید مدل ریگرسیون یا تحلیل وایازشی را در نمونه های آموزش داده شده هوش طراحی خودکار این پژوهش مشاهده نموده تا از طریق بررسی همبستگی در میان متغیرها (عناصر پلان) به میزان کیفیت یادگیری هوش طراحی خودکار این پژوهش پی برد.



شکل۵- بررسی بیشترین فراوانی یادگیری هوش طراحی براساس ابعادزمین های متداول شهری

Figure 5. Investigating the maximum frequency of learning design methods based on the dimensions of common urban lands

براساس شکل ۵ محور X نمایانگر ابعاد زمین های متداول و Y بیانگر سطح اشغال های مجاز است، یعنی دو متغیر وابسته به هم (ابعاد زمین و سطح اشغال های مجاز) به صورت صحیح به عنوان متغیرهای مهم در فراگیری هوش طراحی خودکار ارائه شده اند و همچنین آنچه مشهود است فراوانی به درستی براساس تقاضای واقعی به سمت زمین های متراژ پایین تمایل دارد و این نکته پر اهمیت در یادگیری ماشین نیز رعایت گردیده است. در واقع در این پژوهش نمونه های صحیح پلان های معماری به عنوان یک ورودی اولیه برای فرآیند طراحی پلان در نظر گرفته شده و تولید نمونه های جدید در ترکیب فعالیت همزمان الگوریتم های تکاملی (ژنتیک) و یادگیری ماشین انجام می پذیرد.

بحث و نتیجه گیری

یافته و نوآوری این پژوهش بر این پایه استوار است که براساس مدل نظری ارائه گردیده الگوریتم یادگیری ماشین به واسطه ساختار نمونه پذیر خود می تواند نمونه هایی را (از طریق تبدیل پلان ها به بردارهای عددی) ذخیره و بازشناسی نماید و به واسطه ساختار الگوریتم ژنتیک که یک الگوریتم جستجوگر و توسعه پذیر است، هر بار نمونه های بیشتری را از پلان های معماری براساس مدل ریاضی ارائه شده تولید و در نهایت به کمک الگوریتم های یادگیری ماشین دوباره در پایگاه داده خود ذخیره و به مرور زمان به توانایی آموزشی هوش طراحی خودکار پلان ساختمان های مسکونی بی افزاید، که در پژوهش های آتی به شیوه عملکرد ذخیره سازی الگوریتم های یادگیری ماشین از نمونه های تولیدی باید پرداخته شود، همچنین براساس مدل نظری، آنچه قابل مشاهده است محاسبات و توابع ریاضی ارائه شده می توانند، همجواری، همپوشانی، روابط فضایی، بازشوها، سطح اشغال مجاز و جهت های قرارگیری را به صورت یک مدل ریاضی ارزیابی و توسعه دهند و این فرآیند را می توان مبنای برای پیاده سازی در مدل عملی دانست، اما آنچه یافته این پژوهش را با سایر پژوهش ها مجزا می نماید، پرداختن به فرآیند تولید پلان معماری با ترکیب دو الگوریتم یادگیری ماشین و ژنتیک است، چرا که در پژوهش های پیشین صرفاً از یک نوع الگوریتم ژنتیک و یا یادگیری عمیق به صورت مجزا استفاده شده است و نکته اساسی که توانسته این پژوهش را مثمر ثمر نشان دهد، استفاده از قدرت حافظه سپاری الگوریتم یادگیری ماشین در فرآیند طراحی پلان های معماری است.

References

1. Zifeng Guon, Biao Li, 2016. *Evolutionary approach for spatial architecture layout design enhanced by an agent-based topology finding*

Y. PAPALAMBROS, ARCHITECTURAL LAYOUT DESIGN OPTIMIZATION, Eng. Opt., Vol. 34(5), pp. 461–484, DOI: 10.1080=0305215021000033735

9. Brian FinucanePatricia MaitaPatricia MaitaWilliam H. Isbell, 2006. *Human and Animal Diet at Conchopata, Peru: Stable Isotope Evidence for Maize Agriculture and Animal Management Practices During the Middle Horizon*, December 2006Journal of Archaeological Science 33(12):1766-1776, DOI: 10.1016/j.jas.03.012
10. Luisa CaldasLeslie K. NorfordLeslie K. Norford, 2013. *Genetic Algorithms for Optimization of Building Envelopes and the Design and Control of HVAC Systems*, August Journal of Solar Energy Engineering 125(3) DOI: 10.1115/1.1591803
11. A Papapavlou, A Turner ,2009. Structural evolution: *a genetic algorithm method to generate structurally optimal delaunay triangulated space frames for dynamic loads, Computation*: The New Realm of Architectural Design [27th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 978-0-9541183-8-9] Istanbul (Turkey) 16-19 September 2009, pp. 173-180
12. Li Li, 2012. *The optimization of architectural shape based on Genetic Algorithm*, received 6 April 2012; received in revised form 19 July 2012; accepted 23 July 2012, http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.07.005
13. Eug´enio Rodrigues, 2014. *Automated Floor Plan Design: Generation, Simulation, and Optimization Submitted to the Department of Mechanical Engineering in partial system*, Received 7 June 2016; received in revised form 22 October; accepted 7 November 2016, http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2016.11.003.
2. R. S. Liggett and W. J. Mitchell, 1981. *Optimal space planning in practice. Computer-Aided Design*, 13(5): 277 {288, Sept.. ISSN 00104485. doi:10.1016/0010-4485(81)90317-1.
3. Maurice Hanan and Jerome M. Kurtzberg, 1972. *A Review of the Placement and Quadratic Assignment Problems*, Vol. 14, No. 2 (Apr., 1972), pp. 324-342 (19 pages).
4. J. F. Brotchie B. C.E., D. Eng.∗ M. P. T. Linzey B.E., M.E, 1971. *A model for integrated building design, Building Science*,Volume 6, Issue 3, September 1971, Pages 89-96, https://doi.org/10.1016/0007-3628(71)90020-X.
5. Gil Bozer, James C Sarros, Joseph C Santora, 2013. *The role of coachee characteristics in executive coaching for effective sustainability*, March Journal of Management Development 32(3): 277-294, DOI: 10.1108/02621711311318319
6. Lee D, et al, 2005. *The proteasome regulatory particle alters the SAGA coactivator to enhance its interactions with transcriptional activators*. Cell 123(3):423-36.
7. Kai-Ping Huang 1*, Chih-Hsing Wang2, Meng-Chun Tseng ۴and Karen Yuan Wang3,2010. *A study on entrepreneurial orientation and resource acquisition*: The effects of social capital, African Journal of Business Management Vol.4 (15), pp. 3226-3231, 4 November.
8. JEREMY J. MICHALEKa, *, 2002. *RUCHI CHOUDHARYb and PANOS*

fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy July.

14. Maciej Nisztuk and Paweł B. Myszkowski, 2019. Hybrid Evolutionary Algorithm applied to Automated Floor Plan Generation, International Journal of Architectural Computing1–24 The Author(s), https://doi.org/10.1177/1478077119832
15. Doulgerakis, 2017. *Genetic Programming + Unfolding Embryology in Automated Layout Planning. Msc thesis, Bartlett School of Graduate Studies*, University College London, September.
16. Manisha Verma, Manish K Thakur, 2010. *Architectural Space Planning using Genetic Algorithms*, 978-1-4244-5586-7/10/$26.00IEEE C
17. G. Zimmermann, 2005. *From floor plan drafting to building simulation - an efficient software supported process. In I. Beausoleil-Morrison and M. Bernier, editors, International IBPSA Conference Building Simulation*, pages 1441{1448, Montreal, Quebec, Canada.
18. Maciej Nisztuk, Paweł Myszkowski,2019. *Tool for evolutionary aided architectural design. Hybrid Evolutionary Algorithm applied to Multi-Objective Automated Floor Plan Generation, Design* - GENERATIVE SYSTEMS - Volume 1 - eCAADe 37 / SIGraDi 23 | 61
19. Garcia, Edel, 2018. (*Cosine Similarity Tutorial. independent scientist*.08-26.