مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره شش، شهریورماه ۱۴۰۳ (۳۱-۱۷)

تبیین مدل نظری چیدمان عناصر نما با بهره گیری از بردار فاصله سنجی در هوش طراحی خودکار نما

مهسا صفرنژاد ثمرین [۱]

آزاده شاهچراغی [۲*]

a.shahcheraghi@gmail.com

حسین ذبیحی [۳]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۲۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۰**

چکیده

زمینه و هدف: یادگیری ماشین از مسایل نوظهور در تحقیقات معماری است که به دنبال طراحی و ترسیم نقشه های معماری مانند، پلان و نما با کمک الگوریتم های یادگیری ماشین میباشد. در واقع محققان در زمینه تولید طراحی محاسباتی نمای ساختمان از مدت ها پیش به دنبال رویکردهایی بودندکه بتوانند عامل هوشمند مصنوعی را قادر به مشارکت در ایجاد طرح های معماری نمایند. لذا هدف این پژوهش تبیین مدلی نظری برای چیدمان عناصر سازنده نما از طریق یادگیری ماشین می‌باشد به گونه ای که فرآیند محاسبات لازم برای پیاده سازی این عناصر توسط هوش طراحی خودکار نما با الگوریتم های یادگیری ماشین امکان پذیر گردد.

روش بررسی: روش پژوهش ترکیبی از مطالعات کتابخانه ای و محاسبات ریاضی و همچنین استفاده از کتب مقررات ملی ساختمان ها در رابطه با نما می باشد.

یافته ها: یافته های پژوهش در سال ۱۴۰۰نشان می دهد که می توان با استفاده از روابط ریاضی اقلیدسی و منهتن به همراه تبدیل داده های نما به بردارهای یکه و همچنین تبدیل داده های مقرارت ملی و استانداردهای طراحی نما به بردارهای عددی، به کمک زبان برنامه نویسی پایتون و الگوریتم های دسته بندی نزدیکترین همسایه KNN، نتایج مناسبی را به دست آورد.

بحث و نتیجه گیری: و در نهایت نتایج نشان میدهد می توان چیدمان عناصر اصلی نما را از پلان های معماری به کمک الگوریتم هوش مصنوعی، خوانش و نمای ساختمان های مسکونی را براساس پلان هاس معماری ترسیم نمود.

واژه‌های کلیدی: طراحی محاسباتی، هوش طراحی خودکار، چیدمان عناصر نما، ساختمان های مسکونی.

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

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

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

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 6, September, 2024

Explain the theoretical model of the arrangement of facade elements using distance measuring vector in automatic facade design intelligence

Mahsa Safarnezhad Samarin [1]
Azadeh Shahcheraghi [2*]
a.shahcheraghi@gmail.com
Hossein Zabihi[3]

Admission Date: September 1, 2023 Date Received: January 13, 2021

Abstract

Background and Objectives: Machine learning is one of the emerging issues in architectural research that seeks to design and draw architectural plans such as plans and facades with the help of machine learning algorithms .In fact, researchers in the field of computational design of building facades have long been looking for approaches that can enable the artificial intelligence factor to participate in the creation of architectural designs .Therefore, the purpose of this study is to find the answer to the question of what theoretical model can ultimately be fruitful for the arrangement of building elements through machine learning so that the computational process required to implement these elements by automated facade design intelligence with Make machine learning algorithms possible

Material and Methodology: The research method is a combination of library studies and mathematical calculations as well as the use of books on national building regulations in relation to the facade.

Finding: The research findings show that using Euclidean and Manhattan mathematical relations with the conversion of facade data into unique vectors as well as the conversion of national regulation data and facade design standards to numerical vectors, with the help of Python programming language And KNN's nearest neighbor classification algorithms achieved good results.

Discussion and conclusion: And finally, the results show that the arrangement of the main elements of the facade can be drawn from architectural plans with the help of artificial intelligence algorithm, reading and facade of residential buildings based on architectural plans.

Keywords: Computational design, Automated design intelligence, Facade layout, Residential buildings.

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

مقدمه

در عصر جهانی شدن، معماران در کشورهای در حال توسعه باید همگام با آخرین پیشـــرفت های فناوری قدم بردارند. امروزه اســتفاده از نرم افزارهای مختلف در طراحی معماری به طراحان آزادی عمل می دهد تا به شیوه ای بهتر و دقیق تر تجسم کنند (۱). در اوایل دهه ۱۹۶۰، الکســاندر به عنوان یک ریاضــیدان، نظریه مجموعه‌ها، تحلیل ســاختاری و تئوری الگوریتم‌ها را به عنوان ابزاری برای پرداختن به مســئله طراحی معرفی کرد. به این صورت که مسائل مربوط به کیفیت را می توان با متغیرهای دودویی نشان داد. در صورت بروز اشتباه، متغیر مقدار 1 را می گیرد. اگر یک نباشــد، 0 در هر متغیر باینری مخفف یک نوع ممکن عدم تطابق بین فرم و زمینه اســت(۲). در واقع محققان در زمینه طراحی تولید محاســباتی از مدتها پیش به دنبال رویکردهایی بودند که بتوانند رایانه را از یک ماشین تهیه کننده گنگ و مبهم به یک عامل هوشــمند مصــنوعی که قادر به مشـارکت در ایجاد طرح ها به عنوان یک شـریک همکاری یا به عنوان طراح اصــلی اســت، تحقق بخشــند (۳). این نوع هوش مصــنوعی (AI) مبتنی بر عامل را توانایی یادگیری و تفســیر تجربه برای رســیدن به اهداف تعریف می کنند. تأثیر آن برای رشته معماری میتواند تحول آمیز باشد. این نمایندگان به عنوان یک شــریک همکاری در فرایند طراحی می توانند به طور چشــمگیر زمان کار را کاهش دهند، کیفیت طراحی را بهبود بخشند. در نقش های مستقل تر، آنها ممکن است نقش معمار را از نو تعریف کنند، زیرا برخی از کارهای طراحی کاملاً خودکار می شــوند(۴). یادگیری ماشــینی Machine learning زیر مجموعه ای از هوش مصنوعی است که بر روی توسعه تکنیک‌ها برای شــناخت الگوهای در داده‌ها متمرکز اســت (۳). ظهور شـبکه‌های عصـبی عمیقDeep learning در زمینه یادگیری ماشینی باعث خودکار شدن وظایف مربوط به شناخت الگوهای کیفی در داده‌ها شـده‌اسـت(۵). هنوز در بخش نما پژوهش‌های کاربردی زیادی صــورت نپذیرفته اســت. اما مســئله اصــلی در طراحی و ترسیم نمای ساختمان‌ها چیدمان عناصری مثل کف، سقف، در، پنجره، پله و تراس و سایر عناصر سازنده آن می‌باشد که شاید نتوان با هر روش و الگوریتمی آن را پیاده سازی نمود. لذا هدف ما در این پژوهش تبیین فرایند چگونگی چیدمان و جانمایی عناصــر ســازنده نما مطابق پلان مربوطه در طراحی معماری نماها به کمک یادگیری ماشــین می‌باشــد و ســعی در یافتن پاسخ این سوال داریم که تبیین چه مدلی نظری می‌تواند در نهایت برای چیدمان عناصــر ســازنده نما از طریق یادگیری ماشین مثمر ثمر باشد.

نقش فناوری کامپیوتر: از اتوکد تا هوش مصنوعی در طراحی معماری

در اوایل دهه ۱۹۸۰ معماران شــروع به اســتفاده از کد AutoCAD مبتنی بر پی ســیPersonal computer کردند. این تحول معطوف به معرفی اتوکد در اوایل دهه ۱۹۹۰ می باشــد. در ادامه نســل دیگری از راه حل های نرم افزاری طراحی شد، لذا بیمBuilding information modeling با ایجاد مدل های ســاختاری هوشــمند و چند بعدی، نمایانگر کوچ در زمینه طراحی معماری از دو بعد به ســه بعد اســت (۶). که از طریق بیم، طراحان می توانند پیش بینی های رایانه‌ای خود را برای ترکیب اطلاعات واقعی افزایش دهند(۷). در واقع تولید راه‌حل‌های رسمی طراحی با کمک رایانه‌ها به سال ۱۹۶۳ باز می‌گردد. و نشــان می‌دهد با تغییر زمان، معماران از نرم افزارهای پیشــرفته اســتفاده می‌کنند. انقلاب فناوری رایانه ها کاملاً فرایندهای فکری طراحی معماری را تغییر داده است و نه تنها زمان را کاهش می دهد بلکه با در نظر گرفتن هزینه ها، فرآیند ســاخت را نیز مدیریت می نماید. این هدف در گرو به کارگیری هوش‌مصنوعی در معماری است.

تاثیر هوش مصنوعی در معماری

ماشینی شدن کار معماران با توابع محاسباتی که بجای ابزارهای طراحی سنتی با کمک رایانه معرفی شده اند، آغاز شده است. امروزه معماران تمایل به استفاده از ابزارهای مشخص متناسب با نیازهای خاص آنها دارند. در برخی موارد، آن ها از هوش مصنوعی استفاده می‌کنند. تکنیک های ارائه شده باعث می شود راه حل های جدید هوشمند نسبتاً ساده مبتنی بر الگوریتم هایی ظهور

کنند (۸). دامنه محدودیت ابزارها، که در برابر دیدگاه پیچیده طراحان قرار می گیرد، طراحان را ترغیب می کند تا الگوریتم‌های خود را ایجاد نمایند. طراحان ساختار خود را بر اساس داده های ورودی ارائه شده ایجاد می کنند که می تواند منجر به استفاده از سیستم محاسباتی خودکار پیشرفته شود، نه طراحی بر اساس دیدگاه هنری شخصی و برگرفته از ذهن طراحان باشد. لذا بررسی انجام شده نشان میدهد (این خطها لزوم و نحوه تغییرات کاری معماران را نشان میدهد اگه لازم پاک بشه میتونید حذف کنید) روش های معاصر منجر به استفاده از سیستم‌های طراحی خودکار خواهد شد که بر اساس الگوریتم‌های هوش مصنوعی خواهند بود(۹). که میتواند موجب، تقویت مجموعه ابزار طراحی معماری، در فرایند بهینه‌سازی، طراحی مبتنی بر رفتار و رویکرد یادگیری ماشین تحت نظارت باشد.

طراحی معماری و یادگیری ماشین

محاسبات در طراحی معماری مبتنی بر خودکارسازی است. تمام نرم افزارهای طراحی ابزارهای خودکار مختلفی را ارائه می دهند که از روند خلاقیت پشتیبانی می‌کنند. از نظر طراحی خودکار رایانه ای، یکی از مواردی که به طراحان کمک می‌نماید تا طرح خود را بررسی‌کنند، استفاده از اسکریپت‌نویسی بصری است. این رویکرد باعث گردیده تا استراتژی‌های طراحی الگوریتمی و مجموعه ابزارهای معماری محاسباتی به سمت رویکرد هوش مصنوعی حرکت نمایند تا بتوانند از پتانسیل های الگوریتم های تکاملی، هوش جمعی، شبکه عصبی، یادگیری ماشین بهره برده و آن را به یکی از روش‌های طراحی محاسباتی تبدیل نمایند (۱۰). در سال های اخیر با کاهش هزینه عملیات محاسباتی، فرآیند محاسبات سرعت بیشتری گرفته و افزایش مداوم توان محاسباتی موجب پیش‌بینی بهتر گردیده‌است (۱۱). این تاثیر را می توان در یادگیری ماشین با برنامه نویسی یافت (۱۲). یکی از متداول‌ترین روش‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد که این سیستم امکان آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی را بر اساس مثال‌های ارائه شده (مجموعه پایگاه داده قابل آموزش) به صورت پارامترهای ورودی و مقادیر خروجی متناظر، در طی فرایند یادگیری تحت نظارت فراهم می‌نماید (۱۳). نتایج نشان می‌دهد هوش‌مصنوعی می‌تواند در بسیاری از ابزارهای مختلف طراحی معماری وارد می‌شود. از خودکارسازی فرآیندها و بینایی رایانه گرفته تا شبکه عصبی پیشرفته . بنابراین قطعاً می‌توانیم استدلال کنیم که هوش‌مصنوعی توانایی ایجاد تغییرات وسیع در رشته معماری را دارد (۸).

تاثیر محاسبات و یادگیری ماشین در طراحی معماری

محاسبات، انقلابی در معماری ایجاد کرد و امروزه رویکردهای محاسباتی کاملاً در عمل معماری جانمایی شده است. این انقلاب توسط پیشرفت های اخیر در زمینه یادگیری ماشین صورت گرفته است(۱۴). و بسیاری از زمینه ها را تحت تأثیر قرار داده است، از جمله پزشکی (۱۵) ، فیزیک (۱۶) و امور مالی (۱۷)، و با توجه به پیشرفت های اخیر این حوزه جدید، انتظار می رود که معماری رویکردهای مبتنی بر یادگیری ماشین را اتخاذ کند. یادگیری ماشین شاخه ای غیر نمادین از هوش مصنوعی است که بر اساس آمار محاسباتی و رویه های بهینه سازی، تکنیک‌های یادگیری خودکارسازی را برای حل مشکلات یا انجام وظایف خاص کشف می کند. به طور خاص، یادگیری ماشین مدل های ریاضی داده های نمونه گیری شده را مورد ارزیابی قرار می دهد که این داده ها، معروف به داده های آموزشی می باشند و با ارزیابی پارامترهای خود، می تواند بهبودی تدریجی عملکرد خود در کارها را بدون مداخله انسانی انجام دهد(۱۸). تحقیقات فعلی، برخی از کاربردهای یادگیری ماشین در معماری را نشان می دهد (۸) ،(۱۹)، تا فرآیند طراحی کارآمدتر و آگاهانه تر میسر گردد. در حقیقت، یادگیری ماشین پتانسیل زیادی برای افزایش روند طراحی نشان می دهد (۲۰) مانند؛ استدلال ربایشی که نوعی استنتاج منطقی بر اساس مشاهده و استنباط از محتمل ترین توضیح آنچه مشاهده شده است میباشد(۲۱).

نقش ریاضیات در طراحی معماری

در سال های اخیر رویکرد معماران به ابزارهای دیجیتال آن ها را قادر به ساختن ابزارهای خود و تولید اسکریپت ها و الگوریتم های ریاضی نموده که هند سه پروژه را ایجاد می نماید. در واقع در عصر حاضر، استفاده از "اسکریپت نویسی" به معماران این امکان را داده است که از صرف استفاده از نرم افزار فراتر رفته و در برنامه نویسی ابتکار عمل را در دست بگیرند. به گفته Terzidis، معماران از "برنامه ریزی معماری" به

"معماری برنامه نویسی" تغییر جهت داده اند (۲۴). به طور خلاصه، برنامه نویسی یا ریاضیات نحوه طراحی را به ما نمی‌آموزند، اما مطمئناً می توانند به ما در بهبود شیوه طراحی کمک نمایند و نتایج آزمایش ها در معماری را که شبه علمی است را به درجه بالاتری از دقت و عینیت برساند (۲۳). در همین رابطه بیش از دو دهه پیش، ماریو سالوادوری، ریا ضیدان و مهندس مشهور ایتالیایی در سخنرانی خود به اعضای یکی از کنفرانس هایی که به بررسی روابط بین علم ریاضیات و هنر معماری می پرداخته و امکان ارتباط ریاضیات و معماری را در ذهن خود به تدریج امکان پذیر یافته است، و آن را به عنوان یک فن دانسته است تا جایی که نقش ریاضیات را آنقدر پر رنگ بیان نموده که اگر ریاضیات اختراع نمی شد، معماران خود مجبور بوداند آن را ابداع نمایند (۲۵).

پیشینه پژوهش

"نقش فناوری کامپیوتر: طراحی معماری" پژوهشی است که توسط Khan و همکاران (2018) انجام شده و نتایج آن بیان میکند معماران در کشورهای در حال توسعه باید همگام با آخرین پیشرفت های فناوری و محاسبات با شند(۱). همچنین Botchway و همکارانش (2015) در پژوهش "تأثیر ابزارهای طراحی معماری به کمک کامپیوتر بر آموزش طراحی معماری" در ارتباط با تاثیر تکنولوژی و نرم افزارها از جمله اتوکد و بیم بر آموزش و فرآیندِ گذار از روش‌های سنتی آموزش به روش‌های مدرن در آموزش معماری بحث میکنند(۲۶). David (2019) با پژوهشی "یادگیری عمیق مولد در طراحی معماری" سعی دارد GAN را برای انجام وظایف طراحی معماری (دو بعدی و سه بعدی) به عنوان ابزار طراحی و برطرف کننده محدودیت های موجود در طراحی معماری به کار بگیرد (۴). Yehuda (2006) در پژوهش با عنوان "تأثیر فناوری اطلاعات بر آموزش معماری در قرن بیست و یکم" معماری را با فناوری مرتبط دانسته و بیان میدارد از فناوری هم در فرآیند طراحی و هم در محصول معماری میتوان استفاده نمود و فن آوری باعث تغییر در رشته معماری می شود (۲۷). در رابطه با استفاده معماران از ساختارها و الگوهای ریاضی Carmelo (2013) پژوهشی با عنوان "ارتباط بین طراحی معماری و الگوهای ریاضی" که در رابطه با استفاده معماران از ساختارها و الگوهای ریاضی میپردازد (۲۳). Almantas (2019) در این راستا پژوهش "ارتباط گمشده بین: معماری، شهر و ریاضیات" در رابطه با ارتباط معماری با ریا ضیات صحبت میکند (۲۲). و در ارتباط با جایگاه شغلی معماران در اینده Sariyildiz و Ozsariyildiz (1998) پژوهشی با عنوان "آینده تمرین طراحی معماری در توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات" انجام شده که تاثیر ICT یا فناوری ارتباطات و اطلاعات، در جایگاه طراح و آینده طراح را بیان میکند و سرانجام تأثیر این تغییرات را در آموزش معماری بیان می‌دارد (۲۸). همچنین Jan و Kacper (2018) پژوهش دیگری با عنوان "طراحی معماری به کمک هوش مصنوعی" در ارتباط با تاثیر ابزارها در معماری و اینکه هوش مصنوعی و استفاده از الگوریتم به عنوان یک ابزار طراحی عمومی بین معماران رواج میابد میپردازد (۸). در این راستا Garcia Belém و همکاران (2019) در مقاله ای با عنوان "درباره تاثیر معماری یادگیری ماشین بدون معماران" در ارتباط با تاثیر محاسبات در معماری صحبت میکند و لزوم همگام شدن معماری بر پایه ml (یادگیری ماشین) را پیشنهاد میدهد (۱۴). همچنین Malaeb و Ma (2019) در پژوهش "هوش مصنوعی در معماری" بیان میدارد که مفهوم هوش مصنوعی تا جایی تغییر یافته است که به جای انجام محاسبات پیچیده و هوش مصنوعی اکنون بر تقلید از رفتار انسان تمرکز دارد (۲۹). و در این راستا Likai (2018) در پژوهش "مفاهیم هوش مصنوعی در طراحی معماری" بیان میکند هوش مصنوعی (AI) تقریباً در همه زمینه‌ها نفوذ می‌کند، و نیز نقش مهمی در زمینه معماری دارد (۳۰).

از طرفی Imdat (2018) در تحقیق "هوش مصنوعی در معماری: ایجاد طراحی مفهومی از طریق یادگیری عمیق" بیان میکندکه هوش مصنوعی و به ویژه یادگیری ماشین، زمینه ای است که به سرعت در حال ظهور است (۳۱) و Dolnicar و همکاران (2012) در پژوهش"تشخیص خود کار سبک معماری" تشخیص خودکار سبک معماری را مورد مطالعه و

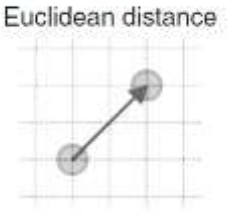
بررســی قرار داده اســت (۳۲). در این راســتا برآنیم تا در این پژوهش گام اولیه در جهت هوشــمندســازی فرآیند طراحی براســاس الگوریتم و کدنویســی و برقراری ارتباط بین طراحی و منطق و محاسبات ریاضی را برداریم و در پژوهش‌های بعدی آن را ارتقا دهیم لذا در گام اول پژوهش ســعی در تبیین فرآیند یادگیری ماشین برای خوانش پلان در جهت چیدمان و جانمایی عناصر سازنده نمای ساختمان داریم.

روش پژوهش

این پژوهش بر اساس روش های کمی و فرمول های متداول و اثبات شده ریاضی صورت گرفته است. در واقع در این روش نمای اصلی ساختمان به مثابه یک مختصات دو بعدی دکارتی تشبیه گردیده است و هوش طراحی خودکار باید بتواند از طریق رابطه ریاضی که روش های فاصله سنجی است عناصر اصلی نما را که شامل (درها، پنجره ها، نرده ها و غیره) می باشد در این فضای مختصات دکارتی نقطه یابی و جاگذاری نماید، این جاگذاری بر اساس دو برداری است که یکی از طریق طراحی خودکار پلان صورت گرفته است یعنی عناصر اصلی نما به صورت بردارهایی که دارای مختصات قرارگیری این عناصر می باشند توسط ماشین یادگیری می شود و دومی ضوابط و استاندارد های مقرارت ملی می باشد که در ادامه توسط الگوریتم های مخصوص خوانش بردارها پیاده سازی می شوند و هوش طراحی نما باید بتواند بردارهای مربوط به پلان و ضوابط طراحی نما را خوانده و به کمک فرمول های اقلیدسی و منهتن در نمای اصلی ساختمان از طریق دستور زبان ویژه پایتون جاگذاری نماید تا نمای ساختمان مسکونی بر اساس طرح پلان، به صورت خودکار تقسیم گردد.

فاصله اقلیدسی (Euclidean distance) : فاصله اقلیدسی مربوط به فاصله مستقیم بین دو نقطه (x,y) در فضای دو بعدی است، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

$$d(x,y)=\sqrt{\sum_{j=1}^{p}(xj\ -\ yj\ )2}$$

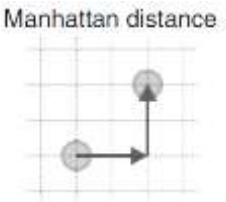


شکل۱- نمایش فاصله یابی اقلیدسی

Figure 1. Euclidean distance representation

فاصله منهتن(**Manhattan distance**): فاصله منهتن برای رسیدن از یک نقطه به نقطه دیگر باید از خیابان های شبکه ای استفاده شود، فاصله بین دو نقطه (x,y) را ایجاد می کند. فاصله منهتن در شکل ۲ نشان داده شده است (۳۳).

$$d(x,\ y)=\sum_{j=1}^{p}|xj\ -\ yj\ |$$



شکل۲- نمایش فاصله یابی منهتن

Figure 2. Manhattan distance display

تحلیل یافته ها

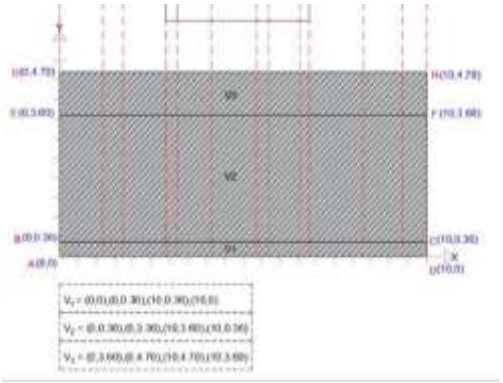
برای کاهش پیچیدگی و اعمال محدودیت‌های لازم، این پژوهش براساس حداقل و حداکثر (عرض و ارتفاع) نمای ساختمان های مسکونی متداول شهر تهران است، یعنی ساختار فرآیند چیدمان عناصر سازنده نما در هوش طراحی خودکار نمای ساختمان‌های مسکونی براساس ماتریسی از حداقل و حداکثرهای متداول در نماهای شهری می‌باشد (جدول ۱). که محور X آن اطلاعات عرض نماها و محور Y تعداد طبقات و ارتفاع نماها میباشد، البته الگوریتم توانایی خوانش و طراحی بازه‌های بیشتر و اعداد غیررند (غیر تصادفی معنارا تغییر میدهد) را نیز دارد این ماتریس صرفاً تجسمی از بازه‌های متداول در طراحی نمای ساختمان‌های شهری است.

جدول۱- ماتریس عرض و ارتفاع و تعداد طبقات نما

Table 1. Matrix of width and height and number of facade floors

	floors					
width	۰	۱	۲	۳	۴	۵
۷	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۸	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۹	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۰	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۱	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۲	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۳	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۴	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۵	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۶	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۷	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۸	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۱۹	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۲۰	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۲۱	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۲۲	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۲۳	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۲۴	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵
۲۵	۴/۷	۷/۲۲	۱۰/۴۶	۱۳/۴	۱۶/۹۴	۲۰/۱۵

نمای یک ساختمان مسکونی یک طبقه براساس شکل ۳ از عناصر و ساختاری ساده که در واقع متشکل از اشکال مربع و مستطیل می‌باشند ساخته شده‌است. خطوط انتقال عناصر نما که از پلان معماری ترسیم گردیده در واقع در حال انتقال اطلاعات نمای ساختمان می‌باشد (مانند فرآیند ترسیم نما توسط انسان) و این نقاط در دستگاه مختصات نمایانگر اعدادی خواهند بود که نشان-دهنده مختصات قرارگیری عناصر نما هستند. اکنون می‌توان به واسطه زبان برنامه‌نویسی تمام این نقاط را به بردارهای عددی تبدیل و لیستی از آن ها را تهیه و به الگوریتم های خوانش بردارها آموزش داد تا این بردارها را بتوانند در دستگاه مختصات نقطه یابی و پیاده‌سازی نمایند.



شکل۳- نمایش نقاط و مختصات عناصر کرسی چینی، جداره اصلی نما و جان پناه در نمای یک ساختمان مسکونی یک طبقه.

Figure 3. Showing the points and coordinates of the elements of the sleeper wall, the main wall of the facade and the parapet in the facade of a one-story residential building

الگوریتم ابتدا نقاط را براساس بردار خوانش و سپس برای پیاده سازی نقاط بر روی محور مختصات ابتدا از نقطه (۰, ۰) دستگاه مختصات شروع به حرکت می‌نماید. برای این امر الگوریتم باید فاصله هر نقطه را براساس جدول ۲ در دستگاه مختصات از طریق فرمول‌های فاصله‌یابی اقلیدسی و منهتن محاسبه و نقاط جدید را در آن پیاده‌سازی نماید و ترکیب هر چهار نقطه در نهایت به یک عنصر نمای ساختمان بدل خواهد شد و به این ترتیب عناصر نما به وسیله الگوریتم چیده خواهد شد. شکل ۳ و جدول ۲ نقاط و مختصات عناصر اولیه در نمای یک ساختمان مسکونی ۱ طبقه می‌باشد. بردار V_1 به عنوان عنصر کرسی‌چینی در فرآیند طراحی نما توسط هوش طراحی مختصات‌یابی و ترسیم می‌گردد و بردار V_2 به عنوان جداره اصلی نما که عناصری مثل پنجره، در و سایر را در فرآیند طراحی پیاده‌سازی خواهد نمود و بردار V_3 عنصر جانپناه را نشان خواهد داد.

جدول۲- محاسبه فاصله عناصر کرسی چینی، جداره اصلی نما و جان پناه

Table 2. Calculation of the distance between Coordinates of points of the sleeper wall

	Coordinates of points of objects	Data objects x_j		Data objects y_j		Objects distance
v_1	A(0,0), C(10,0.36)	x_1=0	x_2=10	y_1=0	y_2=0.36	$d_{Euclidean}$ $=\sqrt{(0-10)2+(10-0.36)}2=10$
	AD=(10, 0) & DC=(0,0.36)	X_1=10	X2=0	Y1=0	Y2=0.36	$d_{Manhattan}=\|10-0\|+\|0-0.36\|=10.36$
	B(0,0.36),D(10,0)	x_1=0	x_2=10	y_1=0.36	y_2=0	$d_{Euclidean}=\sqrt{(0-10)2+(0.36-0)}2=10$
	BC=(10,0) & CD=(0, -0.36)	x_1=10	x_2=0	y_1=0	y_2=-0.36	$d_{Manhattan}=\|10-0\|+\|0-(-0.36)\|=10.36$
V_2	B(0,0.36), F(10,3.60)	x_1=0	x_2=10	y_1=0.36	y_2=3.60	$d_{Euclidean}=\sqrt{(0-10)2+(0.36-3.60)}2=10.51$
	BC=(10,0) & CF=(0, 3.24)	x_1=10	x_2=0	y_1=0	y_2=3.24	$d_{Manhattan}=\|10-0\|+\|0-3.24\|=13.24$
	E(0,3.60),C(10,0.36)	x_1=0	x_2=10	y_1=3.60	y_2=0.36	$d_{Euclidean}=\sqrt{(0-10)2+(3.6-0.36)}2=10.51$

	EF=(10,0) & CF=(0, -3.24)	x_1=10	x_2=0	y_1=0	y_2= -3.24	$d_{Manhattan} = \|10 - 0\| + \|10 - (-3.24)\| = 13.24$
V_3	E(0,3.60),H(10,4.70)	x_1=0	x_2=10	y_1=3.60	y_2=4.70	$d_{Euclidean} = \sqrt{(0-10)2 + (3.6-4.70)2} = 10.06$
	EF=(10,0) & FH=(0, 1.10)	x_1=10	x_2=0	y_1=0	y_2= 1.10	$d_{Manhattan} = \|10 - 0\| + \|0 - 1.10\| = 11.10$
	G(0,4.70), F(10,3.60)	x_3=0	x_4=10	y_3=4.70	y_4=3.60	$d_{Euclidean} = \sqrt{(0-10)2 + (4.7-3.60)2} = 10.06$
	GH=(10,0) & HF=(0,- 1.10)	x_1=10	x_2=0	y_1=0	y_2= -1.10	$d_{Manhattan} = \|10 - 0\| + \|10 - (-1.10)\| = 11.10$

در ادامه باید بیان نمود که تمام عناصر نما که قبلاً به بردارهای عددی براساس دستگاه مختصات دکارتی نقطه یابی گردیده اند اکنون می توانند عناصر نما را تولید نمایند، در شکل ۴ و جدول ۳ بردار V_4 عنصر پله را نقطه یابی و V_5 عنصر تراس و V_6عنصر حفاظ یا نرده روی تراس را نشان می دهد که چگونه از طریق فرمول های فاصله یابی توانسته اند در دستگاه مختصات که نشان دهنده ساختار کلی نمای ساختمان می باشد، خود را جانمایی کنند.

شکل۴- نمایش نقاط و مختصات عناصر پله ، تراس و نرده در نمای یک ساختمان مسکونی یک طبقه

Figure 4. Showing the points and coordinates of the elements of stairs, terraces and stair rod in the facade building

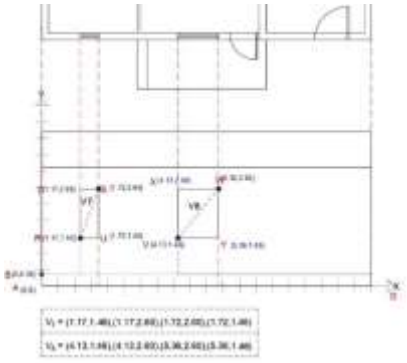
جدول۳- محاسبه فاصله نقاط عناصر عناصر پله ، تراس و نرده با فرمول فاصله یابی اقلیدسی و منهتن

Table 3. Calculation of the distance between Coordinates of points of the stairs, terraces and stair rod with the formula of Euclidean and Manhattan distance

	Coordinates of points of objects	Data objects x_j		Data objects y_j		Objects distance
V_4	I(2.90,0),J (3.20,0.18)	x_1=2.9	x_2=3.2	y_1=0	y_2=0.18	$d_{Euclidean} = \sqrt{(2.9-3.2)2 + (0-0.18)2} = 0.34$
	IL=(0.3,0) & LJ=(0,0.18)	x_1=0.3	x_2=0	y_1=0	y_2= 0.18	$d_{Manhattan} = \|0.3 - 0\| + \|0 - 0.18\| = 0.48$
	K(2.90,0.18),L(3.20,0)	x_1=2.9	x_2=3.2	y_1=0.18	y_2=0	$d_{Euclidean} = \sqrt{(2.9-3.2)2 + (0.18-0)2} = 0.34$
	KJ=(0.3,0) & JL=(0,-0.18)	x_1=0.3	x_2=0	y_1=0	y_2= -0.18	$d_{Manhattan} = \|0.3 - 0\| + \|0 - (-0.18)\| = 0.48$
	L (3.20,0),M(6.80,0.36)	x_1=3.2	x_2=6.8	y_1=0	y_2=0.36	$d_{Euclidean} = \sqrt{(3.2-6.8)2 + (0-0.36)2} = 3.61$

V_5	LO=(3.6,0) & OM=(6.80,0.36)	x_1=3.60	x_2=6.80	y_1=0	y_2= 0.36	$d_{Manhattan}=\|3.60-6.80\|+\|0-0.36\|=3.96$
	N(3.20,0.36),O(6.80,0)	x_1=3.2	x_2=6.8	y_1=0.36	y_2=0	$d_{Euclidean}=\sqrt{(3.2-6.8)2+(0.36-0)}2=3.61$
	NM=(3.6,0) & MO=(0,-0.36)	x_1=3.60	x_2=0	y_1=0	y_2=- 0.36	$d_{Manhattan}=\|3.60-0\|+\|0-(-0.36)\|=3.96$
V_6	N(3.20,0.36),P(6.80,1.26)	x_1=3.2	x_2=6.8	y_1=0.36	y_2=1.26	$d_{Euclidean}=\sqrt{(3.2-6.80)2+(0.36-1.26)}2=3.71$
	NM=(3.6,0) & MP=(0,0.90)	x_1=3.60	x_2=0	y_1=0	y_2= 0.90	$d_{Manhattan}=\|3.60-0\|+\|0-0.90\|=4.5$
	Q(3.20,1.26),M(6.80,0.36)	x_1=3.2	x_2=6.8	y_1=1.26	y_2=0.36	$d_{Euclidean}=\sqrt{(3.2-6.80)2+(1.26-0.36)}2=3.71$
	QP=(3.6,0) & PM=(0,-0.90)	x_1=3.60	x_2=0	y_1=0	y_2=- 0.90	$d_{Manhattan}=\|3.60-0\|+\|0-(-0.90)\|=4.5$

برای نمایش بازشوهایی مانند پنجره ها باید الگوریتم علاوه بر خوانش مختصات نقاط از روی برداری که توسط هوش طراحی پلان صورت گرفته‌است، بتواند ضوابط و مقررات ملی ساختمان مانند OkB ها حداقل ارتفاع نرده ها و جان‌پناه و حداقل عرض بازشوها و غیره را نیز پیاده سازی نماید، شکل ۵ و جدول ۴ بردار V_7 و V_8 مختصات دو پنجره در نما را نشان می‌دهد که براساس روش های فاصله یابی محاسبه و ترسیم گردیده اند.



شکل۵- نمایش نقاط و مختصات عناصر پنجره ها در نمای یک ساختمان مسکونی یک طبقه

Figure 5. Showing the points and coordinates of window elements in the facade of a one-story residential.

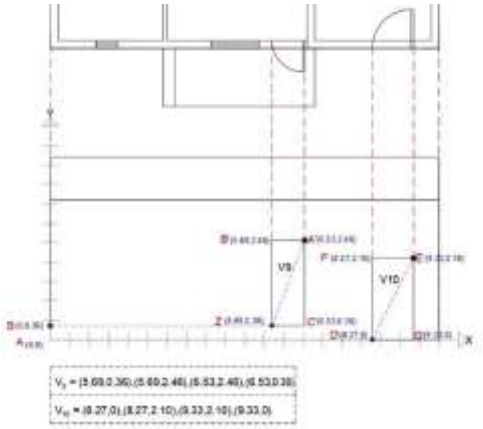
جدول۴- محاسبه فاصله نقاط عناصر پنجره ها با فرمول فاصله یابی اقلیدسی و منهتن

Table 4. Calculation of the distance of the windows with the formula of Euclidean and Manhattan distance

	Coordinates of points of objects	Data objects x_j		Data objects y_j		Objects distance
V_7	R(1.17 ,1.46),S(1.72,2.60)	x_1=1.17	x_2=1.72	y_1=1.46	y_2=2.60	$d_{Euclidean}=\sqrt{(1.17-1.72)2+(1.46-2.6)}2=1.26$
	RU=(0.55,0) & US=(0,1.14)	x_1=0.55	x_2=0	y_1=0	y_2=1.14	$d_{Manhattan}=\|0.55-0\|+\|0-1.14\|=1.69$
	T(1.17,2.60),U(1.72,1.46)	x_1=1.17	x_2=1.72	y_1=2.6	y_2=1.46	$d_{Euclidean}=\sqrt{(1.17-1.72)2+(2.60-1.46)}2=1.26$
	TS=(0.55,0) & SU=(0,-1.14)	x_1=0.55	x_2=0	y_1=0	y_2=-1.14	$d_{Manhattan}=\|0.55-0\|+\|0-(-1.14)\|=1.69$
V_8	V(4.13 ,1.46), W(5.36,2.60)	x_1=4.13	x_2=5.36	y_1=1.46	y_2=2.6	$d_{Euclidean}=\sqrt{(4.13-5.36)2+(1.46-2.6)}2=1.67$
	VY=(1.23,0) & YW=(0, 1.14)	x_1=1.23	x_2=0	y_1=0	y_2=1.14	$d_{Manhattan}=\|1.23-0\|+\|0-1.14\|=2.37$
	X(4.13,2.60),Y(5.36,1.46)	x_1=4.13	x_2=5.36	y_1=2.6	y_2=1.46	$d_{Euclidean}=\sqrt{(4.13-2.6)2+(2.60-1.46)}2=1.67$

	XW=(1.23,0) & WY=(0,- 1.14)	x_1=1.23	x_2=0	y_1=0	y_2=-1.14	$d_{Manhattan} = \|1.23 - 0\| + \|0 - (-1.14)\| = 2.37$

براساس شکل ۶ و جدول ۵ بردارهای V_9 و V_{10} حاوی اطلاعات مختصات درها هستند و اینجا هوش طراحی نما بردار عددی را خوانش کرده و براساس محاسبات و فرمول ها نقطه یابی کرده و عنصر در را روی نما ترسیم می نماید.



شکل۶- نمایش نقاط و مختصات عناصر درها در نمای یک ساختمان مسکونی یک طبقه.

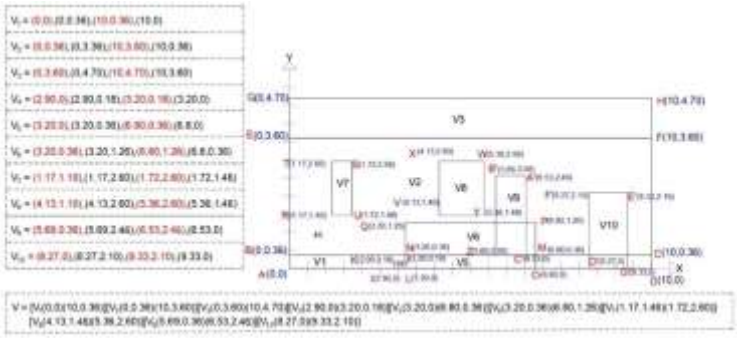
Figure 6. Showing the points and coordinates of door elements in the facade of a one-story residential building.

جدول ۵- محاسبه فاصله نقاط عناصر در ها با فرمول فاصله یابی اقلیدسی و منهتن.

Table 6. Calculation of the distance between Coordinates of points of the doors with the formula

	Coordinates of points of objects	Data objects x_j		Data objects y_j		Objects distance
V_9	Z(5.69 ,0.36),A'(6.53,2.46)	x_1=5.69	x_2=6.53	y_1=0.36	y_2=2.46	$d_{Euclidean} = \sqrt{(5.69 - 6.53)2 + (0.36 - 2.46)2} = 2.26$
	ZC'=(0.84,0) & C'A'=(0, 2.10)	x_1=0.84	x_2=0	y_1=0	y_2=2.10	$d_{Manhattan} = \|0.84 - 0\| + \|0 - 2.1\| = 2.94$
	B'(5.69,2.46),C '(6.53,0.36)	x_1=5.69	x_2=2.46	y_1=6.53	y_2=0.36	$d_{Euclidean} = \sqrt{(5.69 - 6.53)2 + (2.46 - 0.36)2} = 2.26$
	B'A'=(0.84,0) & A'C'=(0,- 2.10)	x_1=0.84	x_2=0	y_1=0	y_2=-2.10	$d_{Manhattan} = \|0.84 - 0\| + \|0 - (-2.1)\| = 2.94$
V_{10}	D'(8.27 ,0),E'(9.33,2.10)	x_1=8.27	x_2=0	y_1=0	y_2=2.10	$d_{Euclidean} = \sqrt{(8.27 - 9.33)2 + (0 - 2.10)2} = 2.35$
	D'G'=(1.06,0) & GE'=(0, 2.10)	x_1=1.06	x_2=0	y_1=0	y_2=2.10	$d_{Manhattan} = \|1.06 - 0\| + \|0 - 2.10\| = 3.16$
	F'(8.27,2.10),G'(9.33,0)	x_1=8.27	x_2=9.33	y_1=2.10	y_2=0	$d_{Euclidean} = \sqrt{(8.27 - 9.33)2 + (2.1 - 0)2} = 2.35$
	F'E'=(1.06,0) & E'G=(0, - 2.10)	x_1=1.06	x_2=0	y_1=0	y_2=-2.10	$d_{Manhattan} = \|1.06 - 0\| + \|0 - (-2.10_\| = 3.16$

براساس شکل ۷ کل ساختار نما به صورت بردارهای یکه می باشند که هریک در واقع حاوی اطلاعات عناصری از نمای ساختمان هستند که از طریق محاسبه فاصله اقلیدسی و منهتن می توانند به عنوان یک عنصر اصلی در نمای ساختمان ظاهر شوند.



شکل ۷- نمایش عناصر سازنده نما و نحوه چیدمان آن در نما به وسیله بردار

Figure 7. Showing the elements of the facade and how it is found in the facade by the vector

در شکل ۸ نقاط اصلی بردارهای نما بصورت جفت کوتاه می گردد، در واقع از هر بردار یکه براساس شکل ۸ برای هرعنصر که به ترتیب بردارهای v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v8,v9,v10 هستند دو مختصات که با رنگ قرمز نمایش داده شده است به عنوان مختصات های اصلی انتخاب و سپس این نقاط در دستگاه مختصات از طریق فرمول های مطرح شود، نقطه یابی و از نقاط یافت شده خطوط بصورت مربع و مستطیل هایی که دونقطه دارند، به عنوان عناصر نما ترسیم می گردند.

شکل ۸- نمایش نقاط اصلی بردارهای نما بصورت دوتایی/

Figure 8. Showing the main points of facade vectors in pairs (binary)

و همانگونه که در شکل ۸ قابل مشاهده می باشد، V اصلی ابتدا مختصات عنصر اول را دارد که در واقع مختصر شده v_1 است با اعداد (0, 0) و (10,0.36) و مختصات بعدی مجاورت (adjacent) و سپس مختصات کرسی چینی (sleeper wall) را بیان می‌نماید و به همین ترتیب تمام عناصر اصلی نما (دیوار wall، جان‌پناه parapet، پله stair، تراس terrace، نرده stair rod، پنجره window و در door غیره) به یک بردار یکه تبدیل می‌گردد که در ادامه می‌توان با این بردارها نماهای متنوع و چیدمان عناصر گوناگونی را تولید نمود.

شکل ۹- مدل نظری فرآیند چیدمان عناصر سازنده نما در هوش طراحی خودکار

Figure 9. Theoretical model of the process of the components of the facade in automated design intelligence

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با استفاده از استخراج ماتریس حداقل و حداکثر عرض و ارتفاع نماهای متداول شهری در چند دهه گذشته به مدلی از ابعاد قابل پیشنهاد برای طراحی نمای ساختمان‌های مسکونی رسیده است و از آن الگویی برای تعیین محدوده آموزش چیدمان عناصر سازنده نما استفاده نموده است. پایه چیدمان عناصر، استفاده از روابط ریاضی اقلیدسی و منهتن بر روی مدول-هایی از مربع و مستطیل‌ها در نظر گرفته شدهِ نمای ساختمان-های متداول شهری می‌باشد. به این ترتیب که براساس تعریف محورهای عمودی و افقی (x,y) دستگاه مختصات دکارتی جهت قرارگیری عناصر اصلی نما تعریف شده‌اند و براساس فرآیند همجواری چیدمان صورت گرفته‌است. همچنین برای دقیق بودن و تکمیل فرآیند طراحی و ترسیم نما، چیدمان این عناصر نیاز به پیروی از قوانین طراحی نما دارد که در این پژوهش ضوابط و چیدمان عناصر به کمک بردارهای یکه به الگوریتم یادگیری نظارت‌شده ماشین آموزش داده شد است. در واقع هدف این آموزش ساخت عناصر نما، براساس نقشه پلان و براساس ضوابط طراحی نما به‌صورت بردار یکه می باشد. در نهایت باید گفت که فرآیند چیدمان عناصر اصلی نما با استفاده از چند روش که شامل زبان برنامه نویسی پایتون، الگوریتم های یادگیری نظارت شده ماشین (KNN) و از طریق فرمول های محاسباتی که در مقاله ارائه گردید، امکان پذیر می باشد و این روش به‌صورت مدلی نظری از هوش طراحی خودکار در تولید نمای ساختمان های مسکونی براساس پلان‌های طراحی شده و مقررات ملی ساختمان می تواند صورت پذیرد.

References

1. Raza Khan, Mustakeem,. Gupta, S.K,& Kumar, Rakesh. (2018). Role of Computer’s Tech nology: Architectural Design. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). pp 2936-2942. ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor: 6.887. http://doi.org/10.22214/ijraset.2018.5479 .
2. Alexander, C. (1967). Notes on the Synthesis of Form, Cambridge: Harvard University Press.
3. Russell, S. J. and P. Norvig. (2016). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Boston: Pearson Education.
4. Newton, David. (2019). Generative Deep Learning in Architectural Design. Technology|Architecture + Design, 3:2, 176-189, DOI: 10.1080/24751448.2019.1640536.
5. Goodfellow, I. J., J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde- Farley, S. Ozair, A. Courville, and Y. Bengio. 2014. “Generative Adversarial Nets.” In Proceedings of the Twenty-Seventh International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), 2:2672–2680. Montreal, Canada, December 8–13.
6. Reddy TE, et al. (2007) Positional clustering improves computational binding site detection and identifies novel cis-regulatory sites in mammalian GABAA receptor subunit genes. Nucleic Acids Res 35(3): e20.
7. Thompson, D.B. and Miner, R.G. (2007) Building Information Modeling - BIM: Contractual Risks are Changing with Technology, online at http://www.aepronet.org/ge/no35.html .
8. Cudzik, Jan, & Radziszewski, Kacper . (2018). Artificial Intelligence Aided Architectural Design. AI FOR DESIGN AND BUILT ENVIRONMENT. 77-84. https://www.researchgate.net/publication/328018944.

9. Goertzel, B 2006, The Hidden Pattern, Brown Walker Press, Florida.
10. Isaev, lya and Smetannikov, Ivan. (2016). Optimization of filter ensemble algorithm withparallel computing. InIFIP International Conference on Artificial Intelligence Applica-tions and Innovations, pages 341–347.
11. Moore, GE 2006, 'Cramming more components onto integrated circuits', IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter, 11(3), pp. 33-35.
12. Jordan, M. I. and Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. sciencemag.org. ISSUE 6245. 260-255.
13. Mohri, M, Rostamizadeh, A and Talwalkar, A (2012), Foundations of Machine Learning, MIT Press, New York.
14. Garcia Belém, Catarina,. Santos, Luis, & Menezes Leitão, António (2019). On the Impact of Machine Learning Architecture without Architects?. Conference: CAAD Futures 2019, At: Daejon, South Korea. https://www.researchgate.net/publication/335175592.
15. Deo, R. C. (2015). Machine Learning in Medicine.Architectural Education in the 21st Century. First International Conference on Critical Digital. Design Studies. https://www.academia.edu/25884262/The_impact_of_information_technology_on_design_methods_products_and_practices.
16. Ferreira, D. R. (2018) Applications of Deep Learning to Nuclear Fusion Research.
17. Bolton, R. J., & Hand, D. J.(2015). Statistical Fraud Detection: A review. Statistical Science, 17(3), 235–255.
18. Behera, R. N., & Das, K. (2017). A Survey on Machine Learning: Concept, Algorithm and Applications. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 5(2).
19. Khean, N., Fabbri, A., & Haeusler, M. H. (2018). Learning Machine Learning as an Architect, How to?.
20. Steinfeld, K. (2017). Dreams May Come. In Acadia 2017, 590–599.
21. Claus L. Cramer-Petersen, Bo T. Christensen, Saeema Ahmed-Kristensen. (2019). Empirically analysing design reasoning patterns: Abductive-deductive reasoning patterns dominate design idea generation, Design Studies, 60, 39-70.
22. Samalavicius, Almantas. (2019). Architecture, City and Mathematics: The Lost Connection, Mathematics Interdisciplinary Research, 1-10. to the Future, Volume I: Antiquity to the 1500s, Birkhäuser Basel.
23. Zappulla, Carmelo. (2013). Connections Between Architectural Design and Mathematical Patterns. Materials Architecture Design Environment. https://www.academia.edu/5309062/Connections_Between_Architectural_Design_and_Mathematical_Patterns.
24. K. Terzidis,(2006). Algorithmic Architecture (Oxford: Architectural Press), p. xii.
25. Williams.k and. Ostwald. M. J. (2015). Architecture and Mathematics from Antiquity.
26. EA, Botchway,. SA, Abanyie, & SO, Afram (2015). The Impact of Computer Aided Architectural Design Tools on Architectural Design Education. The Case of KNUST. Architectural Engineering

Technology, 1-6. http://dx.doi.org/10.4172/2168-9717.1000145.

27. E. Kalay, Yehuda. (2006). The Impact of Information Technology on design methods, products and practices, Design Studies, 27(3): 357-380, https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.001
28. Sariyildiz, S. & S. Ozsariyildiz. S. (1998). The future of Architectural Design Practice within ICT developments. omputerised Craftsmanship, eCAADe Conference Proceedings, Paris, September 24-26, http://resolver.tudelft.nl/uuid:87601877-406e-487a-9122-64d91798d4f8.
29. Malaeb, Jamal,& Ma, Wejung. (2019). Artificial Intelligence in Architecture, GENERAL UNDERSTANDING AND PROSPECTIVE STUDIES, i-14.
30. Likai, WEI. (2018). AI Concepts in Architectural Design. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 392, doi:10.1088/1757-899X/392/6/062016 .
31. As, Imdat,. Pal, Siddharth, & Basu, Prithwish (2018). Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. International Journal of Architectural Computing 306– 327. DOI: 10.1177/1478077118800982.
32. Mathias, Markus, Martinovic, Andelo, Weissenberg, Julien, & Van Gool, Luc. (2012). Automatic architectural style recognition. • ISPRS - International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII-5/W16(5):171-176. DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-171-2011.
33. Dolnicar, Sara., Grün, Bettina, & Leisch, Friedrich (2018). Step 5: Extracting Segments. Market Segmentation Analysis pp 75-181.https://doi.org/10.1007/978-981-10-8818-6_7.