ISSN: 2717-0748; Urban Design Discourse- a Review of Contemporary Litreatures and Theories. 2024;5(2):116-128

Application of Machine Learning Methodology in the Design of the Built Environment

ABSTRACT INFO

Article Type:
Original research

Authors:
1.Kia Tadayon
2*.Mohammadjavad ahdavinejad,
3.Azadeh Shahcheraghi

1.PhD Student, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Art, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2*.Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3.Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Art, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

***Corresponding Author**
mahdavinejad@modares.ac.ir

Article History
Receive :July 2 , 2024
Accepted : July 21 , 2024

ABSTRACT

Aims: Today, the use of artificial intelligence has grown significantly, and is developing as a new field. The main goal of this research is to know the capabilities of artificial intelligence in advancing the design and implementation process in the artificial environment. The practical goal of research is the development and application of the most important achievements of machine learning in the field of design.

Methods: The main research method is "meta-analysis" research in the paradigm of "free research" with a critical approach and basic design, which examines the general knowledge field of this field using broad techniques. Then, to consolidate the literature on the topic, through searching three reliable knowledge bases of this field, we collected articles related to machine learning in the fields of unsupervised learning methods, semi-supervised learning, and reinforcement learning; The most important capacities and shortcomings, and strengths and weaknesses are reviewed.

Findings: Quantitative findings from the combined data indicate that supervised machine learning and directed deep learning can be the best option to recommend in the future of design. While the learning process in deep learning is gradual and slower, supervised machine learning works faster in the testing phase.

Conclusion: The research emphasizes that supervised machine learning is the best option for predicting answers in the design process. But if, in addition to prediction, the issue of creativity in design is desired, deep learning is more efficient.

Keywords: designerly approach, supervised machine learning, new technologies of architecture and urban planning, AI (artificial intelligence), highperformance architecture, computational design.

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform,and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

کاربرد روش‌های یادگیری ماشینی در حوزه طراحی محیط مصنوع[۱]

کیا تدین
دانشجوی دکتری، معماری، دانشکده عمران، معماری و هنر ، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران.
محمدجواد مهدوی نژاد*
استاد، معماری، دانشکده هنر و معماری ، دانشگاه تربیت مدرس ، تهران ، ایران.
آزاده شاهچراغی
دانشیار، معماری ، دانشکده عمران، معماری و هنر ، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران.

چکیده:

اهداف: امروزه استفاده از هوش مصنوعی رشد چشمگیری داشته، و به عنوان یک حوزه نوین در حال پیشرفت است. هدف اصلی این پژوهش، شناخت ظرفیت های هوش مصنوعی در پیشبرد فرآیند طراحی و اجرا در محیط مصنوع است. هدف کاربردی پژوهش، توسعه و کاربردی سازی مهمترین دستاوردهای یادگیری ماشینی و در حوزه طراحی است.

روش‌ها: روش تحقیق اصلی پژوهش «فراتحلیل» در پارادایم «آزادپژوهی» با رویکرد انتقادی و طراحی مبنا است که با استفاده از تکنیک های پهنانگر، حوزه کلی دانشی این حوزه را بررسی می کند. سپس به منظور تثبیت اشراف به ادبیات موضوع، از طریق جستوجو در سه پایگاه های معتبر دانشی این حوزه، نسبت به جمع آوری مقالات مرتبط به یادگیری ماشین در حوزه های روش های یادگیری بدون نظارت، یادگیری نیمه نظارتی و یادگیری تقویتی اقدام شده؛ مهمترین ظرفیت ها و کاستی ها، و نقاط قوت و ضعف مورد نقد و بررسی قرار می گیرد.

یافته‌ها: یافته های کمی حاصل از داده های ترکیب شده بیانگر آن است که یادگیری ماشینی تحت نظارت و یادگیری عمیق هدایت شده، می تواند بهترین گزینه برای توصیه در آینده طراحی باشد. در حالی که فرآیند یادگیری در یادگیری عمیق تدریجی و کندتر است، یادگیری ماشینی تحت نظارت در مرحله آزمون و تست سریع تر عمل می‌کند.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش تاکید دارد که یادگیری ماشینی تحت نظارت، بهترین گزینه برای پیش بینی پاسخ ها در فرآیند طراحی است اما در صورتی که علاوه بر پیش بینی، موضوع خلاقیت در طراحی مورد نظر باشد، یادگیری عمیق کارآمدتر است.

واژگان کلیدی: رویکرد طراحی مبنا، یادگیری ماشینی تحت نظارت، فناوری های نوین معماری و شهرسازی، هوش مصنوعی، معماری سرآمد، طراحی رایانشی.

تاریخ دریافت: [۱۲ /۱۴۰۳/۴]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۳/۴/۳۱]
* نویسنده مسئول: mahdavinejad@modares.ac.ir

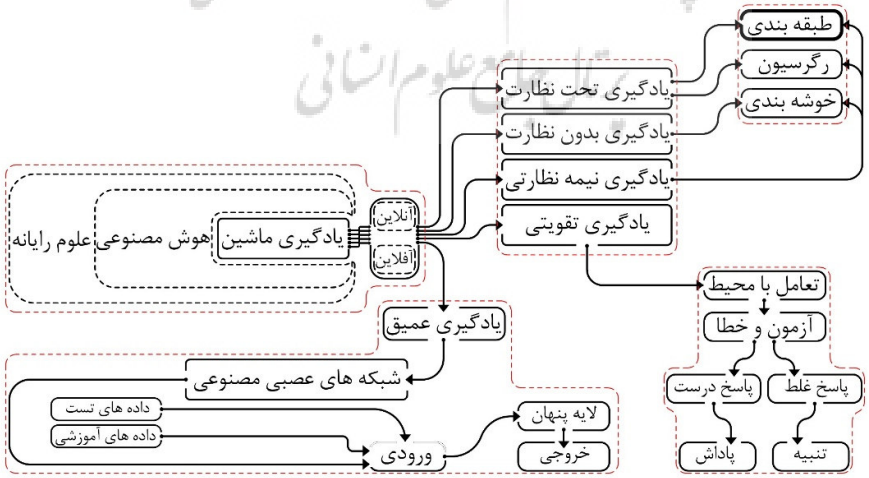
مقدمه

تحقیقات روی ماشین های هوشمند که با عنوان سیستم های خبر [۱] نیز شناخته می شوند از دهه پنجاه میلادی آغاز شد [۲] و امروزه یادگیری ماشین از میراث آن محسوب می شود. یادگیری ماشین از زیر شاخه های علوم رایانه است[۳] که در حوزه هوش مصنوعی تکامل یافته است [۴] و با سرعت بسیار زیاد در حال پیشرفت است [۵] و اساسا دارای رویکردی آماری است که یک جهش کوانتومی از دنیای مبتنی بر قاعده به دنیای مبتنی بر تصادف محسوب می شود [۶]. هدف نهایی یادگیری ماشین، تکامل کامپیوتر از استدلال با منطق باینری به استدلال با منطق فازی است [۷] که به تشخیص خودکار الگوهای معنی دار در داده های وسیع می پردازد [۸] و به جای برنامه ریزی صریح از مثال های آموزشی برای تصمیم گیری استفاده می کند[۹] یادگیری ماشین به چگونگی طراحی ساختاری می پردازد که در آن یک برنامه کامپیوتری با استفاده از آزمایشات متعدد، تجربیات خود را بهبود می بخشد [۱۱-۱۰]و بر الگوریتم هایی تمرکز دارد که قادر به یادگیری از اطلاعات ورودی است تا با کمک این داده ها، مدلی ریاضی تولید کند که در تصمیم گیری های آینده دقیق

[۱] این مقاله مستخرج از رسالهٔ دکتری با عنوان "چارچوب‌سازی برای جانمایی بهینه پلان بناهای مسکونی با هاییرید الگوریتم‌های مولد و یادگیری ماشینی نظارت شده" است که توسط نویسنده اول با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشکده عمران، معماری و هنر ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران ارائه شده است.

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

عمل کند[۱۲]. یادگیری ماشین با توجه به ماهیت آن در چهار دسته اصلی طبقه بندی می شود که شامل یادگیری تحت نظارت، یادگیری بدون نظارت، یادگیری نیمه نظارتی ، یادگیری تقویتی می شود[۱۳]. یادگیری تحت نظارت که با عنوان یادگیری القایی نیز شناخته می‌شود[۱۴] در داده کاوی به کار می رود و الگوریتم آن نیاز به داده های آموزشی دارد [۱۵]. این داده های آموزشی توسط الگوریتم یادگیری تحلیل شده و یک مدل یا تابع تولید می کند که می تواند برای پیش بینی مقادیر یک کلاس در آینده استفاده شود. به تعریف بهتر در یادگیری تحت نظارت مقادیر ورودی و خروجی توسط ناظر(کاربر) به ماشین(هر سیستم ، الگوریتم یا مدلی که جهت یادگیری طراحی شده باشد) داده خواهد شد و وظیفه ماشین تولید یک تابع استنتاجی برای ایجاد ارتباط میان ورودی و خروجی است. یادگیری بدون نظارت نوعی از یادگیری محسوب می شود که با تجزیه و تحلیل داده های خام به دست آمده و بدون آموزش صورت می گیرند[۱۶] و هدف از آن تولید بینش تحلیلی از داده های غیر خطی با مقادیر عددی بالا است[۱۷].یادگیری نیمه نظارتی ترکیبی از دو روش یادگیری تحت نظارت و یادگیری بدون نظارت است و در نهایت روش یادگیری تقویتی که وظیفه ماشین تشخیص رفتارهایی است که منجر به دریافت پاداش بیشتر می شوند [۷]. چهار روش یادگیری ذکر شده می توانند به صورت آنلاین(استفاده از پایگاه داده) یا آفلاین (نمونه های آموزشی محدود) به یادگیری بپردازند [۱۸]. اگر یادگیری ماشین را در دو گروه اصلی تحت نظارت و بدون نظارت طبقه بندی کنیم، یادگیری نظارت شده از طبقه بندی و رگرسیون و یادگیری بدون نظارت از خوشه بندی و با کمک الگوریتم های مربوطه استفاده می کنند [۱۹]. روشی دیگر در یادگیری ماشین با عنوان یادگیری عمیق وجود دارد که از شبکه های عصبی مصنوعی[۲۰]با قابلیت پردازش چند لایه اطلاعات [۲۱] تشکیل شده است و معمولا در یادگیری تحت نظارت به کار می رود. طبق بررسی انجام شده از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۱۹ بر روی تحقیقات صورت گرفته در حوزه یادگیری ماشین در تمامی رشته های تخصصی، رشته های طراحی وابسته به دانشکده هنر و معماری از نظر تعداد مقاله در میان ۲۰ رشته اول هم جای نگرفته است [۲۲]. این امر نشان می دهد که صنعت ساختمان از پیشرفت در این زمینه باز مانده است [۲۳]. با این حال در دو دهه اخیر و با افزایش قدرت محاسباتی کامپیوتر، تحقیقاتی در حوزه طراحی صورت گرفته [۲۴] که در سه دوره مختلف قابل تقسیم بندی است . تحقیقات اولیه به طور عمده بر تجزیه و تحلیل داده متمرکز بود. تحقیقات بعدی در پی راهکاری در ادغام یادگیری ماشین با فرایند طراحی بودند و امروزه این تحقیقات در پی رویکردهایی است که با خلاقیت سروکار دارند [۲۵]. بر اساس توضیحات ارائه شده یک تصویر کلی از حوزه یادگیری ماشین به دست می آید (شکل ۱).



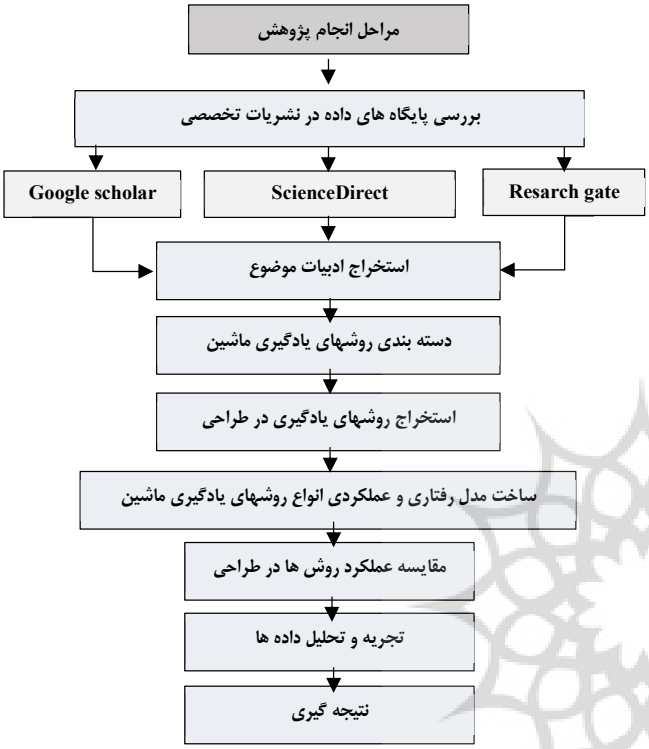
شکل ۱. ساختار کلی یادگیری ماشین و انواع روش های یادگیری

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

یادگیری ماشین رشته ای جوان در حوزه طراحی محسوب می شود و مشخص نیست در آینده کدام بخش از این رشته را بیشتر دچار تحول خواهد کرد. همچنین به درستی مشخص نیست که کدام روش یادگیری در کدام بخش معماری کارایی بیشتری دارد. به علاوه اینکه ابزارهای یادگیری ماشین در نرم افزارهای معماری تا به امروز تعریف نشده اند و کد نویسی آنها فرآیندی زمان بر خواهد بود که نیاز به همکاری شرکت های سازنده نرم افزار دارد.با توجه به عدم وجود یک تصویر کلی از یادگیری ماشینی در طراحی هدف از نگارش این مقاله بررسی پژوهش های صورت گرفته در حوزه یادگیری ماشین در گستره معماری است و پاسخ به این سوال که کدام روش های یادگیری در کدام بخش های معماری موثر ترند و با چه محدودیت هایی مواجه اند. (شکل ۱)

روش شناسی

در مرحله اول جستوجوی مقالات با بررسی پایگاه های داده Research Gate ، Science Direct و Google scholar و با کلمات کلیدی، یادگیری ماشین و روش های یادگیری ماشین انجام پذیرفت. در مرحله دوم با کلمات کلیدی یادگیری ماشین نظارت شده ،یادگیری ماشین بدون نظارت،یادگیری ماشین نیمه نظارتی،یادگیری ماشین تقویتی و یادگیری ماشین عمیق انجام پذیرفت و معیارهای انجام یک کار علمی در یادگیری ماشین به دست آمد. در مرحله سوم با کمک معیارهای به دست آمده، جستوجو با کلمات کلیدی یادگیری ماشینی، یادگیری ماشین نظارات شده در معماری، یادگیری ماشین بدن نظارت در معماری، یادگیری ماشین نیمه نظارتی در معماری، یادگیری ماشین تقویتی در طراحی و یادگیری ماشین عمیق انجام پذیرفت. همچنین پژوهش هایی که در دانشگاه های مختلف انجام پذیرفته و در پایگاه علمی آنها در دسترس عمومی بود نیز مورد بررسی قرار گرفت. از میان مقالات و تحقیقات صورت گرفته، پژوهش هایی که قبل از سال ۱۹۹۵ (در زمینه معماری) انجام پذیرفته بودند(به دلیل ابتدایی بودن نتایج بنا به تشخیص نویسندگان) کنار گذاشته شدند و در این مقاله بررسی انجام شده پیشرفت های طراحی در یادگیری ماشین و در۳۰ سال اخیر را شامل می شود. در نهایت بر اساس طبقه بندی موضوعی یادگیری ماشین در ۵ دسته کلی(یادگیری تحت نظارت_یادگیری بدون نظارت_یادگیری نیمه نظارتی_یادگیری تقویتی_یادگیری عمیق) در طراحی بررسی شد، نتایج آن به دست آمد و تجزیه و تحلیل نهایی انجام شد. (شکل ۲)



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

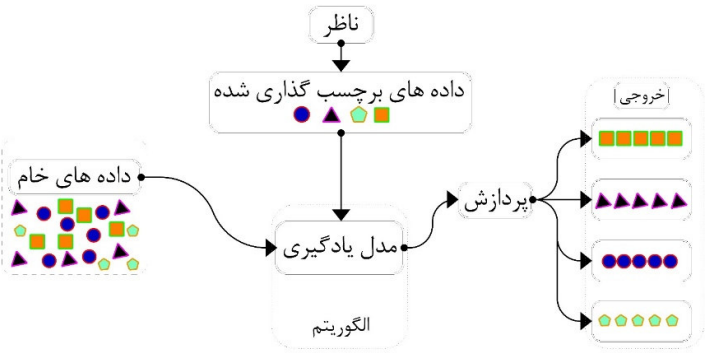
بحث و یافته های پژوهش

یادگیری تحت نظارت

در این روش مجموعه ای از اطلاعات توسط کاربر دسته بندی و برچسب گذاری می شوند و به عنوان داده های آموزشی به الگوریتم معرفی می گردند. در مرحله بعد برای تست کارایی مدل مجموعه ای از اطلاعات خام به آن وارد می شوند و در صورتی که عمل دسته بندی اطلاعات توسط الگوریتم به درستی و بر مبنای داده های آموزشی موفقیت آمیز ارزیابی گردد، یادگیری تحت نظارت به درستی انجام شده است. در این روش موضوع به بخش های کوچکتری تقسیم می گردد و هر کدام به صورت مجزا حل می شود برای مثال الگوریتم، اشکال را از روی تعداد نقاط

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

سازنده(مربع ۴ نقطه و مثلث ۳ نقطه و...) دسته بندی می نماید. در واقع ناظر(کاربر) به الگوریتم جواب درست را یاد می دهد (شکل ۳).



شکل ۳. مدل یادگیری ماشین تحت نظارت.

به نظر می رسد در حوزه طراحی بیشترین تحقیقات صورت گرفته در یادگیری تحت نظارت انجام شده باشد. زیرا باعث گفتمان میان ماشین و انسان می شود به صورتی که بخشی از فرایند را به ماشین و بخشی دیگر را به طراح واگذار می کند. پژوهش هایی که تحت نظارت انجام می شوند معمولا رویکرد اکتشافی دارند.در برخی هدف تولید ماشین های نیمه خودکاری است که ماشین نقش(با کمک متابال ها و روش چیدمان فضایی) بهینه سازی را به عهده دارد و طراح با اخذ تصمیم نهایی نقش کلیدی در جهت دهی فرایند طراحی دارد[۲۶].در پژوهشی دیگر ریاضیات محاسباتی در طراحی داخلی به کار رفته است.به این صورت که یک مدل طراحی شده که شامل دو مرحله می شود. در مرحله اول یادگیری با داده های آموزشی عددی،مقادیر و استانداردهای طراحی انجام پذیرفته و در مرحله دوم از این داده ها برای ایجاد طراح های فضایی، بهینه سازی و به دست آوردن راه حل های دقیق استفاده شده است[۲۷].یادگیری ماشین تحت نظارت در بهینه سازی فرآیندهای برنامه ریزی طراحی نیز به کار رفته است . به این صورت که با کمک پایگاه داده ویکا ۱۶ که مجموعه ای از الگوریتم های یادگیری ماشین جهت کارهای داده کاوی است، پلان طراحی طبقات و جزئیات آن (در، پنجره و دیوار ها) بهینه سازی شده است[۲۸].چیدمان هندسی پلان یکی از زمینه های دیگری است که کاربرد یادگیری ماشین در آن نتیجه داده است.

برای مثال در یک پژوهش برای بهینه سازی پلان طراحی از یادگیری ماشین با کمک الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که شامل یک مدل توپولوژیکی و یک مدل هندسی می شود. در این فرایند به مدل توپولوژیکی آموزش داده می شود و این مدل بر اساس آموخته ها خود در جریان یادگیری به تولید نمودار می پردازد و در نهایت مدل هندسی وظیفه نمایش گرافیکی نمودارهای تولید شده توسط مدل اولیه را به عهده دارد[۲۹].در پژوهشی دیگر از یادگیری ماشین برای تولید پلان طراحی و ایجاد راه حل های طراحی استفاده شده است.در این تحقیق یادگیری توسط شبکه بیزی (گراف جهت‌دار غیرمدور) انجام شده است و این شبکه بر اساس داده های آموزشی به ایجاد چیدمان ساختمان ، سازمان دهی فضای داخلی و نمای ساختمان پرداخته است.روش کار به این صورت است که این برنامه فهرست دقیقی از نیازمندی های طراحی (تعداد و ابعاد) را به عنوان ورودی می گیرد و خروجی آن لیستی از اتاق ها ، مجاورت ها و اندازه ها و... است. این برنامه نمونه بسیار مناسبی از کاربرد یادگیری نظارت شده در طراحی و تعامل میان ماشین و طراح معمار حسوب می شود[۳۰]و در پژوهشی مشابه ابتدا به یک الگوریتم، اطلاعات آموزشی از قوانین فضایی و طراحی پلان طراحی داده شده است و در نهایت مدلی به دست آمده که قادر تفکیک فضاها، همجواری ها و عناصر سازنده پلان طراحی است[۳۱].در تحقیقی دیگر از یادگیری ماشین در پیش بینی پلان طراحی با هدف استخراج دانش پنهان مفید از داده های آموزشی استفاده شده است. در ابتدا به یک سیستم داده های آموزشی، شامل اطلاعات ساختمان های مختلف، داده های فنی، داده های عددی و فرمول های ریاضی منتقل شده است و سیستم با پیش پردازش، طبقه بندی، خوشه بندی و پس پرادزش به تولید معیار هایی پرداخته است که قادر به برآورد شکل پلان طراحی مناسب برای موضوعاتی (منظور پیدا کردن پاسخ برای حل مطلوب فرم پلان در مورد موضوعی است که ماشین تا کنون با آن مواجه نبود است و از آموخته های قبلی خود برای به دست آوردن پیش بینی مناسب استفاده می کند) که تا کنون با آنها مواجه نبوده است[۳۲]. از یادگیری ماشین برای تشخیص تصاویر و تبدیل آنها به مدل سه بعدی نیز استفاده شده است. برای نمونه در یک تحقیق از طریق ترکیب زبان برنامه نویسی بصری و تجزیه و تحلیل تصاویر مدلی آموزش دیده به

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

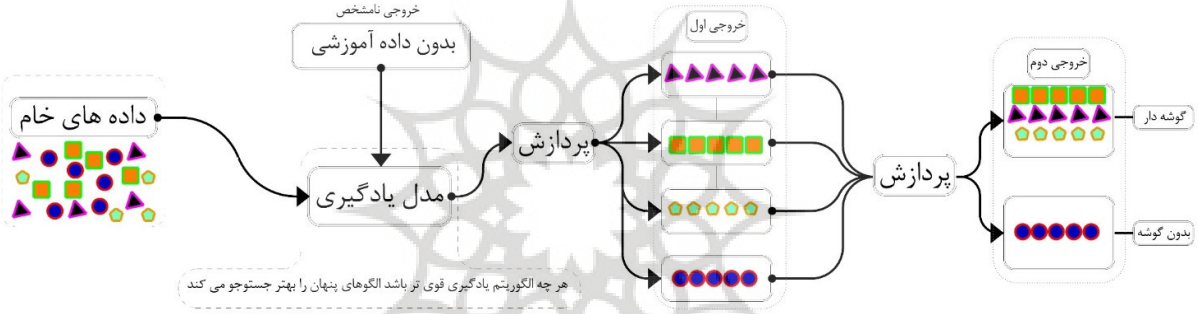
دست آمد که پس از مشاهده یک تصویر به صورت سلسله مراتبی شروع به بازسازی آن در فضای سه بعدی می کند. این نمونه از یادگیری ماشین در مرمت بناهای تاریخی، بازسازی ساختمان های تخریب شده و مدلسازی شهری با کمک تصاویر هوایی کارایی دارد[۳۳].

اتوماتیک سازی

طبق بررسی صورت گرفته پژوهش های زیادی در حوزه طراحی و در یادگیری بدون نظارت، تقویتی، نیمه نظارتی صورت نگرفته است و عمده ترین هدف این سه روش اتوماتیک سازی کامل هر فرآیند است و بیشتر در حوزه رباتیک، ماشین های کاملا خودمختار و صنعت بازی سازی کاربرد دارد.

یادگیری بدون نظارت

در این روش هیچ داده آموزشی و نظارتی وجود ندارد و هدف اصلی پیدا کردن یک ساختار در مجموعه ای از داده خام است. به عبارت دیگر هدف جستوجوی یک گروه مشخص یا یک الگوی پنهان با ویژگی های مشابه در مجموعه ای از داده های خام است که الگوریتم هیچ گونه پیش آگاهی در مورد آنها ندارد. چیزی که در این روش کیفیت جستوجو و کارایی مدل را افزایش می دهد معماری کامپیوتر الگورتیمی است که توسط مهندسین حوزه رایانه نوشته شده است (شکل ۴).



شکل ۴. مدل یادگیری ماشین بدون نظارت.

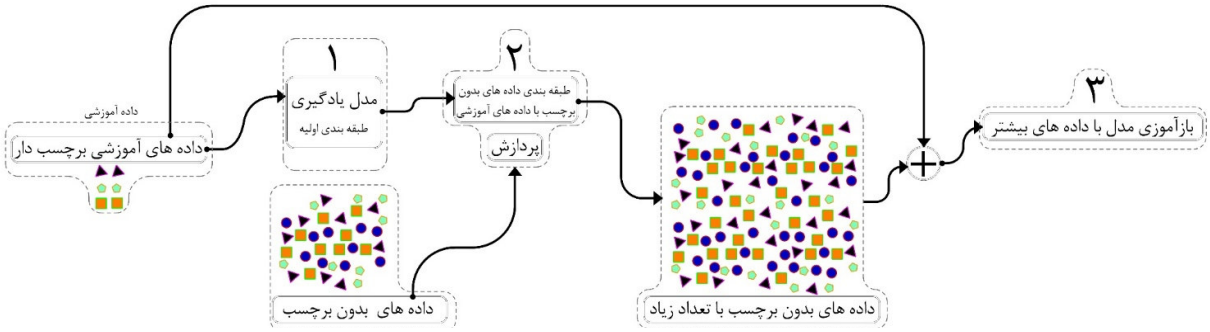
نمونه هایی از یادگیری بدون نظارت در تحقیق هایی که یک سیستم به صورت خودکار و بدون نظارت خطوط منحنی را از دیگر خطوط در حوزه طراحی تشخیص می دهد می بینم[۳۴] به نظر می رسد بیشترین تمرکز یادگیری بدون نظارت بر زیست داده ورزی، آنالیز شبکه های اجتماعی[۳۵]، تشخیص چهره[۳۶]باشد.

یادگیری نیمه نظارتی

در یادگیری نیمه نظارتی (شکل ۵)، هم از داده های طبقه بندی شده(برچسب خورده) و هم از داده های بدون طبقه بندی (برچسب نخورده)به صورت همزمان استفاده می گردد تا دقت یادگیری افزایش ارتقا یابد اما معمولا تعداد داده های برچسب نخورده بسیار بالاتر از داده های برچسب خورده است و کاربرد

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

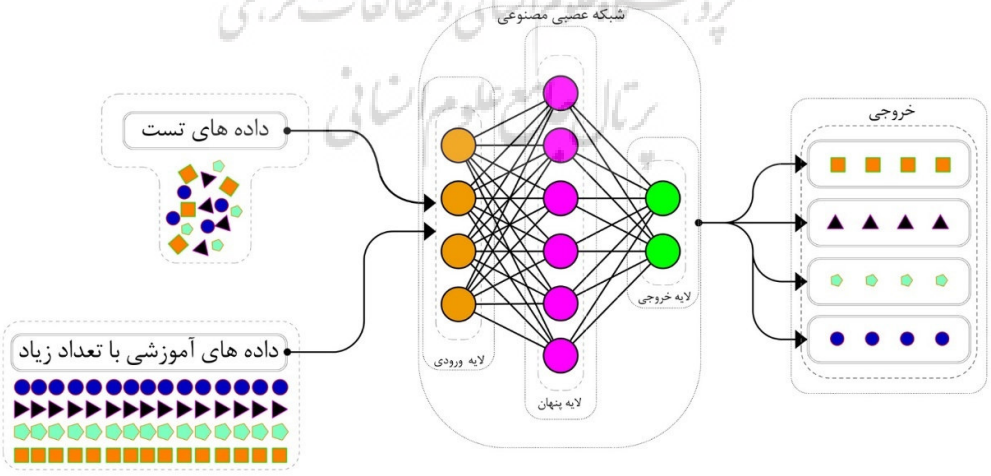
این روش هم می تواند ترکیبی از کاربرد روش نظارت شده و نظارت نشده باشد[۳۷].



شکل ٦. مدل یادگیری تقویتی.

یادگیری ماشین عمیق در طراحی

در صورتی که در فرآیند یادگیری از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده گردد این فرآیند را یادگیری ماشین عمیق(شکل ۷) می نامند که مدل بدون هیچ گونه پیش فرضی بر اساس اطلاعات موجود در داده های آموزشی شکل می گیرد [۳۹]. در یادگیری عمیق شبکه های عصبی مصنوعی از نورون های مصنوعی ساخته شده اند که اطلاعات را بین یکدیگر رد و بدل می کنند و بر اساس تجربه ای که در طول زمان آموخته اند دارای وزن می گردند. این نورون ها یک نقطه فعال سازی دارند که اگر مجموع داده های ارسالی و وزن(از پیش تعیین شده) از آن نقطه مشخص شده عبور کند، نورون فعال گشته و این فعالیت(در مجموعه ای از نورون ها) منجر به یادگیری(داده ها) خواهد شد و این فرایند در چند لایه با داده های آموزشی و با سطوح سختی گوناگون تکرار می شود تا ماشین دارای قدرت استدلال لازم وکافی گردد[۴۰].



شکل ۷. مدل یادگیری عمیق.

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

در این روش، یادگیری با مدلسازی یک گراف ژرف(عمیق) با چندین لایه پردازش خطی و غیر خطی و به صورت تدریجی و مرحله به مرحله انجام می شود[۴۱].به همین دلیل زمان یادگیری نسبت به روش های دیگر طولانی تر اما زمان اجرا آزمایش یا تست (اولیه یا نهایی) سریع تر است.روش کار در یادگیری عمیق به این صورت است که مجموعه ای از ویژگی های غیر خطی به صورت سلسله مراتبی و مرحله به مرحله به ماشین معرفی می شوند و در نهایت ماشین از این ویژگی ها برای دسته بندی و رگرسیون استفاده می کند تا از این آموخته ها برای پیش بینی خودکار(موضوعی که برای آن آموزش دیده است) در آینده استفاده نماید . هر چه سلسله مراتب داده های آموزشی بیشتر یا عمیق تر باشد در نتیجه ویژگی های غیر خطی بیشتری به دست می آید که باعث دقت بالاتر در پیش بینی و محاسبه می شود[۴۲]. در اکثر پژوهش های انجام پذیرفته در حوزه طراحی از یادگیری ماشین عمیق به صورت نظارت شده استفاده شده است. در یک پژوهش جهت طبقه بندی آثار شاخص طراحی(مدرن) یک شبکه عصبی مصنوعی با کُد نویسی به روش وب اسکرپینگ و با داده های تصویری بدون ساختار آموزش دیده است. سپس این داده ها با کمک کدهای دستوری چند لایه در شبکه عصبی مورد بازیابی و طبقه بندی قرار گرفته اند و در نهایت به داده های ساختار یافته و منظم تبدیل شده اند که برای ماشین(بر اساس کدهایی که ناظر نوشته است) قابل خواندن و تجزیه وتحلیل هستند. در نهایت ماشین با دقت نسبتا بالا قادر به تشخیص و طبقه بندی آثاری شده که از نظر ظاهری به یکدیگر شبیه هستند و به مرور زمان و افزایش داده ها، یادگیری خود را بهبود بخشیده است[۴۳]. در پژوهشی دیگر از ترکیب یادگیری عمیق و تکنیک های گراف برای تولید پلان طراحی بهره برده شده است. در این تحقیق از یادگیری عمیق برای انتقال داده های آموزشی سلسله مراتبی و تولید اتاق ها و از تکنیک گراف برای پیش بینی همجواری اتاق ها استفاده شده است. طبق بررسی صورت گرفته نتایج این پژوهش محدود به اتاق هایی با اشکال مستطیل و مربع است که ماهیت هنری و انعطاف پذیری طراحی را محدود می کند و به نظر می رسد در صورت استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی با لایه های آموزشی عمیق تر این مشکل برطرف خواهد شد[۴۴].در پژوهشی دیگر از یادگیری عمیق جهت طبقه بندی آثار تاریخی طراحی استفاده شده است. به این صورت که در ابتدا یک شبکه عصبی مصنوعی به صورت لایه به لایه و سلسله مراتبی آموزش داده شده است. این آموزش ها در هر لایه شامل تصاویری از جزئیات طراحی است که هر کدام معرف ویژگی های طراحی منحصر به فرد از یک دوران تاریخی است و با زیاد شدن لایه ها، ماشین از سبک ها و ویژگی های اختصاصی آنها به شناخت کافی رسیده است و پس از آن به خوبی قادر به دسته بندی مستندات دیجیتال تاریخ طراحی شده است[۴۵]. در پژوهشی مشابه از یادگیری عمیق برای طبقه بندی تصاویر آثار باستانی طراحی استفاده شده است. در این تحقیق الگوریتم های مختلفی در فرایند یادگیری آزمایش شده اند و در نهایت به این نتیجه رسیده که در مسائلی با تفکیک غیر طی در طبقه بندی تصاویر، پرسپترون چند لایه بهترین عملکرد را از خود نشان خواهد داد[۴۶]. پرسپترون چند لایه از دسته شبکه های عصبی ای محسوب می شود که در آن اطلاعات تنها از یک مسیر و آن هم رو به جلو و بدون هیچ بازگشتی حرکت می کند و اتصال میان واحد های تشکیل دهنده، چرخه ای ایجاد نمی کند. این پرسپترون ها سه لایه هستند و شامل یک لایه ورودی ، یک لایه پنهان(مخفی) و یک لایه خروجی می شود و عموما تحت نظارت به کار می روند[۴۷]در واقع لایه پنهان، با قابلیت دریافت متغیرهای بسیار زیاد و متفاوت،واسط میان ورودی وخروجی برای حل مسائل تفکیکیِ غیر خطی و پیچیده است[۴۸]. یادگیری عمیق در طراحی مفهومی و خلاقانه نیز به کار رفته است .در پژوهشی با هدف طراح خلاقانه، ابتدا شبکه عصبی مصنوعی با گراف های کد گذاری شده که حاوی تصاویر، متن و صدا می باشد آموزش دیده است و در نهایت الگوریتمی با استفاده از شبکه های مخالف مولد به تولید طرح های بدیع و خلاقانه سه بعدی پرداخته است[۴۹]. در تحقیقی مشابه یک شبکه عصبی مصنوعی در لایه های یادگیری خود با انواع هندسه، شکل و فرمول های ریاضی آموزش دیده است و در نهایت قادر شده تا از ترکیب آموخته های خود و تحت نظارات طراح هندسه های خلاقانه ایجاد نماید[۵۰].

طبق این مطالعه، پرکاربرد ترین روش های به کار رفته در رشته معماری، یادگیری تحت نظارت و یادگیری عمیق می باشد. از یادگیری تحت نظارت در طبقه بندی تصاویر طراحی، تبدیل

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

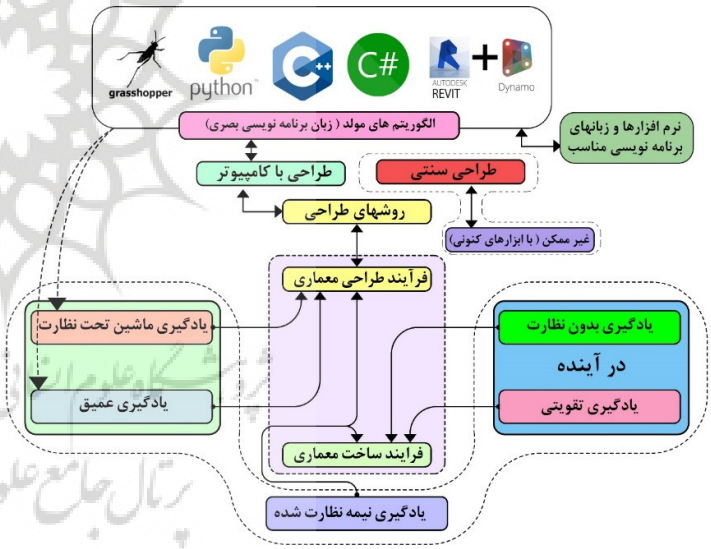
تصاویر نمای ساختمان به مدلهای سه بعدی ، بهینه سازی فرآیندهای برنامه ریزی طراحی، ریاضیات محاسباتی در طراحی داخلی، بهینه سازی پلان و طبقات، پیش بینی و چیدمان هندسه پلان و طراحی فضایی و دیاگرام ارتباطی استفاده شده است. طبق این پژوهش از یادگیری عمیق در طراحی به صورت نظارت شده و در طبقه بندی آثار تاریخی طراحی، تولید پلان طراحی، طراحی مفهومی و خلاقانه، بهینه سازی شکل و هندسه پلان استفاده شده است . همانطور که مشخص است کاربرد های یادگیری عمیق کاملا مشابه با پژوهش های صورت گرفته در حوزه یادگیری تحت نظارت است اما نتایج به دست آمده در یادگیری عمیق خلاقانه تر است و بیشترین تعامل میان انسان و ماشین در گستره طراحی با کمک یادگیری عمیق و به صورت نظارت شده امکان پذیر است. این موضوع در صورتی است که اطلاعات لازم کافی جهت یادگیری در اختیار ماشین(الگوریتم یادگیری) قرار گیرد. نکته مهم دیگر این است که فرایند آموزش به مدل در یادگیری عمیق تدریجی و طولانی تر است اما در زمان آزمون و تست در مقایسه با یادگیری تحت نظارت سریع تر عمل می کند. طبق این پژوهش در زمینه یادگیری بدون نظارت، یادگیری نیمه نظارتی و یادگیری تقویتی هیچ گونه مطالعه ای در گسترده طراحی تا به امروز صورت نگرفته است (یا به عبارتی تحقیقات چندان موفقی نبوده اند) و دلیل آن احتمالا جوان بودن این سه روش در حوزه طراحی می باشد. اما ممکن است در آینده به صورتی پیش بینی ناپذیر در این حوزه، وارد شود. (جدول ۱)

جدول ۱ . کاربرد انواع روش های یادگیری ماشین در طراحی

روش یادگیری	کاربرد یادگیری تحت در طراحی‌نظارت	در طراحی‌کاربرد یادگیری عمیق	کاربرد یادگیری بدون نظارت ، در طراحی‌نیمه نظارتی ، تقویتی
کاربرد	۱.اکتشافات عددی ۲.تولید هندسه و مدل های سه بعدی از تصاویر. ۳.پیش بینی و بهینه سازی پلان، طبقات و نما ۴.ایجاد طبقه بندی و پیش بینی مستندات طراحی ۵پیش بینی و بهینه سازی فرآیندهای برنامه ریزی طراحی ۶پیش بینی و چیدمان هندسی پلان ۷.طراحی فضایی و پیش بینی دیاگرام ارتباطی ۸پیش بینی فرم طراحی در ترکیب با ریاضیات محاسباتی	**نکته : تمامی کاربردهای یادگیری ماشین تحت نظارت با یادگیری عمیق نیز امکان پذیر است اما مواردی که به صورت مشخص تنها با یادگیری عمیق به نتیجه خواهند رسید به صورت زیر می باشند.** ۱.فرآیند طراحی خلاقانه در طراحی ۲.فرایند طراحی مفهومی و پیش بینی کانسپت. ۳.پیش بینی ایده در طراحی. ۴.هایپرید محاسبات عددی با فرایند های بصری،صوتی و تصویری.	در حال حاضر نمی توان کاربرد مشخصی برای آنها برشمرد اما احتمالا در آینده به صورت ربات یا موارد مشابه در طراحی اثر گذار خواهد بود .
سرعت یادگیری	بالا	تدریجی، لایه به لایه و کُند	
سرعت به کارگیری	پایین	بالا	

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

در نهایت باید به این نکته اشاره کنیم که، در صورتی معماران و طراحان شهری می توانند از توانایی های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در حوزه طراحی، شهرسازی و... استفاده کنند که روشهای طراحی با رایانه و استفاده از ابزارهای کامپیوتری را جایگزین روشهای طراحی سنتی کنند[۵۴-۵۳-۵۲-۵۱] (حداقل در مواردی که قصد دارند از امکانات هوش مصنوعی در طراحی استفاده کنند). به عبارتی دیگر باید گفت طراحی هدفمند و جامع با رایانه در کنار هوش مصنوعی به عنوان ابزارِ همیارِ طراحی در صورتی ممکن است که، کلیه فرآیندها به صورت اتوماسیون (مقادیر و داده های عددی و تصویری) و هم عرض با یکدیگر پیش روند[۵۶-۵۵] که طراح در این فرآیند با تغییر مقادیر فضاها و اهداف طراحی به سرعت ،پیشنهادهای جدیدی از هوش مصنوعی دریافت نماید[۵۸-۵۷]. این امر نیازمند نگاه سیستماتیک به طراحی طراحی با رایانه است[۶۰-۵۹] (شکل ۸)



شکل ۸. فرآیند کاربرد یادگیری ماشین در حوزه طراحی (رشته معماری و شهرسازی).

نتیجه گیری

نتایج حاصل از ترکیب داده ها بیانگر آن است که این حوزه دانشی جوان تر از آن است که بتوان برای توصیه به استفاده هوش مصنوعی در فرآیند طراحی، یا عدم توصیه جمع بندی نمود. دستاوردهای پژوهش نشان داد که بر اساس دسته بندی مفاهیم یادگیری ماشینی و روش های به کار رفته در آن، می توان معیارهای طراحی یک سیستم مبتنی بر یادگیری را به دست آورد. در نهایت یادگیری ماشین در گستره معماری مورد نقد و بررسی قرار گرفت. بر این اساس یادگیری عمیق به صورت نظارت شده موفق ترین روش در طراحی معماری ارزیابی شد و احتمالاً در رشته های دیگری هم که با خلاقیت رابطه دارند یادگیری عمیق موفق تر است. پیشنهاد می شود اگر هدف از کاربرد یادگیری ماشین در طراحی، داده کاوی ، طبقه بندی اطلاعات، محاسبات عددی،ایجاد تناسبات و تولید هندسه می باشد، یا به عبارتی هدف پردازش عددی است، یادگیری تحت نظارت انتخاب گردد. اما اگر هدف از یادگیری ماشین، پرورش خلاقیت،طراحی مفهومی و کاربردهای ترکیبی است، با توجه به شباهت ساختاری شبکه های عصبی مصنوعی به ساختار مغز انسان، از یادگیری عمیق(که یکی از سطوح یادگیری عمیق، شبکه های عصبی مصنوعی هستند) استفاده گردد. پیشنهاد می شود در صورتی که قصد دارید در پژوهش و طراحی، بدون اینکه درگیر پیچیدگی های برنامه نویسی شوید، از یادگیری ماشین استفاده کنید، در مسیر زیر قدم بردارید :

- یادگیری یکی از نرم افزارهای طراحی پارامتریک با الگوریتم های مولد که پیشنهاد ما افزونه (پلاگین) گرسهاپر در نرم افزار راینو است.
- در مرحله بعد زبان برنامه نویسی شی گرا را بیاموزید که بر اساس تحقیقات این پژوهش بهترین و ساده ترین نرم افزار، زبان برنامه نویسی پایتون(python) است.
- در نهایت برای اعمال یادگیری ماشین به فرآیند تحقیق، از یکی از افزونه های گرسهاپر، ویژه یادگیری ماشین استفاده کنید که پیشنهاد ما استفاده از افزونه لانچ باکس (LunchBox) در گرسهاپر است، که مجهز به کاملترین توابع یادگیری ماشین در حوزه طراحی و معماری است.

به عنوان یک جمع بندی کلی و بر اساس پژوهشهای انجام شده باید گفت، " اگر چه یادگیری ماشین در حوزه هایی مانند طراحی، در ابتدای راه خود است، اما استفاده از آن نه تنها باعث اتوماسیون فرایندهای عددی و وقت گیر طراحی می شود، بلکه منجر به تولید ماشین های خواهد شد که، می توانند به عنوان دستیار

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

طراحی در کنار معماران باشند، پیشنهادات جدید ارائه کنند و به پیشرفت رشته طراحی، همگام با تکنولوژی کمک نمایند.

منابع

[1] Haenlein, M. Kaplan, A. (2019). A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence. 61(4). https://doi.org/10.1177/0008125619864925

[2] Mohammed, M. Badruddin Khan, M . Mohammed Bashier, E.B. (2017). Machine Learning: Algorithms and Applications. London; Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.1201/9781315371658

[3]Eslamirad, N. Kolbadinejad S.M. Mahdavinejad, M. Mehranrad, M. (2020). Thermal comfort prediction by applying supervised machine learning in green sidewalks of Tehran. Smart and Sustainable Built Environment.9(4):361-374. https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2019-0028

[4] Beale, R. Jackson, T. (1990) . Neural Computing-An Introduction. Florida: CRC Press, Boca Raton. https://doi.org/10.1201/9781420050431

[5] Jordan, M.I. Mitchell, T.M. (2015). Machine learning: Trends,perspectives, and prospects. Science. 349. 255-260. http://dx.doi.org/10.1126/science.aaa8415

[6]Amini, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, M.(2019) Future of Interactive Architecture in Developing Countries: Challenges and Opportunities in Case of Tehran. Journal of Construction in Developing Countries. 24(1):163-84. https://doi.org/10.21315/jcdc2019.24.1.9

[7] Goodarzi, P. Ansari, M. Rahimian, F.P. Mahdavinejad, M. Park, C.(2023).Incorporating sparse model machine learning in designing cultural heritage landscapes. *Automation in Construction*. 155. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105058

[8] Shalev-Shwartz, S. Ben-David, S. (2014). Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. Cambridge. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107298019.

[9] D. Penney, D. Chen, L. (2019). A Survey of Machine Learning Applied to Computer Architecture Design. Arxiv. 1-14. https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.12373

[10] Rahbar, M, Mahdavinejad, M, Markazi, A.H.D. Bemanian, M. (2022) Architectural layout design through deep learning and agent-based modeling: A hybrid approach. Journal of Building Engineering.47, 103822. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103822

[11] Shabbir, J. Anwer, T. (2015). Artificial Intelligence and its Role in Near Future. Journal of Latex Class Files. 14(8). 1-11. https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.01396

[12] Rahbar, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, M. Davaie-Markaz, A.(2020). Generating space layout heat maps with cGAN algorithms in artificial intelligence. *Armanshahr Architecture. Urban Development*. 13(32):131-142. https://doi.org/10.22034/aaud.2020.154406.1717

[13] Rahbar, M. Mahdavinejad, M. Bemanian, M. Markazi,D. (2020) A. Artificial neural network for outlining and predicting environmental sustainable parameters. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design.*7(2):169-182. https://doi.org/10.22061/jsaud.2019.4501.1333 .

[14] Muhammad, I. Yan, Z. (2015). Supervised Machine Learning Approaches : a Survay. ICTACT Journal on Soft Computing. 5(3). 945-952. https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.01460

[15] Kotsiantis, S.B.(2007) Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. Informatica.31(3). 249-268. ISSN: 0350-5596 https://dl.acm.org/doi/10.5555/1566770.1566773

[16] Usama, M. Qadir, J. Raza,A. Arif,H. Alvin yau,K. Elkhatib, Y. Hussain,A. Al-fuqaha, A.(2019). Unsupervised Machine Learning for Networking:Techniques, Applications and Research Challenges. Journal of IEEE Access. 7. 65579-65615. https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.06599

[17] Khanum, M. Mahboob, T. Imtiaz, W. Abdul Ghafoor, H. Sehar.R. (2015). A Survey on Unsupervised Machine Learning Algorithms for Automation, Classification and Maintenance. International Journal of Computer Applications. 119(13). 34-39. http://dx.doi.org/10.5120/21131-4058

[18] Simeone,S. (2017). Brief Introduction to Machine Learning for Engineers. London : King's College London. https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.02840

[19] Sharma, D.& Kumar,N. A Review on Machine Learning Algorithms, Tasks and Applications. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). (2017) 6(10). 1353-1360. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2918741

[20] Llamas, J. M. Lerones, P. Medina, R. Zalama, E. García-Bermejo, J.G.(2017). Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. Applied Sciences. 7(10). 1-26. http://dx.doi.org/10.3390/app7100992

[21] LeCun, Y. Bengio, Y. Hinton, G. (2015) G. Deep learning. Nature. 521. 436-444. http://dx.doi.org/10.1038/nature14539

[22] Cioffi, R. Travaglioni,M. Piscitelli, G. Petrillo, A. De Felice, F. (2020). Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Smart Production: Progress, Trends, and Directions.

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

Embedded Systems. 4(2) 99-121. https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.05438
[33] M¨uller, P. Zeng,G. Wonka, P. Van Gool, L. (2007) Image-based Procedural Modeling of Facades. ACM Transactions on Graphics. 26(3). http://dx.doi.org/10.1145/1275808.1276484
[34] Udousoro, I. C. (2020). Machine Learning: A Review. Semiconductor Science and Information Devices, 2(2), 5–14. https://doi.org/10.30564/ssid.v2i2.1931
[35] Perez, J.A. Deligianni, F. Ravi, D. Yang, J.Z. (2018) . Artificial Intelligence and Robotics , Published by Arxiv in Cornell University.https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.10813 .
[36] Chahal1, A. Gulia, P. (2019). Machine Learning and Deep Learning. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). 8 (12). 4910-4914. http://dx.doi.org/10.35940/ijitee.L3550.1081219
[37] Janiesch, C. Zschech, P. Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. International Journal of Electronic Market. 31. 685–695. https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2
[38] Naeem,M. Hussain Rizvi ,S.T. Coronato, A.(2020). A Gentle Introduction to Reinforcement Learning and its Application in Different Fields. IEEE Access. 8. 209320 – 209344. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3038605
[39] Cudzik, J. Radziszewski, K. (2018). Artificial Intelligence Aided Architectural Design. ECAADe .36(1). 77-84. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.1.077 .
[40] Yang, L. Cervone,G. (2019). Analysis of remote sensing imagery for disaster assessment using deep learning: a case study of flooding event. Journal Soft Computing. 23(24). 13393-13408. http://dx.doi.org/10.1007/s00500-019-03878
[41] Hao, Z. (2019). Deep learning review and discussion of its future development. MATEC Web Conf. 277. https://doi.org/10.1051/matecconf/201927702035
[42] Yang, L. , MacEachren, A.M. Mitra, P. Onorati, T.(2018). Visually-Enabled Active Deep Learning for (Geo) Text and Image Classification: A Review. International Journal of Geo-Information. 7(2). 1-38. https://doi.org/10.3390/ijgi7020065
[43] Yoshimura,Y. Zhoutong Wang, B. Ratti , C. (2018). Deep Learning Architect: Classification for Architectural Design through the Eye of Artificial Intelligence. Arxiv in Cornell University. 1-22. https://doi.org/10.48550/arXiv.1812.01714
[44] Goodman, G. (2019). A Machine Learning Approach to Artifificial Floorplan Generation. Kentucky : Lexington, Kentucky. https://doi.org/10.13023/etd.2019.391
[45] Llamas, J. M. Lerones, P. Medina, R. Zalama, E. Gómez, G.B. (2017). Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Sustainability. 12(2). 1-26. https://doi.org/10.3390/su12020492
[23] Khean, K. Fabbri,A. Haeusler.M.H. (2018). Learning Machine Learning as an Architect, How to?. eCAADe 36(1). 95-102. http://dx.doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.1.095 .
[24] Papasotiriou, T. (2019). Identifying the Landescape of Machine Learning Aided Architectural Design a Term Clustering and Scientometrics Study. International Conference of CAADRIA. 815-824. http://dx.doi.org/10.52842/conf.caadria.2019.2.815
[25] Tamke, M. Nicholas, P. Zwierzycki, M. (2018). Machine learning for architectural design. practices and infrastructure. International Journal of Architectural Computing. 16(2). 123-143. http://dx.doi.org/10.1177/1478077118778580
[26] Das, S. (2018) . Interactive Artificial Life Based Systems, Augmenting Design Generation and Evaluation by Embedding Expert Opinion A Human Machine dialogue for form finding. ECAADe. 36(1). 85-94. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.1.085
[27] Racec,E. Budulan, S. Vellido,A. (2016). Computational Intelligence in architectural and interior design:a state-of-the-art and outlook on the field. Department of Computer Science (CS) and to the Universitat Politècnica de Catalunya,Barcelona, Spain. 1-10. https://www.cs.upc.edu/~avellido/research/RacecBudulanVellido_CCIA16.pdf
[28] Okhoya, V. (2020). Machine Learning for Multi-Discipline Parametric Analysis in Architectural Practice. Pennsylvania: Carnegie Mellon University. https://kilthub.cmu.edu/articles/thesis/Machine_Learning_for_Multi-Discipline_Parametric_Analysis_in_Architectural_Practice/11926932
[29] Michalek, J. Choudhary, R. Papalambros, P. (2002). Architectural Layout Design Optimization. Engineering Optimization 34(5). 461-484. http://dx.doi.org/10.1080/03052150214016
[30] Merrell, P. Schkufza, E. Koltun, V. (2010). Computer-Generated Residential Building Layouts. 29(6). 1-13. http://dx.doi.org/10.1145/1882261.1866203.
[31] Ferrando, C. (2018). Towards a Machine Learning Framework in Spatial Analysis, Master of Science (MS). Pennsylvania: Carnegie Mellon University , Pittsburgh. https://kilthub.cmu.edu/articles/thesis/Towards_a_Machine_Learning_Framework_in_Space_Syntax/7178417
[32] Al-Wattar,A. Areibi,S. Grewal,G. (2015). An Efficient Framework for Floor-plan Prediction of Dynamic Runtime Reconfigurable Systems. International Journal of Reconfigurable and

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]

Techniques. Applied Sciences. 7(10). 1-25. http://dx.doi.org/10.3390/app7100992
[46] Jankovi, R. (2019). Machine Learning Models for Cultural Heritage Image Classification: Comparison Based on Attribute Selection. Information 2020, 11(1), 12. 1-13. https://doi.org/10.3390/info11010012
[47] Do, L. Swamy, M.N.S. (2013). Neural Networks and Statistical Learning. London. Springer. ISBN 978-1-4471-5571-3. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5571-3
[48] Popescu,M. Balas, V.E. Mastorakis, N.E. Popescu. L.P. (2009). Multilayer perceptron and neural networks. Journal of WSEAS Transactions on Circuits and Systems. 7(8). 579-588. https://doi.org/10.5555/1639537.1639542
[49] As, I. Pal,S. Basu,P. (2018). Artificial intelligence in architecture:Generating conceptual design via deep learning. International Journal of Architectural Computing, 16(4) 306-327. http://dx.doi.org/10.1177/1478077118800982
[50] Radziszewski, K. (2017). Artificial Neural Networks as an Architectural Design Tool-Generating New Detail Forms Based On the Roman Corinthian Order Capital. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 245(6). 1-8. http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/245/6/062030
[51]Ganji Kheybari A, Diba D, Mahdavinejad M, Shahcheraghi A.(2015). Algorithmic Design of Palekane in Order to Increase Efficiency of Daylighting in Buildings. Armanshahr Architecture & Urban Development, Spring 8(1):35-52. [Persian] Available at: http://www.armanshahrjournal.com/article_39305_6474c6c97b35674314f99f744a694497.pdf
[52] Goodarzi, P. Ansari, M. Mahdavinejad, M. Russo A, Haghighatbin, M. Rahimian, F.P.(2023) Morphological analysis of historical landscapes based on cultural DNA approach. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage.1;30:e00277. https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00277
[53] Kasraei, M.H. Nourian, Y. Mahdavinejad, M.(2016) Girih for domes: analysis of three Iranian domes. Nexus Network Journal. 18(1):311-21. https://doi.org/10.1007/s00004-015-0282-4
[54] Mashhadi Abolghasem Shirazi, M. Diba, D. Mahdavinejad, M. (2023). Economy-based Contemporization and Preservation of Contemporary Architectural Heritage; Strategies for Action in Residential Buildings from the 1950s to the 1970s. The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar. 20(126): 69-80. (doi: 10.22034/bagh.2023.374094.5297) https://www.bagh-sj.com/article_181097.html?lang=en
[55] Tadayon, K. Mahdavinejad, M. Shahcheraghi, A. (2021) Advanced mathematical algorithms to outline integrated architectural design process. Journal of Sustainable Architecture and Urban Design.23;9(1):1-12. https://doi.org/10.22061/JSAUD.2020.6603.1686
[56] Kouchaki, M. Mahdavinejad, M. Zali, P. Ahmadi, S. (2016). Magnet-based Interactive Kinetic Bricks. eCAADe 2016 - 34th Annual Conference. University of Oulu, Oulu, Finland.1.213-218. https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2016_215.pdf
[57] Mansourimajoumerd, P. Mahdavinejad, M. (2018) . Kinetic Architecture: Reinterpreting Persian Mathematics and Astronomy. eCAADe 2018 - 36th Annual Conference.Lodz, Poland.1.605-612. http://dx.doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.1.605
[58] Haghighi, M.Y. Mahdavinejad, M. (2020). Heliophilia Intelligent Kinetic Canopy. , eCAADe 2020: 38th Annual Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, TU-Berlin, Germany. 2. 243-250. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2020_197.pdf
[59] Javidannia, G. Bemanian, B. Mahdavinejad, M. (2020). Performance Oriented Design Framework for Early Tall Building form Development: Seismic architecture view. eCAADe 2020: 38th Annual Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, TU-Berlin, Germany.2. 381-390. (ID: D2.T9.S1. ecaade2020_069). http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2020_069.pdf
[60] Rezaeicherati, A. Mahdavinejad, M. (2020). SoRo Responsive Wall: Soft robotics for human-oriented architecture. eCAADe 2020: 38th Annual Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, TU-Berlin, Germany. 2 .623-630. (ID: D2.T10.S2. ecaade2020_335). http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2020_335.pdf

[Downloaded from udd.modares.ac.ir on 2024-12-07]