دوازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

اصول طراحی چیدمان بهینه فضا در ساختمان‌ها بر اساس شاخص های انرژی با استفاده از هوش مصنوعی

مهدی میرزا گل‌تبار روشن [1]، رویا کریمی [2*]

[1] عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران، Dr.Goltabar@gmail.com

[2] دانشجوی دکتری معماری، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحدساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران، roya.karimi224@gmail.com

چکیده

ساختمان ها و صنعت ساخت و ساز سهم عمده ای را در میزان مصرف انرژی اولیه و انتشار گازهای گلخانه ای به خود اختصاص داده‌اند. همچنین با رشد جمعیت نیاز به طراحی، ساخت و بهسازی ساختمان ها افزایش می یابد. لذا لازم است طراحان ساختمان از مراحل ابتدایی طراحی، راهکارهای کاهش مصرف انرژی را لحاظ نمایند. یکی از مراحل اولیه ی طراحی، تصمیم گیری در ارتباط با نحوه‌ی آرایش فضاها بر اساس الزامات و نیازهای مختلف در حوزه های معماری، انرژی و محیطی است. ارزیابی گزینه های مختلف طراحی آرایش فضا با استفاده از ابزارهای موجود در حوزه‌ی شبیه سازی ساختمان اغلب زمانبر و نیازمند اطلاعات ورودی بسیاری است. بنابرین طراح به ابزاری نیاز دارد که ضمن دقت مناسب در انجام ارزیابی های مرتبط با مصرف انرژی و شاخص‌های محیطی، از سرعت بالایی نیز برخوردار باشد. این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ روش یک مقاله مروری می باشد. روش جمع آوری داده ها در این پژوهش کتابخانه ای و اسنادی می‌باشد و اطلاعات از مقالات و پژوهش های تخصصی مرتبط با موضوع جمع آوری شده است. در این پژوهش در جهت رفع این نیاز به مرور تحقیقات پیشین در سال های اخیر در این حوزه پرداخته شده است تا یک چارچوب نرم افزاری در حوزه ی ارزیابی ساختمان ها بر اساس شاخص‌های آرایش فضا با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشینی ارائه شود.

واژه‌های کلیدی

بهینه سازی مصرف انرژی، یادگیری ماشینی، معماری با هوش مصنوعی، مدیریت انرژی ساختمان، چیدمان فضا.

1. مقدمه

سهم ساختمان ها در میزان مصرف انرژی اولیه جهانی و همچنین تولید گازهای آلاینده امروزه به ترتیب در حدود 40 و 30 درصد تخمین زده می شود. با توجه به نیاز اساسی برای کاهش انتشار کربن، طراحی ساختمان های کارآمد از لحاظ انرژی بسیار ضروری است. علاوه بر آن، به دلیل رشد زیاد جمعیت و سرعت توسعه ی شهرها تا سال 2050 گستردگی محیط های انسان ساز به دو برابر میزان امروزی خود خواهد رسید[1].

طراحی آرایش فضاها و به عبارتی نحوه ی جانمایی ریزفضاهای مختلف در یک ساختمان با کاربری مشخص، یکی از اقداماتی است که در مراحل طراحی اولیه و همچنین توسعه طراحی مد نظر قرار می گیرد. از مهم ترین و تاثیرگذارترین عوامل طراحی معماری در یک ساختمان، حوزه بندی و جانمایی فضاهای مختلف مطابق با نیازهای حرارتی، تهویه، نور و آکوستیک مختص هر فضا است. علاوه بر آن، مرزهای سایت و الزامات اجرایی نیز محدودیت هایی را در جهت طراحی آرایش فضاها اعمال می کنند. در ساختمان هایی که دارای ریزفضاهایی با نیازهای محیطی متفاوت هستند، فرآیند طراحی به دو علت دارای چالش هایی می باشد: جایگشت های متعدد این ریزفضاها بر اساس نیازهای محیطی و همچنین درنظرگیری مسئله مصرف انرژی در هر کدام از حالات حوزه بندی فضاها. مطالعات متعددی در حوزه بررسی میزان تاثیر آرایش های فضایی مختلف یک ساختمان بر شاخص‌های انرژی و محیطی انجام گرفته است و نتایج نشان داده است که آرایش فضا می تواند از نظر گرمایش، سرمایش، روشنایی و تهویه هوا، بر عملکرد انرژی ساختمان تأثیر بسزایی بگذارد[2]. در طراحی آرایش فضاها دو دسته عمده از عوامل معماری و عوامل انرژی و محیطی نقش دارند: پارامترهای مرتبط با معماری همچون روابط فضایی، مساحت هر ریزفضا، مجاورت الزامی و یا دلخواه ریزفضاها و همچنین محدودیت های مرزهای سایت طراحی، و شاخص های مرتبط با انرژی و عوامل محیطی مانند بارهای سرمایش و گرمایش، مصرف انرژی اولیه، میزان انتشار کربن، میزان روشنایی تامین شده در هر فضا توسط نور روز، میزان نرخ تهویه بواسطه نحوه ی قرارگیری فضاها و تامین بازشوها و تامین نیازهای آکوستیکی مرتبط با هر فضا. با توجه به تاثیرگذاری هر یک از عوامل متعدد فوق در روند تصمیم گیری طراحی آرایش فضاها در ساختمان، مقایسه ی گزینه های متعدد طراحی آرایش فضایی برای شناسایی یک راه حل بهینه طراحی لازم است. به منظور انجام این مقایسه، استفاده از روش های معمول شبیه سازی رایانه ای مستلزم صرف زمان زیادی است و علاوه بر آن، ورودی های مورد نیاز برای انجام شبیه سازی از این طریق، فراوان و بعضاً غیردقیق می باشند. راه حل دیگر برای انجام روند مقایسه بین گزینه های طراحی، استفاده از روش های داده مبناست که امروزه با بهره گیری از الگوریتم های یادگیری ماشینی قابل انجام هستند. مزیت عمده ی این روش ها سرعت بالای آنهاست و در صورت به کارگیری مدل های مناسب، از دقت مناسبی نیز برخوردارند[3].

با در نظرگیری مجموعه موارد ذکر شده، تدوین یک چارچوب ارزیابی ساختمان که ضمن به حساب آوردن تعدادی از عوامل معماری، انرژی و محیطی در طراحی آرایش فضاها، سرعت بالایی نیز داشته باشد برای بررسی گزینه های مختلف آرایش فضاها تا رسیدن به گزینه ی بهینه امری مهم تلقی می‌شود. این چارچوب ارزیابی ساختمان علاوه بر مفید واقع شدن برای افراد متخصص در حوزه طراحی معماری و انرژی در روند طراحی، به سبب سرعت بالا و عدم پیچیدگی قابل بهره گیری توسط دیگر فعالان صنعت ساختمان همچون سازندگان و تصمیم گیرندگان نیز خواهد بود.

2. روش تحقیق

باتوجه به آنکه پژوهش در پی مرور تحقیقات و مقایسه نتایج تحقیقات در زمینه آرایش بهینه فضا در ساختمان ها بر اساس شاخص های انرژی به وسیله یادگیری ماشینی است؛ نوع تحقیق از نوع کاربردی محسوب می گردد و در زمره مقالات مروری می باشد و از نظر رویکرد، توصیفی - تحلیلی می باشد. در این مطالعات برای جمع آوری اطلاعات از متدهای کتابخانه ای، میدانی و مصاحبه با طراحان و مشاوران پروژه های مشابه استفاده شده است. در این پژوهش سعی شده است مجموعه معلومات و مقولات اساسی، به شکلی تالیف شود که شناختی هدفمند، جامع و منسجم از کلیت موضوع حاصل شود. با مشاهده و بررسی پژوهش های پیشین در رابطه با آرایش فضا و بررسی و شناسایی مشکلات آن، سعی شده است تا با مراجعه به منابع معتبر مربوط کتابخانه ای، سایت ها، مقالات و مجلات منتشر شده به ریشه‌ی آنها دست یابم. با آنالیز اطلاعات جمع آوری شده، جهت رفع این عوامل در ابتدا با بررسی و مطالعه هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی و انواع الگوریتم های آن و بررسی چند نمونه پژوهش در حوزه استفاده از یادگیری ماشینی در تحلیل های مصرف انرژی بهینه

ساختمان که می تواند با استفاده از الگو و الگوریتم های آن آرایش بهینه فضا در ساختمان‌ها بر اساس شاخص های انرژی و محیطی را تحلیل کنیم.

3. مبانی نظری

1.3. روش های طراحی آرایش فضاها در ساختمان

از آن جایی که موضوع طراحی گزینه های آرایش فضایی در ساختمان یکی از مهمترین مراحل طراحی یک ساختمان است، تحقیقات فراوانی در این حوزه انجام شده است. مطالعات نشان داده اند که طراحی آرایش فضاها تاثیر قابل توجهی بر عملکرد انرژی ساختمان و دیگر مسائل محیطی همچون نرخ تهویه و بهره وری از نور روز دارد. در مقالات متعددی تاثیر آرایش فضا بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌هایی با کاربری های مختلف و در اقلیم های گوناگون دیده شده است.

در بررسی انجام شده بر پنج نوع آرایش فضا در یک ساختمان اداری در بریتانیا، محققان موساو و استیمرز(2008)، دریافتند که بیشترین اختلاف (تغییرات تقسیم بر بیشترین نیاز گرمایش/روشنایی) ناشی از تغییر آرایش فضا می تواند تا ۵۷ درصد در نیاز گرمایش در زمان اوج زمستان و تا ۶۷ درصد در نیاز روشنایی الکتریکی در زمان اوج تابستان باشد[1]. تحقیقات بر روی تولید گزینه های آرایش فضایی حدود ۵۰ سال پیش شروع شد. همچنین، این موضوع در سال های اخیر مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است. در مقاله مروری انجام شده توسط تورین و همکاران(2020)، انواع روش های تولید آرایش فضاها در ۷ دسته طبقه بندی شده است: روش فیزیکی طراحی گزینه های آرایش فضایی، روش برنامه ریزی ریاضی، روش طراحی به کمک گراف‌تئوری، روش اختصاص سلول، روش تقسیم بندی فضا، روش طراحی بر مبنای ردیابی کاربر، روش یادگیری ماشینی[2].

3-2-یادگیری ماشینی

هوش مصنوعی طیف گسترده ای از تصمیم گیری های خودکار از منطق شرطی تا شبکه های عصبی را نشان می‌دهد. تصمیمات یا پیش‌بینی هایی که با استفاده از تکنیک های داده محور انجام می شود؛ در یادگیری ماشین، زیرمجموعه ای از هوش مصنوعی قرار می‌گیرد. زیرمجموعه تکنیک‌های یادگیری ماشینی که از شبکه های عصبی عمیق استفاده می کنند، یادگیری عمیق نامیده می شود[4].

یادگیری ماشینی، یک زیر کلاس از هوش مصنوعی است. این یک خودآموز مبتنی بر الگوریتم است؛ به این معنی که سیستم از تجربه خود درس می گیرد. به عنوان مثال: سیستم از داده هایی که وارد آن می شود، الگو را یاد می گیرد و از آن در خروجی پاسخ می دهد. در این حالت، سیستم بدون دخالت انسان باهوش، باهوش تر می‌شود. یادگیری ماشینی از الگوریتم یادگیری آماری استفاده می کند که بدون کمک انسان به طور خودکار یاد می گیرد و بهبود می یابد. در طرف دیگر در یک سیستم یادگیری عمیق، از تجربه خود می آموزد، اما یک پایگاه داده بزرگ یا اطلاعات بزرگ در ورودی باید آماده شود. عمیق اصطلاحی است که به چندین لایه بین ورودی و خروجی یک شبکه عصبی اشاره می کند؛ درحالیکه در شبکه های عصبی کم عمق حداکثر دولایه در بین شبکه عصبی ورودی و خروجی وجود دارد. هوش مصنوعی یک رشته گسترده برای تولید ماشین های هوشمند است. عمدتاً کار هوش مصنوعی شامل یادگیری ماشینی است؛ زیرا رفتار هوشمند به اطلاعات یا دانش گسترده نیاز دارد. فنآوری را هرگز تقلید از هوش انسان متوقف نمی کنند، به همین دلیل است که هوش مصنوعی در حال حاضر توجه فوق العاده‌ای را به خود جلب کرده است[5].

جودیت هورویتز و دانیل کرش در سال 2018 در کتابی تحت عنوان« یادگیری ماشینی » یادگیری ماشینی را اینگونه تعریف کرده اند. "یادگیری ماشینی شکلی از هوش مصنوعی است که سیستم را قادر می سازد تا از طریق برنامه نویسی صریح از داده ها یاد بگیرد. یادگیری ماشینی از الگوریتم های مختلفی استفاده می کند که به طور مکرر از داده ها برای بهبود، توصیف و پیش بینی نتایج استفاده می کند. از آنجا که الگوریتم ها داده های آموزشی را جذب می کنند؛ می توان مدل های دقیق تری را بر اساس آن ها تولید کرد. یک مدل یادگیری ماشینی هنگامی تولید می شود که شما الگوریتم یادگیری ماشینی خود را با داده ها آموزش دهید. پس از آموزش، وقتی به مدل ورودی داده می شود، خروجی ارائه می شود" [5].

با درنظرگرفتن موارد ذکر شده در بالا، به نظر می رسد بتوان تعریف جامعِ "یادگیری ماشینی" را اینگونه بیان کرد:

"یادگیری ماشینی شاخه ای از هوش مصنوعی می باشد که رایانه از طریق داده های ورودی آموزش می بیند و یاد می گیرد تا به جای انسان برنامه ریزی و تصمیم گیری کند. این عمل در داده‌ای با حجم زیاد، سرعت و کارایی فرایند پردازش و نتیجه گیری را بسیار افزایش می دهد ."

4. یافته های پژوهش

در میان تحقیقات بررسی شده در حوزه آرایش فضا، تعداد زیادی به بررسی تاثیر آرایش فضا بر مصرف انرژی پرداخته اند. با این حال، این پارامتر غالباً در ترکیب با پارامترهای دیگر همچون خصوصیات مصالح، نسبت پنجره به دیوار و از این قبیل مورد بررسی قرار گرفته است. تعدادی از مقالات بررسی شده نیز صرفاً به ارائه سیستم های تولیدکننده طراحی در حوزه های آرایش فضا و مباحث مرتبط پرداختند. همچنین مقالاتی که با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشینی به تولید آرایش فضا پرداخته اند نیز در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات انجام شده در حوزه‌ی آرایش فضا را می توان طبق سابقه تحقیق به سه دسته تقسیم بندی کرد :

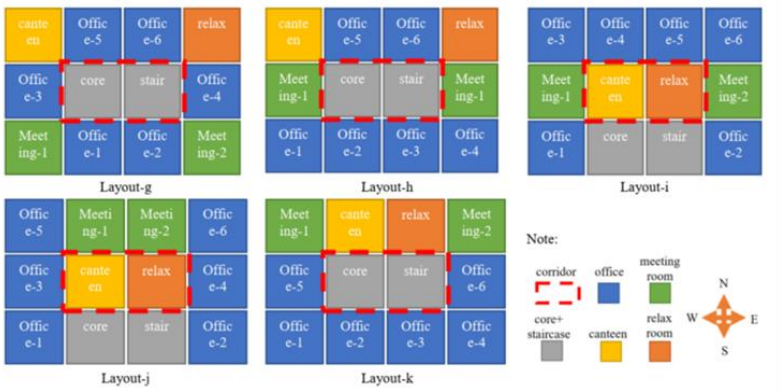
1 .تاثیر آرایش فضا بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی و بصری

2 .سیستم های تولیدکننده ی طراحی

3. تولید و ارزیابی آرایش فضا به کمک الگوریتم های یادگیری ماشینی

4-1-تاثیر آرایش فضا بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی و بصری

مطالعات قابل توجهی در حوزه بررسی تاثیر آرایش فضا بر شاخص های انرژی و محیطی انجام شده است و نتایج بررسی شده حاکی از تاثیر تعیین کننده این پارامتر در مراحل اولیه طراحی است. (Jansen & Turrin, 2019) با در نظرگیری پلان یک ساختمان اداری در هلند به عنوان ساختمان مبنا، میزان اثرگذاری آرایش فضا را بر مصرف انرژی مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق پلان ۱۱ گزینه ی طراحی آرایش فضا علاوه بر پلان ساختمان اصلی از جهات شاخص های مصرف انرژی گرمایش، سرمایش، و روشنایی الکتریکی مورد مقایسه قرار گرفتند. لازم به ذکر است که گزینه های طراحی پلان توسط محققان، و نه به صورت اتوماتیک، انجام گرفت و همچنین مرزهای هندسه ساختمان در همه ی گزینه ها یکسان و به صورت مستطیل شکل در نظر گرفته شدند. محاسبات شبیه سازی انرژی توسط افزونه های Honeybee و Ladybug در محیط گرس هاپر انجام گرفت. همچنین شبیه سازی نور روز نیز موازی با شبیه سازی انرژی توسط انتقال خروجی های برنامه زمانی استفاده از سیستم روشنایی الکتریکی محاسبه شده توسط Daysim به EnergyPlus صورت گرفت. نتایج نشان دادند که نیاز گرمایش بدترین گزینه ی آرایش فضا ۱۲ درصد بیشتر از بهترین گزینه، نیاز سرمایش ۱۰ درصد بیشتر، و نیاز روشنایی الکتریکی ۶۵ درصد بیشتر بوده است. به منظور مقایسه بهتر گزینه های طراحی آرایش فضا، در انتها هر سه دسته مصرف انرژی به انرژی اولیه تبدیل شدند. با اعمال این موضوع، مصرف انرژی نهایی بدترین گزینه آرایش فضا، ۱۹ درصد بیشتر از بهترین گزینه بوده است [6].



شکل 1: نمونه هایی از گزینه های پلان ساختمان اداری مورد بررسی [6].

(Machi Zawidzki & Szklarski, 2020)به منظور بهینه سازی چندهدفه در طراحی پلان یک ساختمان مسکونی یک طبقه در لهستان، یک چارچوب طراحی و رسیدن به یک پلان عملکردی را ارائه کردند. در این چارچوب، هدف بهینه کردن میزان عملکرد (تعریف شده توسط کاربر)، دریافت نور روز (محاسبه شده بر اساس شرایط جغرافیایی)، جذابیت دید به بیرون از ساختمان (ارزیابی شده در سایت طراحی)، و نوفه ی خارجی (اندازه گیری شده در سایت طراحی) در طراحی پلان ساختمان مورد نظر بوده است. در ابتدا مجموعه ای از آرایش فضای عملکردی تولید شده، و سپس برای مکان و جهت گیری بهینه در سایت مورد نظر ارزیابی می شوند. همچنین هر یک توابع هدف در بهینه سازی توسط کاربر و بر حسب ترجیحات آن وزن داده می شوند. فرآیند بهینه سازی در این تحقیق با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون و به کمک SciPy بر اساس روش گرادیانت برای پیدا کردن نهایت های توابع هدف برنامه نویسی شده است. به منظور اطمینان از رسیدن به مقدار بهینه کلی، تعداد زیادی از شرایط اولیه در فضای جستجو تبیین شدند. مرحله تولید گزینه های پلان توسط روش ارضای قیود که در تحقیق انجام شده توسط (MacHi Zawidzki et al., 2011) معرفی شده، انجام شده است. گزینه‌های پلان عملکردی با مراحل زیر تولید شدند:

1 -ورودی کاربر از ترجیحات آرایش فضایی

الف- لیست اتاق ها به همراه اندازه های مناسب و مورد نظر

ب- اندازه و فرم ساختمان

ج-ترجیحاتی در حوزه روابط فضایی

2-ورودی کاربر از ترجیحات سایت

الف- میزان دریافت نور در زمان های مختلف روز

ب- کیفیت دید خارجی برای هر فضا

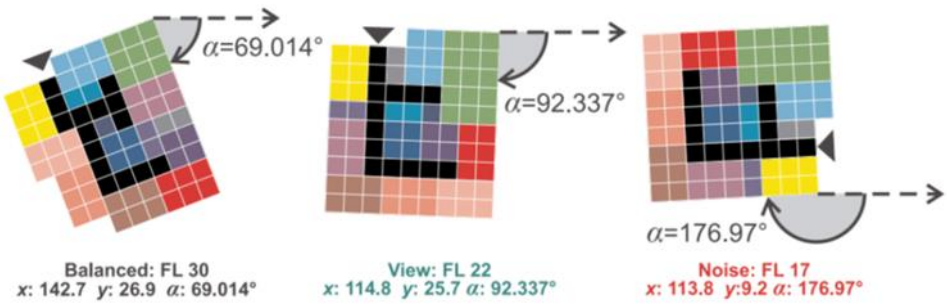
ج- اهمیت میزان نوفه ترجیحی برای هر فضا

3 -مجموعه ای از قوانین فضایی

الف- بعضی قیدها مانند عدم همپوشانی فضاها و عدم خروج فضاها از مرزهای تعیین شده

ب- بعضی قیدها مانند نحوه چیدمان فضاها و دسترسی های مناسب با ابعاد معقول

4- تولید گزینه های ممکن[7].



شکل 2 : بهترین گزینه های پلان تولید شده بر اساس توابع هدف، [7]

در مقاله مروری انجام شده توسط (Du,Dobbelsteen,et al ,2020) علاوه بر شاخص‌های انرژی، به اثرات آرایش فضا بر آسایش حرارتی و بصری کاربران نیز پرداخته شده است. محققان ضمن بیان این موضوع که غالباً تاثیر آرایش فضا به همراه دیگر پارامتر های

متغیر مانند نسبت پنجره به دیوار دیده می شود، در بخشی جداگانه به تاثیر آرایش فضا به صورت مجزا نیز پرداختند. این تاثیرات دسته‌بندی گردیده و نتایج از این قبیل هستند:

مصرف انرژی در بخش سرمایش و گرمایش: اثرات مجزای آرایش فضا در بین مقالات مرور شده، بررسی شدند. میزان کاهش در نیاز سالانه ی سرمایش و گرمایش چشمگیر (تا ٪۲۴ و ٪۵۲ به ترتیب برای یک نمونه ساختمان اداری در بریتانیا) بوده است.

مصرف انرژی در بخش روشنایی الکتریکی: اثرات مجزای آرایش فضا در زمان اوج تابستان و اوج زمستان بررسی شدند. نتایج کاهش قابل توجهی را به ترتیب ٪۶۷ و ٪۴۳ برای یک نمونه ساختمان اداری در بریتانیا نشان دادند.

مصرف انرژی در بخش تهویه: تنها حجم هوای تامین شده توسط تهویه طبیعی برای زمان اوج زمستان بررسی شد و نتایج نشان دادند که میزان کاهش مصرف انرژی در بخش تهویه به واسطه‌ی بهره گیری از تهویه طبیعی تا ٪۶۵ در نمونه ساختمان اداری در بریتانیا بود.

آسایش حرارتی: شاخص PMV و عدم آسایش حرارتی (تفاوت بین دمای هوا و دمای آسایش حرارتی) مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه تاثیرات مجزای آرایش فضا قابل شناسایی نبودند، اما تاثیرات تقریبی روی PMV قابل ارزیابی بود. این میزان حدود ٪۱۳ در نمونه ساختمان اداری در کره جنوبی بود.

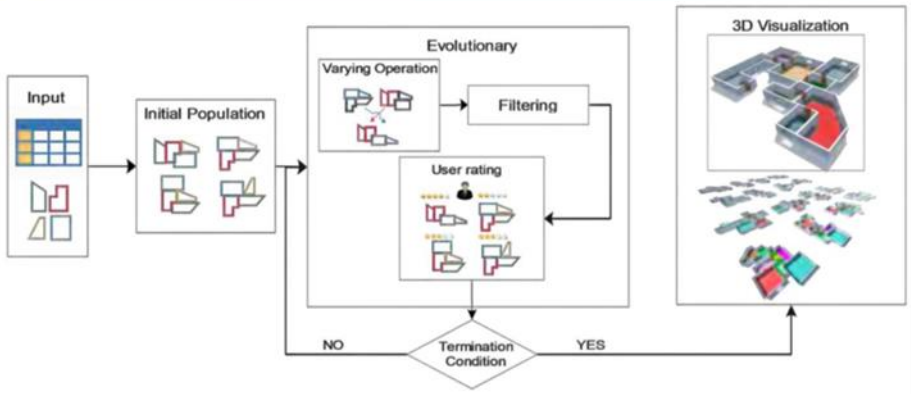
آسایش بصری: مشابه با آسایش حرارتی، تنها تاثیرات به صورت تقریبی قابل ارزیابی بودند. این میزان تا ٪۱۱ روی سطح روشنایی و تا ٪۲ روی سطح سایه بان در نمونه ساختمان اداری در کره جنوبی بودند.

در مجموع، بررسی انجام شده روی ساختمان های اداری نشان دادند که تاثیرات آرایش فضا روی میزان مصرف انرژی بسیار بیشتر و ملموس تر از آسایش حرارتی و بصری اند[8].

4-2-سیستم های تولیدکننده ی طراحی

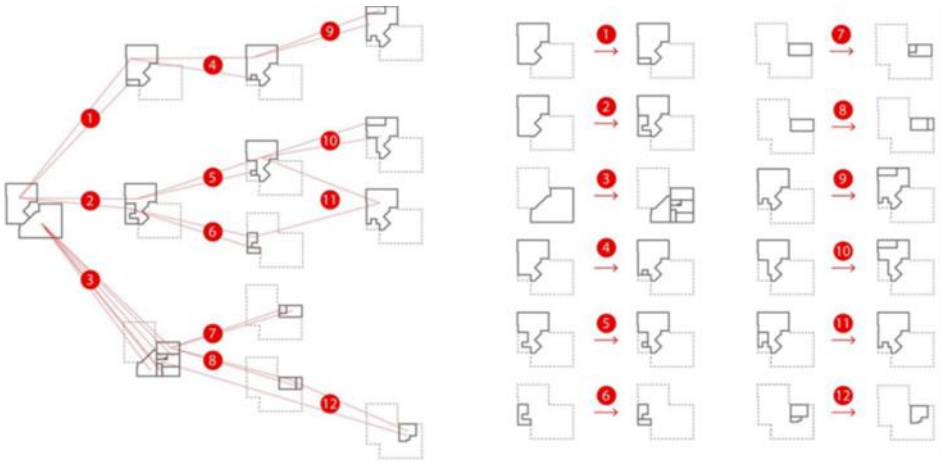
یک چارچوب طراحی و بهینه سازی ساختمان های تقریبا صفر انرژی توسط (Touloupaki & Theodosiou, 2017) ارائه و پتانسیل ها و محدودیت های آن بررسی شد. این چارچوب ارائه شده مدلسازی پارامتریک را با الگوریتم های تکاملی چند هدفه به منظور یکپارچه سازی شبیه سازی انرژی در مراحل اولیه طراحی، با هدف کاهش نیاز انرژی ساختمان ترکیب می کند. ابزارهای نرم افزاری پیشنهاد شده توسط محققان در این مطالعه گرس هاپر برای راینو، حل کننده ی تکاملی گالاپاگوس، Ladybug و Honeybee بوده است. همچنین، با بیان این موضوع که چنین چارچوب هایی می تواند خصوصا در مرحله ی طراحی اولیه بسیار در زمان صرفه جویی کند، به محدودیت های این سازوکار نیز پرداخته شد[9].

سیستم مولد طرح ارائه شده توسط (Blat, 2017) شامل چهار مرحله ورودی، جمعیت اولیه، تکامل، و تصویرسازی سه بعدی است. در مرحله ی ورودی، الزامات تعیین شده توسط طراح به فرم اندازه، توپولوژی، و قیدهای بازشوها به سیستم داده می شود. سپس جمعیت اولیه با یک روش اکتشافی برای مرحله تکامل تبیین می گردد. به منظور تولید آرایش فضای اولیه مجموعه ای از واحدهای فضایی اولیه ایجاد می شود و هر واحد فضایی در مجموعه به صورت اتفاقی و البته بر اساس میزان انعطاف پذیری آن (که توسط کاربر تعریف می شود) دچار تغییر شکل می‌گردد. در مرحله ی تکامل، جمعیت اولیه توسط به کارگیری الگوریتم ژنتیک در یک فرآیند تکرارشونده مرتبا تغییر می کند تا جایی که همه ی قیدهای تعریف شده را تامین کند. و در نهایت در مرحله تصویرسازی سه بعدی کاربر می‌تواند کیفیت معماری و محل بازشوها را کنترل، بررسی و در صورت نیاز عوض کند. در این سیستم قیدهای مسئله شامل قیدهای هندسی، ارتباطی، بازشوها و اتصال فضاها بوده و شاخص های کیفیت شامل تطابق با مرزهای سایت، کیفیت توپولوژی، کیفیت فضایی و همچنین امتیاز کاربر است. منظور از کیفیت فضایی در این سیستم، زیرمجموعه های سیرکولاسیون، محرمیت، و فشردگی طرح است که بر حسب نیاز در هر کاربری می‌توانند وزن های مختلفی بگیرند. به طور مثال در یک ساختمان بیمارستان، اهمیت سیرکولاسیون از دیگر موارد کیفیت فضایی بیشتر است. مراحل این سیستم در شکل نمایش داده شده اند[10].



شکل 3 :طرح کلی سیستم ارائه شده: ورودی، جمعیت اولیه، تکامل و تصویرسازی سه بعدی، [10]

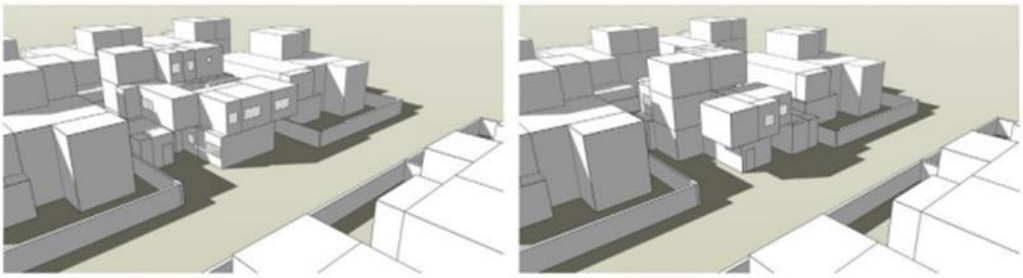
در تحقیق دیگری که توسط (Veloso et al., 2018) انجام گردیده است، یک سیستم طراحی مطابق با نیاز کاربر که دو جنبه ی مختلف از طراحی معماری به کمک کامپیوتر را با هم ترکیب می کند، معرفی شده است. این دو جنبه معمولا در دو قسمت جداگانه روند طراحی مورد بررسی قرار می گیرند: یکی تولید طراحی های پلان مختلف در ابتدای روند طراحی، و دیگری تولید مدارک فنی طرح در انتهای روند طراحی. چارچوب سیستم ارائه شده، با یک سری قوانینی که معمار تعیین می کند آغاز می گردد. این قوانین سپس به صورت اتوماتیک به یک رابط کاربری انتقال داده می شوند، که در آنجا مالکان می توانند به صورت تعاملی در طراحی پلان های آپارتمانشان نقش داشته باشند. در نهایت نقشه های نهایی شده به مدل های اطلاعات ساختمان با جزئیات تبدیل می گردند که به معمار اجازه می دهد تا جزئیات بیشتر را اضافه کند، هزینه های اجرای ساختمان را تخمین بزند و در نهایت نقشه های اجرایی را تولید کند. در سیستم پیشنهادشده، تعریف قوانین طراحی توسط معمار می تواند در محیط نرم افزارهایی مانند اتوکد و یا راینو صورت بگیرد. سپس این فایل ها توسط گرس هاپر به خروجی های گرافیکی تبدیل می شوند تا کاربرهای غیرمتخصص (مالکان و ...) بتواند نظرات خود را در این مرحله اعمال کنند. زمانی که پلان معماری طرح نهایی شد، دوباره به واسطه ی گرس هاپر این ارائه کدبندی شده با کمک پایتون به طرح سه بعدی در راینو تبدیل می شود. روش تعیین قوانین توسط معماران برای طراحی آرایش فضا با دو دستور شکل می‌گیرد: تقسیم و الحاق فضاها. در انتها محدودیت های این سیستم، از جمله عدم پذیرش تعییر مرز، بیان گشتند[11].



شکل 4 :قوانین تقسیم و الحاق فضاها و تولید گزینه های آرایش فضا، [11]

با در نظرگیری میزان مصرف انرژی، چارچوب وسیع تری از سیستم های تولید کننده ی طراحی در مطالعه انجام شده توسط (Rodrigues al et ,2013) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق هدف اصلی مطالعه کاربرد سیستم سازه ای فولاد سبک نوردشده در اقلیم‌های گرم بوده است. در ابتدا یک سیستم تولید طراحی که توسط (Rodrigues al et ,2018) معرفی شده بود، به تولید ۶۰۱۰ ساختمان مسکونی با هندسه و ساختار مصالح بام و دیوار و همچنین میزان عایق تصادفی پرداخته و پس از آن به واسطه ی انرژی پلاس میزان مصرف انرژی هر یک بررسی گشتند. میزان همبستگی هر یک از عوامل هندسی طراحی بر مصرف انرژی بررسی شدند و هدف نهایی تبیین یک سری راهنماها برای طراحی ساختمان های LSF در مناطق با اقلیم گرم بوده است. روش شناسی این تحقیق شامل موارد زیر می شود:

1- انتخاب منطقه اقلیمی و شهری
2- انتخاب سیستم سازه ای و تعیین الزامات و قیدهای هندسی و توپولوژیکی
3- تعیین عملکرد ساختمان بر اساس کدهای ساختمانی مرتبط با انرژی موجود
4- تولید پایگاه داده از ساختمان
5- ارزیابی انرژی هر یک از ساختمان های به طور تصادفی تولید شده در مرحله قبل
6- ارائه نتایج آماری از اثرگذاری هر یک از عوامل طراحی بر میزان مصرف انرژی ساختمان[5]

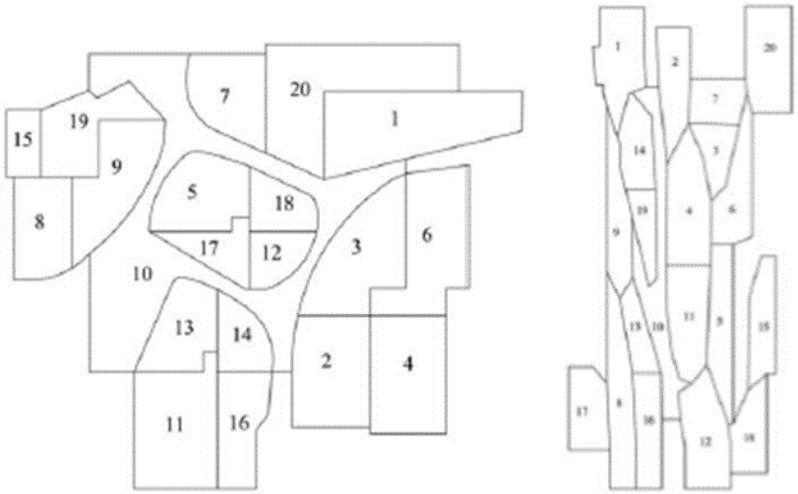


شکل 5: نمونه ساختمان های تولیدشده توسط الگوریتم معرفی شده [5]

4-3-تولید و ارزیابی آرایش فضا به کمک الگوریتم های یادگیری ماشین

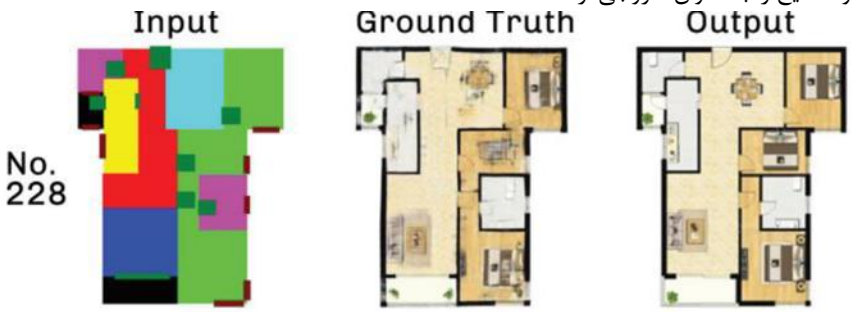
(Alomani & El-rayes, 2020) با ذکر این موضوع که تعداد قابل ملاحظه ای از ساختمان های شاخص دنیا با الهام از طبیعت طراحی شده اند، به بررسی ایجاد آرایش فضایی بر اساس تصاویر الهام گرفته شده از طبیعت در محیط برنامه نویسی «شبکه های مولد تخاصمی » پرداختند. محققان با استفاده از سیستم یادگیری ماشینی پایتون ورودی هایی از نوع تصاویر الحاق و خروجی هایی از نوع آرایش فضا دریافت کردند. روش این تحقیق در ۶ مرحله انجام گرفته است :

۱. قسمت بندی تصویر ملهم از طبیعت با استفاده از الگوریتم های آستانه
۲ . تجزیه و تحلیل تصویر قسمت بندی شده و تولید محدوده های فضایی مختلف با استفاده از الگوریتم های استخراج مرز و محدوده
۳. حذف فضاهای باریک و الحاق آنها به فضاهای مجاور و سپس تقسیم بندی افقی و عمودی فضاهای ایجاد شده به تعداد مورد نیاز
۴. بهینه سازی تخصیص فضا برای تطابق با الزامات مجاورت فضایی تعریف شده توسط کاربر
۵. بهینه سازی فضاها برای بیشینه کردن عملکرد فضایی آنها
۶ . یکنواخت کردن مرزهای فضاها[12].



شکل6:پلان های تولیدشده با ۲۰ ریزفضا با روش یادگیری ماشین از تصاویر ملهم از طبیعت، [12]

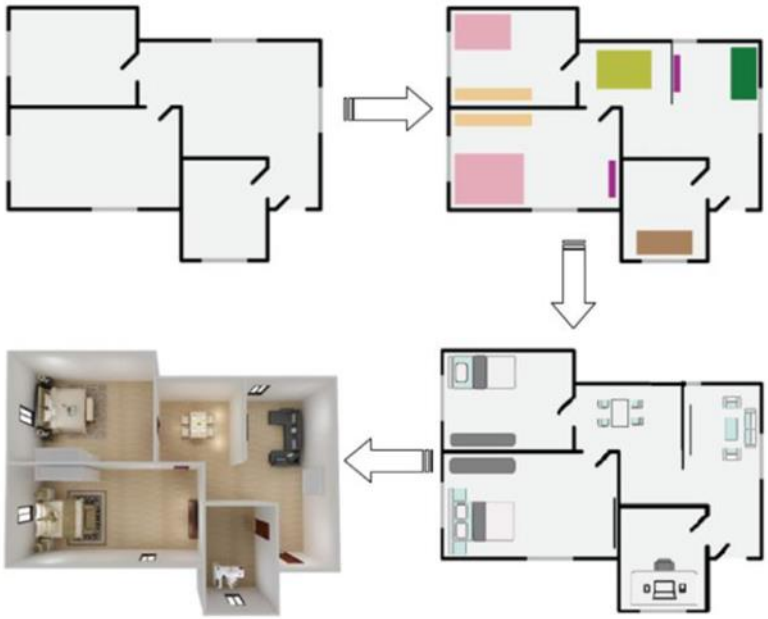
با استفاده از چارچوب پیشرفته تری از سیستم شبکه های مولد تخاصمی، (Huang & Zheng, 2020) با سیستم pix2pixHD به تعلیم ورودی های تصویری شامل پلان ساختمان هایی مسکونی برای تولید آرایش فضا پرداختند. تعداد ۱۱۵ تصویر از پلان ساختمان‌های مسکونی انتخاب و ریزفضاهای مختلف آن بر حسب کاربری با رنگ مشخصی علامت زده (برچسب خورده) شدند. همه ی تصاویر با مقیاس یکسانی اندازه بندی شدند تا برای مراحل بعدی آماده باشند. بر اساس این پایگاه داده دو تعلیم، یکی برای تبدیل پلان معماری به نقشه برچسب خورده و دیگری برای تبدیل نقشه ی برچسب خورده به پلان معماری آزمایش شدند. از این میان ۱۰۰ تصویر برای مجموعه ی تعلیم، و ۱۵ تصویر مابقی برای مجموعه آزمایش در نظر گرفته شدند. در نهایت چارچوب کلی قادر است ورودی هایی از جنس نقشه های برچسب خورده (ریزفضاهای علامت زده شده با رنگ های مشخص)را به عنوان ورودی دریافت کند و پلان های معماری با آرایش فضای متناظر و جهت بازشو صحیح را به عنوان خروجی ارائه کند[13].



شکل 7 :تبدیل ورودی نقشه برچسب زده شده به خروجی پلان معماری با استفاده از یادگیری ماشین،[13]

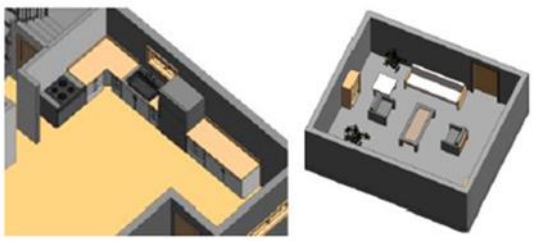
در تحقیق انجام شده توسط (Yang et al, 2021) با استفاده از سیستم یادگیری ماشینی«شبکه های مولد تخاصمی شرطی» در زبان پایتون، آرایش مبلمان به صورت اتوماتیک مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که در ابتدا فضای اتاق با توجه به توپولوژی هندسی اتاق و مبلمان از پیش تعیین شده توسط کاربر به چندین بخش عملکردی تقسیم می شود، سپس همین مبلمان انتخاب شده توسط کاربر به طور هوشمند در فضای متناظر جایگذاری می شوند. این کار در هر دو مرحله توسط راه حل های بر مبنای یادگیری انجام شده است.

پایگاه داده مبلمان در این تحقیق شامل ۴۰۰۰ مجموعه ی آپارتمانی از یک شرکت طراحی داخلی است. این چیدمان هوشمند مبلمان در فضاهای متناظر، تسریع بخش روند طراحی برای معماران داخلی خواهد بود[14].



شکل 8 :روند طراحی اتوماتیک آرایش مبلمان بر اساس مساحت عملکردی، [14]

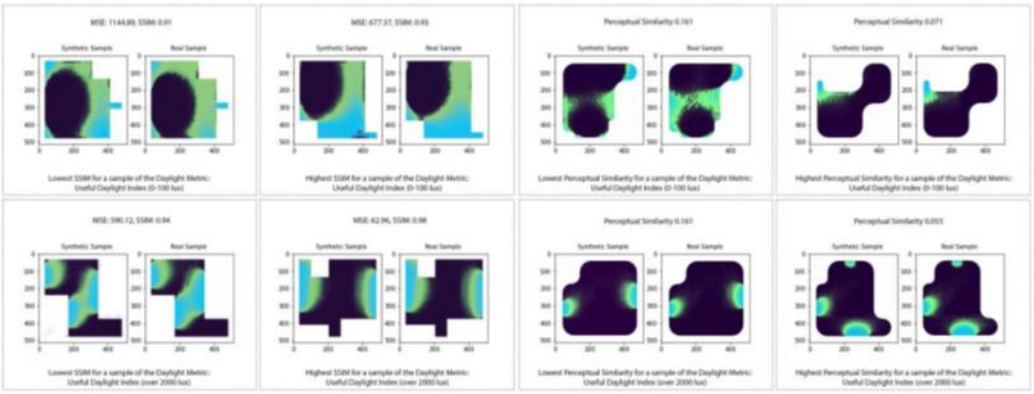
در مطالعه دیگری (Sydora & Stroulia, 2020) با بیان این مسئله که بحث چیدمان مبلمان داخلی با توجه همزمان به جنبه های ارگونومیک و ترجیحات کاربران، زمان بر و پیچیده است، به بهینه سازی آرایش مبلمان داخلی پرداختند. محققان با توسعه ی زبان برنامه‌نویسی جدید قوانینی را برای محل قرارگیری مبلمان وضع کردند که با آیین نامه های موجود، ترجیحات کاربران و مسائل ارگونومیک هماهنگ باشد. این قوانین شامل فاصله ی مبلمان، محل رفت وآمد کاربران، زاویه مبلمان، تعادل در طراحی، تاکید و ... است. همچنین این سازوکار قادر به ارزیابی گزینه های طراحی بر اساس قوانین اجرایی و تولید گزینه های طراحی بهینه است. در این تحقیق، در نهایت سیستم معرفی شده برای دو نمونه فضای آشپزخانه و نشیمن در یک ساختمان مسکونی بررسی گردید[15].



شکل 9 :نمونه های آرایش مبلمان با استفاده از روش پیشنهاد شده، نشیمن (راست) و آشپزخانه (چپ)[15]

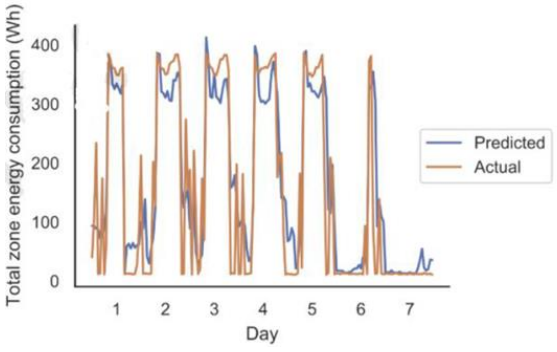
(Yousif & Bolojan, 2021)با هدف کاهش زمان شبیه سازی نور روز در پلان های مختلف ضمن دستیابی به دقت بالا در نتایج، از یادگیری عمیق برای آموزش داده ها استفاده کردند. در این تحقیق تعداد ۳۰۰۰ جفت از تصویر پلان های فضای ساختمان اداری به همراه یک نقشه ی خروجی شبیه سازی نور، پایگاه داده را تشکیل دادند. که از این میان ۲۷۰۰ تصویر (۹۰ درصد) به عنوان مجموعه

آموزشی، و ۳۰۰ تصویر (۱۰ درصد) به عنوان مجموعه آزمایش در نظر گرفته شدند. همچنین، معماری شبکه بر پایه سیستم pix2pix که اجازه ی تبدیل تصویر به تصویر از طریق الگوریتم های نظارت شده را دارد، بوده است. شاخص های نور مورد بررسی شامل sDA، DLA، UDLI در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس و UDLI در محدوده بالای ۲۰۰۰ لوکس و پارامتر مورد بررسی پلان های مختلف فضای اداری بودند. نرم افزار راینو/گرس هاپر و همچنین افزونه های Honeybee و Ladybug به منظور تولید پایگاه داده مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که در مقایسه با خروجی های شاخص نور حاصل از شبیه سازی، خروجی های حاصل از فرآیند یادگیری عمیق تا ۹۰ درصد دقت داشته و با سرعتی بالغ بر ۱۸۰ برابر عمل می کند.(هر خروجی ۰.۳ ثانیه در مقابل خروجی های ۳ دقیق های حاصل از شبیه سازی) [13].



شکل 10: مقایسه ۸ جفت از خرو جی های شبیه سازی شده و خروجی های حاصل از یادگیری عمیق،[13]

به منظور توسعه یک مدل جایگزین منتج از داده که از یادگیری ماشینی استفاده می کند، (Sonta et al., 2021) مطالعه ای را در حوزه آرایش فضای یک ساختمان اداری انجام دادند. هدف از این مطالعه، ارائه روش هایی برای ارتباط دادن انرژی الکتریکی روشنایی هر فضا با حرکت کاربران، شبیه سازی مصرف انرژی سیستم روشنایی بر اساس این رابطه، و بهینه سازی آرایش فضای ساختمان از طریق استفاده از هر دو روش بر مبنای خوشه سازی و الگوریتم ژنتیک به منظور کاهش مصرف انرژی است. محققان اشاره کردند که رفتار غیرهمگن میان برنامه زمانی اشغال فضا توسط کاربران همبستگی مثبتی با میزان مصرف انرژی دارد. الگوریتم های یادگیری ماشینی مختلفی از جمله رگرسیون خطی چندتایی، رگرسیون بردار پشتیبان، جنگل های تصادفی و شبکه های عصبی مصنوعی نیز برای پیدا کردن قوی ترین الگوریتم متناسب با این تحقیق آزمایش گردید. بدین منظور از مجموعه‌ی scikit-learn پایتون برای اجرا کردن هر مدل جایگزین استفاده شد. نتایج نشان دادند که بهینه سازی آرایش فضای اداری می تواند تا ۵ الی ۶ درصد کاهش در مصرف انرژی الکتریکی روشنایی نقش داشته باشد. همچنین، از میان الگوریتم های یادگیری ماشینی آزمایش شده، الگوریتم جنگل های تصادفی و شبکه های عصبی مصنوعی میزان مصرف انرژی را بهتر پیش بینی کردند[2].



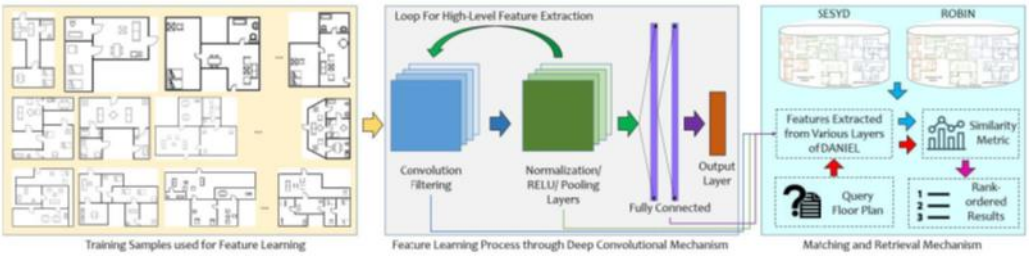
شکل 11:مقایسه میزان مصرف انرژی واقعی و پیش بینی شده توسط الگوریتم جنگل های تصادفی، [2]

(Sharma et al., 2017) با استفاده از روش یادگیری عمیق و الگوریتم شبکه های عصبی پیچشی سیستمی را برای بازیابی پلان های معماری از یک پایگاه داده شامل ۵۱۰ پلان ساختمان های مختلف ارائه داد. نام این سیستم DANIEL و مخفف عبارت «معماری عمیق برای پیدا کردن آرایش های فضایی مشابه» است. با استفاده از این سیستم معمار می‌تواند از میان پروژه های موجود در منبع ذخیره ی پلان های معماری، جستجو کرده و پلان دقیق را به کارفرما ارائه دهد. سازوکار DANIEL بر اساس پارادایم یادگیری عمیق برای استخراج تصاویر آرایش فضا است. مشخصات اصلی رویه ی ارائه شده شامل موارد زیر است:

۱ . تدوین چارچوب یادگیری عمیق برای بازیابی آرایش فضایی مشابه از منبع ذخیره پلان‌های معماری

۲. تجزیه و تحلیل اثرات لایه های مجزای شبکه های عصبی پیچشی

۳ . ایجاد یک پایگاه داده جدید پیچیده با نام ROBIN [4]



شکل 12:چارچوب یادگیری عمیق برای تجزیه و تحلیل و بازیابی تصاویر آرایش فضا، [4]

5- نتیجه گیری

فرآیند تولید هوشمند آرایش فضا و بهینه سازی آن، روندی تقریبا در مقابل با فرآیند بهینه سازی عملکرد انرژی دارد. تولید اتوماتیک آرایش فضا از دیدگاه طراحان توسعه می یابد و خروجی های آن باید تفاوت و تنوع کافی داشته باشند، که این فرآیند نیازمند گرفتن یک بازخورد سریع از حوزه بهینه سازی عملکرد انرژی است. از طرف دیگر، به منظور رسیدن به دقت بالا از ارزیابی عملکرد انرژی، فرآیند بهینه سازی عملکرد انرژی نیازمند مدل های با جزئیات بالا هستند که نتیجه ی آن صرف زمان بالایی است. در ارتباط با یکپارچه سازی روند تولید اتوماتیک آرایش فضاها با بهینه سازی عملکرد انرژی، زمان محاسباتی اولین دغدغه و انطباق ابزارهای مناسب با این دو فرآیند از مسائل مهم هستند. در این پژوهش به طور کلی تعدادی پژوهش مشابه با اهداف پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیقات پارامترهای مرتبط با آرایش فضا توسط تعدادی از شاخص های معماری و انرژی بر فضاهای نمونه با کاربری های مختلف از جمله مسکونی و اداری سنجیده شدند. همچنین در راستای رسیدن به نتایج تحقیقات، از نرم افزارها و الگوریتم های یادگیری ماشینی مناسب با اهداف پژوهش بهره گرفته شد. نتایج تحقیقات نشان دهنده ی تاثیر قابل توجه پارامترهای مرتبط با آرایش فضا بر شاخص های انرژی بوده است. مجموعه ای از پارامترهای مرتبط با آرایش فضا که بر مصرف انرژی ساختمان تاثیر عمده دارند: شامل چیدمان ریزفضاها، جهت گیری و تغییر درصد پنجره به دیوار، جهت گیری کلی بنا بوده است. نتایج در بین مرور مقالات نشان دادند که بهینه سازی آرایش فضا می تواند تا ۵ الی ۶ درصد کاهش در مصرف انرژی الکتریکی روشنایی نقش داشته باشد و همچنین اثرات مجزای آرایش فضا در میزان کاهش نیاز سالانه ی سرمایش و گرمایش چشمگیر تا ٪۲۴ و ٪۵۲ بوده است همچنین، از میان الگوریتم های یادگیری ماشینی آزمایش شده، الگوریتم جنگل های تصادفی و شبکه های عصبی مصنوعی میزان مصرف انرژی را بهتر پیش بینی کردند.

منابع

[1] Musau, F., Steamers, K., & Musau, F. (2016). Space Planning and Energy Efficiency in Office Buildings: The Role of Spatial and Temporal Diversity pace Planning and Energy Efficiency in Office Buildings: The Role of patial and Temporal iversity. 8628(June).

[2] Sonta, A., Dougherty, T. R., & Jain, R. K. (2021). Data-driven optimization of building layouts for energy efficiency. Energy & Buildings, May, 110815.

[3] Du, T., Dobbelsteen, A. Van Den, Jansen, S., & Turrin, M. (2020). Effects of Architectural Space Layouts on Energy Performance: A Review. Sustainability.

[4] Sharma, Neha. Sharmaa, Reecha. Jindal, Neeru (2021). Machine Learning and Deep Learning Applications-A Vision, Publishing Services by Elsevier B.V. on behalf of KeAi Communications Co. Ltd, VOL.2, Issue 1, PP:24-28.

[5] Gupta, Rohit. Gola, k (2020). Analysis of Machine Learning for Processing Big Data in High Performance Computing, EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems, VOL.6, Issue 19, PP:1-12.

[6] Jansen, S. C., & Turrin, M. (2019). Impact of space layout on energy performance of office buildings coupling daylight with thermal simulation Impact of space layout on energy performance of office buildings coupling daylight with thermal simulation. June.

[7] Zawidzki, MacHi, Tateyama, K., & Nishikawa, I. (2011). The constraints satisfaction problem approach in the design of an architectural functional layout. Engineering Optimization, 43(9), 943–966 .

[8] Zawidzki, Machi, & Szklarski, J. (2020). Multi-objective optimization of the floor plan of a single story family house considering position and orientation. Advances in Engineering Software, 141(February 2019), 102766.

[9] Touloupaki, E., & Theodosiou, T. (2017). Energy Performance Optimization as a Generative Design Tool for Nearly Zero Energy Buildings. Procedia Engineering, 180, 1178–1185.

[10] Blat, J. (2017). AC PT. Graphical Models. https://doi.org/10.1016/j.gmod.2017.08.003

[11] Veloso, P., Celani, G., Scheeren, R., & States, U. (2018). Automation in Construction From the generation of layouts to the production of construction documents : An application in the customization of apartment plans. Automation in Construction, 96(September), 224–235.

[12] Alomani, A., & El-rayes, K. (2020). Automation in Construction Automated generation of optimal thematic architectural layouts using image processing. Automation in Construction, 117(April), 103255.

[13] Huang, W., & Zheng, H. (2020). Architectural Drawings Recognition and Generation through Machine Learning. 156–165.

[14] Yang, B., Li, L., Song, C., Jiang, Z., & Ling, Y. (2021). Automatic interior layout with user-specified furniture. Computers and Graphics (Pergamon), 94, 124–131.

[15] Sydora, C., & Stroulia, E. (2020). Rule-based compliance checking and generative design for building interiors using BIM. Automation in Construction, 120(July), 103368.