دوفصلنامه
مطالعات بین‌رشته‌ای
در تعالی معماری و شهرسازی

دوره ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴
DOI: 10.71882/jisaud.2025.1126123

بهره‌گیری از یادگیری ماشین در فرایند طراحی معماری: بررسی روش تولید متنوع طرح جانمایی فضایی با استفاده از شبکه مولد تخاصمی[۱]

مهسا هامونی[۲] حسین سلطان‌زاده*[۳] سید هادی قدوسی‌فر[۴] محرم منصوری زاده[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه ۷ تا ۲۵

چکیده

در سال‌های اخیر هوش مصنوعی و به طور ویژه یادگیری ماشین به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری در بسیاری از حوزه‌های طراحی از جمله طراحی معماری توسعه‌یافته است. یادگیری از روی داده‌ها و اعمال یادگیری از طریق تجربه کسب‌شده ویژگی مهم این حوزه نوظهور است. شبکه مولد تخاصمی شرطی یکی از انواع مدل‌های یادگیری ماشین است که نتایج قابل‌توجهی را در تولید طرح جانمایی فضایی در یک مرز مشخص ایجاد کرده است. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که آموزش شبکه مولد تخاصمی شرطی با داده‌های آموزشیِ برچسب‌گذاری شده می‌تواند به درک چگونگی ارتباط عناصر فضایی با یکدیگر و رابطه بین عناصر فضایی و مرز پلان کمک کند. اما برای هر مرز پلان به‌عنوان ورودی شبکه، خروجی واحدی تولید می‌شود. بااین‌حال، پژوهش حاضر از شبکه مولد تخاصمی شرطی برای تولید متنوع طرح جانمایی فضایی با بیش از یک خروجی برای هر مرز پلان استفاده کرده است. ایده اصلی این مطالعه کنترل نتایج تولید شده با استفاده از نمودار حبابی است. براین‌اساس روشی برای الحاق کانال‌های تصویر پیشنهاد می‌شود تا علاوه بر مرز پلان بتوان از نمودار حبابی به‌عنوان ورودی شبکه مولد تخاصمی استفاده کرد. در این راستا مجموعه‌داده‌ای متشکل از ششصد و شصت پلان آپارتمان‌های مسکونی شهر همدان و نمودار حبابی معادل آن‌ها برای آموزش مدل و آزمایش آن تهیه شده است. ارزیابی کمی و کیفی یافته‌های پژوهش نشان از موفقیت مدل جهت تولید طرح جانمایی فضایی در مرز پیرامونی پلان با استفاده از نمودار حبابی دارد؛ لذا این رویکرد به طراحان امکان کنترل طرح جانمایی تولید شده را باتوجه‌به مرز پلان و الزامات توپولوژیکی مطابق با ترجیحات کاربر ایجاد می‌کند. همچنین به طراحان اجازه می‌دهد تا طرح‌های متنوعی از جانمایی فضایی را در یک مرز یکسان تولید کنند.

واژگان کلیدی: هوش مصنوعی، الگوریتم شبکه مولد تخاصمی شرطی، جانمایی فضایی، نمودار حبابی

---

[۱] این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «تبیین الگوریتم مولد جانمایی فضایی در معماری با استفاده از شبکه عصبی عمیق» به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسندگان سوم و چهارم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام شده است.

[۲] دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[۳] استاد گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) hos.soltanzadeh@iauctb.ac.ir

[۴] استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[۵] دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

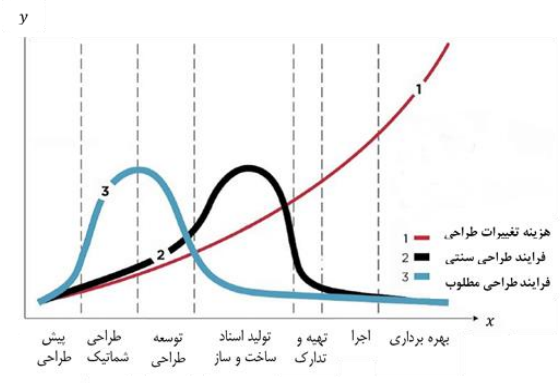
۱. مقدمه

یادگیری ماشین[۱] یکی از زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی است که بر توسعه تکنیک‌هایی برای شناسایی الگوهای موجود در داده‌ها تمرکز دارد (Russell & Norvig, 2010). در سال‌های اخیر یادگیری ماشین به‌سرعت توسعه‌یافته و امکانات جدیدی را در حوزه‌های مختلف از جمله طراحی معماری فراهم کرده است (Liu et al., 2022). مدل‌های یادگیری ماشین توانایی خود را در استخراج اطلاعات از داده‌ها و بهره‌گیری از دانش حاصل برای تصمیم‌گیری نشان داده‌اند (Creswell, 2018). در میان تکنیک‌های یادگیری ماشین، شبکه‌های مولد تخاصمی[۲]، توجه ویژه‌ای را در زمینه طراحی معماری به‌دست آورده است (Newton, 2019). ایان گودفلو مبدع شبکه مولد تخاصمی (Goodfellow et al., 2014) چالش اساسی هوش مصنوعی را در توانایی حل وظایفی می‌داند که افراد به‌آسانی آن را انجام می‌دهند، اما شرح آن‌ها برایشان دشوار است. به گفته او انسان‌ها چنین مسائلی را به‌صورت شهودی حل می‌کنند (Goodfellow et al., 2016). طراحی نیز جزء این دسته از مسائل قرار می‌گیرد. توصیف فرایند طراحی در معماری به‌دلیل ماهیت شهودی آن، امری چالش‌برانگیز محسوب می‌شود. معمار می‌تواند بدون نیاز به تفکر آگاهانه درباره جنبه‌های عینی و ذهنی طرح، اقدام به ترسیم پلان معماری کند. بااین‌حال، هنگام ترسیم، یک فرایند بسیار دقیق و پیچیده در ذهن طراح در حال شکل‌گیری است. توصیف این فرایند، جهت آموزش الگوریتم بسیار دشوار و در بسیاری موارد ناممکن است (Lu & Liu, 2011). شبکه‌های مولد تخاصمی سطحی از پیچیدگی را ارائه داده‌اند که در حوزه طراحی مولد بی‌سابقه بوده است. توانایی این شبکه‌ها در یادگیری از مثال‌ها و برون‌یابی این یادگیری در خلق مصادیق جدید، تحولی چشمگیر در بسیاری از رشته‌های مرتبط با طراحی ایجاد کرده است. این شبکه‌ها به یکی از مؤثرترین ساختارها برای تولید تصاویر بر اساس مجموعه‌داده‌های آموزشی تبدیل شده‌اند و نقش مهمی در پیشبرد روش‌های داده‌محور[۳] در فرآیند طراحی ایفا می‌کنند (Newton, 2019). در این رویکرد داده‌محور الگوریتم از طریق تحلیل تعداد زیادی از داده‌ها، به‌تدریج الگوهای موجود در آنها را کشف کرده و با بهره‌گیری از این الگوها به تولید تصاویر جدید می‌پردازد (Özerol, 2022). از سوی دیگر تصاویر نمونه‌های موجود (پیشینه ساخته شده) می‌تواند ابزار مفیدی برای تصمیم‌گیری در فرایند طراحی معماری باشد و به‌عنوان مرجعی برای توسعه طرح‌های دوبعدی و سه‌بعدی مورد استفاده قرار گیرد (Lawson, 2009). معماران از تصاویر به‌عنوان منابع الهام، استعاره و ابزارهای تحلیلی برای حل مسائل جدید می‌کنند (Purcell & Gero, 1998). پیشینه‌ها نیز به‌عنوان راهنمای ایجاد جانمایی فضایی در هر دو حوزه حرفه و آموزش مورداستفاده قرار گرفته است (Grover et al., 2018). در حوزه طراحی جانمایی فضایی، شبکه مولد تخاصمی شرطی[۴] می‌تواند با درک چگونگی ارتباط عناصر فضایی با یکدیگر و رابطه منطقی بین عناصر فضایی و مرز پلان به طور خودکار طرح جانمایی فضایی را برای محدودیت مرزی مشخص تولید کند. بااین‌حال، نتایج تولید شده یکسان و غیرقابل‌کنترل هستند. از سوی دیگر سازماندهی توپولوژی جانمایی ایجاد شده کاملاً بر اساس توپولوژی پلان‌های موجود در مجموعه‌داده‌ها انجام می‌شود که می‌تواند با توپولوژی موردنظر طراح متفاوت باشد؛ لذا پژوهش حاضر رویکردی نوین به استفاده از شبکه مولد تخاصمی شرطی باهدف تولید متنوع طرح جانمایی فضایی با بیش از یک خروجی برای هر محدودیت مرزی و بر اساس ترجیحات کاربر است. ایده اصلی این مطالعه کنترل نتایج تولید شده با استفاده از نمودار حبابی[۵] است. با توجه به روش طراحی معماران که با ترسیم نمودار حبابی انجام می‌شود و نیز ارتباط عمیق بین نمودار حبابی و طرح جانمایی، از نمودار حبابی به‌عنوان شرط ثانویه کنترل نتایج با استفاده از شبکه مولد تخاصمی شرطی استفاده شده است. پرسش اصلی پژوهش این است که آیا افزودن شرط ثانویه و به طور خاص استفاده از نمودار حبابی می‌تواند باعث تولید طرح جانمایی فضایی بر اساس ترجیحات کاربر و تولید پلان‌های متنوع شود؟ کاربر می‌تواند با مشخص‌کردن ابعاد و موقعیت فضاها و هم‌جواری آن‌ها در قالب نمودار حبابی به اعمال ترجیحات خود به‌عنوان شرط ثانویه در تولید پلان جانمایی بپردازد. در فرایند آموزش مدل، مرز پیرامونی پلان و نمودار حبابی به‌عنوان ورودی شبکه و پلان جانمایی فضایی به‌عنوان خروجی شبکه مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این روش

مدل مولد تخاصمی شرطی می‌تواند رابطه متناظر بین حباب‌ها در نمودار حبابی و عناصر فضایی در پلان را بیاموزد که منجر به تولید طرح جانمایی در مرز موردنظر با استفاده از نمودار حبابی می‌شود. در نهایت، با استفاده از نمودارهای حبابی متعدد، به طرح‌های متنوعی از جانمایی فضایی آپارتمان‌های مسکونی بر اساس یک مرز واحد دست خواهیم یافت. این رویکرد با ایجاد امکان تعامل کاربر با مدل به طراحان اجازه می‌دهد تا نتایج تولید شده را کنترل و بر اساس نیاز خودتنظیم کنند.

۲. اهمیت و ضرورت پژوهش

در فرایند طراحی معماری، یک پروژه مراحل زیر را طی می‌کند: پیش‌طراحی، طراحی شماتیک، توسعه طراحی، تولید اسناد ساخت‌وساز، تهیه و تدارک و اجرا و نهایتاً پس از آن و در طول زمان، اجرای عملیات جهت مدیریت بهره‌برداری (As et al., 2018). پژوهش‌های متعددی باهدف بهبود راه‌حل‌های موجود برای مسائل طراحی ارائه شده است. بااین‌حال، اغلب این رویکردها بر مراحل نهایی فرایند طراحی متمرکز است. موضوعی که باعث می‌شود تغییرات اعمال‌شده در این مراحل از اثربخشی کمتری برخوردار باشند و در عین حال، هزینه‌های ناشی از این تغییرات به‌طور چشمگیری افزایش یابد. منحنی زیر مراحل مختلف فرایند طراحی را به ترتیب زمانی در محور x و اثرگذاری آن بر عملکرد و هزینه را در محور y نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر (۱) دیده می‌شود، معمولا، بیشتر بحث‌وبررسی پیرامون فرایند طراحی، در فاز تهیه اسناد ساخت‌وساز متمرکز می‌شود. باتوجه‌به افزایش هزینه تغییرات طراحی در طول زمان، بهتر است که تغییرات در مراحل ابتدایی صورت گیرد تا هزینه ناشی از تغییرات مقرون‌به‌صرفه گردد؛ بنابراین، هرچه طرح در مراحل ابتدایی‌تر تکمیل شود، مطلوب‌تر خواهد بود، چرا که هزینه‌های ناشی از تغییرات طراحی در مراحل پایانی پروژه به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد. این مسئله به یکی از دلایل اصلی استفاده گسترده از نرم افزار مدلسازی اطلاعات ساختمان اشاره دارد چرا که می‌تواند بخش عمده‌ای از فعالیت‌های طراحی را به مراحل اولیه (توسعه طرح) منتقل کرده و از این طریق هزینه‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد (Kanters & Horvat, 2012). استفاده از یادگیری ماشینی می‌تواند به در جابجایی بیشتر ماکسیمم منحنی کمک کند و حتی به طور کلی اندازه ماکسیمم منحنی را نیز کاهش دهد. علاوه بر این، ابزارهای طراحی به کمک رایانه بر اساس اصول استدلال استقرایی و قیاسی ساخته می‌شوند که برای حل مسائل مهندسی کاربرد فراوانی دارند. اما، طراحی فرایندی است که بر اساس استدلال مبتنی بر بهترین تبیین صورت می‌گیرد که با یک مشاهده یا مجموعه‌ای از مشاهدات آغاز می‌شود؛ به همین دلیل این ابزارها در مراحل اولیهٔ طراحی کمک چندانی به طراحان نمی‌کنند (Cross, 2011). بااین‌وجود این ابزارها در مراحل پایانی پروژه که بخش اعظم تصمیمات طراحی پیش‌تر اتخاذ شده‌اند، عملکرد مؤثرتری از خود نشان می‌دهند (Visser, 2006). از همین رو، اساتید در استودیوهای طراحی اغلب دانشجویان را ترغیب می‌کنند تا در ابتدای طراحی پروژه‌های خود از طرح آزاد استفاده کنند. رویکردی که به آن‌ها امکان می‌دهد بدون درگیر شدن با ابزارهای دقیق و نهایی‌سازی طرح در نرم‌افزارهایی مانند اتوکد، به سرعت ایده‌های متنوعی را تولید کنند. بااین‌وجود، فقدان منابع محاسباتی در مراحل آغازین فرایند طراحی یکی از مشکلات مهم در چرخه طراحی پروژه است که یادگیری ماشین می‌تواند در رفع آن کارآمد ظاهر شود.

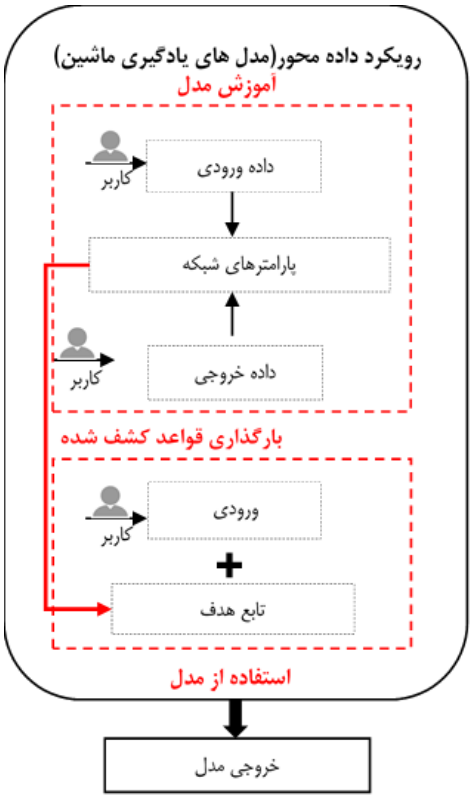


تصویر ۱. منحنی مک لمی (As et al., 2018)

۳. پیشینه پژوهش

پژوهش‌ها پیرامون حل مسئله طراحی جانمایی فضایی به کمک رایانه به دهه ۱۹۶۰ میلادی باز می‌گردد (Caetano, 2020). تحقیقات انجام شده در این زمینه در دو دسته قابل بررسی است. دسته‌ی اول رویکردهای قاعده محور[۶] است که قواعد لازم برای تولید خروجی توسط کاربر تعیین و برای مدل تعریف می‌شود. با این حال معماری و بسیاری از مؤلفه‌های آن را نمی‌توان به‌طور

کامل در قالب قوانین صریح و ریاضی‌محور تعریف کرد، چرا که این عناصر غالباً از پیچیدگی‌های مفهومی، زیبایی‌شناختی و بسترمحور برخوردارند. دسته‌ی دوم شامل رویکردهای داده‌محور است که در نتیجه پیشرفت‌های ایجاد شده در حوزه یادگیری ماشینی بوجود آمده‌اند و به یادگیری از روی نمونه‌های موجود اشاره دارند (تصویر ۲). در این رویکرد قواعد و الگوهای پنهان موجود در داده‌ها توسط شبکه شناسایی می‌شود و برای تولید خروجی از ورودی جدید مورداستفاده قرار می‌گیرد. داده‌های آموزشی به شکل جفت تصویر ورودی و خروجی به شبکه ارائه می‌شود تا در فرایند آموزش شبکه قواعد از داده‌ها استخراج شود (Zheng & Yuan, 2021). در طراحی از طریق یادگیری ماشین، قوانین از پیش تعیین‌شده تعریف نمی شود، بلکه مدل آن‌ها را از داده‌های موجود کشف می‌کند (As et al., 2018). چنین سیستم‌هایی، برخلاف رویکردهای قاعده محور مرسوم، از رویکردی غیرقطعی و احتمالی در نگاشت و تولید جانمایی فضایی بهره می‌برند (Newton, 2019).



تصویر ۲. نمایش رویکرد داده‌محور (Zheng & Yuan, 2021)

این نوع سیستم می‌تواند روند زمان‌بر گنجاندن قوانین طراحی در مدل‌های مولد را به‌صورت خودکار انجام دهد و در صورت برخورداری از نمونه‌های کافی از یک مجموعه طرح، قادر به یادگیری قوانین مستتر یا شناخته‌شده‌ای است که شاید معماران به‌صورت عمدی یا سهوی از آن‌ها در کار خود استفاده باشند (Hong et al., 2020).

پژوهش پیرامون استفاده از فناوری‌های نوین رایانشی در فرایند طراحی معماری معاصر در ایران در سال‌های اخیر به موضوعی مهم تبدیل شده است. استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای تخمین مصرف انرژی (فلاح‌نیا، ۱۳۹۶)، پیش بینی میزان انرژی تابشی دریافتی در بافت شهری (رهبر وهمکاران، ۱۳۹۸)، طراحی خودکار پلان معماری و چیدمان فضایی (رهبر وهمکاران، ۱۳۹۹)، (باباخانی وهمکاران، ۱۴۰۱)، مدل پیش بینی کننده ترجیحات نمای مسکونی (موسوی و محمدی، ۱۴۰۲) با بهره‌گیری از یادگیری ماشینی از جمله موارد استفاده از این فناوری در پژوهش‌های اخیر است. در ادامه، به بررسی چندین پژوهش انجام‌شده در حوزه تولید جانمایی فضایی با استفاده از شبکه‌های مولد تخاصمی خواهیم پرداخت. چایلو با بهره‌گیری از شبکه مولد تخاصمی شرطی به تولید پلان جانمایی فضایی آپارتمان‌های مسکونی بااستفاده از محدودیت مرز پلان پرداخته است (Chaillou, 2019). ژنگ و همکاران آزمایشی را در زمینه تولید طرح جانمایی فضایی با استفاده از مرز پلان آپارتمان به‌عنوان شرط ورودی انجام دادند. برای یادگیری الگوهای طراحی مسکونی، آن‌ها از شبکه مولد تخاصمی شرطی بهره گرفتند. در این فرآیند، دو مجموعه داده شامل پلان‌های مسکونی خانه‌های چین و ژاپن به‌منظور آموزش دو مدل مجزا مورد استفاده قرار گرفت. شبکه قادر بود تا طرح جانمایی فضایی را درون یک مرز از پیش تعریف‌شده تولید کند. نتایج نشان داد که این مدل، حتی تنها با داشتن محدودیت مرز ساختمان به‌عنوان ورودی، توانایی تولید طرح‌های قابل قبول و معناداری را دارد (Zheng et al., 2020). در پژوهش ناواتا و همکاران به منظور تولید پلان طبقات از شبکه مولد تخاصمی شرطی استفاده شده است. در این رویکرد نمودار حبابی به عنوان ورودی به شبکه داده می‌شود که شامل اطلاعات مربوط به نوع و تعداد اتاق‌ها و همجواری

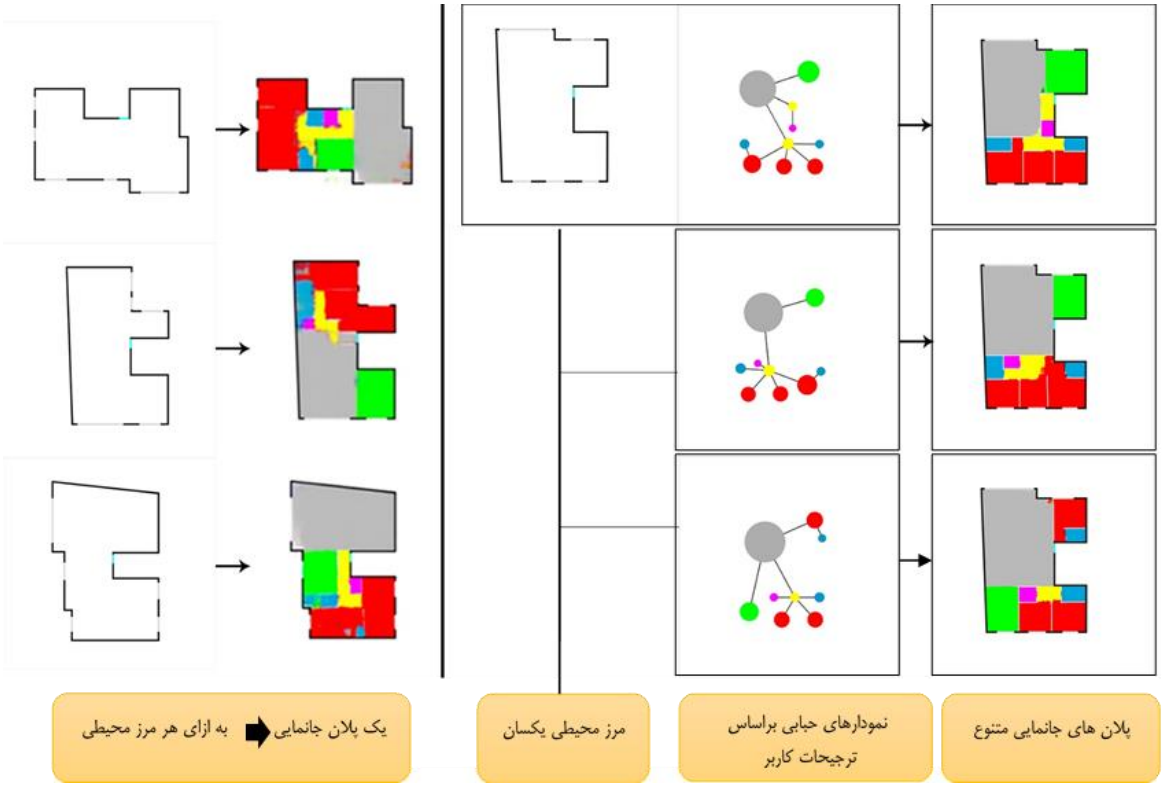
فضایی آن‌ها است. با ورود هر نمودار حبابی به شبکه، مدل قادر است پلان‌هایی تولید کند که با مشخصات ورودی هم‌خوانی دارد هر چند بدون در نظر گرفتن محدودیت مرز پلان است (Nauata et al., 2020). وانگ و همکاران کاربرد شبکه مولد تخاصمی با چرخه سازگار را با استفاده از محدودیت نقشه فعالیت انسان (شبیه‌سازی‌شده از حرکت ساکنان در فضا و تعامل آنان با محیط) و مرز پلان برای تولید متنوع پلان جانمایی فضایی مورد بررسی قرار دارند (Wang et al., 2023). لیو و همکاران به‌منظور تولید طرح جانمایی محوطه دانشگاه از شبکه مولد تخاصمی شرطی بهره بردند و با استفاده از محدودیت مرز سایت پلان به نتایج مطلوبی دست یافتند. در این فرایند مرز محوطه دانشگاه و جاده‌های مجاور بعنوان شرط ورودی به شبکه داده شدند. سپس در مرحله دوم با استفاده از تصویر جاده کشی محوطه، پلان جانمایی فضایی دانشگاه تولید شد (Liu et al., 2022). کاراداگ و همکاران از شبکه مولد تخاصمی شرطی برای تولید طرح جانمایی کلاس‌های درس در ساختمان‌های آموزشی بهره بردند (Karadag et al., 2022). ژائو و همکاران از شبکه مولد تخاصمی شرطی برای ایجاد طرح جانمایی فضایی در بیمارستان استفاده کردند. الگوهای استخراج شده از داده‌های آموزشی، منجر به تولید جانمایی‌های مطلوبی شدند که شباهت زیادی به طراحی‌های معماران داشتند (Zhao et al., 2021). اعلایی و همکاران نیز از شبکه مولد تخاصمی مبتنی بر ساختار گراف استفاده کردند که روابط فضایی بین فضاها را در قالب نمودار حبابی مدل می‌کند. این رویکرد به طراحان این امکان را می‌دهد تا طرح‌های جانمایی فضایی را با توجه به ترجیحات کاربر تولید کنند (Aalaei at al., 2023). ژنگ و پتزولد با استفاده از روشی متشکل از تکنیک‌های بهینه‌سازی و شبکه عصبی مبتنی بر گراف به تولید خودکار پلان جانمایی باهدف برطرف‌کردن ترجیحات کاربر با استفاده از نمودار حبابی پرداختند (Zeng & Petzold, 2023). مین و همکاران با استفاده از شبکه مولد تخاصمی شرطی به تولید پلان جانمایی فضای نمایشگاهی در موزه با محدودیت مرز پلان پرداختند (Min et al., 2023). وانگ و همکاران با استفاده از شبکه مولد تخاصمی به تولید خودکار طرح جانمایی فضایی در ساختمان‌های کوچک‌مقیاس پرداختند (Wang et al., 2024). در روش‌های متداولِ استفاده از شبکه مولد تخاصمی شرطی، تنها تصاویر مرز پیرامونی و پلان جانمایی به‌عنوان داده‌های آموزشی برای شبکه فراهم می‌شود درحالی‌که در پژوهش حاضر افزون بر این جفت تصویر، امکان استفاده از تصویر نمودار حبابی نیز در فرایند آموزش فراهم می‌شود؛ لذا کاربر هنگام استفاده از مدل با افزودن تصویر نمودار حبابی می‌تواند به پلان جانمایی با ترجیحات دلخواه دست یابد؛ برخلاف روش‌های مرسوم که پلان جانمایی بدون هیچ‌گونه مشارکتی از جانب کاربر و فقط با استفاده از محدودیت مرز پلان توسط مدل تولید می‌شود. تصویر (۳) تفاوت روش متداول آموزش مدل را با روش پژوهش حاضر نمایش می‌دهد. در پژوهش‌های پیشین به‌ازای هر محدودیت مرز پلان یک طرح جانمایی فضایی تولید می‌شود. این حال، پژوهش حاضر از شبکه مولد تخاصمی شرطی برای تولید متنوع طرح جانمایی فضایی با بیش از یک خروجی برای هر محدودیت مرزی استفاده کرده است که به بررسی اعمال ترجیحات کاربر در تولید طرح جانمایی فضایی با استفاده از مرز پلان و شرط اضافی می‌پردازد. نمودار حبابی به‌عنوان شرط اضافی امکان کنترل طراح بر تولید پلان جانمایی را فراهم می‌کند. همچنین به طراح اجازه می‌دهد تا به‌ازای هر نمودار حبابی پلان‌های جانمایی متعددی را برای هر محدودیت مرزی تولید کند.

۴. مبانی نظری

فرایند طراحی روندی پیچیده و وابسته به متغیرهای گوناگون است که برای حل مسئله طراحی ایجاد می‌شود. این سطح از پیچیدگی محققان را بر آن داشته است تا با بهره‌گیری از قدرت محاسباتی رایانه به حل مسئله بپردازند (Krish, 2011). از دیدگاه پژوهشگران فرآیند طراحی مولد، طراحان را قادر می‌سازد تا با بررسی طیف وسیعی از راه حل ها به حل مسئله و چالش‌های آن بپردازند و این کار را از طریق تقویت خلاقیت طراحانه و هدایت آن در فضای طراحیِ احتمالی در چارچوب الزامات عملکردی انجام دهند (Lazzeroni et al., 2009).

۴-۱. رویکردهای پیشین در طراحی مولد

پژوهش‌های پیشین در حوزه طراحی مولد رایانشی به طیف گسترده‌ای از رویکردها در باب مسئله خودکارسازی طراحی پرداخته‌اند. این رویکردها را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد:



تصویر۳. مقایسه روش متداول به‌کارگیری مدل پیکسل به پیکسل در پژوهش‌های پیشین (تصویر سمت چپ) با روش به‌کاررفته در پژوهش حاضر (تصویر سمت راست) (مأخذ: نویسندگان)

الگوریتم‌های بهینه‌سازی و جستجو[۷]، الگوریتم‌های مبتنی بر قوانین فیزیک[۸]،روش قوانین مولد[۹] و الگوریتم‌های احتمال‌گرا[۱۰]. الگوریتم‌های بهینه‌سازی و جستجو تاکنون برای انجام فعالیت‌های مختلف در طراحی معماری از جمله تولید پلان و مدلسازی سه‌بعدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این دسته از الگوریتم‌ها به‌منظور بهینه‌سازی طراحی توسعه یافته‌اند و با تکیه بر مجموعه‌ای از محدودیت‌های از پیش تعریف‌شده، به حل مسائل می‌پردازند (Turrin et al., 2011). با این حال، به دلیل وسعت بسیار زیاد فضای جستجو درحل مسئله جانمایی، این الگوریتم‌ها قادر نیستند همواره پاسخ جامع را بیابند. علاوه بر این، بسیاری از مؤلفه‌های معماری را نمی‌توان در قالب قوانین صریح ریاضی تعریف کرد (Worthmann, 2017). این رویکردها دارای توانایی یادگیری از یک بازه کوتاه از تجربه‌های گذشته هستند؛ اما به دلیل حافظه کوتاه، ممکن است به‌راحتی گمراه شوند (Whitely, 1991). الگوریتم‌های مبتنی بر قوانین فیزیک با شبیه‌سازی پدیده‌های طبیعی مانند نیروهای جاذبه و دافعه و به‌کارگیری قوانین فیزیکی میان فضاها برای تولید طرح‌های جانمایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما این رویکردها فاقد قابلیت یادگیری از داده‌ها و تفسیر تجربیات پیشین هستند (Newton, 2019). رویکرد مبتنی بر قوانین مولد، با تکرار و اعمال مجموعه‌ای از قواعد از پیش تعریف‌شده، به تولید طرح‌های دوبعدی و سه‌بعدی می‌پردازد (Stiny, 1980). این دستور زبان‌ها در طراحی معماری نظیر تولید پلان، طراحی نما (Muller et al., 2006) و همچنین مدلسازی سه‌بعدی به‌کار رفته‌اند (Koning & Eizenberg et al., 1981). این رویکرد امکان خودکارسازی فرآیند طراحی بر پایه ی قواعدازپیش‌تعریف‌شده توسط طراح را فراهم می‌کند. با این حال، محدودیت آن در ناتوانی برای یادگیری و تطبیق با داده‌های جدید مشهود است (Newton, 2019). رویکردهای مولد احتمال‌گرا با بهره‌گیری از توزیع‌های احتمالی استخراج‌شده از نمونه‌های طراحی‌شده، به تولید الگوهای جدید می‌پردازند. در این میان، شبکه‌های بیزین[۱۱] به‌طور ویژه برای بازنمایی روابط فضایی و تولید پلان‌های معماری بر اساس نمونه‌های موجود مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این شبکه‌ها امکان مدل‌سازی توزیع

احتمال وقوع روابط مکانی میان فضاها را فراهم می‌سازند؛ برای نمونه، احتمال هم‌جواری آشپزخانه و نشیمن نسبت به هم‌جواری آشپزخانه با اتاق‌خواب بیشتر در نظر گرفته می‌شود (Merrell et al., 2010). پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه به تحقق توانایی یادگیری از تجربه و تفسیر داده‌ها منتج شده است؛ اما دقت رویکردهایی که از شبکه‌های عصبی عمیق استفاده می‌کنند بسیار بیشتر از دقت مدل‌های احتمال‌گرا در انجام این وظایف است (Newton, 2019). اکثر رویکردهای مولدی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته‌اند، بر طبق تعریف راسل و نورویگ، دارای توانایی بسیار محدودی در یادگیری تجربه و تفسیر تجربیات به طور سازگارانه جهت تولید طرح‌های معماری هستند (Russell & Norvig, 2016).

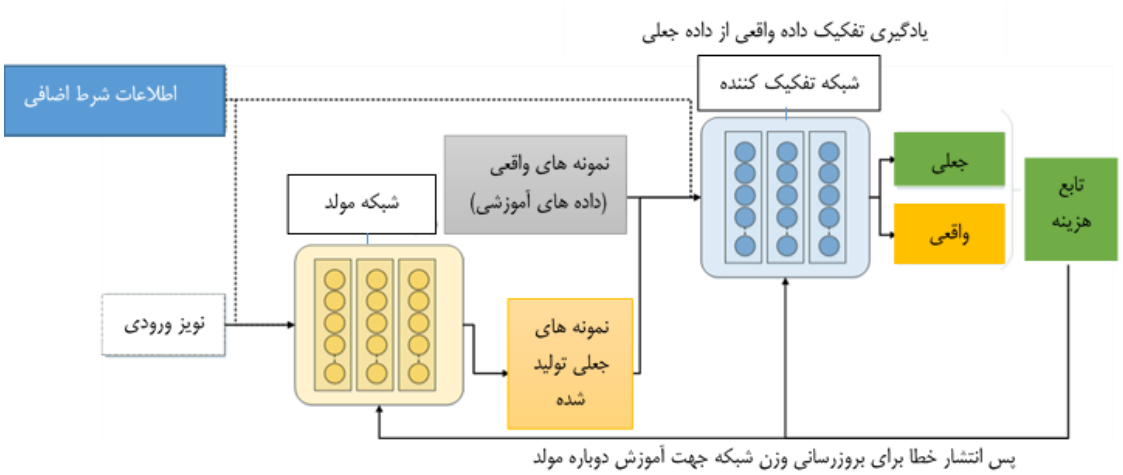
۴-۲. مدل‌های مولد عمیق برای طراحی

برخلاف رویکردهایی که در بخش قبل ذکر شد، مدل‌های مولد عمیق از قابلیت بالاتری در یادگیری، تفسیر و تعمیم داده‌ها برخوردارند و امکان تولید طرح‌های دوبعدی و سه‌بعدی را با دقت و تطابق بالاتری نسبت به سایر رویکردها فراهم می‌سازند (Creswell et al., 2018). مدل‌های مولد عمیق برای تولید طرح‌های جدید، از ساختارهای پیچیده و چندلایه‌ی شبکه‌های عصبی بهره می‌برند که با شبیه‌سازی توزیع‌های احتمالاتی، بر استخراج و بازنمایی ویژگی‌های کیفی نمونه‌های دوبعدی و سه‌بعدی تمرکز دارند (Xu et al., 2015). این ویژگی‌های انتزاعی آموخته‌شده، حتی به‌صورت بصری قابل بازنمایی هستند و از آن‌ها برای تحلیل ساختاری و مفهومی تصاویر دوبعدی بهره گرفته شده است (Radford et al., 2015). این روش‌ها به دلیل قابلیت‌های ذکر شده توسط پژوهشگران این حوزه بسیار مورد تحقیق و بررسی قرارگرفته‌اند و کاربرد آن‌ها در انواع طراحی‌های دوبعدی و سه‌بعدی نیز بررسی شده است. فهرست کاملی از این رویکردها را در می‌توان در شبکه های مولد تخاصمیِ ارائه‌شده توسط گودفلو یافت که برای یادگیری از روی داده‌ها و متعاقباً ایجاد داده‌های جدید مرتبط با آن داده‌ها استفاده می‌شود. در ادامه به بررسی چگونگی استفاده از شبکه مولد تخاصمی شرطی و اعمال این روش در تولید پلان‌های جانمایی فضایی چنین می‌پردازیم.

۵. روش پژوهش

ساختار شبکه مولد تخاصمی متشکل از دو شبکه عصبی مولد[۱۲] و تفکیک‌کننده[۱۳] است. فرآیند کلی عملکرد این ساختار به‌صورت یک بازی دوسویه تعریف می‌شود؛ شبکه مولد مسئول تولید داده‌های مصنوعی است به‌گونه‌ای که این داده‌ها از نظر آماری مشابه نمونه‌های واقعی به نظر برسند، در حالی‌که شبکه تفکیک‌کننده تلاش می‌کند تا میان داده‌های واقعی و داده‌های تولیدشده تمایز قائل شود. شبکه مولد با دریافت نویز تصادفی، نمونه‌هایی تولید می‌کند که به همراه نمونه‌های واقعی به تفکیک‌کننده ارائه می‌شوند. تفکیک‌کننده نیز با تحلیل این داده‌ها، بازخوردی در قالب تابع هزینه (خطا) به مولد ارسال می‌کند. این بازخورد به مولد کمک می‌کند تا عملکرد خود را بهبود بخشد و داده‌های مصنوعی با شباهت بیشتر به داده‌های واقعی تولید کند. بنابراین آموزش شبکه تفکیک‌کننده با استفاده از تصاویر واقعی و آموزش مدل مولد با استفاده از بازخورد ایجاد شده توسط تفکیک‌کننده صورت می‌پذیرد. این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که شبکه مولد بتواند داده‌هایی غیرقابل تشخیص از داده‌های واقعی برای شبکه تفکیک‌کننده، تولید کند. به بیان دیگر، هدف نهایی شبکه مولد، فریب موفق شبکه تفکیک‌کننده است، به‌گونه‌ای که خروجی‌های آن از نظر آماری با داده‌های واقعی هم‌ارز تلقی شوند (Chaillou, 2019). تاکنون مطالعات متعددی به‌منظور توسعه شبکه مولد تخاصمی انجام شده است. از جمله این موارد می‌توان به امکان ایجاد اطلاعات شرطی در ورودی شبکه مولد و تولید تصاویر بر اساس آن اشاره کرد که منجر به شکل‌گیری شاخه جدیدی با نام شبکه مولد تخاصمی شرطی شده است.

شبکه مولد تخاصمی شرطی امکان ایجاد اطلاعات شرطی در ورودی شبکه و تولید تصاویر بر اساس آن را فراهم می‌کند تا بتوان اطلاعات شرطی را برای هر دو شبکه تفکیک‌کننده و مولد تعریف نمود. این ویژگی باعث ایجاد کنترل و نظارت بر تصاویر تولید شده می‌شود. بدین منظور می‌توان یک‌لایه ورودی اضافی با مقادیر برچسب تصویر رمزگذاری شده جدید اضافه کرد تا اطلاعات شرطی اضافی برای داده‌های واقعی در دسترس باشد (تصویر۴). مدل پیکسل به پیکسل[۱۴] شکلی از شبکه مولد تخاصمی شرطی است که در سال ۲۰۱۷ توسط فیلیپ ایزولا ارائه شده است (Isola et al., 2017).



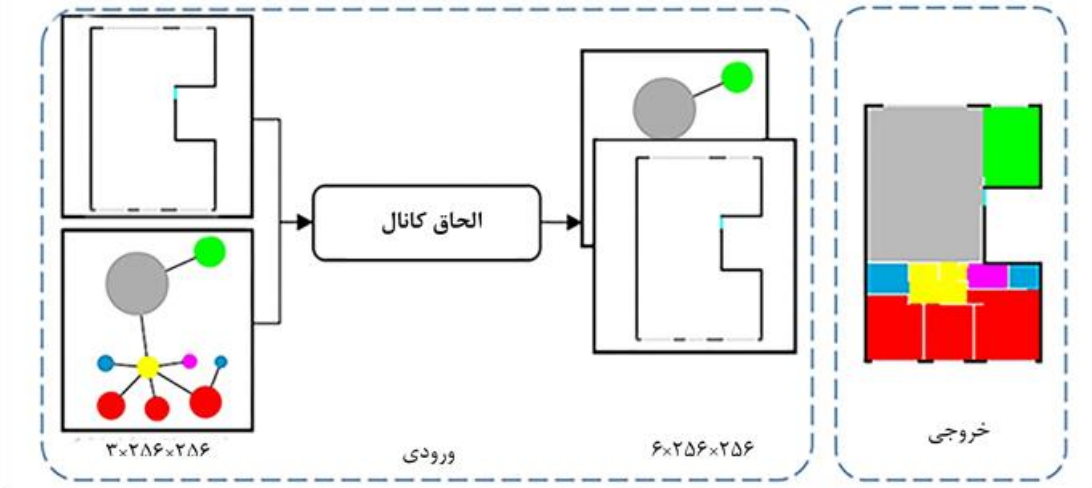
تصویر۴. ساختار شبکه مولد تخاصمی شرطی (Tsialiamanis et al., 2021)

الگوریتم با گرفتن یک پیکسل و ترجمه و تبدیل آن به پیکسل دیگری در تصویر تولید شده و تکرار این فرایند برای همه پیکسل‌های تصویر، با عنوان پیکسل‌به پیکسل نام‌گذاری شده است. این الگوریتم به‌منظور تحقق اهداف مرتبط با ترجمه تصویر به تصویر است که برای مجموعه‌داده آموزشی متشکل از تصاویر جفت کاربرد دارد. در سال ۲۰۱۸ وانگ و همکاران (Wang et al., 2018) با بهبود ساختار مدل ایزولا مدل پیکسل‌به پیکسل اچ –دی[۱۵] را برای تولید تصاویر باکیفیت بالاتر ارائه دادند. در این پژوهش از الگوریتم پیکسل به پیکسل اچ – دی در فریم‌ورک پایتورچ[۱۶] استفاده شده است. در فرایند آموزش الگوریتم پیکسل‌به‌پیکسل، جفتی از تصاویر با اندازه یکسان به‌عنوان مجموعه‌داده آموزشی موردنیاز است. در مدل‌های مبتنی بر شبکه مولد تخاصمی، تصاویر بر اساس پیکسل دریافت و پردازش می‌گردد. شناساندن تصویر به شبکه با استفاده از ویژگی‌هایی نظیر جهت، شیب یا رنگ پیکسل که برای شبکه قابل‌شناسایی است، صورت می‌گیرد که در مطالعات گوناگون باهدف دسته‌بندی تصاویر یا شناسایی الگوهای مستتر در آن‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش از رنگ پیکسل برای تعیین ویژگی‌های سطح پایین پلان معماری استفاده شده است. بدین منظور ابتدا پلان آپارتمان‌های مسکونی منطقه یک و دو در شهر همدان جمع‌آوری‌شده است. در انتخاب پلان‌ها شرایط مشابه اجتماعی، اقتصادی، و فرهنگی مؤثر بوده است. در گام دوم، پلان‌های جمع‌آوری‌شده، با استفاده از رنگ‌های مختلف برچسب‌گذاری شده‌اند (تصویر ۵).

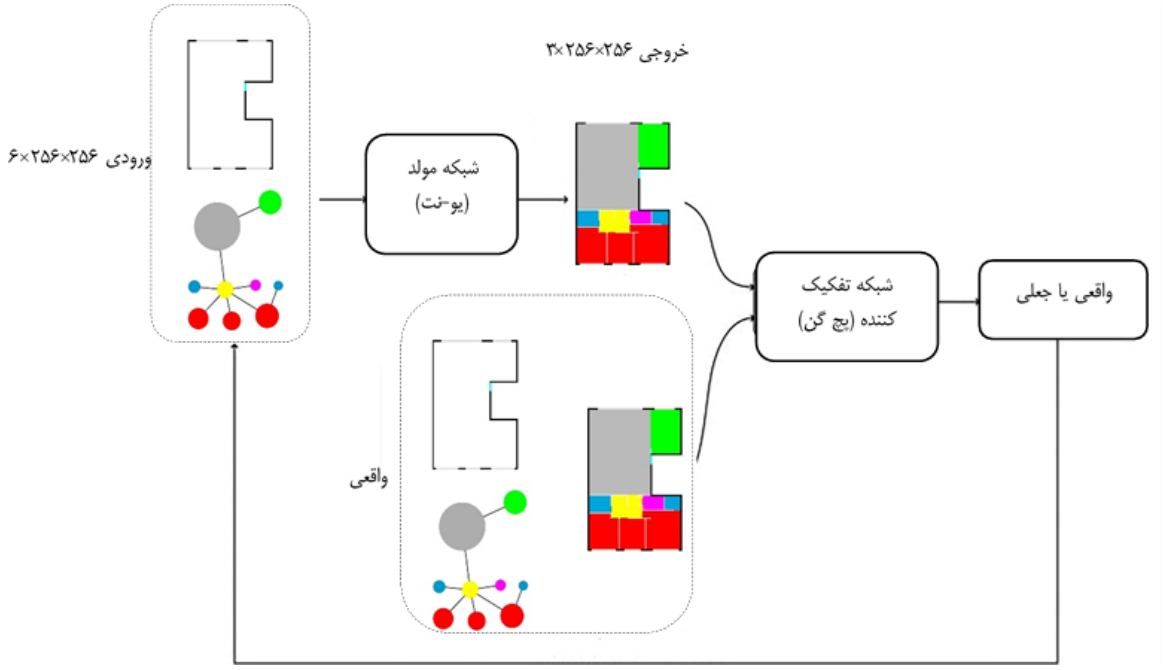
تصویر۵. راهنمای رنگ‌های مورداستفاده در برچسب‌گذاری پلان (مأخذ: نویسندگان)

تصویر۶. تهیه داده‌های آموزشی برای آموزش مدل پیکسل به پیکسل، تصاویر از چپ به راست: پلان اصلی، مرز پلان به‌عنوان تصویر ورودی، پلان جانمایی فضایی برچسب‌گذاری شده به‌عنوان تصویر هدف، نمودار حبابی به‌عنوان شرط ثانویه (مأخذ: نویسندگان)

هر یک از رنگ‌های مورداستفاده نشان‌دهنده یکی از عناصر یا فضاهای عملکردی در پلان می باشد. قبل از رنگ‌آمیزی، عناصری نظیر نورگیر در آپارتمان‌های شمالی، ستون و راه‌پله از پلان حذف شده است. ازآنجاکه ایده اصلی این مطالعه کنترل نتایج تولید شده با استفاده از نمودار حبابی است، به‌منظور اعمال ترجیحات کاربر در جهت تعامل با شبکه، نمودار حبابی با تصویر مرز پلان الحاق و به‌عنوان ورودی به شبکه تغذیه شده است؛ بنابراین نمودار حبابی مربوط به پلان‌های برچسب‌گذاری شده نیز با استفاده از افزونه گرس‌هاپر در نرم‌افزار راینو استخراج گردید. مجموعه‌داده‌ها با تعداد ۶۶۰ جفت تصویر به دو قسمت تقسیم گردید. ۶۶ تصویر (معادل ۱۰ درصد کل مجموعه به‌عنوان داده‌های آزمون) و ۵۹۴ جفت تصویر به‌عنوان داده‌های آموزشی مورداستفاده قرار گرفت. نمونه‌ای از آماده‌سازی تصاویر ورودی، خروجی و شرط ثانویه از یک پلان آپارتمانی در تصویر (۶) ارائه شده است. پس از مرحله آماده‌سازی داده‌ها، مجموعه دادگان آموزشی برای آموزش مدل پیکسل به پیکسل استفاده می‌شود. اندازه تصاویر ورودی و خروجی مدل ۲۵۶×۲۵۶ پیکسل انتخاب شده است. انتخاب این کیفیت تصویر به منظور جلوگیری از بیش‌برازش و کنترل تاثیر مستقیم نمودار حبابی بر پلان جانمایی تولید شده است و تنها از شبکه مولد گلوبال شبکه پیکسل به پیکسل اچ–دی استفاده شده است. مرحله بعد الحاق تصویر مرز پلان و تصویر نمودار حبابی است. تصویر (۷) چگونگی الحاق تصویر مرز پلان (تصویر اصلی) و تصویر نمودار حبابی (شرط ثانویه) را به‌عنوان ورودی شبکه نشان می‌دهد. در این روش، هنگام پردازش داده‌های آموزشی، تصاویر RGB با استفاده از کتابخانه تصویر پایتون[۱۷] بارگذاری شده و قبل از ارسال به شبکه به تنسور[۱۸] تبدیل شده‌اند. هر تنسور با شکل (c, h, w) نشان داده می‌شود که در آن c نشان‌دهنده تعداد کانال‌های تصویر، h نشانگر طول و w نشانگر عرض تصویر است. بدین منظور شبکه مولد و تفکیک‌کننده به شکلی تنظیم شده‌اند تا بتوانند تعداد متغیری از کانال‌های ورودی که کاربر هنگام اجرای اسکریپت مشخص می‌کند را دریافت کنند. به بیان دیگر امکان انتقال داده‌های ورودی با بیش از سه کانال فراهم می‌گردد. سه کانال مربوط به تصویر مرز پلان و سه کانال مربوط تصویر نمودار حبابی می باشد. بدین ترتیب تعداد کانال‌های ورودی روی شش تنظیم می‌شود با بارگذاری دایرکتوری حاوی تصویر نمودار حبابی، این تصاویر به‌عنوان شرط اضافی عمل کنند. هنگامی که یک جفت تصویر متشکل از تصویر مرز پیرامونی و تصویر نمودار حبابی به تنسور تبدیل می‌شوند، با به هم پیوستن به هم در امتداد بعد c تنسور جدیدی با ابعاد (2c, h, w) تشکیل می‌شود. در نهایت تصویر نمودار حبابی روی تصویر مرز پلان انباشت می‌گردد تا به‌عنوان شرط ثانویه نسبت به تصویر اصلی مشخص می‌شود. تصویر (۸) فرایند آموزش مدل برای نگاشت تصویر ورودی و شرط ثانویه به تصویر جانمایی فضایی را نشان می‌دهد. تعداد ایپاک‌ها (لوپ آموزشی هوش مصنوعی) در این پژوهش برابر با ۲۰۰ درنظر گرفته شد.



تصویر ۷. الحاق تصویر مرز پلان و تصویر نمودار حبابی به‌عنوان ورودی شبکه، تصویر جانمایی فضایی به‌عنوان خروجی شبکه (مأخذ: نویسندگان)



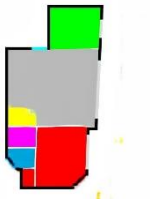
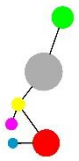
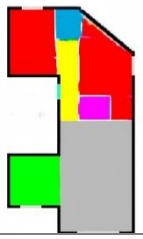
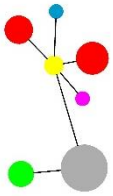
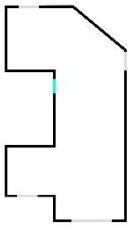
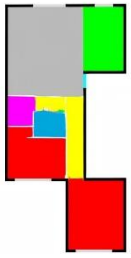
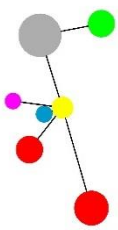
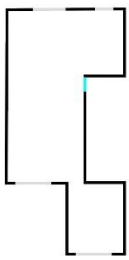
تصویر۸. فرایند آموزش مدل برای نگاشت تصویر ورودی و شرط اضافی به تصویر خروجی جانمایی فضایی (مأخذ: نویسندگان)

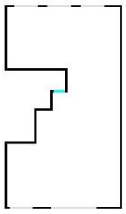
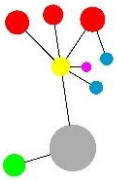
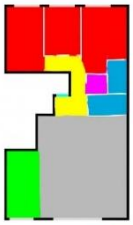
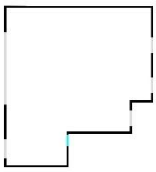
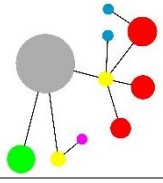
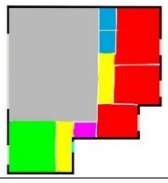
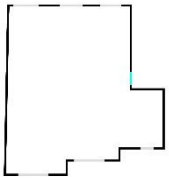
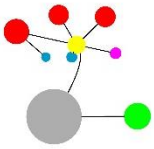
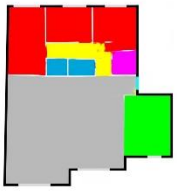
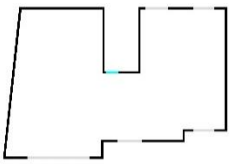
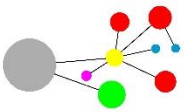
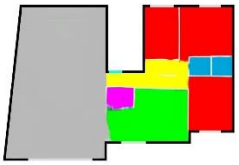
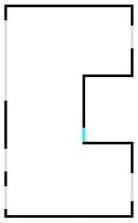
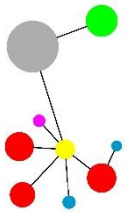
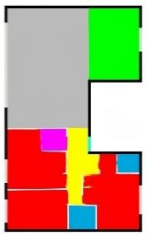
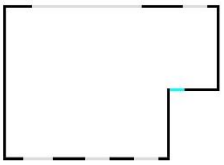
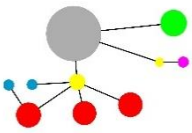
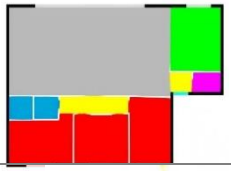
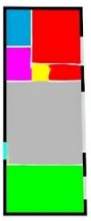
۶. تجزیه‌وتحلیل و یافته‌ها

در این بخش به بررسی عملکرد مدل آموزش‌دیده و تجزیه‌وتحلیل تأثیر نمودار حبابی بر خروجی‌های تولید شده می‌پردازیم. هیچ روش قطعی برای ارزیابی عملکرد شبکه مولد تخاصمی وجود ندارد. بدین ترتیب برای ایجاد چارچوبی جهت ارزیابی شبکه، باید به برخی از معیارهای ارزیابی مطلوب و متناسب با ماهیت مسئله اشاره کرد. به بیان دیگر ویژگی‌هایی وجود دارد که مختص نمونه‌های تولید شده در این پروژه جهت تولید پلان جانمایی فضایی است. یکی از ویژگی اول نمونه‌های تولید شده در پژوهش حاضر آن است که تصاویری که بر اساس مرز پلان و نمودار حبابی (شرط ثانویه) تولید می‌شوند، باید شرایط کدگذاری شده در نمودار حبابی را رعایت کنند. به این معنا که تعداد کل اتاق‌ها، نوع هر اتاق و موقعیت قرارگیری و مساحت آن‌ها با نمودار حبابی مطابقت داشته باشد. ویژگی دوم بررسی کاربردپذیری در نمونه‌های تولید شده است. کاربردپذیری به این مفهوم اشاره می‌کند که آیا پلان برای هدف خود مناسب است یا خیر. به بیان دیگر میزان قابل‌قبول بودن جانمایی تولید شده به‌عنوان تصویری از جانمایی یک واحد آپارتمانی را بررسی می‌کند. به‌منظور بررسی ویژگی اول نیازمند چهار معیار جداگانه برای سهولت در شناسایی عملکرد مدل هستیم. معیار اول انحراف تعداد اتاق است. تعداد اتاق‌های موجود در جانمایی تولید شده باید با تعداد حباب‌های رنگی موجود در نمودار حبابی برابر باشد. معیار دوم دقت نوع اتاق است؛ یعنی رنگ بکار برده شده در هر حباب باید با رنگ مربوط به برچسب اتاق تولید شده مطابقت داشته باشد. معیار سوم دقت اندازه اتاق است؛ یعنی اندازه حباب‌ها در نمودار حبابی باید با مساحت اتاق‌ها مطابقت داشته باشد. در نهایت معیار چهارم دقت هم‌جواری اتاق است که مطابق با این معیار هم‌جواری اتاق‌ها در طرح جانمایی تولید شده باید مطابق با نمودار حبابی باشد. به‌منظور بررسی ویژگی دوم؛ یعنی کاربردپذیری نمونه‌های تولید شده، ارزیابی کیفیِ خروجی‌ها توسط یک معمار خبره بر اساس چهار معیار انجام شد. معیارهای شکل و تناسب فضاها، موقعیت دیوارها یا مرز بین اتاق‌ها، چیدمان منطقی فضاها نسبت به هم و نسبت به موقعیت پنجره‌ها و درب ورودی می باشد. نتایج تولید شده توسط مدل با استفاده از داده‌های آزمون در جدول (۱) نشان‌داده‌شده است. ستون اول جدول شامل محدودیت مرز پلان در داده‌های آزمون است. در ستون دوم نمودار حبابی به‌عنوان شرط ثانویه برای آموزش مدل نمایش‌داده‌شده است. ستون سوم شامل تصویر خروجی‌های تولید شده باتوجه‌به محدودیت مرز پلان و نمودار حبابی است. ستون چهارم میانگین

نمرات حاصل از ارزیابی کیفی مدل توسط معمار خبره را نشان می‌دهد. در ادامه به ارزیابی نمونه‌های تولید شده بر اساس شاخص انحراف تعداد اتاق، دقت نوع اتاق، دقت اندازه اتاق و دقت هم‌جواری اتاق می‌پردازیم. معیار انحراف اتاق به معنی برابری تعداد اتاق‌های موجود در جانمایی تولید شده با تعداد حباب‌های رنگی موجود در نمودار حبابی است. شاخص انحراف اتاق عبارت است از تعداد اتاق‌های اضافه شده یا حذف شده، تقسیم بر تعداد اتاق‌ها در نمودار حبابی. بدین ترتیب اتاق یک فضای رنگی پیوسته در نظر گرفته شده و اگر مرز اتاق به‌خوبی مشخص باشد، فقدان درب‌ها و دیوارهای محصورکننده قابل‌قبول است. انحراف ۰٪ نشان می‌دهد که تعداد اتاق‌های موجود در جانمایی تولید شده با تعداد اتاق‌ها در نمودار حبابی برابر است. دقت نوع اتاق نیز عبارت است از تعداد اتاق‌هایی از نوع صحیح که در مکان درست جانمایی شده، تقسیم بر تعداد اتاق‌ها در نمودار حبابی. اگر نوع اتاق با نوع مشخص‌شده توسط نمودار حبابی مطابقت داشته باشد، آن اتاق را به‌عنوان گزینه درست قرار می‌دهیم. دقت کامل ۱۰۰٪ نشان می‌دهد که جانمایی تولید شده به نوع و مکان اتاق‌ها که توسط هر مرکز در تصویر نمودار حبابی ارائه شده، احترام می‌گذارد. دقت اندازه اتاق است؛ یعنی تعداد اتاق‌هایی با اندازه متناسب با اندازه فضاها در نمودار حبابی، تقسیم بر تعداد کل اتاق‌ها. دقت کامل ۱۰۰٪ نشان می‌دهد اندازه اتاق‌ها در نمودار حبابی مطابق با مساحت اتاق‌ها در نمونه تولیدشده است. دقت هم‌جواری اتاق یعنی تعداد اتاق‌ها با هم‌جواری صحیح و مطابق با نمودار حبابی تقسیم بر تعداد کل اتاق‌ها. در جدول (۲) نمرات مربوط به شاخص‌های مذکور نشان‌داده‌شده است. نتایج حاکی از آن است که تنظیم موقعیت و کمیت حباب‌ها در نمودار حبابی باعث ایجاد تغییرات مختلف و مؤثر در طرح جانمایی فضایی تولید شده توسط مدل شد. امتیازات کسب شده نشان می‌دهد مدل قادر به تولید جانمایی متناسب با نمودار حبابی شده است. جدول (۳) نیز ارزیابی کیفی نتایج تولید شده توسط مدل را نشان می‌دهد.

جدول۱. خروجی مدل مولد تخاصمی شرطی با الحاق تصویر نمودار حبابی (مأخذ: نویسندگان)

	امتیاز کاربردپذیری	طرح جانمایی فضایی تولید شده	نمودار حبابی	مرز پلان
۱	۹,۳۷			
۲	۹,۶۲			
۳	۹,۵۰			

۴				۹,۷۵
۵				۵۰.۹
۶				۹,۵۰
۷				۹,۳۷
۸				۹,۳۷
۹				۹,۳۷
۱۰				۹,۶۲

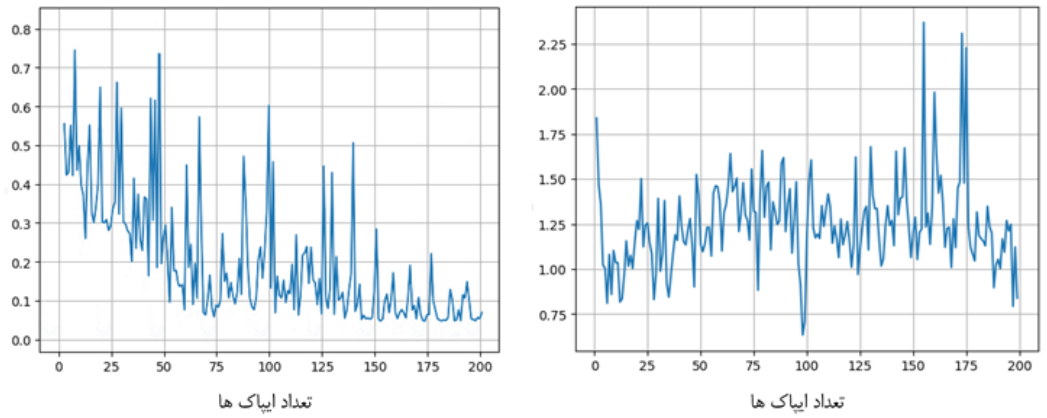
جدول ۲. میانگین نمرات حاصل از ارزیابی کمی (مأخذ: نویسندگان)

هم‌جواری اتاق (٪)	دقت اندازه اتاق (٪)	دقت نوع اتاق (٪)	امتیاز انحراف تعداد اتاق (٪)
۹۷,۴۷	۹۱,۵۸	۹۸,۳۱	۱,۶۸

جدول ۳. ارزیابی کیفی خروجی‌های تولید شده توسط معمار خبره (مأخذ: نویسندگان)

داده آزمون	معیار ارزیابی کیفی				امتیاز کاربردپذیری
	کاربردپذیری				
	چیدمان اتاق‌ها نسبت به درب ورودی	موقعیت دیوارهای داخلی	جهت‌گیری اتاق‌ها	شکل اتاق‌ها	
۱	۹	۵۰.۹	۹	۱۰	۹,۳۷
۲	۱۰	۹	۱۰	۵۰.۹	۹,۶۲
۳	۱۰	۵۰.۹	۹	۵.۹	۹,۵۰
۴	۵۰.۹	۹,۵۰	۱۰	۱۰	۹,۷۵
۵	۹	۹	۱۰	۱۰	۵۰.۹
۶	۱۰	۵۰.۸	۱۰	۵۰.۹	۹,۵۰
۷	۹	۹	۵۰.۹	۱۰	۹,۳۷
۸	۱۰	۹	۹	۹,۵۰	۹,۳۷
۹	۹	۹,۵۰	۹	۱۰	۹,۳۷
۱۰	۱۰	۵۰.۹	۵۰.۹	۵۰.۹	۹,۶۲

نمرات حاصل از ارزیابی نشان داد که مدل آموزش‌دیده، جانمایی‌های قابل‌قبولی را برای یک واحد آپارتمانی تولید کرده است و به‌خوبی از منطق جانمایی پیروی کرده است. به‌عنوان‌مثال مدل به‌خوبی رابطه بین ورودی و فضای نشیمن را آموخته است و به جانمایی ریز فضاهای عرصه خصوصی و عمومی نسبت به فضای مرکزی نشیمن توجه کرده است. به بیان دیگر هندسه اتاق‌ها و جهت‌گیری صحیح آن‌ها در پلان جانمایی از نکات مهمی است که توسط مدل آموخته شده است. موقعیت صحیح قرارگیری دیوارهای داخلی نیز از مواردی است که به‌خوبی رعایت شده است. این پژوهش نشان داد که استفاده از شرط ثانویه در زمینه آموزش مدل برای حل مسئله طراحی معماری معقول و امکان‌پذیر است. نتایج نشان می‌دهد که آموزش شبکه مولد تخاصمی شرطی با نمودار حبابی باعث می‌شود تا شبکه رابطه متقابل بین عناصر فضایی را به‌خوبی و مطابق با الزامات توپولوژیکی مطابق با ترجیحات کاربر درک کند. نمودار توابع هزینه شبکه مولد و شبکه تفکیک‌کننده مدل آموزش‌دیده بر اساس داده‌های آموزشی متشکل از مرز پیرامونی پلان و شرط اضافی در تصویر (۹) نمایش‌داده‌شده است. فرایند بهینه‌سازی پارامترهای متغیر هر دو شبکه، به تعداد دفعات تعریف شده (ایپاک) انجام می‌شود. تابع هزینه برای مدل به عدد صفر همگرا نشده است و این بدان معناست که نمونه‌های تولید شده توسط مدل آموزش‌دیده با شرط اضافی، با ظاهری واقعی‌تر شبکه تفکیک‌کننده را فریب می‌دهند. در مجموع بر اساس ارزیابی کمی و کیفی یافته‌های تصویری و ارزیابی نمودارهای بهینه‌سازی می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد مدل آموزش‌دیده با شرط اضافی مطلوب است.



تصویر ۹. نمودار توابع هزینه، تابع هزینه شبکه مولد (تصویر راست)، نمودار تابع هزینه شبکه تفکیک‌کننده (تصویر چپ) (خروجی از مدل)

۷. نتیجه گیری

نتایج نشان داد هنگامی که نمودار حبابی به‌عنوان شرط ثانویه در طی فرایند آموزش شبکه اضافه می‌شود، اطلاعات کمکی تأثیر آشکاری در خروجی‌های تولید شده دارد. نمودار حبابی اطلاعات کافی در اختیار مدل قرار داده است تا مولد بتواند از این شرط در تولید خروجی استفاده کند. کیفیت تصاویر تولید شده در مدل آموزش‌دیده با شرط ثانویه مطلوب است. درهم‌ریختگی رنگی بسیار کمی دیده می‌شود و ابهامی در خواندن پلان‌های جانمایی وجود ندارد. شرایط اضافه شده به کاربران این امکان را می‌دهد که بر روی محتویات پلان جانمایی کنترل داشته باشند و درعین‌حال اطمینان حاصل کنند که چیدمان به شرایط مرز ساختمان نیز پایبند است. با فراهم‌کردن نمودار حبابی به‌عنوان شرط ثانویه، این امکان برای کاربران فراهم می‌شود که طرح جانمایی‌های متفاوتی را در محدوده یک ساختمان ایجاد کند؛ بنابراین استفاده از شرط ثانویه، هم از منظر فرایند آموزش مدل و هم از نظر انعطاف‌پذیری مدل و تعامل کاربر با آن، مؤثر است. جانمایی‌های تولید شده، ارتباط واضحی با اطلاعات فراهم شده در نمودار حبابی دارند و موقعیت و کمیت حباب‌ها در خروجی‌های تولید شده برای انواع اتاق‌ها رعایت شده است. این موضوع در کاربری‌هایی با روابط توپولوژیک پیچیده‌تر بسیار مفید و مؤثر خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد مدل در تولید اتاق‌هایی با کاربری غیر رایج و فراوانی کمتر از پنج درصد در مجموعه‌داده آموزشی با ضعف روبرو است. وجود این اتاق‌ها در نمودار حبابی، باعث تولید اتاق‌هایی از نوع رایج می‌گردد و اتاق موردنظر در جانمایی تولید شده ایجاد نمی‌گردد. این موضوع می‌تواند در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین بر اساس نتایج، مدل هنگام مواجهه با اشکال غیر رایج از مرز پلان که کمتر در دیتاست وجود دارند، مانند مرزهای دارای شکست یا منحنی و چندضلعی، دچار مشکل می‌شود و درباره مرزهایی که دارای شکل مرزی نسبتاً مربع و مستطیل هستند، بهتر عمل می‌کند؛ بنابراین برای پلان‌هایی با مرز منحصربه‌فرد و خاص بهتر است از تکنیک افزایش داده استفاده کرد. بدین منظور نه‌تنها چرخش افقی و عمودی بلکه استفاده از چرخش‌های تصادفی مضرب ۹۰ درجه، می‌تواند راهی برای کاهش حساسیت فرایند آموزش نسبت به تصاویر آموزشی غیرمتداول باشد. در پژوهش‌های آینده تاثیر سایر شروط اضافی بر تولید پلان جانمایی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ارزیابی کیفی انجام شده توسط معمار خبره تأیید می‌کند که پلان جانمایی‌های تولید شده به کیفیت تصویری کاملاً مشابه با داده‌های واقعی نرسیده‌اند. نتایج نشان داد که مدل توانست ترجیحات کاربر در تولید جانمایی را برآورده سازد و به کاربر اجازه داد تا بر خروجی تولید شده تأثیر گذارد. استفاده از مدلی که فقط با محدودیت مرز پلان آموزش‌داده‌شده است، می‌تواند برای کاربرانی مناسب باشد که از ابتدای برنامه‌ریزی نیازمند پیشنهادهای مدل هستند و به مشارکت در طراحی تمایل ندارند.

پی‌نوشت

۱. Machine learning

۲. Generative adversarial network

۳. Data driven method

۴. Conditional generative adversarial network

۵. Bubble diagram

۶. Rule based method

۷. Optimization and Search Algorithms

۸. Physically Based Algorithms

۹. Generative Grammars

۱۰. Probabilistic Algorithms

۱۱. Bayesian Network

۱۲. Generator

۱۳. Discriminator

۱۴. Pix2Pix: الگوریتم مورداستفاده در این مقاله که به عبارت "پیکسل به پیکسل" ترجمه شده است. این ترجمه باتوجه‌به کارکرد این الگوریتم درنظر گرفته شده است. چارچوب کلی کارکرد این الگوریتم مبتنی بر ترجمه تصویر به تصویر با استفاده از پیکسل است که هر پیکسل از تصویر ورودی به پیکسلی در تصویر هدف نگاشت و ترجمه می‌شود.

۱۵. Pix2PixHD

۱۶. Pytorch: یک کتابخانه یادگیری عمیق متن‌باز (Open Source) بر پایه کتابخانه تورچ (Torch) است.

۱۷. Python Imaging Library

۱۸. Tensor: تنسور محفظه ای از داده است که به ذخیره ابعاد مختلف داده در شبکه‌های عصبی کمک می‌کند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- فلاح‌نیا، مهسا (۱۳۹۶)، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین مصرف انرژی فضاهای آموزشی. مجله هویت شهر، دوره: ۱۱، شماره: ۴.
- رهبر، مرتضی، مهدوی‌نژاد، محمدجواد، بمانیان، محمدرضا و دوائی مرکزی، آمیرحسین (۱۳۹۹)، الگوریتم سی‌گَن در تولید نقشه حرارتی جانمایی فضایی در طراحی معماری. مجله معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۳(۳۲)، ۱۳۱-۱۴۲.
- رهبر، مرتضی، مهدوی‌نژاد، محمدجواد، بمانیان، محمدرضا و دوائی مرکزی، آمیرحسین (۱۳۹۸)، تبیین پارامترهای پایداری محیطی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. دوفصلنامه معماری و شهرسازی پایدار، دوره: ۷، شماره: ۲.
- باباخانی، رضا، شاه‌چراغی، آزاده و ذبیحی، حسین (۱۴۰۱)، تبیین مدل نظری عملکرد هوش طراحی خودکار در فرایند چیدمان فضاها با رویکرد سلسله مراتبی و تقسیمات منطقه ای. نشریه مرمت و معماری ایران، پیاپی ۳۱ -پاییز ۱۴۰۱.
- موسوی، نجمه و محمدی، مریم (۱۴۰۲)، ارائه مدل پیش‌بینی‌کننده ترجیحات نمای مسکونی با بهره‌گیری از یادگیری ماشین؛ بررسی موردی: شهر تهران. نشریه نامه معماری و شهرسازی، سال شانزدهم شماره ۴۱ -زمستان ۱۴۰۲.
- Aalaei, Mohammad, Saadi, Melika, Rahbar, Morteza & Ekhlassi, Ahmad (2023), Architectural layout generation using a graph-constrained conditional Generative Adversarial Network (GAN), Automation in Construction, 155. 105053. 10.1016/j.autcon.2023.105053.
- As, Imdat, Pal, Siddharth & Basu, Prithwish (2018), Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. International Journal of Architectural Computing, 16, 306-327. https:// doi.org /10.1177/14780771188 00 982.
- Caetano, Inês, Santos, Luis & Leitão, António (2020), Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural R*esearch, 9(2), 287-300. DOI:10.1016/j.foar.2019.12.008.
- Chaillou, Stanislas, The Advent of Architectural AI, thesis, MA, Graduate School of Design, Harvard University, 2019, https://doi.org/10.9783/9781949057027-006.
- Creswell, Antonia, White, Tom, Dumoulin, Vincent, Arulkumaran, Kai, Sengupta, Biswa & Bharath, Anil (2018), Generative Adversarial Networks: An Overview. IEEE Signal Processing Magazine, 35, no. 1: 53–65. https:// doi.org/10.1109/MSP.2017.2765202.
- Cross, Nigel (2011), Design thinking: understanding how designers think and work. Oxford: Bloomsbury Academic, 1st Edition.
- Goodfellow, Ian, Pouget-Abadie, Jean, Mirza, Mehdi, Xu, Bing, Warde-Farley, David, Ozair, Sherjil, Courville, Aaron & Bengio, Y (2014), Generative Adversarial Networks. In Proceedings of the Twenty-Seventh International Conference on Neural Information Processing Systems, 2:2672–2680. Montreal, Canada, December 8–13. https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661
- Goodfellow, Ian, Bengio, Yoshua & Courville, Aaron (2016), *Deep Learning*. Cambridge, MA: MIT Press, 19, 305-307. https://doi.org/10.1007/s10710-017-9314-z.
- Grover, Robert, Emmitt, Stephen, & Copping, Alexander (2018), The typological learning framework: the application of structured precedent design knowledge in the architectural design studio, International Journal of Technology and Design Education, 28, 1019-1083. https://doi.org/10.1007/s10798-017-9421-4.

- Hong, Tianzhen, Wang, Zhe, Luo, Xuan & Zhang, Wanni (2020), State-of-the-Art on Research and Applications of Machine Learning in the Building Life Cycle. Energy and Buildings, 212. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109831
- Isola, Phillip, Zhu, Jun-Yan, Zhou, Tinghui & Efros, Alexei (2017), Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks, 5967-5976. DOI:10.1109/CVPR.2017.632.
- Kanters, Jouri, Horvat, Miljana (2012), The Design Process known as IDP: A Discussion, Energy Procedia, Volume 30, 2012, Pages 1153-1162. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.128.
- Karadag, Ilker, Güzelci, Orkan, Alaçam, Sema (2022), "EDU-AI: a twofold machine learning model to support classroom layout generation", Construction Innovation, Vol. 23 No. 4, pp. 898-914. DOI: 10.1108/CI-02-2022-0034.
- Koning, Hank & Eizenberg Julie (1981), “The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's Prairie Houses.” Environment and Planning B: Planning and Design 8, no. 3: 295–323. https://doi.org/10.1068/b080295.
- Krish, Sivam (2011), A Practical Generative Design method. Computer-Aided Design, Vol.43, 88–100. https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.09.009
- Lawson, Bryan, & Dorst, Kees (2009), Design Expertise (1st edition) Routledge, 322. https://doi.org/10.4324/9781315072043.
- Lazzeroni, Claudius, Bohnacker, Hartmut, Gross, Benedikt & Laub, Julia (2009), *Generative Design: Design. Program. Visualize*. Princeton Architectural Press. https://www.amazon.com/Generative-Design-Visualize-Program-Processing/dp/1616890770.
- Liu, Yubo, Fang, Chenrong, Yang, Zhe, Wang, Xuexin, Zhou, Zhuohong, deng, Qiaoming & Liang, Lingyu (2022), Exploration on Machine Learning Layout Generation of Chinese Private Garden in Southern Yangtze. In: Yuan, P.F., Chai, H., Yan, C., Leach, N. (eds) Proceedings of the 2021 Digital FUTURES, CDRF, Springer, Singapore. 10.1007/978-981-16-5983-6_4.
- Lu, Stephen & Liu, Ang (2011), Subjectivity and objectivity in design decisions. Cirp Annals-manufacturing Technology - CIRP ANN-MANUF TECHNOL. 60. 161-164. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.122.
- Merrell, Paul, Schkufza, Eric & Koltun, Vladlen. (2010), Computer-Generated Residential Building Layouts. ACM Trans. Graph, 29, no.6: 181. DOI = 10.1145/1866158.1866203.
- Min, Xiao, Zheng, Liang & Chen, Yile, (2023), "The Floor Plan Design Method of Exhibition Halls in CGAN-Assisted Museum Architecture" *Buildings* 13, no. 3: 756. https://doi.org/10.3390/buildings13030756.
- Mostafavi, Fatemeh, Tahsildoost, Mohammad, Zomorodian, Zahra.Sadat, & Shahrestani, Seyed.Shayan (2022), An interactive assessment framework for residential space layouts using pix2pix predictive model at the early-stage building design. Smart and Sustainable Built Environment, VOL 13, p 809-827. DOI:10.1108/SASBE-07-2022-0152.
- Müller, Pascal, Wonka, Peter, Haegler, Simon, Ulmer, Andreas & Van Gool, Luc (2006), Procedural Modeling of Buildings. *ACM Transactions on Graphics*, 25, no. 3: 614–623. DOI:10.1145/1141911.1141931.

- Nauata, Nelson, Chang, Kai-Hung, Cheng, Chin-Yi, Mori, Greg & Furukawa, Yasutaka (2020), House-GAN: Relational Generative Adversarial Networks for Graph-constrained House Layout Generation, European Conference on Computer Vision. https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.06988.
- Newton, David William (2019), Generative Deep Learning in Architectural Design. Technology|Architecture + Design. 3. DOI:10.1080/24751448.2019.1640536.
- Özerol, Gizem, Arslan Selçuk, Semra (2022), Machine learning in the discipline of architecture: A review on the research trends between 2014 and 2020. International Journal of Architectural Computing. 21(1):23-41. https://doi.org/10.1177/14780771221100102
- Purcell, A. Terry & Gero. John S. (1998), "Drawings and the design process." Design Studies 19: 389-430. DOI:10.1016/S0142-694X(98)00015-5.
- Radford, Alec, Metz, Luke, Chintala, Soumith (2015), Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks. In Proceedings of the Fourth InternationalConference on Learning Representations, 1–16. San Juan, Puerto Rico, May 2–4. DOI:10.48550/arXiv.1511.06434.
- Russell, Stuart.J & Norvig, Peter (2010), Artificial Intelligence: A Modern Approach. Third Edition. Boston: Pearson Education, Artificial Intelligence, 175, 935-937. DOI:10.1016/j.artint.2011.01.005.
- Stiny, George (1980), "Introduction to Shape and Shape grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design* 7 (3): 343–351. DOI:10.1068/b070343.
- Tsialiamanis, George, Wagg, David.J, Dervilis, Nikolaos & Worden, Keith Worden (2021), On generating parameterized structural data using conditional generative adversarial networks. *ArXiv, abs/2203.01641*. DOI:10.1007/978-3-030-76004-5_6.
- Turrin, Michela, Peter von Buelow and Rudi Stouffs (2011), "Design Explorations of Performance Driven Geometry in Architectural Design Using Parametric Modeling and Genetic Algorithms." Advanced Engineering Informatics 25, no. 4: 656–675. DOI:10.1016/j.aei.2011.07.009.
- Visser Willemien (2006), The cognitive artifacts of designing. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. DOI:10.1016/j.destud.2007.04.005.
- Wang, Shidong, Wei Zeng, Xi Chen, Yu Ye, Yulin Qiao & Chi-Wing Fu (2023),"ActFloor-GAN: Activity-Guided Adversarial Networks for Human-Centric Floorplan Design" in IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics, vol. 29, no. 03, pp. 1610-1624. DOI:10.1109/TVCG.2021.3126478.
- Wang, Lufeng, Zhou, Xuhong, Liu, Jiepeng & Cheng, Guozhong (2024), Automated layout generation from sites to flats using GAN and transfer learning. Automation in Construction, 166, 105668. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105668.
- Wang, Ting-Chun, Liu, Ming-Yu., Zhu, Jun-Yan & Tao, Andrew, Kautz, Jan & Catanzaro, Bryan (2018), "High-Resolution Image Synthesis and Semantic Manipulation with Conditional GANs," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 8798-8807. DOI:10.1109/CVPR.2018.00917.
- Whitley, Darrell (1991), "Fundamental Principles of Deception in Genetic Search." *Foundations of Genetic Algorithms* 1: 221–241. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-050684-5.50017-3.
- Wortmann, Thomas (2017), "Model-Based Optimization for Architectural Design: Optimizing Daylight and Glare in Grasshopper." Technology|Architecture + Design 1, no. 2: 176–185. DOI:10.1080/24751448.2017.1354615.

- Xu, Jungang, Li, Hui & Zhou, Shilong (2015), "An Overview of Deep Generative Models." *IETE Technical Review* 32, no. 2: 131–139. https://doi.org/10.1080/02564602.2014.987328.
- Zhao, Chaowang, Yang, Jian, Xiong, Wuyue & Li, Jiatong (2021), Two Generative Design Methods of Hospital Operating Department Layouts Based on Healthcare Systematic Layout Planning and Generative Adversarial Network. J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.) 26, 103–115. https://doi.org/10.1007/s12204-021-2265-9.
- Zheng, Hao, & Yuan, Philip. F (2021), A generative architectural and urban design method through artificial neural networks. Building and Environment, 205, 108178. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108178.
- Zheng, Hao, An, Keyao, Wei, Jingxuan & Ren, Yue (2020), Apartment Floor Plans Generation via Generative Adversarial Networks. In Proceedings of the RE: Anthropocene, Design in the Age of Humans: Proceedings of the 25th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2020), Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. DOI:10.52842/conf.caadria.2020.2.599
- Zheng, Zhaohua & Petzold, Frank (2023), Neural-guided room layout generation with bubble diagram constraints. Automation in Construction. 154. 104962. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104962.

JISAUD
Journal of Interdisciplinary Studies in Architecture and Urbanism Development
Islamic Azad University, Tabriz Branch

Volume 4, Issue 1, Spring & Summer 2025
DOI: 10.71882/jisaud.2025.1126123

Utilizing Machine Learning in the Architectural Design Process: Exploration of Generating Diverse Spatial Layout Designs Using Generative Adversarial Networks[1]

Mahsa Hamouni[2], Hossein Soltanzadeh*[3], Seyed Hadi Ghoddusifar[4], Muharram Mansoorizadeh[5]

(Receive Date: 09 July 2024 Revise Date: 21 August 2024 Accept Date: 23 October 2024)

Research Article

Abstract

Introduction: Artificial intelligence technology has become an influential and trending topic in the field of architectural layout design. The core technology of artificial intelligence, machine learning, has attracted the attention of architects as a decision-making tool. Numerous design-related disciplines could be significantly impacted by the capacity of this emerging field to learn from examples and extrapolate that knowledge into the creation of new instances. As a machine learning model, the generative adversarial network (GAN) has demonstrated remarkable outcomes in the development of spatial layouts within defined boundaries. Recently, relevant studies have applied GAN to layout generation and proved its effectiveness. However, these approaches typically generate a single output for each input condition. However, this paper has a new approach to generate a variety of space layout designs with more than one output for a given boundary. The main idea of this study is to control the generated results by using the bubble diagram so that we can have a diversity layout according to the same boundary conditions. The bubble diagram conditions allow designers to generate layout plans by satisfying both input boundary and user requirements.

Methodology: For this purpose, a specific dataset is prepared. The dataset consists of 660 apartment plans in Hamadan. Each space is labeled with a specific color during data preparation. The color-labeled images are utilized to extract the bubble diagram. By providing the bubble diagram images as supplementary conditions during training, the goal of the experiment is to determine how adding conditions to the c-GAN model affects it. To do this, a directory holding the bubble diagram images that serve as extra conditions is loaded by modifying the data loader. The two input tensors from an image pair consisting of an input and a condition image are concatenated along the C dimension to create a new tensor of shape 2C. The condition image was stacked on the input image.

Results: After completing the process of training the model with dataset, we test the model by using the test set. The outputs of the model are evaluated based on quantitative and qualitative methods. The results show that the generated layouts are relatively ideal. The bubble diagram provides users with information about what is included in the synthetic space layout plans, and the generated plans also adhere to the boundaries of buildings. This indicates that the bubble diagram conditions defining the location and area of particular types of rooms provide further guidance to the model.

Conclusion: This research enables designers to control the results and participate in the process of machine learning generative design. Within the same building boundaries, users can generate different floor plan layouts by giving various bubble diagrams. Consequently, it appears that these conditions are beneficial for the generation floor plan, both in terms of training and model flexibility. Feeding these conditions is useful if the designer wants to interact with the model.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Artificial intelligence, Generative adversarial network, space layout, bubble diagram

[1] This article is part of "Mahsa Hamouni" Ph. D. thesis entitled: "Investigating a generative model of architectural layout design based on deep neural networks" under the supervision of Dr. Hossein Soltanzadeh and with guidance from Dr. Hadi Ghoddusifar and Dr. Muharram Manssorizadeh at the Islamic Azad University, South Tehran Branch, Iran.

[2] PhD Student, Department of Architecture, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.
[3] Professor, Department of Architecture, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding author). hos.soltanzadeh@iauctb.ac.ir
[4] Assistant Professor, Department of Architecture, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[5] Associate Professor, Department of Computer Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.