Archive of SID
ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2020.154406.1717

الگوریتم سی‌گَن در تولید نقشه حرارتی جانمایی فضایی در طراحی معماری*

مرتضی رهبر[۱]- محمدجواد مهدوی‌نژاد[۲]- محمدرضا بمانیان[۳]- امیرحسین دوائی‌مرکزی[۴]**

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
۲. استاد گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
۳. استاد گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۴. استاد گروه مکاترونیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۰۹ تاریخ اصلاحات: ۹۷/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۰/۱۹ تاریخ انتشار: ۹۹/۰۹/۳۰

چکیده

نقشه‌های جانمایی فضایی همواره به‌عنوان یکی از اولین مراحل فرآیند طراحی معماری مورد توجه معماران بوده است. چارچوب نظریه معماری سرآمد تأکید دارد که ساختار توپولوژیک و هندسی این نقشه‌ها برگرفته از مفاهیم پنهانی است که خود تحت تأثیر متغیرهای عینی و ذهنی شکل گرفته‌اند. بر اساس فرض پژوهش، نقشه‌های جانمایی فضایی تابع الگوهای نهانی هستند که مبانی شکل‌گیری آن‌هاست. استفاده از قدرت محاسباتی رایانه‌ها برای کمک در پیش‌بینی چیدمان جانمایی فضاها همواره از موضوعات چالش برانگیز در معماری معاصر و چشم‌اندازی برای معماری آینده بوده است. در این مقاله، از روش‌های داده‌محور هوش مصنوعی برای تولید نقشه‌های حرارتی جانمایی فضایی استفاده شده است. روش طراحی شده، برخلاف روش‌های متداول که سعی در تعریف پلان‌های جانمایی بر اساس روابط ریاضیاتی محض دارند، سعی دارد تا با رویکردی طراحی‌مبنا، تابع تولید چیدمان فضایی را برگرفته از تجربه طراحی الگوهای موفق قرار دهد. در این راستا یک مجموعه سیصد پلان جانمایی آپارتمان‌های تهران جمع‌آوری شده است. پلان‌ها در ابعاد مساحتی متفاوت و همه منطبق بر ضوابط طراحی انتخاب شده‌اند. سپس نقشه‌های حرارتی جانمایی این پلان‌ها تهیه شده و چهار نوع تصویر ورودی مختلف برای آموزش مدل هوش مصنوعی تهیه شده است. در این پژوهش از الگوریتم سی‌گَن به‌عنوان یکی از کارآمدترین الگوریتم‌های مولد هوش مصنوعی استفاده، و بر اساس الگوهای جانمایی تهیه شده آموزش داده شده است. این الگوریتم توانایی تنظیم تابع نگاشت، جهت تولید تصویر هدف بر اساس تصویر ورودی را دارد. پس از تکمیل فرآیند آموزش مدل هوش مصنوعی، نقشه‌های حرارتی چیدمان فضایی ده آپارتمان جدید توسط هوش مصنوعی تولید شده و کیفیت جواب‌های پیش‌بینی شده بر اساس پنج ضابطه از پیش تعریف شده ارزیابی شده است. الگوی پیشنهادی پژوهش با انگاره رویکرد طراحی مبنا به فناوری‌های نوین ساختمانی مانند: کاربرد ابرداده‌ها، یادگیری عمیق، یادگیری ماشینی، بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی، و انرژی- دیدکارایی هماهنگی دارد.

واژگان کلیدی: هوش مصنوعی، معماری سرآمد، معماری معاصر، طراحی داده محور، معماری آینده.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «الگوریتم جدید طراحی مولد در جانمایی فضایی معماری» با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسندگان سوم و چهارم در دانشگاه تربیت مدرس بوده که در سال ۱۳۹۷ به انجام رسیده است.

** E_mail: mahdavinejad@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

تحولات چشمگیر معماری معاصر ایران و جهان، نمایانگر ظهور گرایش‌های نوین رایانشی در فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری است (Caetano & Leitão, 2020). فناوری‌هایی که بر اساس پیشرفت رایانه‌های نوین در دسترس طراحان قرار گرفته (Mahdavinejad & Hos-seini, 2019) و تحولات چشمگیری را در فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری ایجاد کرده‌اند (Mahdavinejad, 2017). ورود فناوری‌های رایانشی به فرآیند طراحی معماری از یک سو چالش‌آفرین (Mahdavinejad, 2014) و از سویی دیگر امیدوارکننده بوده است (Mahdavine-jad, Zia, Larki, Ghanavati, & Elmi, 2014). تا جایی که تعامل و تقابل ظرفیت‌های رایانه با کیفیت در طراحی معماری، به مبحثی مهم در ادبیات موضوع تبدیل شده است (Pramanik, Mukherjee, Pal, Pal, & Singh, 2020). به عبارت دیگر رشد فناوری در عمل به پیچیده‌تر شدن فرآیند طراحی معماری منتهی شده است (Ansa-rimanesh, Nasrollahi, & Mahdavinejad, 2019). تلاش برای دست‌یابی به الگوهای دارای فرم (Hadian-pour, Mahdavinejad, Bemanian, Haghshenas, & Fallahtafti, 2019) و جهت‌گیری بهینه (Kordjamshidi, 2015 & Mahdavinejad, 2015)، انرژی- دیدکارایی (Pile-chiha, Mahdavinejad, Rahimian, Carnemolla, & Seyedzadeh, 2020)، هماهنگی هرچه بیشتر با سایت (Saadatjoo, Mahdavinejad & Zhang, 2018) و محیط پیرامون (Hadianpour, Mahdavinejad, Bemanian, & Nasrollahi, 2018)، الگوی ساختمانی کارآمد (Javan-roodi, Nik, & Mahdavinejad, 2019)، تناسب فضاهای پر و خالی (Mahdavinejad & Javanroodi, 2014) و هماهنگی فرم و هندسه (Javidmehr & Hashempour, 2019)؛ همه و همه کاربردهای رایانه در فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری را افزیش داده است.

بیان مسأله در این پژوهش به تبیین الگویی کارآمد برای موضوع جانمایی رایانشی فضای معماری اختصاص دارد. در این مساله، هدف تعریف الگوریتمی است که بتواند جانمایی (چیدمان فضا) را با توجه به قواعد توپولوژیکی و هندسی آن ارائه کند. این قواعد به عوامل عینی و ذهنی گوناگونی وابسته‌اند. عوامل عینی عواملی هستند که می‌توان آن‌ها را به‌صورت توابع عینی عددی تعریف کرد، مثل برنامه معماری، بازدهی انرژی پروژه، مقررات شهرداری، استانداردهای طراحی، اولویت‌های کارفرما و غیره. در مقابل، عوامل غیرعینی به ذهنیت طراح مربوط می‌شوند. این عوامل، بیشتر از این‌که تابع قوانین عددی باشند، به تجربه طراح وابسته‌اند.

شکل ۱: پلان ساده یک آپارتمان (سمت چپ). نمایش تخصیص فضا با رنگ‌بندی (وسط)، ارتباط توپولوژیکی فضاها (سمت راست)

(a) پلان معماری (b) چیدمان جانمائی فضائی (c) گراف چیدمان فضا

در پلان ساده آپارتمان (شکل ۱)، نمایش تخصیص فضا با رنگ‌بندی و گراف توپولوژیکی ارتباط فضایی نشان داده شده است. در نمایش تخصیص فضا، هر دو قواعد توپولوژیکی و هندسی رعایت شده است. ابعاد اتاق‌ها، مساحت و تناسباتشان از قواعد هندسی محسوب می‌شوند؛ سلسله مراتب چیدمان فضایی نیز یک قاعده توپولوژیکی محسوب می‌شود. هردوی این قواعد برآیند عوامل عینی و ذهنی هستند.

۲. روش پژوهش

پیشینه روش‌شناختی پژوهش بر مبنای رویکردی الگوریتمی به فرآیند طراحی معماری استوار است (Ziaee, Moztarzadeh & Movahec, 2020). معماری رایانشی علاوه بر جنبه‌های شکلی، جنبه‌های محتوایی در فرآیند طراحی (Herthogs, Debacker, Tunçer, De Weerdt, & De Temmerman, 2019) و اجرای آثار معماری را نیز تحت تأثیر قرار داده است (Mahdavinejad & Re-falian, 2011). توسعه ابزارهای نحو فضا (Bassett, 2020)، بهینه‌سازی فرآیند (Talaei & Mahdavinejad, 2019)، منطق اجتماعی (Dousti, Varij Kazemi & Behzad-far, 2018) و مکان‌یابی ترکیبی (Hajian, Alitajer, & Mahdavinejad, 2020) ظرفیت‌های جدیدی را در اختیار

www.SID.ir

پژوهش قرار داد (Mahdavinejad & Shahri, 2015).
بر اساس الگوی روش‌شناسی منتخب فرض می‌شود که هر نمایش تخصیص رنگ در فضا نشان‌دهنده قواعد توپولوژیکی و هندسی آن فضا است که خود برآیند عوامل عینی و ذهنی بوده (Talaei, Mahdavinejad & Azari, 2020) و در اصل مفاهیمی نهفته در جانمایی‌ها فضاها محسوب می‌شوند (Rahbar, Mahdavinejad, Bemanian, & Davaie Markazi, 2019). ازاین‌رو، به‌جای استفاده از مدل بهینه‌سازی قاعده محور، از روش مدل‌سازی پیش‌بینی داده‌محور استفاده می‌شود (Ziaee, Moztarzadeh, & Movahec, 2020). به‌طور ویژه، شبکه مولد تخاصمی شرطی (Isola, Zhu, Zhou, & Efros, 2017) با مجموعه داده ویژه‌ای آموزش داده می‌شود (Zhu, Park, Isola & Efros, 2017). از زمان ارائه شبکه‌های مولد تخاصمی یا گَن در مقاله آیِن گودفلو (Goodfellow, Pouget-Abadie, Mirza, Xu, Warde-Farley, Ozair & Bengio, 2014) در سال ۲۰۱۴، انواع مختلفی از این شبکه‌ها برای حل مسائل مختلف پیشنهاد شده است (Nisztuk & Mysz-kowski, 2019). شبکه‌های مولد تخاصمی شرطی یا سی‌گَن‌ها یکی از شاخه‌های مهم تحقیقاتی در این زمینه محسوب می‌شود (Rahbar, Mahdavinejad, Bemanian & Davaie Markazi, 2020). در این پژوهش، الگوریتم سی‌گَن با مجموعه داده‌های مشخصی آموزش داده می‌شود و می‌تواند برای پیش‌بینی احتمال تخصیص فضا در یک پلان مشخص با ارائه نقشه‌های حرارتی جانمایی فضایی به‌کار رود.

هدف اصلی پژوهش پیشنهاد روشی کاربردی برای پیش‌بینی احتمال جانمایی تخصیص فضا و ارائه نقشه‌های حرارتی جانمایی فضایی با توجه به فرآیندهای داده‌محور، است. نقشه‌های تولید شده می‌توانند در مراحل اولیه طراحی مورد استفاده قرار بگیرند. این نقشه‌های حرارتی به هیچ عنوان در حوزه تولید پلان محسوب نمی‌شوند و بیانگر احتمال حضور یک فضا در یک ناحیه از طراحی است. معمار مخاطب از این نقشه‌ها به‌عنوان راهنما در تولید پلان‌های معماری استفاده می‌کند. روش و نتایج مربوط به نمایش ویژگی‌های مختلف سطح پایین (رنگ پیکسل تصاویر ورودی مدل هوش مصنوعی) می‌تواند در مسائل دیگر معماری که مبتنی بر احتمالات است، استفاده شود. نوآوری‌های تحقیق عبارت‌اند از:

- تولید مجموعه داده مشخص جانمایی معماری برای آموزش مدل هوش مصنوعی و ارائه مدل پیش‌بینی جانمایی فضایی بر اساس اصول داده محور،

$$\mathcal{L}_{cGAN}(G.D) = \mathbb{E}_{x.y}[\log D(x.y)] + \mathbb{E}_{x.z}[\log\left(1 - D\left(x.G(x.z)\right)\right)]$$

در این فرمول، شبکه G سعی در کمینه کردن تابع هدف و شبکه D سعی در بیشینه کردن جواب تابع هدف دارد. به این رقابت، بازی کمینه- بیشینه می‌گویند. برخی پژوهشگرهای حوزه هوش مصنوعی به این تابع هدف، یک تابع دیگری به نام فاصله L2 نیز اضافه می‌کنند که شبکه مولد G را وادار به تولید تصاویر واقعی‌تر و همزمان فریب

- آموزش cGAN برای تولید نقشه‌های حرارتی احتمال جانمایی فضا و
- بررسی ویژگی‌های مختلف سطح پایین تصاویر ورودی مدل هوش مصنوعی جهت دستیابی به پاسخ‌های بهتر.

در حوزه طراحی جانمایی معماری با «لایه‌های مفهومی پنهان» سرکار داریم. در تقسیم‌بندی مفهومی، هر پیکسل از عکس مبدأ با پیکس معادل در عکس مقصد در ارتباط است ولی در مفاهیم پنهان، رابطه مشخصی بین پیکسل مبدا و مقصد وجود ندارد.

در اینجا سؤال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان الگوریتمی رو تعریف کرد که بر اساس خط بیرونی (محیطی) فضای معماری، چیدمان فضاهای مورد نظر را پیشنهاد دهد. در این مورد دیگر رابطه مستقیمی بین پیکسل‌های دو تصویر ورودی و خروجی وجود ندارد و در عوض الگوریتم باید بر اساس روابط توپولوژیک و هندسی برای جانمایی فضاها تصمیم‌گیری کند. در این پژوهش، از الگوریتم شبکه‌های مولد تخاصمی شرطی به‌عنوان محور آزمایش و شبیه‌سازی فرآیند هوش انسانی استفاده شده است. داده‌های موجود بیشتر مناسب اهداف تقسیم‌بندی فضاها در الگوریتم‌های تناظر پیکسلی هستند. لذا برای پیشبرد این پژوهش، یک مجموعه ۳۰۰ داده اختصاصی از آپارتمان‌های تهران آماده‌سازی شد که در بخش‌های بعدی به‌طور مفصل توضیح داده خواهد شد.

۳. یافته‌ها و نتایج

شبکه‌های مولد تخاصمی شرطی یا الگوریتم سی‌گَن از الگوریتم‌های مولد هوش مصنوعی بوده که از دو شبکه رقیب تشکیل شده است. اولین شبکه آن یک مدل مولد است با نام G که وظیفه تولید داده‌های مصنوعی را بر عهده دارد. و دومین شبکه یک مدل ممیز با نام D است که وظیفه تشخیص داده‌های تولید شده مصنوعی و داده‌های آموزشی واقعی را بر عهده دارد. شبکه مولد G یک تابع نگاشت از یک بردار اولیه رندم به نام z و تصویر ورودی x به تصویر خروجی مصنوعی را می‌سازد. این تابع می‌تواند ترکیب هر بردار رندم و عکس ورودی را به یک تصویر خروجی مصنوعی تبدیل کند. شبکه ممیز D می‌تواند تشخیص واقعی و مصنوعی بودن تصویر ورودی را به شکل یک عدد بیان کند. این عدد بیانگر احتمال واقعی یا مصنوعی بودن تابع G(x) را بیان می‌کند. هر کدام از این مدل‌ها توابع هدف مختص خود را دارند. تابع هدف نهایی الگوریتم سی‌گَن را می‌توان با این فرمول ارائه کرد:

www.SID.ir

Archive of SID

شبکه D می‌کند. برخی دیگر از پژوهشگرها تابع فاصله L1 را به تابع هدف اصلی اضافه می‌کنند و سعی در کاهش آثار تاری تصویر را دارند. در این پژوهش، از رویکرد فاصله L1 برای کاهش تاری پلان‌های جانمایی تولید شده استفاده شده است. فرمول تابع فاصله L1 و تابع هدف نهایی به شرح زیر است:

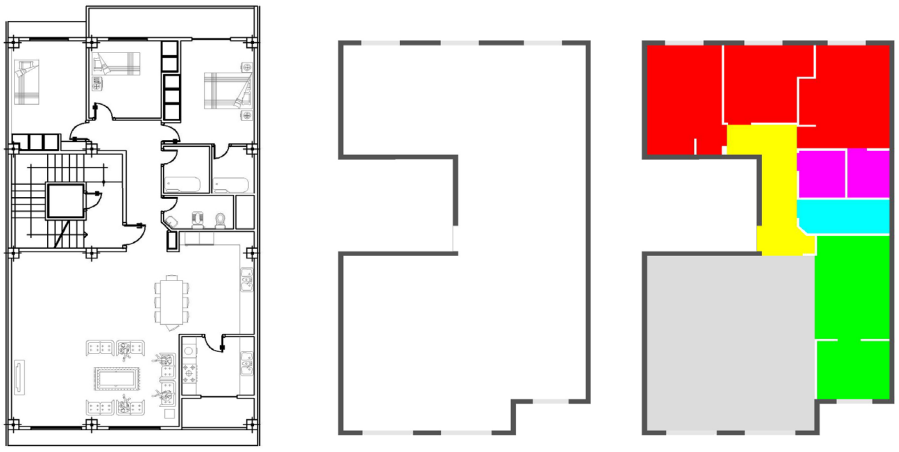
$$\mathcal{L}_{L1}(G) = \mathbb{E}_{x,y,z}[\| y - G(x.z) \|_1]$$

$$G = \arg\min_G \max_D \mathcal{L}_{cGAN}(G.D) + \lambda \mathcal{L}_{L1}(G)$$

الگوریتم سی‌گَن استفاده شده در این پژوهش یک ترجمان تصویر به تصویری است که در فریم‌ورک تنسرفلو[1] گوگل پیاده‌سازی شده است. این الگوریتم، یک شبکه U-Net رو به‌عنوان شبکه مولد G انتخاب کرده و برای شبکه ممیز D از یک مدل طبقه‌بندی‌کننده پچ‌گَن کانولوشنی استفاده می‌کند. نتیجه نهایی شبکه ممیز یک عدد بین ۰ و ۱ است که بیانگر احتمال واقعی و مصنوعی بودن تصویر را ارائه می‌کند.

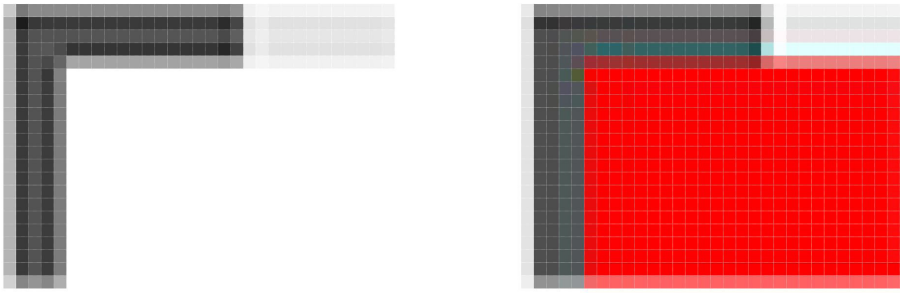
داده‌های آموزشی مدل هوش مصنوعی در این پژوهش بر روی تولید الگوریتمی نقشه‌های حرارتی احتمال جانمایی فضایی در یک فضای محدود از پیش تعریف شده متمرکز است. بر اساس فرآیند آموزش مدل سی‌گَن، داده باید متشکل از جفت تصاویری باشند که تصویر اول مبدا و تصویر دوم هدف را در الگوریتم ترجمه تصویر به تصویر تعریف می‌کند. این مجموعه داده‌های آموزشی بخش مهمی از این پژوهش حاضر است و در این مقاله نحوه تأثیرگذاری اطلاعات نمایشی سطوح پائین بر روی جواب‌های ایجاد شده مطالعه می‌شود. هر داده آموزشی یک تصویر ورودی از یک محدوده معماری با درب ورودی و پنجره‌های مشخص شده است و تصویر خروجی یک نقشه جانمایی فضایی است که با استفاده از رنگ‌ها که بیانگر فضاهای مختلف هستند، ارائه شده است. تصویر اول به‌عنوان تصاویر x به الگوریتم داده می‌شود و تصاویر دوم به‌عنوان تصاویر هدف واقعی به الگوریتم داده می‌شود. فرآیند آموزش سی‌گَن در اصل تنظیم پارامترهای متغیر دو شبکه مولد G و ممیز D است به گونه‌ای که شبکه مولد بتواند تصویر ورودی را به تصویر هدف از طریق تابع نگاشت خود تبدیل کند. در این پژوهش ۳۰۰ عدد پلان آپارتمانی شهر تهران به‌عنوان داده‌های آموزشی هوش مصنوعی آماده شده است.

شکل ۲: برچسب زدن پلان‌های معماری برای آموزش مدل هوش مصوعی سی‌گَن (چپ: پلان اصلی، وسط: تصویر ورودی، راست: تصویر برچسب گذاری شده خروجی)



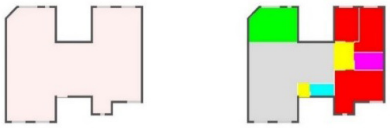
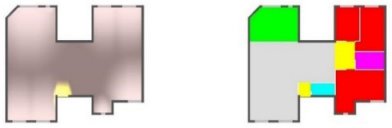
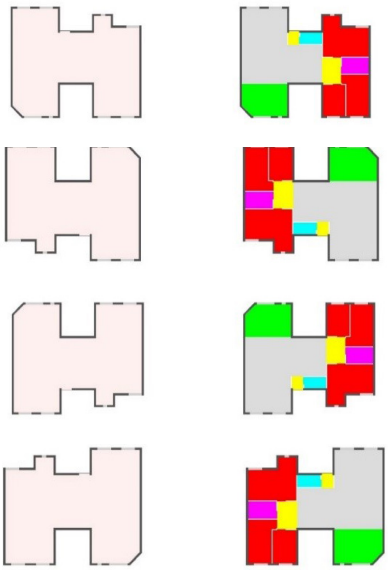
فرآیند تولید داده‌های آموزشی مدل هوش مصنوعی که هر داده متشکل از دو تصویر ورودی و خروجی است (شکل ۲). در سمت چپ تصویر، پلان اصلی آپارتمان دیده می‌شود. در وسط تصویر ورودی مدل سی‌گَن نمایش داده شده است. در این مرحله تراس‌ها، پلکان و ستون‌ها حذف شده‌اند. رنگ‌های آر-جی-بی در اصل مقادیر سطح پایینی هستند که شبکه بر اساس آن‌ها آموزش می‌بینند. در فرآیند آموزش سی‌گَن، شبکه یاد می‌گیرد که چگونه یک تصویر ورودی را به تصویر خروجی تبدیل کند (شکل ۳). چهار نوع مختلف از ارائه داده‌های آموزشی مدل هوش مصنوعی نمایش داده شده است (جدول ۱).

شکل ۳: آموزش پیکسل‌های متناظر در سی‌گَن



www.SID.ir

جدول ۱. چهار نوع مختلف داده‌های آموزشی برای آزمایش کارایی آن‌ها در پیش بینی جانمایی فضایی

	توضیحات اطلاعات سطوح پایین	نمونه جفت تصویر برای آموزش مدل هوش مصنوعی سی‌گَن
۱	استفاده از رنگ کرمی برای فضای داخل و مشخص کردن درب ورودی با یک خط ضخیم مشکلی	
۲	استفاده از رنگ کرم تیره برای فضای داخل و مشخص کردن درب ورودی به رنگ زرد	
۳	استفاده از رنگ‌های طیفی برای تأکید بر محل دریافت نور طبیعی و مشخص کردن فضای ورودی از طریق ایجاد یک طیف رنگی زرد در محل درب ورودی	
۴	استفاده از تکنیک تقویت داده‌ها، در این روش هر پلان در دو جهت اصلی آینه شده و مجموعه تعداد داده‌های آموزش تا ۴ برابر افزایش پیدا کرده است.	

بخشی از مجموعه داده‌های آموزشی سوم ارائه شده (شکل ۵) که ابعاد هر آپارتمان منطبق بر مساحت آن است. دیوار محیطی هر پلان نیز بر اساس ضخامت ۲۰ سانتی‌متر تنظیم شده است تا تفاوتی در ضخامت دیوارهای بین داده‌های آموزشی وجود نداشته باشد. مدل سی‌گَن بر روی هر چهار مجموعه به صورت مجزا آموزش داده شده است. آموزش مدل هوش مصنوعی سی‌گَن بخش مهمی از دستاوردهای پژوهش است. بر اساس چهار گونه داده‌های آموزشی فراهم شده، چهار بار فرآیند آموزش مدل هوش مصنوعی انجام شده است. هر کدام از این مدل‌های آموزش داده شده توانایی تولید پلان‌های جانمایی فضایی مصنوعی را دارند.

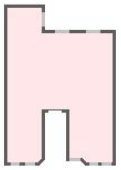
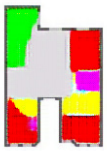
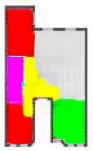
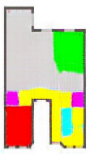
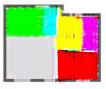
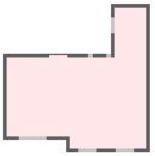
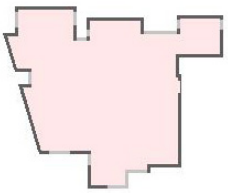
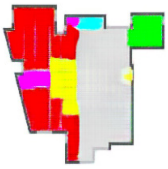
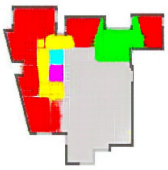
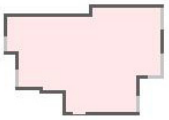
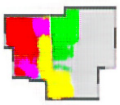
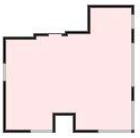
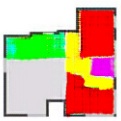
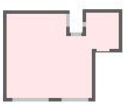
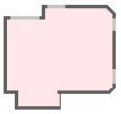
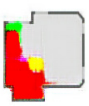
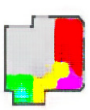
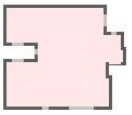
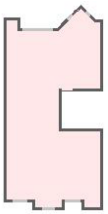
شبکه ممیز D می‌تواند تصویر واقعی از مصنوعی را تفکیک دهد. شبکه مولد G نیز سعی می‌کند تا با تولید داده‌های مصنوعی شبیه به واقعی شبکه ممیز D را فریب دهد. در این پژوهش، معماری هر دو شبکه منطبق با پژوهش ایزولا (Isola, Zhu, Zhou, & Efros, 2017) انتخاب شده است. شبکه مولد G یک شبکه U-Net است و شبکه ممیز D یک الگوریتم طبقه‌بندی از نوع پچ‌گَن است که برای تشخیص واقعی یا مصنوعی بودن یک تصویر تنها بخش کوچکی از تصویر را تحلیل می‌کند؛ لذا سرعت محاسباتی بالاتری دارد و امکان تحلیل تصاویر با مقیاس‌های بزرگ‌تر را فراهم می‌کند.

پلان‌های تولید شده نهائی ارائه شده است (جدول ۲). مهم‌ترین ضابطه ارزیابی مدل هوش مصنوعی، بررسی این اصل است که کدام مدل توانسته قواعد پنهان طراحی پلان را بهتر آموزش ببیند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج مستخرج از آزمایش مدل‌ها

	پلان ورودی	اولین مدل آموزش دیده	دومین مدل آموزش دیده	سومین مدل آموزش دیده	چهارمین مدل آموزش دیده
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					

www.SID.ir

تمامی مدل‌های آموزشی موجود (جدول ۲) منطبق بر داده‌های آموزشی ارائه شده (جدول ۱) است. ستون پلان ورودی، مجموعه ده پلان آزمایش شده بر روی مدل‌های آموزش دیده را نمایش می‌دهد. جواب‌های مصنوعی تولید شده باید بر اساس ضوابط توپولوژیک و هندسی مورد ارزیابی قرار بگیرند. در این راستا، پنج ضابطه «طراحی خطوط صاف»، «ابعاد فضا»، «تناسبات مساحتی فضاها»، «تشخیص ورودی» و «منطق جانمایی فضایی» بر روی هر مدل تحلیل شده است. ضابطه «طراحی خطوط صاف» به بررسی کیفیت جواب‌های حاصله در زمینه ترسیم خطوط صاف هر فضا می‌پردازد. به این معنی که چقدر مدل آموزش دیده قابلیت تولید داده مصنوعی با خطوط صاف را دارد. ضابطه «ابعاد فضا» به بررسی توانمندی مدل آموزش دیده در تولید فضاها با ابعاد قابل قبول می پردازد. ضابطه «تناسبات مساحتی فضاها» به بررسی تناسبات مساحت هر فضا نسبت به فضاهای دیگر می پردازد. برای مثال در یک آپارتمان کوچک، چقدر به فضای پذیرائی و چقدر به فضای اتاق خواب‌ها اختصاص داده شده است. ضابطه «تشخیص ورودی» به بررسی توانمندی مدل‌ها در تشخیص ورودی و قرار دادن لابی ورودی در محل درست می‌پردازند. ضابطه «منطق جانمایی فضایی» به بررسی توانمندی یک مدل در ایجاد ساختار درست توپولوژیک می‌پردازد. این ساختار توپولوژیک وابسته به محل بازشوها و پنجره‌ها نیز می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳. ارزیابی هر یک از نقشه‌های حرارتی جانمایی فضایی تولید شده توسط مدل‌های هوش مصنوعی

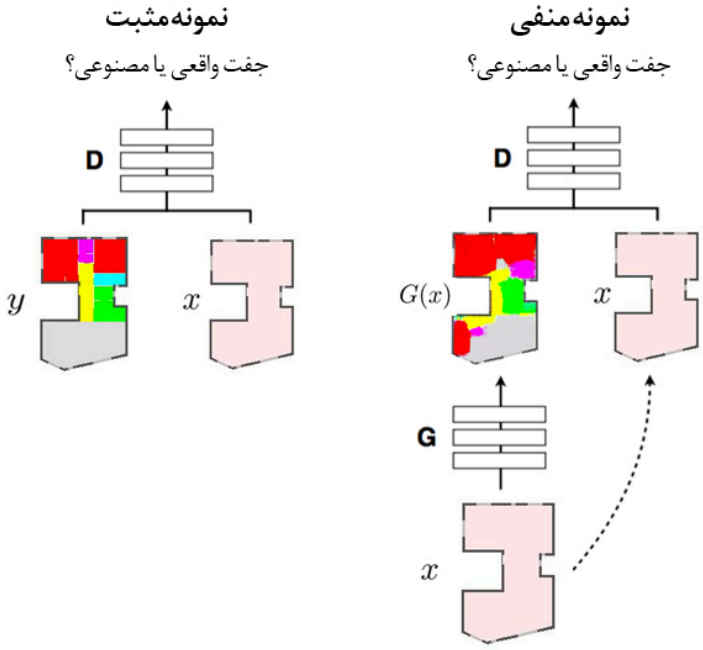
	اولین مدل آموزش دیده				دومین مدل آموزش دیده				سومین مدل آموزش دیده				چهارمین مدل آموزش دیده			
	طراحی خطوط صاف	ابعاد فضاها	تناسبات مساحتی هر فضا	تشخیص ورودی	منطق جانمایی فضایی	طراحی خطوط صاف	ابعاد فضاها	تناسبات مساحتی هر فضا	تشخیص ورودی	منطق جانمایی فضایی	طراحی خطوط صاف	ابعاد فضاها	تناسبات مساحتی هر فضا	تشخیص ورودی	منطق جانمایی فضایی
۱	۳	۴	۴	۳	۴	۴	۲	۲	۳	۳	۲	۵	۴	۵	۵	۲
۲	۵	۴	۴	۲	۴	۴	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۵	۵	۴	۳
۳	۵	۴	۴	۲	۵	۳	۲	۲	۵	۳	۵	۴	۳	۳	۵	۲
۴	۲	۲	۲	۲	۲	۴	۲	۲	۴	۲	۴	۳	۳	۵	۳	۲
۵	۳	۴	۴	۲	۴	۳	۳	۳	۴	۳	۳	۵	۳	۴	۳	۲
۶	۳	۴	۴	۲	۵	۳	۳	۳	۴	۴	۳	۴	۲	۴	۳	۲
۷	۴	۴	۴	۲	۴	۲	۲	۲	۲	۱	۴	۳	۲	۴	۲	۱
۸	۴	۴	۴	۳	۵	۲	۲	۱	۲	۱	۳	۴	۳	۵	۳	۳
۹	۴	۴	۴	۲	۵	۴	۲	۲	۳	۲	۴	۳	۲	۴	۲	۱
۱۰	۴	۴	۴	۳	۳	۴	۳	۳	۲	۳	۴	۴	۴	۵	۳	۳
Avg.	۳.۷	۳.۸	۳.۸	۲.۳	۴.۱	۳.۳	۲.۵	۲.۳	۳.۳	۲.۶	۳.۷	۳.۳	۳.۳	۴.۶	۳.۵	۳.۶	۲.۸	۲.۷	۳.۲	۲.۱

ده نقشه حرارتی جانمایی فضایی تولید شده توسط چهار مدل هوش مصنوعی آموزش دیده بر اساس ضوابط تعریف شده ارزیابی شده‌اند (جدول ۳). این ارزیابی عددی در مقیاس یک تا پنج بوده و پنج به معنی بهترین حالت و یک ضعیف‌ترین حالت است. مدل آموزش دیده اول بهترین ارزیابی را در ضوابط ابعاد فضا، تناسبات مساحتی فضاها و منطق جانمایی فضایی دریافت کرده است و مدل‌های سوم، چهارم و دوم به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. در اولین مدل آموزش دیده از رنگ کرم یک‌دست برای فضای داخل استفاده شده و یک خط ضخیم مشکلی بیانگر درب ورودی است. نتایج حاصله از این مدل بیانگر این موضوع است که این مدل در شبیه‌سازی خطوط صاف بهتر از سایر مدل‌ها عمل کرده و همچنین در جانمایی اتاق خواب‌ها در کنار پنجره‌ها از سایر مدل‌ها موفق‌تر بوده است. همچنین سرویس بهداشتی و حمام را در محلی قرار داده است که نیازی به بازشو پنجره نداشته باشند. اما این مدل در تشخیص فضای ورودی نسبت به مدل سوم بسیار ضعیف‌تر عمل کرده است.

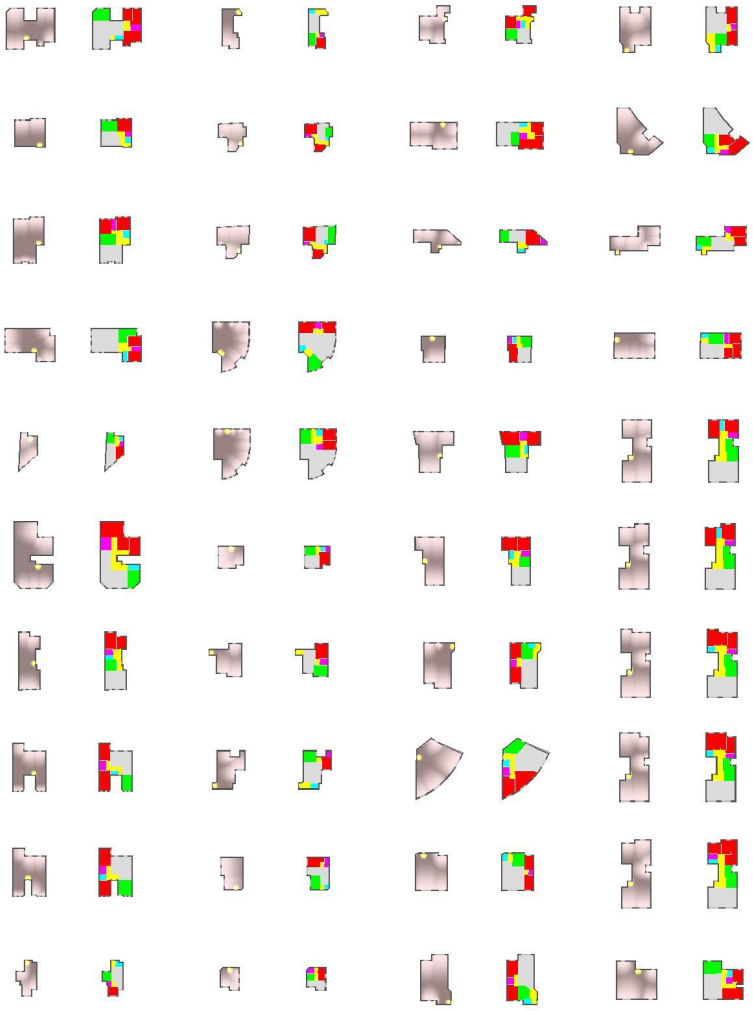
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴: فرآیند آموزش سی‌گَن برای نگاشت تصویر پلان ورودی به تصویر جانمایی فضایی

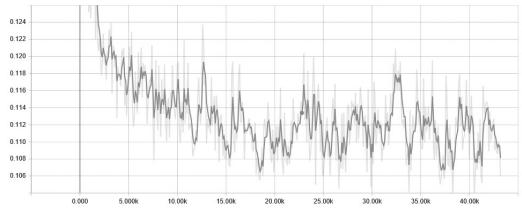


شکل ۵: بخشی از مجموعه داده‌های آموزشی سوم

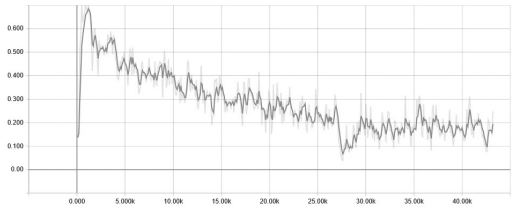


www.SID.ir

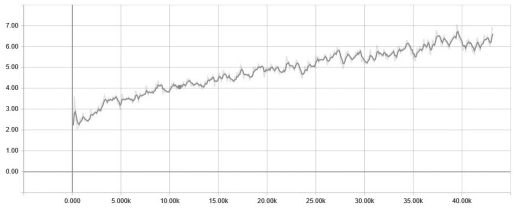
شکل ۶: نمودار بهینه‌سازی توابع هزینه شبکه مولد و شبکه ممیز به تفکیک مدل‌های آموزش دیده هوش مصنوعی



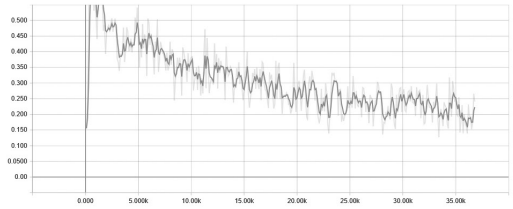
تابع هزینه شبکه مولد اولین مدل آموزش دیده



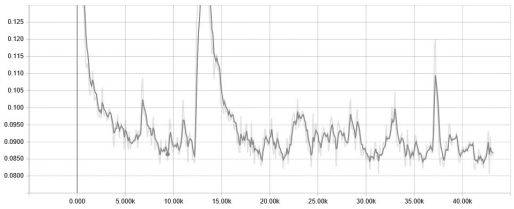
تابع هزینه شبکه ممیز اولین مدل آموزش دیده



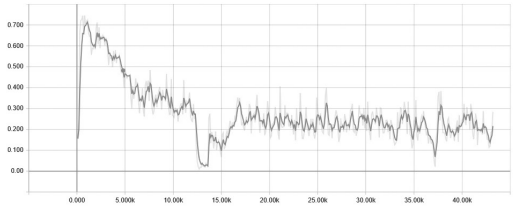
تابع هزینه شبکه مولد دومین مدل آموزش دیده



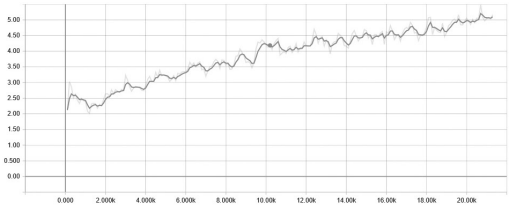
تابع هزینه شبکه ممیز دومین مدل آموزش دیده



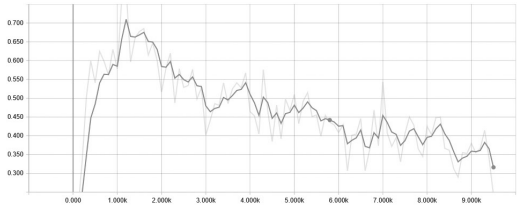
تابع هزینه شبکه مولد سومین مدل آموزش دیده



تابع هزینه شبکه ممیز سومین مدل آموزش دیده



تابع هزینه شبکه مولد چهارمین مدل آموزش دیده



تابع هزینه شبکه ممیز چهارمین مدل آموزش دیده

با توجه به الگوی عملکرد الگوریتم سی‌گن (شکل ۴) نمودار توابع هزینه شبکه مولد G و شبکه ممیز D به تفکیک مدل‌های آموزش دیده هوش مصنوعی بر اساس داده‌های آموزش تهیه شده ارائه شده است (شکل‌های ۵ و ۶). شبکه ممیز D نیز به دنبال ارتقا توانایی تشخیص خود است به گونه‌ای که بتواند به درستی تصاویر واقعی و مصنوعی را از هم دیگر تشخیص بدهد. لذا تابع هزینه شبکه ممیز نیز به هر میزان که موفق‌تر باشد عدد پائین‌تری دارد. این فرآیند بهینه‌سازی پارامترهای متغیر دو شبکه، به تعداد دفعات تعریف شده (ایپاک) انجام می‌شود. در بررسی نمودارها مشخص می‌شود که در مدل‌های دوم و چهارم، نمودار تابع هزینه شبکه مولد افزایشی بوده و نمودار شبکه ممیز کاهشی است. این نشانگر این موضوع است که در این مدل‌های آموزشی شبکه مولد خوبی آموزش دیده نشده و مدل هوش مصنوعی مطلوبی ایجاد نشده است. در این دو مدل، شبکه مولد، قادر به تولید تصاویر نزدیک به واقعیت نیست. اما در دو مدل آموزشی اول و سوم تابع هزینه شبکه مولد کاهشی بوده و نشانگر بهبود الگوریتم مولد در گذر فرآیند آموزش است. با دقت به اعداد حاصله می‌توان عدد ۰.۰۸ را برای تابع هزینه شبکه مولد مدل آموزشی سوم پس از ۲۰۰ ایپاک (لوپ آموزشی هوش مصنوعی) مشاهده کرد که در مقایسه با عدد ۱.۲ مدل اول بیانگر کیفیت به نسبت بهتر مدل سوم نسبت به مدل اول است. در مجموع بر اساس یافته‌های تصویری و ارزیابی ضابطه‌ای و ارزیابی نمودارهای بهینه‌سازی می‌توان مدل سوم را بهترین مدل از لحاظ قدرت تولید نقشه‌های حرارتی جانمایی فضایی ارزیابی کرد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش در عمل تأیید کننده فرضیه اصلی پژوهش در کارایی الگوریتم سی‌گن در تولید نقشه حرارتی جانمایی فضایی در طراحی معماری است، موضوعی که از طریق

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی نحوه استفاده از فرآیندهای داده محور در طراحی نقشه‌های حرارتی جانمایی فضایی در معماری به انجام رسیده است. در این راستا استفاده از مدل هوش مصنوعی سی‌گَن، در عمل موفق بوده است. نتایج حاصل از این مدل‌های آموزشی بیانگر این موضوع است که مدل هوش مصنوعی سی‌گَن، روابط توپولوژیک فضایی را بهتر از قواعد هندسی آموزش دیده است. لذا برای راهنمائی طراحان در مراحل نخستین طراحی مفید است. این موضوع، در پروژه‌های بزرگ‌تر مثل بیمارستان، فرودگاه و تمامی پروژه‌هایی که روابط توپولوژیک پیچیده‌ای دارند اهیمت بیشتری پیدا می‌کند و می‌تواند یک ایده اولیه جانمایی فضایی بر اساس داده‌های آموزش دیده به مخاطب طراح خود ارائه کند. به عبارت دیگر، در الگوواره معماری آینده، توجه همزمان به تمامی عوامل مؤثر بر فرآیند طراحی معماری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. نکته مهم در این فرآیند، ارائه الگوریتمی برای درک تجربیات طراحی گذشته است. طراحی مبتنی بر تجربه یا داده محور می‌تواند در بسیاری از مساله‌های طراحی کمک شایانی به گروه طراحی کند.

پی‌نوشت

1. Tensorflow

www.SID.ir

Archive of SID

REFERENCES

- Ansarimanesh, M., Nasrollahi, N., & Mahdavinejad, M. (2019). Determination of the Optimal Orientation in the Cold Climate Administrative Buildings; Case Study: Kermanshah". *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 12(27), 1-9. https://doi.org/10.22034/AAUD.2019.92428
- Bassett, H. (2020). Space Syntax in Archaeology & Architectural History. Insightlab of University of Virginia, Available from: http://web.arch.virginia.edu/insightlab/student.php?postid=68
- Caetano, I., & Leitão, A. (2020). Architecture Meets Computation: An Overview of the Evolution of Computational Design Approaches in Architecture. *Architectural Science Review*, 63(2), 165-174. https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1680524
- Dousti, F., Varij Kazemi, A., & Behzadfar, M. (2018). A New Reading of Sociable Public Spaces: The Nexus between Urban Design and Microsociology. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 11(22), 39-49.
- Fallahtafti, R., & Mahdavinejad, M. (2015). Optimisation of Building Shape and Orientation for Better Energy Efficient Architecture. *International Journal of Energy Sector Management*, 9(4), 593-618. https://doi.org/10.1108/IJESM-09-2014-0001
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., & Bengio, Y. (2014). Generative Adversarial Nets, Paper presented at the Advances in neural Information Processing Systems. https://doi.org/10.5555/2969033.2969125
- Hadianpour, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., & Nasrollahi, F. (2018). Seasonal Differences of Subjective Thermal Sensation and Neutral Temperature in an Outdoor Shaded Space in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 39, 751-64. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.003
- Hadianpour, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., Haghshenas, M., & Kordjamshidi, M. (2019). Effects of Windward and Leeward Wind Directions on Outdoor Thermal and Wind Sensation in Tehran. *Building and Environment*. (150),164-180. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053
- Hajian, M., Alitajer, S., & Mahdavinejad, M. (2020). The Influence of Courtyard on the Formation of Iranian Traditional Houses Configuration in Kashan. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 13(30), 43-55. DOI: 10.22034/aaud.2020.133667.1554
- Herthogs, P., Debacker, W., Tunçer, B., De Weerdt, Y., & De Temmerman, N. (2019). Quantifying the Generality and Adaptability of Building Layouts Using Weighted Graphs: the SAGA Method. *Buildings*, 9(4), 92. https://doi.org/10.3390/buildings9040092
- Isola, P., Zhu, J.Y., Zhou, T., & Efros, A.A. (2017). Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. Arxiv Preprint. https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.632
- Javanroodi, K., Nik, V.M., & Mahdavinejad, M. (2019). A Novel Design-Based Optimization Framework for Enhancing the Energy Efficiency of High-Rise Office Buildings in Urban Areas. Sustainable Cities and Society, 49, 101597. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101597
- Javidmehr, M., & Hashempour, P. (2019). The Influence of Geometry on the Vitality of Architecture, Case Study: Cultural Centers. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 11(25), 13-26. Available from: http://www.armanshahrjournal.com/article_85043_423f8af188b804edf09faf27929f04ef.pdf
- Mahdavinejad, M. (2014). Dilemma of Prosperity and Technology in Contemporary Architecture of Developing Countries. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 3(2), 35-42. [Persian] Available from: http://journals.modares.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1000-8748&slc_lang=fa&sid=2
- Mahdavinejad, M. (2017). High-Performance Architecture: Search for Future Legacy in Contemporary Iranian Architecture. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 9(17), 129-138. Available from: http://www.armanshahrjournal.com/article_44611_955a20b5cfd1f32308e627ddc8528b91.pdf
- Mahdavinejad, M. (2020). Designerly Approach to Energy Efficiency in High-Performance Architecture Theory. *Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 10(2), 75-83. Available from: http://journals.modares.ac.ir/article-2-41547-fa.htm
- Mahdavinejad, M., & Hosseini, S.A. (2019). Data mining and Content Analysis of the Jury Citations of the Pritzker Architecture Prize (1977–2017). *Journal of Architecture and Urbanism*, 43(1), 71-90. https://doi.org/10.3846/jau.2019.5209
- Mahdavinejad, M., & Javanroodi, K. (2014). Efficient Roof Shapes through Wind Flow and Indoor Temperature, Case Studies: Flat Roofs and Domed Roofs. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 7(12), 55-68. Available from: http://www.armanshahrjournal.com/article_33518_f85664c41afa683f7c7a2cd740478fbe.pdf
- Mahdavinejad, M., & Refalian, G. (2011). Parametric Algorithms for Unity of Architecture and Construction. *Scientific-Research Journal of Iranian Scientific Association of Architecture & Environmental Design*, 2(2), 61-67. DOI: 10.30475/ISAU.2011.61940
- Mahdavinejad, M., & Shahri, S. (2015). Contemporization of Tehran Traditional Architecture by Parametric Algorithm. *Hoviatshahr*, 8(20),31-44. Available from: http://hoviatshahr.srbiau.ac.ir/article_6419_697f157aebfd2e62eeb7b8574b770aeb.pdf

www.SID.ir

Archive of SID

- Mahdavinejad, M., Zia, A., Larki, A.N., Ghanavati, S., & Elmi, N. (2014). Dilemma of Green and Pseudo Green Architecture Based on LEED Norms in Case of Developing Countries. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(2), 235-246. https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.06.003
- Nisztuk, M., & Myszkowski, P.B. (2019). Hybrid Evolutionary Algorithm Applied to Automated Floor Plan Generation. *International Journal of Architectural Computing*, 17(3), 260-283.
- Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Rahimian, F.P., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-Objective Optimisation Framework for Designing Office Windows: Quality of View, Daylight and Energy Efficiency. *Applied Energy*. 261, 114356. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356
- Pramanik, P.K.D., Mukherjee, B., Pal, S., Pal, T., & Singh, S.P. (2020). Green Smart Building: Requisites, Architecture, Challenges, and Use Cases. In Green Building Management and Smart Automation (1-50). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9754-4.ch001
- Rahbar, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., & Davaie Markazi, A.H. (2020). Predicting Environmental Sustainable Parameters with Applying Artificial Neural Network. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 7(2), 169-182. https://doi.org/10.22061/jsaud.2019.4501.1333
- Rahbar, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., Davaie Markazi, A.H., & Hovestadt, L. (2019). Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. *Applied Artificial Intelligence*, 33(8), 689-705. https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1592919
- Saadatjoo, P., Mahdavinejad, M., & Zhang, G. (2018). A Study on Terraced Apartments and Their Natural Ventilation Performance in Hot and Humid Regions. *Building Simulation*, 11(2), 359-372. https://doi.org/10.1007/s12273-017-0407-7
- Talaei, M., & Mahdavinejad, M. (2019). Probable Cause of Damage to the Panel of Microalgae Bioreactor Building Façade: Hypothetical Evaluation. *Engineering Failure Analysis*, 101,9-21. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.060
- Talaei, M., Mahdavinejad, M., & Azari, R. (2020). Thermal and Energy Performance of Algae Bioreactive Façades: A Review. *Journal of Building Engineering*, 28, 101011. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101011
- Zhu, J.Y., Park, T., Isola, P., & Efros, A.A. (2017). Unpaired Image-to-Image Translation Using Cycle-Consistent Adversarial Networks. *In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2223-2232. https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.244
- Ziaee, A., Moztarzadeh, H., & Movahec, K. (2020). The Role of Parametric System in the Analysis of Sim Van Der Ryn's Ecological Architecture Principles in Iranian Plateau. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 13(30), 167-182. https://doi.org/10.22034/aaud.2020.183579.1862

نحوه ارجاع به این مقاله

رهبر، مرتضی؛ مهدوی‌نژاد، محمدجواد؛ بمانیان، محمدرضا و دوائی‌مرکزی، امیرحسین. (۱۳۹۹). الگوریتم سی‌گَن در تولید نقشه حرارتی جانمایی فضایی در طراحی معماری. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۳(۳۲)، ۱۳۱-۱۴۲.

DOI: 10.22034/AAUD.2020.154406.1717

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_120075.html

www.SID.ir