

# الگوریتم سی‌گن در تولید نقشه حرارتی جانمایی فضایی در طراحی معماری\*

مرتضی رهبر<sup>۱</sup> - محمدجواد مهدوی نژاد<sup>۲\*</sup> - محمدرضا بمانیان<sup>۳</sup> - امیرحسین دوائی مرکزی<sup>۴</sup>

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 مکترونیک، 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 پنهانی 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 طراحی مینا، 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 سی‌گن 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 ابر داده‌ها، 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: mahdavejad@modares.ac.ir

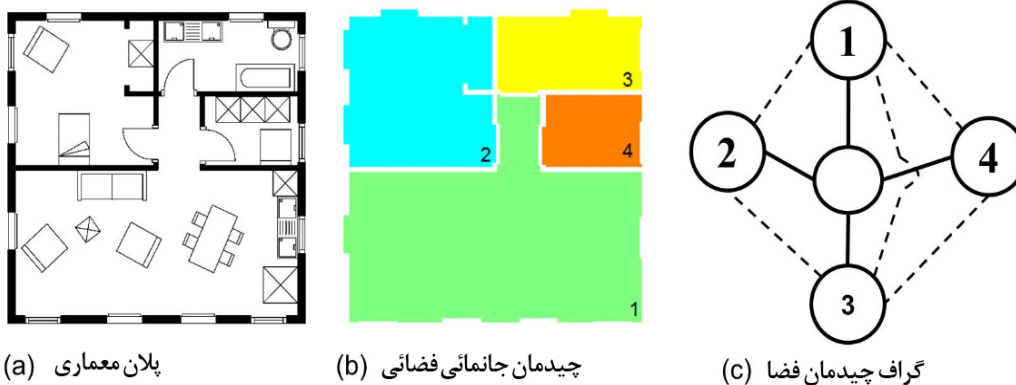
chiha, Mahdavinejad, Rahimian, Carnemolla, & Seyedzadeh, 2020)، هماهنگی هرچه بیشتر با سایت (Saadatjoo, Mahdavinejad & Zhang, 2018) و محیط پیرامون (Hadianpour, Mahdavinejad, Bemanian, & Javan-Nasrollahi, 2018)، الگوی ساختمانی کارآمد (roodi, Nik, & Mahdavinejad, 2019)، تناسب فضاهای پر و خالی (Mahdavinejad & Javanroodi, 2014) و هماهنگی فرم و هندسه (Javidmehr & Hashempour, 2019)؛ همه و همه کاربردهای رایانه در فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری را افزایش داده است.

بیان مسأله در این پژوهش به تبیین الگویی کارآمد برای موضوع جانمایی رایانشی فضای معماری اختصاص دارد. در این مسأله، 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 به صورت 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.

## 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 & Hosseini, 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 سوی دیگر امیدوارکننده بوده است (Mahdavinejad, jad, Zia, Larki, Ghanavati, & Elmi, 2014). تا جایی که تعامل و تقابل ظرفیت‌های رایانه با کیفیت در طراحی معماری، به محثی 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-ri, rimaresh, Nasrollahi, & Mahdavinejad, 2019). تلاش برای دستیابی به الگوهای دارای فرم (Hadianpour, Mahdavinejad, Bemanian, Haghshenas, & Fallahtafti, 2019) و جهت‌گیری بهینه (Kordjamshidi, 2019) دید کارایی (Mahdavinejad, 2015)، انرژی- دید کارایی (Pile-)

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



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 Weerd, & 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 (Talaee & Mahdavinejad, 2019)، منطق اجتماعی (Dousti, Varij Kazemi & Behzad-far, 2018) و مکان‌یابی ترکیبی (Hajian, Alitajer, & Mahdavinejad, 2020) ظرفیت‌های جدیدی را در اختیار

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. هر دوی این قواعد برآیند عوامل عینی و ذهنی هستند.

## ۲. روش پژوهش

پیشینه روش‌شناختی پژوهش بر مبنای رویکردی

- 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 مبدأ 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 تخصصی 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 تخصصی شرطی یا الگوریتم سی‌گن 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 سی‌گن را می‌توان با این فرمول ارائه کرد:

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

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

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). از این‌رو، به‌جای استفاده از مدل بهینه‌سازی قاعده محور، از روش مدل‌سازی پیش‌بینی داده‌محور استفاده می‌شود (Ziaee, Moztarzadeh, & Movahec, 2020). به‌طور ویژه، شبکه مولد تخصصی شرطی (Isola, Zhu, Zhou, & Efros, 2017) با مجموعه داده ویژه‌ای آموزش داده می‌شود (Zhu, Park, Isola & Efros, 2017). از زمان ارائه شبکه‌های مولد تخصصی یا گن در مقاله آین 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, 2019). شبکه‌های مولد تخصصی شرطی یا سی‌گن‌ها یکی از شاخه‌های مهم تحقیقاتی در این زمینه محسوب می‌شود (Rahbar, Mahdavinejad, Bemanian, & Davaie Markazi, 2020). در این پژوهش، الگوریتم سی‌گن 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 هیچ‌عنوان 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 داده‌محور،

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

شده متمرکز است. بر اساس فرآیند آموزش مدل سی-گن، 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 سی-گن 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.

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:

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

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

الگوریتم سی-گن استفاده شده در این پژوهش یک ترجمان تصویر به تصویری است که در فریم‌ورک تانسرفلو 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 طبقه‌بندی کننده پیچ-گن 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

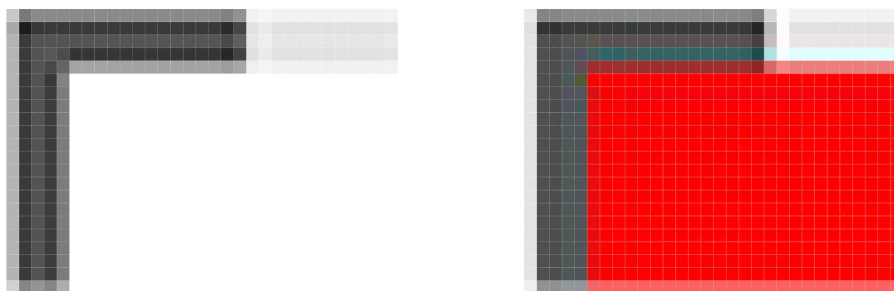
شکل ۲: برچسب زدن پلان‌های معماری برای آموزش مدل هوش مصنوعی سی-گن (چپ: پلان اصلی، وسط: تصویر ورودی، راست: تصویر برچسب گذاری شده خروجی)



پایینی هستند که شبکه بر اساس آن‌ها آموزش می‌بیند. در فرآیند آموزش سی-گن، شبکه یاد می‌گیرد که چگونه یک تصویر ورودی را به تصویر خروجی تبدیل کند (شکل ۲). چهار نوع مختلف از ارائه داده‌های آموزشی مدل هوش مصنوعی نمایش داده شده است (جدول ۱).

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 سی-گن نمایش داده شده است. در این مرحله تراس‌ها، پلکان و ستون‌ها حذف شده‌اند. رنگ‌های آر-جی-بی در اصل مقادیر سطح

شکل ۳: آموزش پیکسل‌های متناظر در سی-گن



## جدول ۱. چهار نوع مختلف داده‌های آموزشی برای آزمایش کارایی آن‌ها در پیش‌بینی جانمایی فضایی

توضیحات اطلاعات سطوح پایین	مدل هوش مصنوعی سی‌گن
۱ استفاده از رنگ گرمی برای فضای داخل و مشخص کردن درب ورودی با یک خط ضخیم مشکی	
۲ استفاده از رنگ گرم 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 سی‌گن بر روی هر چهار مجموعه به صورت مجزا آموزش داده شده است. آموزش مدل هوش مصنوعی سی‌گن 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 پیچ‌گن 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 نهایی 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.

شماره ۳۳. پاییز ۱۳۹۹

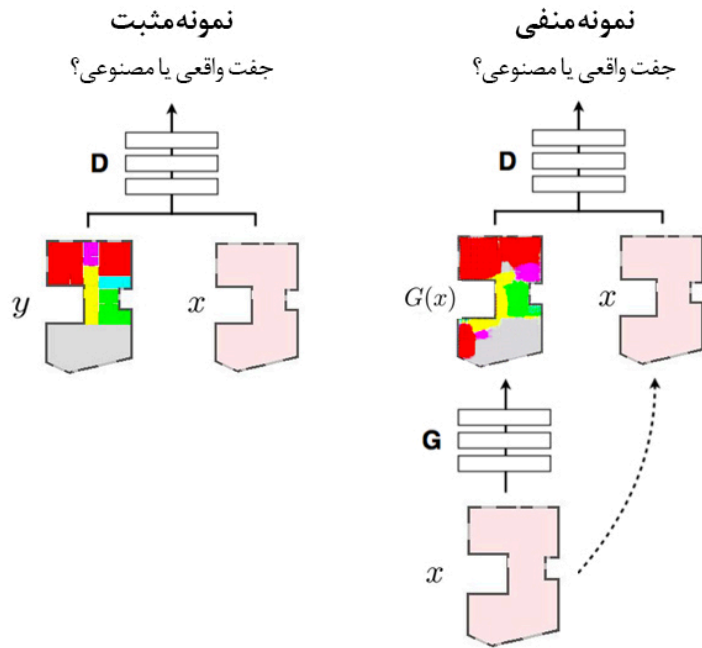
معماری و شهرسازی آرمان‌شهر

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				



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

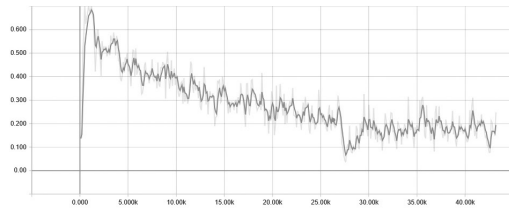


شکل ۵: بخشی از مجموعه داده‌های آموزشی سوم

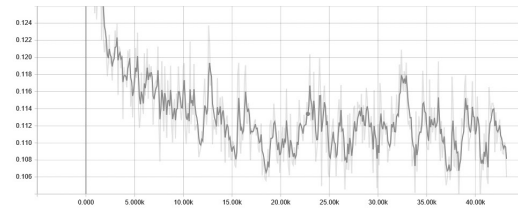




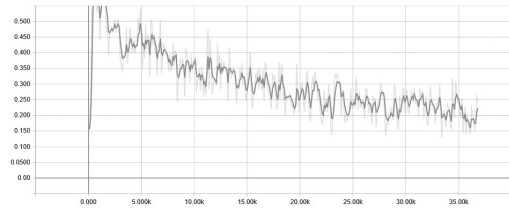
## شکل ۶: نمودار بهینه‌سازی توابع هزینه شبکه مولد و شبکه ممیز به تفکیک مدل‌های آموزش دیده هوش مصنوعی



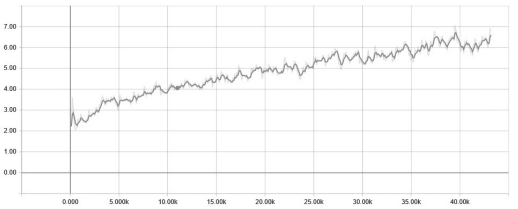
تابع هزینه شبکه ممیز اولین مدل آموزش دیده



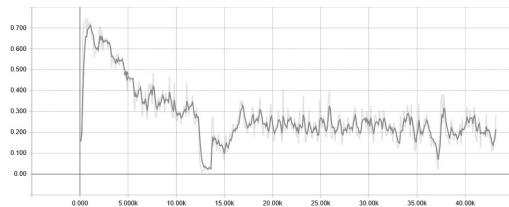
تابع هزینه شبکه مولد اولین مدل آموزش دیده



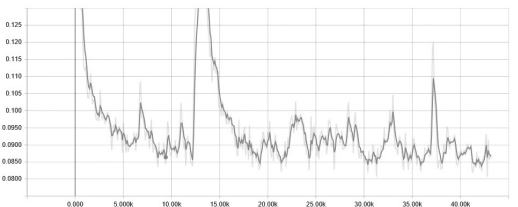
تابع هزینه شبکه ممیز دومین مدل آموزش دیده



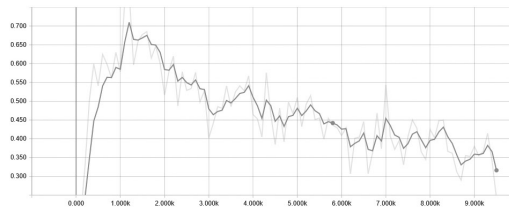
تابع هزینه شبکه مولد دومین مدل آموزش دیده



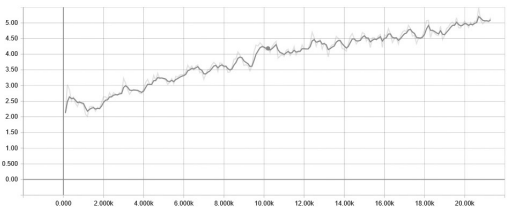
تابع هزینه شبکه ممیز سومین مدل آموزش دیده



تابع هزینه شبکه مولد سومین مدل آموزش دیده



تابع هزینه شبکه ممیز چهارمین مدل آموزش دیده



تابع هزینه شبکه مولد چهارمین مدل آموزش دیده

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 اپاک (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

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 (اپاک) 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

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 سی‌گن، در عمل موفق بوده است. نتایج حاصل از این مدل‌های آموزشی بیانگر این موضوع است که مدل هوش مصنوعی سی‌گن، روابط توپولوژیک فضایی را بهتر از قواعد هندسی آموزش دیده است. لذا برای راهنمایی طراحان در مراحل نخستین طراحی مفید است. این موضوع، در پروژه‌های بزرگ‌تر مثل بیمارستان، فرودگاه و تمامی پروژه‌هایی که روابط توپولوژیک پیچیده‌ای دارند اهمیت

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

## REFERENCES

- Ansarimanesh, M., Nasrollahi, N., & Mahdavejad, 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., & Mahdavejad, 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., Mahdavejad, 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., Mahdavejad, 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., & Mahdavejad, 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](https://doi.org/10.22034/aaud.2020.133667.1554)
- Herthogs, P., Debacker, W., Tunçer, B., De Weerd, 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., & Mahdavejad, 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](http://www.armanshahrjournal.com/article_85043_423f8af188b804edf09faf27929f04ef.pdf)
- Mahdavejad, 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](http://journals.modares.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1000-8748&slc_lang=fa&sid=2)
- Mahdavejad, 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](http://www.armanshahrjournal.com/article_44611_955a20b5cfd1f32308e627ddc8528b91.pdf)
- Mahdavejad, 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>
- Mahdavejad, 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>
- Mahdavejad, 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\\_f85664c41afa683f7c7a2cd740478f8be.pdf](http://www.armanshahrjournal.com/article_33518_f85664c41afa683f7c7a2cd740478f8be.pdf)
- Mahdavejad, 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](https://doi.org/10.30475/ISAU.2011.61940)
- Mahdavejad, M., & Shahri, S. (2015). Contemporization of Tehran Traditional Architecture by Parametric Algorithm. *Hoviatshahr*, 8(20), 31-44. Available from: [http://hoviatsahr.srbiau.ac.ir/article\\_6419\\_697f157aebfd2e62ceb7b8574b770aeb.pdf](http://hoviatsahr.srbiau.ac.ir/article_6419_697f157aebfd2e62ceb7b8574b770aeb.pdf)

- 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.ijse.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.jobbe.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 سی‌گن 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](http://www.armanshahrjournal.com/article_120075.html)

