فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران
سال دوازدهم، شماره سی و یکم، پاییز ۱۴۰۱

نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹
پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲؟
صفحات:۶۶-۵۱
10.29252/mmi.1602.14000812

# تبیین مدل نظری عملکرد هوش طراحی خودکار در فرآیند چیدمان فضاها با رویکرد سلسله مراتبی و تقسیمات منطقه‌ای

رضاباباخانی* آزاده شاهچراغی** حسین ذبیحی***



## چکیده

یکی از گام های طراحی پلان معماری، برنامه ریزی برای تقسیمات و چیدمان فضاها است، از این رو بررسی تمام نمونه های احتمالی چیدمان فضاها، برای تولید پلان در جهت رسیدن به معماری مطلوب، یکی از دغدغه های طراحان و کاربران فضاهای مسکونی است. اما انجام چنین فرآیندی در زمان محدود با هزینه ای کم به همراه بهره وری بالا و لحاظ نمودن تمام ضوابط و مقررات بسیار گسترده و سیال، توسط نیروی انسانی متخصص امکان پذیر نخواهد بود. بنابراین مساله و هدف این پژوهش تبیین مدل نظری از تقسیمات و چیدمان فضاها توسط هوش طراحی خودکار پلان های معماری، مبتنی بر محدودیت ها، ضوابط، استانداردها، نیازها و ابعاد متداول قطعات شهری است که با بهره گیری از فرمول های ریاضی و روش های داده کاوی برای ایجاد ساختارهای سلولی متنوع در جهت ارائه چیدمان فضاها صورت پذیرفته است. بر همین اساس روش پژوهش، متمایزپژوهی و تحلیل کمی، به همراه استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین، مبتنی بر رویکرد ساختار سلسله مراتبی، تقسیم منطقه ای و تخصیص فضایی است. همچنین نتایج این پژوهش نشان می دهد می توان با روش های محاسباتی، الگوریتم های یادگیری ماشین، زبان برنامه نویسی و ماتریس زمین های متداول شهری مدل نظری را ارائه نمود که منجر به ایجاد شهود ابتدایی در ماشین ها گردد و برای اعتبار سنجی نمونه های تولید شده که بر مبنای مدول هایی از مربع و مستطیل ها است، می توان از محاسبه شیب اقطار و اضلاع که در جهت عمود بودن و جهت اثبات موازی بودن خطوط طراحی است بهره برد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**واژگان کلیدی**: رویکرد سلسله مراتبی، هوش طراحی خودکار، چیدمان فضاها.

* پژوهشگر دکتری معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. reza.babakhani@srbiau.ac.ira
** دکتری معماری،دانشیار، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران. a.shahcheraghi@gmail.com
*** دکتری معماری، دانشیار، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران. h.Zabihi@srbiau.ac.ir

پی‌نوشت 3 در متن دوبار تکرار شده و پی‌نوشت ۹ مشخص نشده

دوتا جدول شماره ۱ داریم، چرا؟؟؟؟



**مقدمه**

تحولات در طراحی معماری به کمک رایانه ها، عمدتا دو هدف تولید طرح ها و نمایش آنها را دنبال نموده اند، در واقع هدف اول شامل ابزارها و روش هایی برای تجزیه و تحلیل شرایط محل پروژه و تولید خودکار گزینه های طراحی است که هدف آن ایجاد طرح های بهتر می باشد(Mitchell, 1975). اما بیشتر، رایانه ها در چند دهه گذشته برای تحقق هدف دوم که نمایش طرح ها است، مورد توجه قرار گرفته اند. یعنی رایانه ها ابزاری برای نمایش طرح تولید شده توسط طراحان گردیده اند، هدفی که به دنبال نمایش و ارائه توصیف های ساده و کامل از پیچیدگی های طرح ارائه شده است و رویکرد آن افزایش بهره وری در دفاتر و شرکت های معماری است (Eastman, 1975). این دو هدف(تولید طرح ها و نمایش آنها) به ترتیب با یک ساختار موازی به هم مرتبط اند. که در پی تولید پلان به کمک رایانه ها هستند و این تحقیقات محاسباتی، با عنوان طراحی مولد شناخته می شوند.

یکی از گام های طراحی پلان در طراحی مولد، برنامه ریزی برای تقسیمات و چیدمان فضاها است. در این فرآیند باید قوانین و مقرارت و همچنین نظر متخصصین مورد توجه قرار گیرد. این فرآیند به دو مرحله تقسیم می گردد: تجزیه، تحلیل و ترکیب؛ در مرحله تجزیه و تحلیل، اطلاعات و داده ها در مورد برنامه طراحی جمع آوری می شود، تجهیزات و ملزومات برای هر فضا ذکر شده و عملکرد هر فضا تعیین و محدودیت ها مشخص می شوند (Rodrigues et all, 2014: 6). در مرحله ارائه طرح یا ایده اولیه، چندین عمل فرعی و اصلی به صورت همزمان یا رفت و برگشتی برای تنظیم طرح صورت می پذیرد. ایده هایی که شامل نمودار روابط فضایی، ترسیم نمونه اولیه از چیدمان فضاها، برنامه ریزی برای مجاورت ها و ترسیم نقشه های طبقات است. در واقع این یک فرآیند تکرار، آزمون و خطا برای رسیدن به طرح است تا جایی که عناصر مختلف بارها تنظیم و دوباره مرتب می شوند، تا زمانی که یک طرح مناسب تولید و ظاهر شود (Rodrigues et all, 2014: 7). در واقع هدف طی کردن روندی تکراری برای بهبود طرح های مختلف است و ارزیابی اینکه کدام راه حل بهتر و امیدوار کننده می باشد. اما با توجه به محدودیت ها، الزامات، ترجیحات تخصصی، داده های محیطی، داده های اقلیمی و سایر عناصر این فرآیند برای انسان بسیار دشوار و پیچیده گردیده است. اما رایانه ها و ماشین ها برخلاف انسان قادر به انجام مقادیر زیادی از برنامه های تکراری بدون خستگی هستند و می توانند خطایی که انسان در خلاقیت و نوآوری بدست می آورد و در بهره وری از دست می دهد را جبران نمایند (Rodrigues et all, 2014: 8). حال این پرسش مطرح است که چه روش و فرآیند یا تکنیکی می تواند ماشین ها را در فرآیند طراحی دخیل و بهره وری از دست رفته برای تولید نمونه های بیشتر و بهتر را در زمان کمتر جبران نماید. اما در شرایط فعلی رایانه ها هیچ شهود ذاتی در مورد طراحی ندارند، پس نمی توانند در فرآیند طراحی دخیل بوده و بهره وری از دست رفته را جبران نمایند و این محدودیت اصلی در واگذاری فرآیند طراحی به رایانه است.

اما روش تلفیق طراحی با محاسبات رایانشی می تواند گام نخست برای ایجاد شهود در رایانه ها باشد. تلفیق طراحی و محاسبات رایانشی از دهه ۱۹۶۰ در معماری مطرح گردیده است. این تلفیق الهام گرفته از سایر زمینه ها و کاربردهای علمی است که دارای نتایج امیدوار کننده بوده اند، در واقع محققان در تلفیق طراحی و محاسبات رایانشی به کمک رایانه ها تلاش نموده اند زمینه توسعه روش های خودکار تولید نقشه طبقات معماری را محقق نمایند(Liggett, 2000). در این روش باید رایانه ها از طریق محاسبات پیچیده و گسترده به کمک الگوریتم های هوش مصنوعی به فرآیند جستجو متصل شده و پارامترهای ورودی مدل را کنترل نمایند و از معیارها بازخورد گرفته و به طور هوشمند پارامترها را تنظیم کنند تا طرح های با عملکرد بالا را پیدا نموده و در عین حال امکانات کامل فضای طراحی را نیز بررسی نمایند. اکنون یکی از این الگوریتم ها، الگوریتم ژنتیک است که از اصول تکامل برای ایجاد نسل های پی در پی از طرح ها و تکامل آنها برای طرح هایی با عملکرد بالاتر در طول زمان استفاده شده است (Murata & Ishibuchi,1995).

در واقع الگوریتم های تکاملی برای جستجوی فضای مساله یا طرح از روش های مختلفی مانند؛ کراس اوورها و جهش ها استفاده می نماید. در این روش ها، از استراتژی تکامل برای قرار دادن فضاها در بخش های مختلف زمین مورد نظر استفاده می گردد. در حالی که عملکردهای تناسب فضا یا ضوابط و مقررات به صورت تابع جریمه عمل می نمایند. در این روش جهش ها در طول چندین مرتبه به تکامل می رسند. به عنوان مثال برای ایجاد چیدمان فضاها که شامل روابط فضایی از طریق بازشو ها می باشد. نیاز به تغییر در کراس اوورها به منظور بهینه سازی عمل اتصال فضاها است (Knecht & Koenig, 2020). اما اعمال کراس اوورها و جهش ها برای رسیدن به پاسخ های نهایی زمان زیادی را می طلبد، در واقع هرچه تعداد فضاها بیشتر می گردد

میزان زمان جستجو افزایش یافته و به همان اندازه دقت نیز کاهش می‌یابد. از طرفی هر جهش مانند طبیعت دارای خطاهای محاسباتی خواهد بود و در اغلب مواقع نتایج نهایی به دست آمده به دلیل رویکردهای بسیار خاص و انتزاعی این شیوه نسبت به مسئله مطرح شده، بسیار ضعیف است (Virirakis, 2003).

شیوه دیگری در طراحی خودکار مطرح گردیده است که شامل تعدادی از بلوک ها یا ماژول‌های مربع یا مستطیل شکل است و این ماژول‌ها نمایانگر فضاهای مختلف یا واحدهای عملکردی مانند؛ اتاق‌ها، سرویس‌ها و یا سایر فضاها هستند. هدف در این روش قرار دادن تمام مستطیل یا مربع‌ها در محدوده زمین مورد نظر بدون تداخل فضایی می‌باشد به نحوی که فاصله ارتباطی بین فضاها به حداقل رسیده و لبه‌های این مستطیل‌ها به ترتیب با محورهای x و y موازی شوند. اما این روش به تنهایی یک راه حل بهینه قابل تأیید حتی برای فضاهایی با اندازه متوسط نیز، نمی تواند شناخته شود (Ahmad & Basir,2005). چرا که اگر محدودیت های زمین و قوانین، ضوابط و آیین نامه ها اعمال گردد الگوریتم چگونه باید این بلوک ها یا ماژول ها را با آن مطابقت دهد در واقع در این روش هدف به حداقل رساندن فاصله فضاها از یکدیگر است (Brotchie & Linzey,1971). ولی هدف فرآیند طراحی در سامانه های هوشمند، اعمال روابط فضایی، چیدمان فضاها، رعایت ابعاد و اندازه ها، استانداردها و ضوابط معماری توسط ماشین ها برای رسیدن به چندین طرح بهینه در جهت پیشنهاد همزمان گزینه های طراحی متنوع در یک بار پردازش است. همچنین باید تمام موارد فوق به صورت همزمان و در کوتاهترین زمان اعمال گردد. در همین راستا شناخت گام های طراحی پلان، رفتار عناصر معماری در پلان ها و سایر متغیرهای مهم می تواند اهداف و محدودیت های طراحی با ماشین را آشکار نماید. از طرفی شناخت الگوریتم های هوش مصنوعی در جهت کاربست آن برای یافتن بهترین راه حل های ممکن بسیار ضرورت دارد.

در واقع مساله این پژوهش بیان مدل نظری از شیوه ای متمایز و ترکیبی برای ایجاد چیدمان فضاها در پلان‌های معماری مبتنی بر محدودیت‌ها، ضوابط، نیازها و ابعاد متداول قطعات شهری است و هدف پژوهش بهره گیری از فرمول های ریاضی و روش های داده کاوی، به همراه ایجاد ساختارهای سلولی (مربع و مستطیل) از طریق ترکیب روش های سلسله مراتبی، الگوریتم های هوش مصنوعی و زبان های برنامه نویسی متداول برای اعمال چیدمان فضاها در هوش طراحی خودکار است، همچنین فرضیه پژوهش بر این پایه استوار است که می توان از طریق تعریف محدوده ها، ضوابط و عناصر پلان به همراه بکارگیری الگوریتم های هوش مصنوعی، شهود ابتدایی را در ماشین ها فراهم و آن ها را در فرآیند طراحی دخیل و بهره وری از دست رفته را از این روش تا حدودی جبران نمود.

## پیشینه پژوهش

در زمینه تقسیمات بر روی یک ساختار مستطیلی اولریش فلمینگ از دانشگاه ییل در سال ۱۹۷۸ براساس پژوهشی توانست به کمک الگوریتمی از بازنمایی و برش های مستطیلی جهت تولید تقسیمات فضایی استفاده نماید (Flemming, 1978: 3). در سال ۲۰۰۰ پژوهشی توسط کریستین ال. والنزوئلا و پرل یانگ انجام گردید که توسط الگوریتم ژنتیک نتایج آن رسیدن به یک تقسیمات پیوسته و غیریکنواخت بود (Valenzuela, 2000:1). فرناندو مارسون و سورایا راوپ ماسه طی پژوهشی در سال ۲۰۱۰ توانستند با الگوریتم های تقسیمات درختی پلان هایی را به صورت طراحی و تولید لحظه ای جهت استفاده در صنعت بازی سازی طراحی نمایند (Marson & Raupp Musse, 2010:10). تونگ چیه چن و یائو ون چانگ در سال ۲۰۱۰ با پژوهشی به روش های درختی و توالی توانستند تقسیمات فضایی را بر روی ساختار مستطیل ها و مربع ها ایجاد و از طریق محاسبات مختصات نقطه ای این فضاهای ایجاد شده را جانمایی نمایند (Chieh & Chang, 2010). در سال ۲۰۱۴ اوژنیو رودریگز با کمک الگوریتم های تکاملی توانست به واسطه اعمال قوانین و ابعاد اندازه های استاندارد طراحی، نمونه های را از تقسیمات فضایی تولید، شبیه سازی و بهینه سازی نماید (Rodrigues, 2014: 8). البته پژوهشگران دیگری در اقصی نقاط جهان تلاش های متعددی را انجام داده اند که برخی از این موارد در جدول ۱ به همراه روش و نتایج بیان گردیده است.

همچنین در سال ۲۰۱۵ خوآو فرانسیسکو رودریگز کوستا در دانشگاه پرتغال در پژوهشی توانست به کمک الگوریتمی مدولار با زبان برنامه نویسی جاوا نمونه‌هایی از فضاهای معماری را از پیش تولید و براساس اطلاعات ورودی کاربر مدول هایی از فضاها را کنار یکدیگر قرار داده و پلان طبقات را طراحی و ارائه نماید (Rodrigues, 2015: 10). همچنین در تحقیقاتی در سال ۲۰۱۷ مارتین استیس روالس با روش دستور زبان گفتاری و ایجاد شرط‌های متعدد اقدام به برنامه ریزی تولید پلان به روش تقسیمات مربع و مستطیل می نماید و تاحدودی موفق به تولید نمونه های محدود می گردد (Stacey, 2017:2). در سال ۲۰۱۸ پدرو ولوسو و همکارانش براساس پژوهشی بر روی نرم‌افزارها و افزونه‌های مختلف معماری توانستند

جدول ۱. پیشینه پژوهش های صورت گرفته با الگوریتم های تکاملی

| پژوهشگر | سال | روش | oF | wD | eD | eW | iD | S | fL | eF | bB | aB | oO | sA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W J Mitchell et al | 1976 | SO | | | | | | | | | | | | |
| Jo and Gero | 1996 | GA | g | | | | | • | • | | • | | | |
| Schnier and Gero | 1997 | GA | g | | | | | | | | | | | |
| Bentley | 1998 | GA | gt | | | | | | • | | • | | | • |
| Elezkurtaj and Franck | 1999 | GA/ES | gt | | | | • | • | | | | | | • |
| Michalek | 2001 | GA+SA/SQP | gthcl | | | | • | • | | | • | | | • |
| Jackson | 2002 | GP+L-system | g | | | | | | | | | | | |
| Virirakis | 2003 | GP | gt | | • | • | • | • | | • | | | | • |
| Makris | 2005 | GA | gt | | | | | • | | | | | | • |
| Homayouni | 2007 | GA | gt | | | | | • | • | | | | | • |
| Banerjee et al | 2008 | GA | gt | | | | | | | | | | | • |
| Inoue and Takagi | 2009 | GA+VD | gtls | | | | | | | | | | | • |
| Thakur et al | 2010 | GA/DA | gts | | • | | • | | | | | | | • |
| Flack | 2011 | GA/GP | gt | | | | | • | • | | • | | | • |
| Reinhard Koenig | 2012 | AH | | | | | | | | | | | | |
| Victor Calixto | 2015 | GA/GP | | • | • | | | • | • | | • | | | • |
| Stanislas Chaillou | 2019 | GAN | | • | • | | | • | • | | • | | | • |
| RUIZHEN HU | 2020 | Graph2Plan | | | • | | | • | • | | • | | | • |
| Maciej Nisztuk | 2020 | GA | | • | • | | | • | • | | • | | | • |
| Uuganbayar Gankhuyag | 2020 | Point Clouds | | • | | | | • | • | | | | | |
| Hao Zheng | 2020 | GAN | | • | • | • | | • | • | • | | | | |
| Morteza Rahbar | 2020 | GAN | | • | • | • | | • | • | • | | | | |
| Hyunjung Kim | 2021 | AHP | | • | • | • | • | • | • | | • | | | |
| | 2021 | | | | | | | | | | | | | |

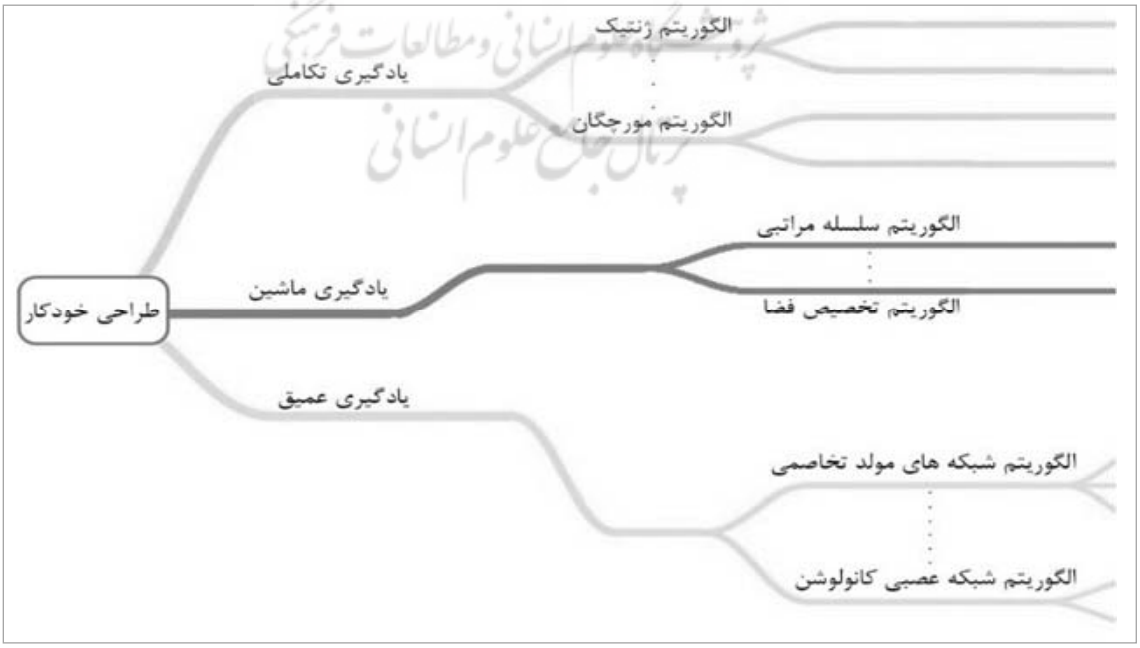
SO: هم نهاد و بهینه سازی GA: الگوریتم ژنتیک- GP: برنامه نویسی ژنتیک- ES: استراتژی تکاملی- SA: شبیه سازی گرمایش- SQP: برنامه درجه دوم متوالی-L : سیستم لندمیر- VD : نمودار ورنوی- DA: الگوریتم دایجسترا- SHC: الگوریتم تپه نوردی-:AH الگوریتم سلسه مراتبی Graph2Plan: پیکسل تو پیکسل- oF: تابع هدف- wD: ابعاد دیوار- eD: در بیرونی- eW: پنجره- iD: در داخلی- S: فضاها- fL: کف طبقات- eF: تجهیزات / مبلمان- bB: محدوده ساختمان- aB: ساختمان های مجاور- oO: جهت بازشوها-sA: فضاهای همجوار.

فرآیندی را از ترکیب افزونه های مختلف موجود پیشنهاد نمایند که براساس آن طراحی خودکار صورت گیرد و فرآیند مدیریت اطلاعات نیز به صورت همزمان بر روی پروژه ها اجرا گردد (Velosoa, 2018: 96). فنگ شی و همکارانش در سال ۲۰۲۰ با استفاده از جستجوی درخت مونت کارلو توانستن تقسیمات مناسبی را بر روی ساختار زمین های مستطیلی شکل فراهم نمایند (Shia, 2020: 187).

## روش پژوهش

روش پژوهش به صورت متمایزپژوهی و از طریق تجزیه و تحلیل داده های کمی با استفاده از روش های داده کاوی کشف دانش و الگوریتم های هوش مصنوعی و زبان های برنامه نویسی سطح بالا است. در واقع در این روش پژوهش، هدف پاسخ به مساله پژوهش است که تبیین شیوه ای متمایز و ترکیبی برای ایجاد چیدمان فضاها مبتنی بر محدودها، ضوابط، نیازها و ابعاد متداول قطعات شهری می باشد. همچنین ابزار پژوهش استفاده ترکیبی از ساختار سلسله مراتبی، تقسیمات منطقهی و تخصیص فضایی با کمک فرمول های ریاضی (محاسبه شیب اقطار، اضلاع و رابطه فیثاغورث در مختصات دکارتی) و در راستای ایجاد فضاهای مبتنی بر اشکال هندسی مربع و مستطیل برای تولید پلان های معماری ساختمان های مسکونی است. همچنین محدوده پژوهش برای کاهش پیچیدگی صرفاً در مورد پلان های مسکونی مبتنی بر اشکال هندسی مربع و مستطیل تعریف گردیده است. روشی که در آن همجواریها و محدودههای معین با فرم هندسی متداول (مربع یا مستطیل) وجود دارد. در واقع محدوده ابعاد به صورت حداقل عرض و طول فضاها که نسبتی از میزان محدوده اصلی (زیربنای) قابل طراحی است، توسط تقسیمات معین ماشینی (الگوریتم هوش مصنوعی) صورت می پذیرد. (Upasani & et al, 2020: 5)

براساس مرور ادبیات یافته های پژوهش های پیشین، برای ایجاد پلتفرم طراحی و ترسیم خودکار پلان های معماری طبق تصویر ۱ سه دسته الگوریتم هوش مصنوعی (الگوریتم های تکاملی، الگوریتم های یادگیری ماشین، الگوریتم های یادگیری عمیق) وجود دارد که از طریق ترکیب آن ها با فرمول های ریاضی ساختار ماشین های طراحی و ترسیم خودکار پلان ساختمان های مسکونی ایجاد می گردد. بر همین اساس فرضیه پژوهش نشان می دهد با بکارگیری و ترکیب این الگوریتم ها، امکان ایجاد شهود ابتدایی در ماشین ها فراهم گردیده و آن ها در فرآیند طراحی دخیل و بهره وری از دست رفته از این روش تا حدودی جبران می گردد. لذا برای اثبات این فرضیه باید داده های معماری با روش و زبان ماشین همسان ساز گردد. یعنی داده ها، فرادادهها، اطلاعات و دانش معماری در بخش چیدمان فضاها باید از طریق زبان ماشین که بردار ها، ماتریس ها، فرمول های ریاضی و کتابخانه های زبان برنامه نویسی است به ساختار ماشین های طراحی و ترسیم خودکار پلان های ساختمانی انتقال یابد (Safarnezhad, 2021: 936).




تصویر ۱. دسته بندی الگوریتم های مصنوعی در جهت کاربست آن در ساختار ماشین های طراحی و ترسیم خودکار پلان.

برای تحقق طراحی و ترسیم خودکار پلان ساختمان های مسکونی در طراحی مبتنی بر ماشین، چند دسته و روش برای تقسیمات فضایی وجود دارد، مانند؛ برش مستطیل [۱] (March & Matela, 1974)، مستطیل های مسطح، لب به لب چسبیده به هم [۲] (Bloch & Krishnamurti, 1978)، ابعاد جاکاربردشناسی [۳] (Shapira & Free, 1974)، مستطیل های جزبندی [۳] (Combes,1976)، تئوری نمودار [۴] 1980) (Baybars & Eastman, 1985), ( Roth et al,، جستجوی درختی [۵] (Galle, 1986)، تقسیم فضا [۶] (Kovacs, 1991) و پیکس تو پیکس [۷] (Chaillou, 2019) که برخی از آنها مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته و در نتیجه برنامه‌های کوچک طراحی با استفاده از تکنیکهای اکتشافی تا حدودی موفقیت آمیز بوده است (&Medjdoub, 2000 Yannou). اما این روش ها در برابر حل مسائل طراحی متوسط و بزرگ توانایی مناسبی را از خود نشان نداده اند، برای مثال؛ در الگوریتم های تکاملی زمان بسیار زیادی برای طراحی نیازمند بوده و همچنین در چیدمان فضاها با تعداد بالا الگوریتم به صورت تصادفی عمل نموده و جانمایی مناسبی را نداشته و در استفاده از الگوریتم های یادگیری عمیق با روش پیکس تو پیکس( خواندن پیکسل به پیکسل نمونه ها) که برپایه پیکسل های تصاویر نمونه پلان های معماری بوده بیشتر مساله عدم وجود مقیاس های معماری مثل متر، سانتی متر و میلیمتر مطرح است. اکنون براساس جدول ۱ رویکردهای مختلفی توسط پژوهشگران برای حل مساله تقسیمات و چیدمان فضاها در طراحی مبتنی بر ماشین ها با الگوریتم های تکاملی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و روش های ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج گوناگونی به دست آمده است.

در این پژوهش ابتدا حداقل ابعاد فضاها براساس مندرجات موجود در کتب مقررات ملی و ضوابط طراحی فضاهای مسکونی در قالب جدول ۲، استخراج گردیده است و سپس هزار نمونه پلان ساختمان های مسکونی شهر تهران با روش گردآوری داده های خوشه ای هدفمند از طریق داده کاوی تحلیل و حداقل عرض و طول های زمین های متداول شهری به صورت ماتریس تصویر ۳ ترسیم گردیده است. برای ایجاد تقسیمات فضایی از رویکرد ساختاری سلسله مراتبی، رویکرد تقسیم منطقه و رویکرد تخصیص فضایی در بستر یک ساختار فرمی (مربع و مستطیل) در ابعادی براساس متراژ زمین های متداول شهری استفاده شده است.

در این تحقیق ابتدا ابعاد و اندازه فضاها به همراه همجواری و جهت های قرارگیری به صورت یک بردار عددی پیوسته در قالب پایگاه داده با روش محاسبات نقطه ای از طریق فرمول فاصله سنجی منهتن به الگوریتم های یادگیری ماشین انتقال داده شده است. در ادامه با روش تقسیم بندی منطقه ای، ابعاد زمین به مناطق کوچکتر (براساس ماتریس تصویر ۲)

جدول ۱. رویکردهای مختلف در تقسیم فضا مبتنی بر ماشین

| ردیف | عنوان | توضیحات |
|---|---|---|
| ۱ | رویکرد اختصاص منطقه | رویکرد تخصیص منطقه، شیوه ای از واگذاری فضا که باید به یک مساحت مساوی یابزرگتر اختصاص داده شود. |
| ۲ | رویکرد تقسیم منطقه | رویکرد تقسیم بندی منطقه، روشی است که یک زمین به مناطق کوچکتر تقسیم و در ادامه اتاق ها براساس برنامه طراحی به آن مناطق اختصاص می یابد. |
| ۳ | رویکرد تخصیص فضایی | رویکرد تخصیص فضا، هدفی برای اختصاص فضاها با شکل مشخص و روابط توپولوژیکی و محدودیت های هندسی. |
| ۴ | رویکرد ساختاری سلسله مراتبی | رویکرد ساختاری سلسله مراتبی، زمانی است که نقشه های طبقه به عنوان یک سلسله مراتب درک شوند. |
| ۵ | رویکرد اکتشاف مفهومی | رویکرد اکتشاف مفهومی، از این روش برای تولید مجموعه ای از راه حل ها برای اکتشاف مفهومی ایده ها استفاده می شود، جایی که طراح نگران نیازها و محدودیت های قانونی لازم برای رسیدن به هدف نیست. |
| ۶ | رویکرد انطباق طراحی | رویکرد انطباق طراحی، شامل انطباق طرح های ذخیره شده قبلی برای تأمین نیازها و محدودیت های جدید است که هنگام تولید طرح ها مورد توجه قرار نگرفته اند . |
| ۷ | پیکس تو پیکس | رویکرد پیکس تو پیکس نسخه اصلاح شده GAN که داده های تصویر را می آموزد pixel to pixel و به صورت جفت و بر اساس معاول ورودی تصاویر، تصوسر جدیدی تولید می نماید. |

(Huang & Zheng, 2018: 3)

تقسیم گردیده و فضاها براساس برنامه طراحی که از داخل بردار عددی پیوسته توسط الگوریتم یادگیری ماشین از نوع نزدیکترین همسایه خوانده می شود به آن مناطق اختصاص می یابد. همچنین برای اعمال این تقسیم بندی ابتدا باید از طریق رویکرد تخصیص فضا، شکل مشخص و روابط توپولوژیکی و محدودیت های هندسی، طرح که در آن حداقل ها و حداکثر ها مشخص شده است با کمک الگوریتم سیستم های خبره، نمایان گردد و سپس به کمک محاسبه شیب اقطار، اضلاع و رابطه فیثاغورث صحت فرم (مربع و مستطیل) و جانمایی فضاها سنجیده شده و در نهایت برای اعمال جانمایی ها و چیدمان فضاها جهت طراحی و ترسیم همزمان در نرم افزار معماری (اتوکد) از الگوریتم یادگیری ماشین (نظارتی) و زبان برنامه نویسی (پایتون) استفاده گردیده است.

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

گام نخست انتخاب زمین و اعمال فرآیند تقسیمات و چیدمان فضاها مبتنی بر محدودیت ها، ضوابط، نیازها و ابعاد متداول قطعات شهری براساس تصویر ۳ است که ماتریسی از اعمال تقسیمات فضایی در مقیاس زمین های شهری با ۶۰٪ سطح اشغال مجاز در بازه عددی یک متر طول تبعیت می نماید، زیرا اثرگذاری در فرآیند تقسیمات فضایی بیشتر مواقع با تغییر یک متر در طول یا عرض زمین امکان پذیر است، البته این محدودیتی در ایجاد تقسیمات فضایی کمتر از یک متر برای ماشین ندارد، در اینجا یک متر گام اولیه شروع است که بازه آن می تواند بزرگتر و کوچکتر از یک متر نیز گردد.

براساس تصویر ۲ در این پژوهش حداقل زمین ۷۰ متر با سطح اشغال ۴۲ متر مربع و حداکثر ۶۲۵ متر با سطح اشغال ۳۷۵ متر مربع، مبنای محدوده طراحی ماشین برای ساختمان‌های مسکونی قرار گرفته است که این مبنا براساس اعمال فرآیند داده کاوی بر روی داده های موجود در نقشه های ساختمان های مسکونی پنجاه سال گذشته شهر تهران که به تعداد هزار مورد از دفاتر معماری جمع آوری گردیده و همچنین داده های آماری بانک مرکزی از ساخت و سازها،

جدول ۲. حداقل ابعاد فضاها براساس مندرجات موجود در کتب مقررات ملی ساختمان.

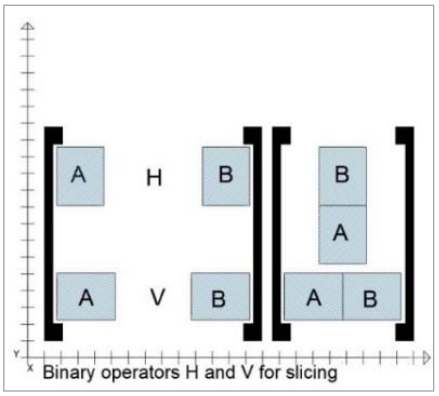
| ردیف | نام فضا مسکونی | حداقل مساحت | حداقل عرض | حداقل طول | حداقل ارتفاع | حداقل پنجره | حداقل در | جهت گیری | ماتریس فضا |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | راهرو ورودی خارجی | - | ۱/۴۰ | - | ۳/۲۴ | - | ۱ m | - | ۰ |
| ۲ | راهرو ورودی داخلی | - | ۱/۱۰ | - | ۳/۲۴ | - | ۱ m | - | ۰ |
| ۳ | اتاق خواب اول | ۱۲ | ۲/۷۰ | - | ۳/۲۴ | ۱/۸ | ۹۰ cm | شرق | ۱ |
| ۴ | اتاق خواب دوم | ۶/۵ | ۲/۵ | - | ۳/۲۴ | ۱/۸ | ۹۰ cm | شرق | ۱ |
| ۵ | پذیرایی | ۱۲ | ۲/۷۰ | - | ۳/۲۴ | ۱/۸ | ۱ m | جنوب | ۱ |
| ۶ | آشپزخانه | ۷/۵ | ۲/۱۵ | - | ۳/۲۴ | ۱/۸ | ۱ m | شمال | ۲ |
| ۷ | پارکینگ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۵ | ۲/۸۸ | - | ۳ m | - | ۰ |
| ۸ | حمام | - | ۱/۲۰ | - | ۳/۲۴ | ۱/۸ | ۸۰ cm | غرب | ۲ |
| ۹ | انباری | ۲ | ۱/۲۰ | ۱/۷۰ | ۳/۲۴ | - | ۹۰ cm | غرب | ۰ |
| ۱۰ | پاسیو | ۶ | ۲ | ۳ | - | - | ۹۰ cm | - | ۱ |
| ۱۱ | حیاط خلوت | - | ۲ | - | - | - | ۹۰ cm | - | ۱ |
| ۱۲ | تراس و بالکن | ۱/۵۶ | ۱/۲۰ | ۱/۳۰ | ۱/۱۰ | - | ۸۰ cm | شرق | ۱ |
| ۱۳ | چاله آسانسور | ۳/۲۳ | ۱/۷۰ | ۱/۹۰ | - | - | ۹۰ cm | - | ۰ |
| ۱۴ | سرویس بهداشتی | - | ۱/۱۰ | ۱/۲۰ | ۳/۲۴ | ۱/۸ | ۸۰ cm | غرب | ۲ |
| ۱۵ | سرویس بهداشتی معلولین | - | ۱/۵۰ | ۱/۷۰ | ۳/۲۴ | ۱/۸ | ۸۰ cm | غرب | ۲ |
| ۱۶ | پیش ورودی ساختمان | - | ۱/۴۰ | - | ۳/۲۴ | - | ۱ m | - | ۰ |
| ۱۷ | محل نگهداری تاسیسات | ۱۲ | ۳ | ۴ | ۲/۸۸ | - | ۱ m | - | ۰ |
| ۱۸ | موتورخانه آسانسور | ۱۲ | ۲/۵ | ۳/۴۰ | ۳/۱۰ | - | ۱ m | - | ۰ |

استخراج و مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. پس از استخراج حداقل و حداکثر ابعاد زمین های شهری، فرآیند انتقال داده ها به ماشین جهت ایجاد تقسیمات فضایی براساس فرم زمین های متداول (مربع و مستطیل) با روش های محاسبه نقطه ای از طریق فرمول ها و زبان برنامه نویسی (پایتون) اعمال گردیده است. در این فرآیند ابتدا جهت ها و شیوه قرارگیری فضاها براساس کشیدگی فضا طبق تصویر ۳ به کمک بردار عددی پایگاه داده به ماشین انتقال داده شده است.

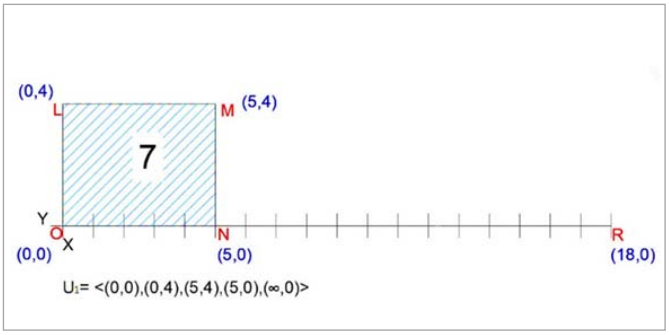
سپس ابعاد فضاها که از ضوابط، مقرارت و استانداردها استخراج گردیده (جدول ۲) به کمک الگوریتم سیستم خبره به صورت بردارهای عددی جهت اعمال در تقسیمات فضایی به ماشین منتقل می گردد. تصویر های ۴ تا ۱۱ به ترتیب تمام فرآیند تبدیل بردارهای عددی به فضاها را در ساختار محور مختصات دکارتی به وسیله نقطه یابی نمایش می دهد.

| x,y | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 42 | 46 | 50 | 54 | 58 | 63 | 67 | 71 | 76 | 79 | 84 | 88 | 92 | 96 | 100 | 105 |
| 8 | 48 | 52 | 57 | 62 | 67 | 72 | 76 | 81 | 86 | 91 | 96 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 |
| 9 | 54 | 59 | 64 | 70 | 75 | 81 | 68 | 91 | 97 | 102 | 108 | 113 | 118 | 124 | 129 | 135 |
| 10 | 60 | 66 | 72 | 78 | 84 | 90 | 96 | 102 | 108 | 114 | 120 | 126 | 132 | 138 | 144 | 150 |
| 11 | 66 | 72 | 79 | 85 | 92 | 99 | 105 | 112 | 118 | 125 | 132 | 138 | 145 | 151 | 158 | 165 |
| 12 | 72 | 79 | 86 | 93 | 100 | 108 | 115 | 122 | 129 | 136 | 144 | 151 | 158 | 165 | 172 | 180 |
| 13 | 78 | 85 | 93 | 101 | 109 | 117 | 124 | 132 | 140 | 148 | 156 | 163 | 171 | 179 | 187 | 195 |
| 14 | 84 | 92 | 100 | 109 | 117 | 126 | 134 | 142 | 151 | 159 | 168 | 176 | 184 | 193 | 201 | 210 |
| 15 | 90 | 99 | 108 | 117 | 126 | 135 | 144 | 153 | 162 | 171 | 180 | 189 | 198 | 207 | 216 | 225 |
| 16 | 96 | 105 | 115 | 124 | 134 | 144 | 153 | 163 | 172 | 182 | 192 | 201 | 211 | 220 | 230 | 240 |
| 17 | 102 | 112 | 122 | 132 | 142 | 153 | 163 | 173 | 183 | 193 | 204 | 214 | 224 | 234 | 244 | 255 |
| 18 | 108 | 118 | 129 | 140 | 151 | 162 | 172 | 183 | 194 | 205 | 216 | 226 | 237 | 248 | 259 | 270 |
| 19 | 114 | 125 | 136 | 148 | 159 | 171 | 182 | 193 | 205 | 216 | 228 | 239 | 250 | 262 | 273 | 285 |
| 20 | 120 | 132 | 144 | 156 | 168 | 180 | 192 | 204 | 216 | 228 | 240 | 252 | 264 | 276 | 288 | 300 |
| 21 | 126 | 138 | 151 | 163 | 176 | 189 | 201 | 214 | 226 | 239 | 252 | 264 | 277 | 289 | 302 | 315 |
| 22 | 132 | 145 | 158 | 171 | 184 | 198 | 211 | 224 | 237 | 250 | 264 | 277 | 290 | 303 | 316 | 330 |
| 23 | 138 | 151 | 165 | 179 | 193 | 207 | 220 | 234 | 246 | 262 | 276 | 289 | 303 | 317 | 331 | 345 |
| 24 | 144 | 158 | 172 | 187 | 201 | 216 | 230 | 244 | 259 | 273 | 288 | 302 | 316 | 331 | 345 | 360 |
| 25 | 150 | 165 | 180 | 195 | 210 | 225 | 240 | 255 | 270 | 285 | 300 | 315 | 330 | 345 | 360 | 375 |

تصویر ۲. ماتریسی از حداقل و حداکثر ابعاد زمین های شهری با اعمال ۶۰ ٪ سطح اشغال.



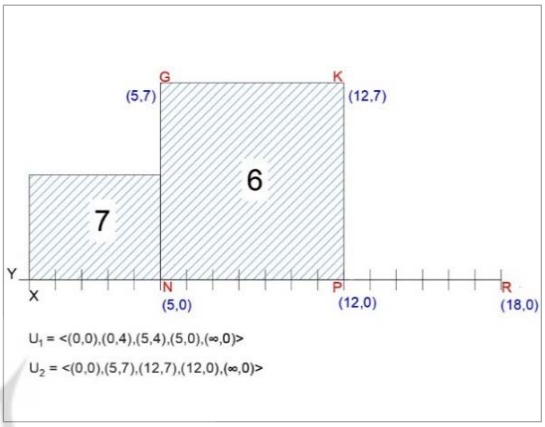

تصویر ۳. جهت‌ها و شیوه قرارگیری فضاها براساس کشیدگی فضا.



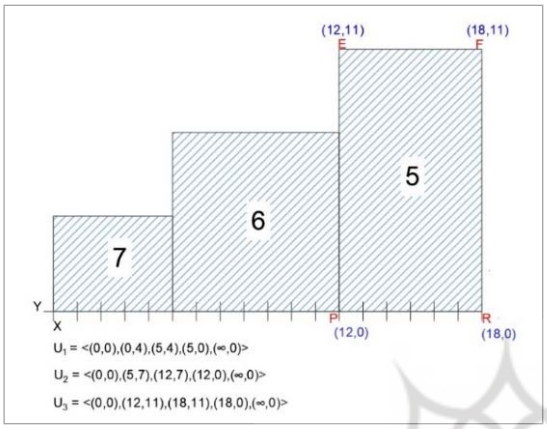

تصویر ۴. جانمایی اولین فضا (شماره۷) براساس اولویت شروع از نقطه (۰،۰) با بردار U1.

هرفضا با چهار نقطه تعیین گردیده است که در واقع بیانگر Xو Y در محور مختصات است و فضا براساس برداری که با نمایه U نشان داده شده است به الگوریتم یادگیری ماشین (نظارت شده) وارد شده و ماشین پس از خوانش بردار اقدام به اعمال تقسیمات و چیدمان فضاها بر روی زمین مورد نظر می نماید.

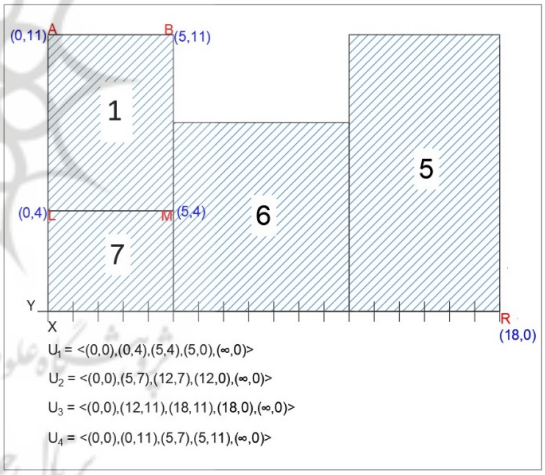
در تصویر ۱۱ نمایه U، ۱ تا ۷ برای هرفضا به صورت مجزا دارای بردار عددی است و نمایه U بدون شماره در پایین تصویر حاصل انتخاب داده های عددی $(x_1,y_1)$ و $(x_2,y_2)$ از بردارهای ۱ تا ۷ است که دارای داده های کامل از جانمایی و چیدمان فضاهای مورد طراحی در پلان است که به عنوان داده اصلی در فرآیند طراحی ماشین محاسبه می گردد، در



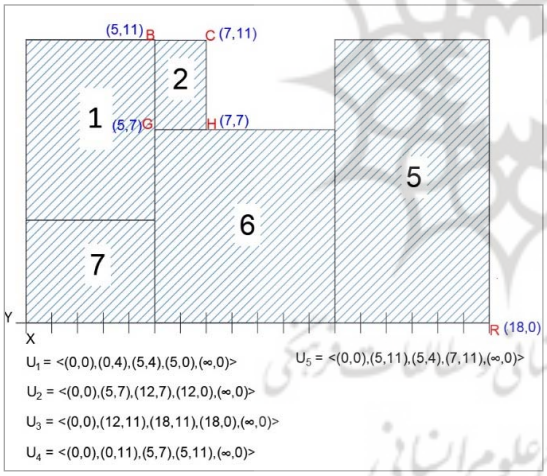

تصویر ۵. جانمایی دومین فضا (شماره۶) امتداد بردار U1 با U2



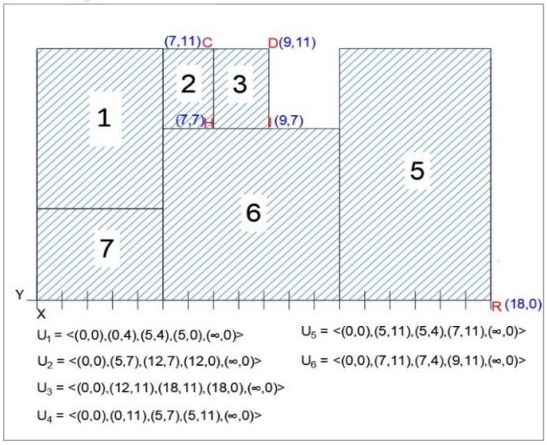

تصویر ۶. جانمایی سومین فضا (شماره۵) بردار U1 و U2 با U3



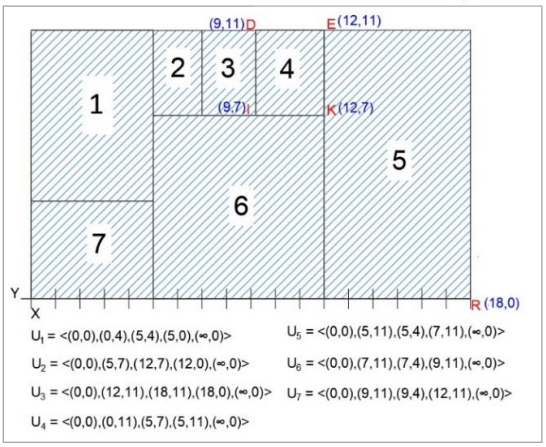

تصویر ۷. جانمایی چهارمین فضا (شماره ۱) بردار U1، U2، U3 با U4




تصویر ۸. جانمایی اولین فضا (شماره۲) بردار U1،U2،U3،U4 با U5




تصویر ۹. جانمایی اولین فضا (شماره۳) بردار U1،U2،U3،U4،U5 با U6



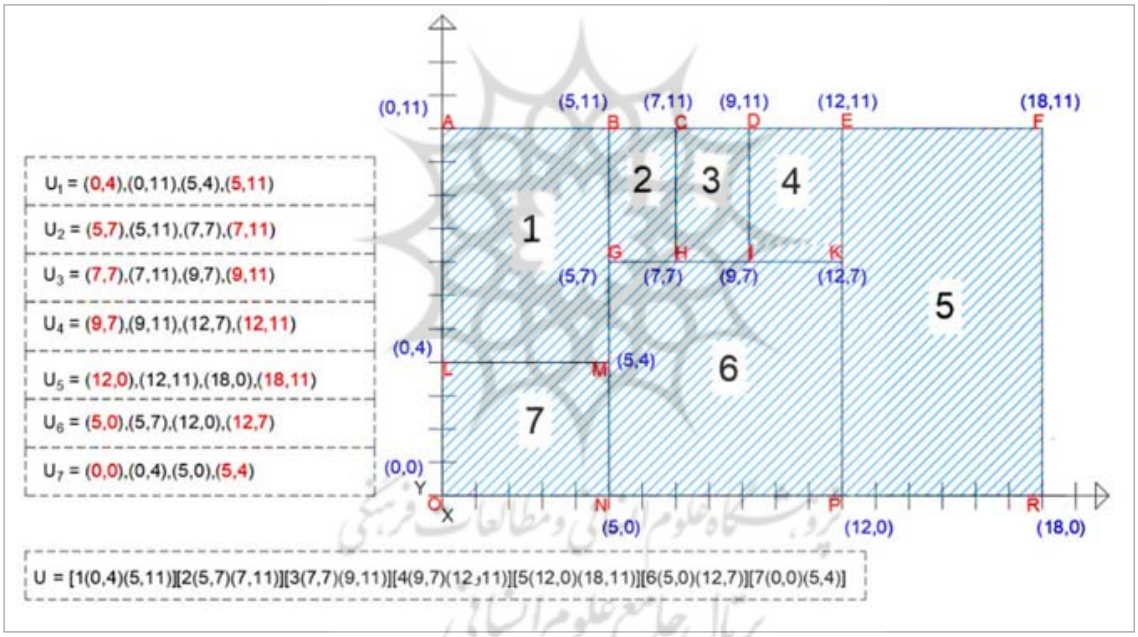

تصویر ۱۰.جانمایی اولین فضا (شماره۴) بردار U1،U2،U3،U4،U5،U6 با U7

ادامه ماشین براساس حداقل ابعاد و اندازه فضاهای تعریف شده (جدول۲) در الگوریتم سیستم های خبره به کمک خوانش بردار ویژگی ها (تصویر۱۱) که بواسطه ساختار روابط فضایی (تصویر۱۲) است، چیدمان فضاها را اعمال می نماید.

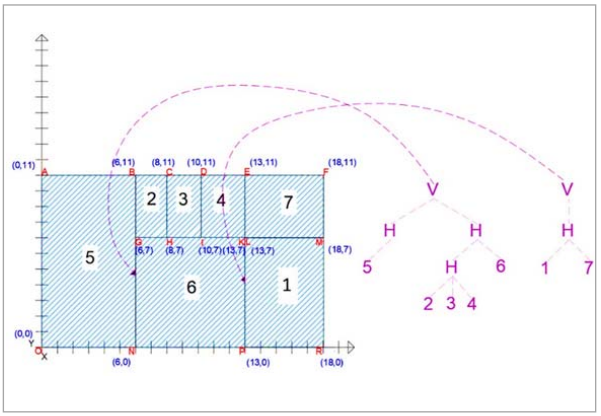
گام بعدی اعمال قوانین جوارشناسی برای ایجاد بهترین چیدمان فضاها براساس ضوابط و مقرارت است که در این مرحله با کدنویسی و استفاده از کتابخانه های ویژه هوش مصنوعی براساس تصویر ۱۳ این فرآیند از طریق حرکت های عمودی و افقی فضاها در محور مختصات دکارتی اعمال می گردد.

الگوریتم هوش طراحی خودکار براساس بردار اسامی فضا و نحوه قرارگیری آن به صورت عمودی (Vertical) یا افقی(Horizontal) اقدام به جابجایی فضاها می نماید که این جاشناسی و قرارگیری براساس ضوابط، مقرارت و نیازهای کاربر خواهد بود و تمامی این شرایط با کدنویسی و اعمال قوانین براساس تصویر ۱۴ و ۱۵ است.

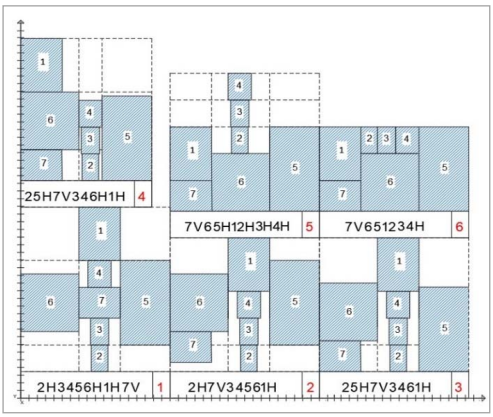
در تصویر ۱۴ فضاهای شماره یک و هفت به صورت بردار عددی توسط ماشین براساس دستور زبان برنامه نویسی خوانش می شود و محل قرارگیری هرفضا براساس جهتهای قرارگیری (چپ یا راست) در فضای مجاور تعیین می گردد، تصویر ۱۵ نمونه ای از دستور زبان برای تعیین چیدمان و ارتباط فضاهای پلان تولید شده در هوش طراحی خودکار است. در ادامه برای ارزیابی اشکال تولید شده به عنوان چیدمان فضاها باید از طریق محاسبه شیب اقطار و اضلاع که در جهت عمود بودن و جهت اثبات موازی بودن اشکال طراحی شده است، از رابطه فیثاغورث براساس تصویر های ۱۶ تا ۲۲ استفاده نمود.



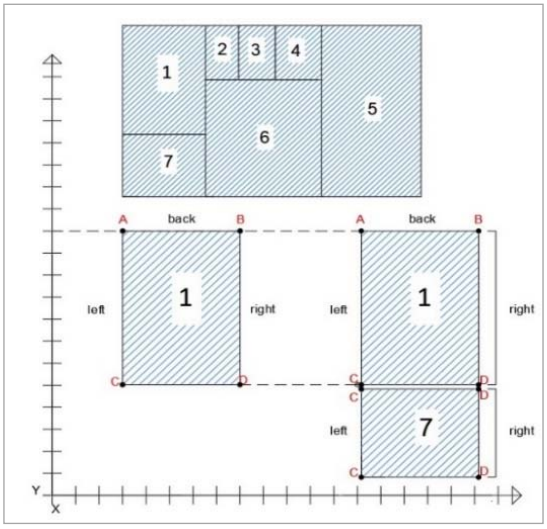

تصویر ۱۱. ایجاد بردار از داده ها فقط با دو عدد $(x^2,x^2)$ و $(y^1,x^1)$ که به رنگ قرمز قابل مشاهده است



تصویر ۱۲. چیدمان درختی فضاها براساس ماتریس همجواری.




تصویر ۱۳. فرآیند جاکاربردشناسی بر روی فضاها پیشنهادی پلان.

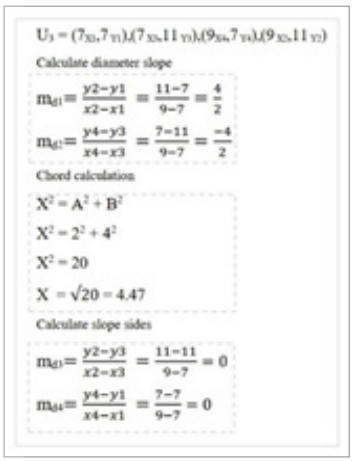



تصویر ۱۴. فرآیند اعمال قوانین همجواری به صورت دستور زبان برنامه نویسی پایتون.

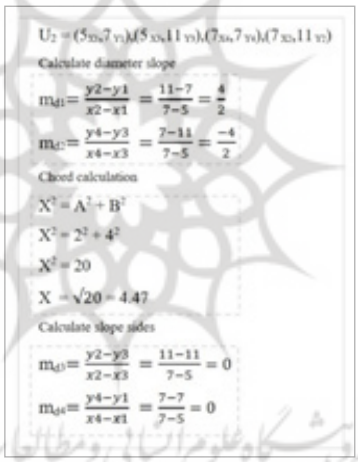
| Algorithm |
|---|
| Input: Dimensions of the ground<br>1. for each i in pt.points do |
| 2. If use seven space == kitchen |
| 3. located == south |
| 4. If width space one == width space seven |
| 5. width space seven |
| 6. i = i + gridSize; |
| 7 .length space one |
| 8. return points |
| Output: Depth image depthImg |

تصویر ۱۵. نمونه از دستور زبان برای تعیین چیدمان و ارتباط فضاها در پلان تولید توسط ماشین.

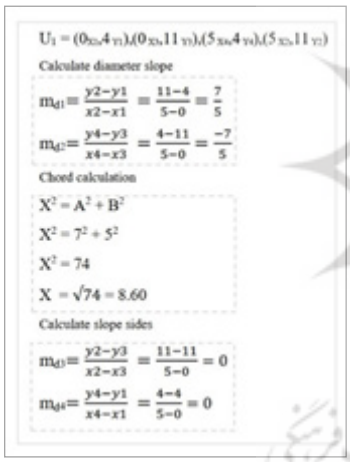




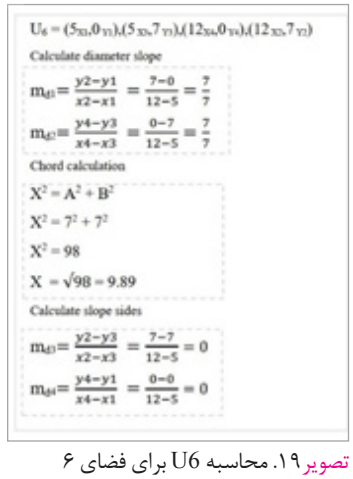

تصویر ۱۶. محاسبه U3 برای فضای ۳.



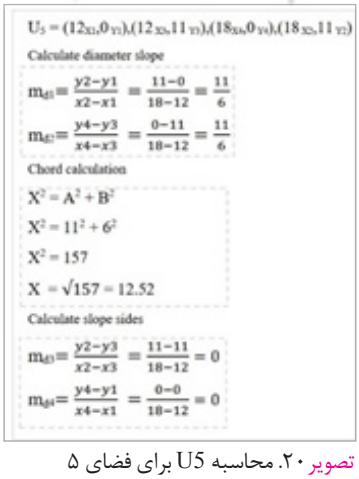

تصویر ۱۷. محاسبه U2 برای فضای ۲.



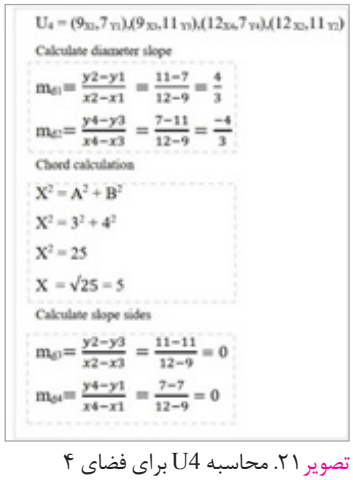

تصویر ۱۸. محاسبه U1 برای فضای ۱.




تصویر ۱۹. محاسبه U6 برای فضای ۶




تصویر ۲۰. محاسبه U5 برای فضای ۵

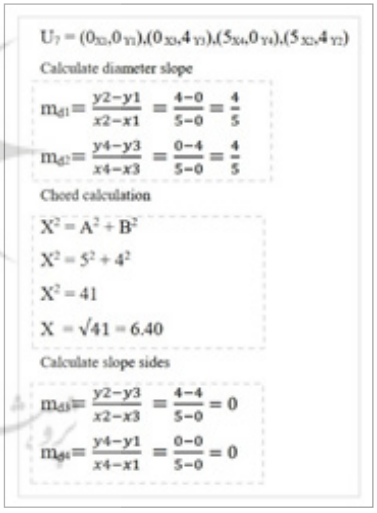



تصویر ۲۱. محاسبه U4 برای فضای ۴

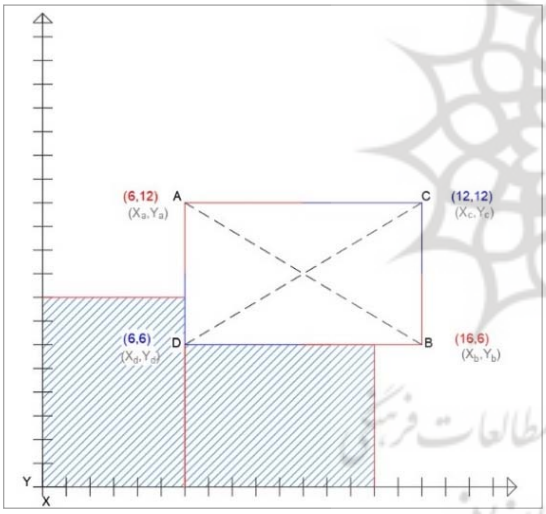
آنچه از محاسبات تصویر های ۱۶ تا ۲۲ می توان بیان نمود، وجود شیب برابر در اضلاع و شیب اقطار عمود برهم و همچنین اقطار با طول برابر مانند تصویر ۲۳ که نشان دهنده ماهیت یک مربع یا مستطیل است، در واقع ماشین توانسته اشکال فضاها را بر این منطق تولید نماید. در نهایت پس از تقسیمات فضایی، تعیین چیدمان، اعمال قوانین همجواری و اطمینال از اشکال هندسی (مربع، مستطیل) تولید شده، در گام نهایی فضاها با دستورات شرطی و الگوریتم های یادگیری ماشین در نرم افزار های معماری مطابق تصویر ۲۴ ترسیم می گردد.

در این مرحله هوش طراحی خودکار می تواند پلان را به صورت چیدمان اولیه آماده نماید و در ادامه براساس ماتریس همجواری و سایر شرایط طراحی پلان، بازشوها اعمال و نقشه ابتدایی قبل از اعمال بهینه سازی توسط الگوریتم های تکاملی طراحی گردد. فرآیند ذکر شده در این پژوهش شروعی برای تولید طرح اولیه است و سایر الزمات مانند؛ نور، انرژی، دید منظر و سایر مباحث در پژوهش های مجزایی می تواند صورت پذیرد و در ورژن نهایی هوش طراحی خودکار به صورت همزمان و آنی اعمال گردد.

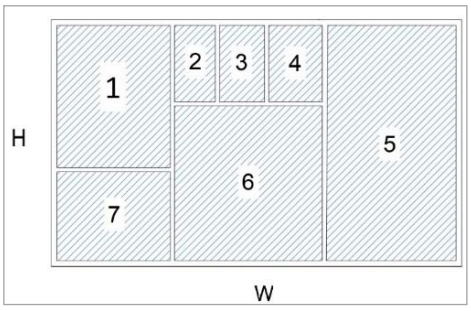
تجزیه و تحلیل داده های این پژوهش نشان می دهد، می توان با تبیین مدلی نظری که با بهره گیری از فرمول های ریاضی و روش های داده کاوی، به همراه الگوریتم های هوش مصنوعی می باشد. فرآیند تقسیمات و چیدمان فضاها را برای تولید و بررسی نمونه های احتمالی ارائه نمود، که نمونه ای از این چیدمان توسط ماشین براساس تصویر ۲۵ و ۲۶ ارائه گردیده است.



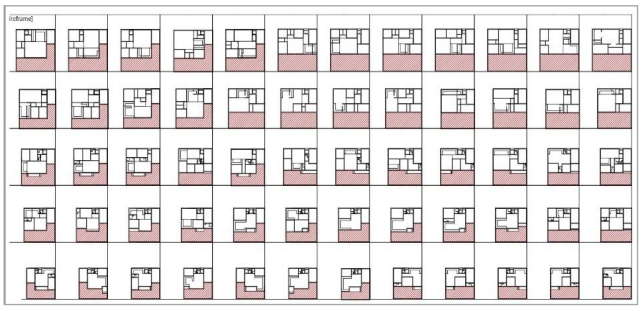

تصویر ۲۲. محاسبه U7 برای فضای ۷




تصویر ۲۳. نمونه مستطیل با شیب صفر و قطر برابر




تصویر ۲۴. جهت ها و شیوه قرارگیری فضاها براساس کشیدگی فضا.



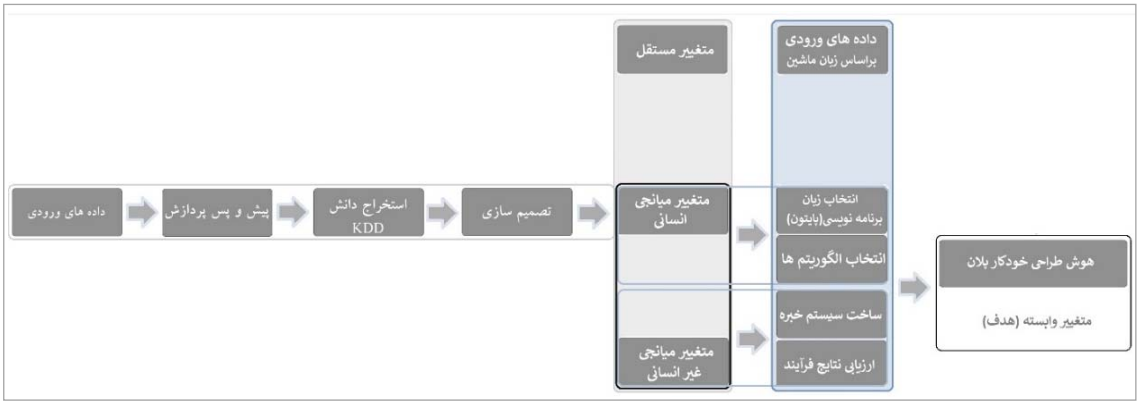
تصویر ۲۵. جهت ها و شیوه قرارگیری فضاها براساس کشیدگی فضا.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تصویر۲۶. نمونه تقسیمات فضایی صورت گرفته توسط هوش طراحی خودکار.

## نتیجه گیری

پژوهش حاضر در نتیجه گیری بیان می دارد با ترکیب فرمول های ریاضی و روش های داده کاوی به همراه الگوریتم های هوش مصنوعی (یادگیری نظارتی) می توان مدل نظری را براساس تصویر ۲۷ تبیین نمود که برای تقسیمات و چیدمان فضاها در جهت تولید پلان های معماری برای پیاده سازی هوش طراحی خودکار مثمر ثمر است. در همین راستا یافته پژوهش نشان می دهد که باید ابتدا با استفاده از ماتریس حداقل و حداکثر ابعاد زمین های متداول شهری محدوده یادگیری ماشین را در جهت اعمال تقسیمات فضایی و چیدمان فضاها تبیین نمود. همچنین این پژوهش نشان می دهد پایه این تقسیمات فضایی و چیدمان فضاها استفاده از رویکردهای ساختار سلسله مراتبی، تقسیات منطقه ای، جوارشناسی و تخصیص فضایی بر روی مدول هایی از مربع و مستطیل ها است. مدل نظری مطرح شده نشان می دهد که می توان برای اطمینان از صحت اشکال (مربع ها و مستطیل) فضاهای تولید شده از رابطه فیثاغورث در جهت محاسبه شیب اقطار و اضلاع که برای عمود بودن و اثبات موازی بودن خطوط طراحی است بهره برد. در نهایت با ترکیب الگوریتم های تکاملی، یادگیری ماشین، داده کاوی و فرمول های ریاضی می توان گام های ایجاد شهود ابتدایی در ماشین ها را فراهم آورد و آن ها را (به صورت محدود) در فرآیند طراحی دخیل و بهره وری از دست رفته را از این روش تا حدودی جبران نمود. در ادامه پیشنهاد




تصویر۲۷. مدل نظری فرآیند تبدیل اثرگذاری متغییر وابسته و مستقل

می گردد در پژوهشی دیگر مباحث نور، انرژی و اشکال پیچیده تر می تواند بررسی و راهکاری جدیدی ارائه گردد.

**پی نوشت:**

1. Rectangle dissection.
2. Planar edge-connected squares.
3. proxemic dimensions: جاکاربردشناسی یا جوارشناسی(Proxemics) با فعل مفرد - شناخت طرز استفاده از جا و فضا را جا کاربرد شناسی گویند(abidic).
4. Packing rectangles.
5. Graph theory.
6. Tree search.
7. Space partitioning.
8. pixel to pixel: پیکسل تو پیکسل یا pixel to pixel روشی در شبکه های عصبی که در آن با استفاده از چیدمان پیکسل ها که در واقع به کوچکترین واحد تشکیل‌دهنده‌ی یک تصویر دیجیتال و هم‌چنین کوچکترین المان تصویری در یک نمایشگر اطلاق می‌شود، یک تصویر جدید ساخته شود(machinelearningmastery).
9. هوش طراحی خودکار یا Automated design intelligence در واقع عنوانی است که از ترکیب کلمات طراحی خوکار (طراحی اتوماتیک) که به لاتین Automatic design گفته می شود، استخراج گردیده است. طراحی خودکار معمولاً به اتوماسیون طراحی الکترونیکی یا Design Automation که یک تولید کننده محصول است اشاره دارد. که در واقع هدفش توسعه طراحی به کمک رایانه (CAD) است که این فرآیند نیاز به اپراتور دارد، اما با ورود هوش مصنوعی به عنوان یک هوش در این فرآیند نقش اپراتور تغییر می نماید، اکنون همان فرآیند طراحی خودکار باپرجا می باشد و فقط یک هوش مصنوعی در نقش اپراتور ظاهر می گردد و از این رو می توان هوش طراحی خودکار نامید(L. A. Kamentsky).

**منابع**


- Ahmad, A.R, Basir,O, Hassanein, K. & Imam, M.H. (2005). A hierarchical placement strategy for generating superior layout decision alternatives. International Journal of Operations and Quantitative Management, 11, pp. 261-280.
- Baybars,C. & Eastman,M. (1980). Enumerating architectural arrangements by generating their underlying graphs. Environment and Planning B, 7:289-310. URL http://cumincad.scix. net/cgi-bin/works/Show?e825.
- Bloch,C.J. & Krishnamurti,R. (1978). The counting of rectangular dissections. Environment and Planning B: Planning and Design, 5(2):207-214. ISSN 0265-8135. doi:10.1068/b050207.
- Christine,L. & Valenzuela,Y. & Wang,A. (2000). Genetic Algorithm for VLSI Floorplanning Conference Paper .
- Chen,T.C. & Chang,Y.W. (2010). Floorplanning .
- Chaillou,S. (2019). degree of Doctor of Philosophy ,Harvard GSD.
- Combes,L. (1976). Packing rectangles into rectangular arrangements. Environment and Planning B, 3:3-32.
- Eastman,C. (1975). The scope of computer-aided building design, in: C. Eastman (Ed.), Spatial Synthesis in Computer-Aided Building Design, John Wiley and Sons, New York, 978-0470229460, 1–17.
- Flemming,U. (1978). REPRESENTATION AND GENERATION OF RECTANGULAR DISSECTIONS Conference Paper • DOI: 10.1109/DAC.1978.1585160 • Source: IEEE Xplore.

- Feng Shia,b,c. & Ranjith, K. & Somana, Ji. & Jennifer,K. (2020). Whyte Addressing adjacency constraints in rectangular floor plans using Monte-Carlo Tree Search. Automation in Construction DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103187.
- Galle,P. (1986). Abstraction as a tool of automated floor-plan design. Environment and Planning B: Planning and Design, 13(1):21-46. ISSN 0265-8135. doi:10.1068/b130021.
- Gankhuyag,U & Hyeong Han,J. (2020). 10, 2817; doi:10.3390/app10082817.
- Huang,W. & Zheng,H. (2018). Architectural Drawings Recognition and Generation through Machine Learning, Conference Paper .
- Kovacs,L.B. (1991). Knowledge based floor plan design by space partitioning: A logic programming approach. Artificial Intelligence in Engineering, 6(4):162-185. ISSN 09541810. doi:10.1016/0954-1810(91)90022-G.
- Kamentsky,L.A. & Liu,C.N. (1963). Computer-Automated Design of Multifont Print Recognition Logic.Publishedin: IBM Journal of Research and Development (7( 1) . DOI: 10.1147/rd.71.0002.
- Liggett,R.S. & Mitchell,W.J. (2000). Optimal space planning in practice. Computer-Aided Design, 13(5):277-288. ISSN 00104485. doi:10.1016/0010-4485(81)90317-1.
- Medjdoub,B. (2002). Generation of variational standard plant room solutions. Automation in Construction, 12(2):155-166. doi:10.1016/S0926-5805(02)00006-7.
- Medjdoub,B. & Yannou,B. (2000). Separating topology and geometry in space planning. Computer-Aided Design, 32(1):39- 61. doi:10.1016/S0010-4485(99)00084-6.
- Medjdoub,B. & Yannou,B.(2001). Dynamic space ordering at a topological level in space planning.Artificial Intelligence in engineering, 15(1):47-60. ISSN 09541810. doi:10.1016/S0954-1810(00)00027-3.
- Mitchell,W.J. (1975). The theoretical foundations of computer-aided design, Environ. Plann. B. Urban Anal. City Sci. 2 (2): 127–150, https://doi.org/10.1068/ b020127.
- Marson,F. & Raupp,S. (2010). Musse Automatic Real-Time Generation of Floor Plans Based on Squarified Treemaps Algorithm. International Journal of Computer Games Technology, Article ID 6248,17-10 . doi:10.1155/2010/624817.
- March,L. & Matela,R. (1974). The animals of architecture: some census results on N-omino populations for N = 6, 7, 8. Environment and Planning B: Planning and Design, 1(2):193-216. ISSN 0265-8135. doi:10.1068/b010193.
- Ruales,M.S. (2017). Algorithms at the Service of Social Housing Example of Jose Duarte's discursive grammar .
- Roth, J.; Hashimshony,R. & Wachman,A. (1982). Turning a graph into a rectangular floor plan. Building and Environment, 17(3):163-173. ISSN 03601323. doi:10.1016/0360-1323(82)90037-3.
- Roth,J.;Hashimshony,R. & Wachman,A. (1985). Generating layouts with non-convex envelopes. Building and Environment, 20(4):211-219. ISSN 03601323. doi:10.1016/0360-1323(85)90036-8.
- Rodrigues Costa, J. F. (2015). Development of an algorithm which generates functional floor plans for residential buildings based on modular construction Dissertation submitted for the degree of Master of Civil Engineering in Structural Mechanics Coimbra.

- Rodrigues, E´. (2014). Automated Floor Plan Design: Generation, Simulation, and Optimization Submitted to the Department of Mechanical Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- Shapira,H. B.-j. & Frew, R. S. (1974). A procedure for generating floor plans computer aided design. In Proceedings of the 11th Design Automation Workshop, 229-236. IEEE Press.
- Upasani,N; Shekhawat,K. & Sachdeva,G. (2020). Automated Generation of Dimensioned Rectangular Floorplans Department of Mathematics, BITS Pilani, Pilani Campus, India-333031.
- Virirakis, L. (2003). GENETICA: A computer language that supports general formal expression with evolving data structures. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 7(5):456-481 .ISSN 1089-778X. doi:10.1109/TEVC.2003.816581.
- Velosoa, P. & Rodrigo, G.C. (2018). Scheerenc From the generation of layouts to the production of construction documents: An application in the customization of apartment plans Automation in Construction 96 .224–235 .
- Kim, H. (2021). Evaluation of Deep Learning-Based Automatic Floor Plan Analysis Technology: An AHP-Based Assessment. Appl. Sci., 11, 4727. https//:doi.org/10.3390/app11114727.
- Zheng,H, Jingxuan AN,K. (2020). Apartment Floor Plans Generation via Generative adversarial networks, international conference of association for computer aided architectural design, Volume2, 601-610.
- Murata,T. & Ishibuchi,H. (1995). "MOGA: multi-objective genetic algorithms," in Evolutionary Computation, IEEE International Conference on Vol. 1, p. 289.
- J. Brotchie, & M. Linzey, (1971). A model for integrated building design, Building Science 6 (3) 89–96, http://dx.doi.org/10.1016/0007-3628(71)90020-X,(URL
- Safarnezhad Samarin M, Shahcheraghi A, & Zabihi H. (2021). Explaining the Theoretical Model of Knowledge Management Process in Building Automated Facade Design Intelligence. 36 (4) :923-943, .
- http://abidic.com/word/proxemics.
- https://machinelearningmastery.com/how-to-develop-a-pix2pix-gan-for-image-to-image-translation/

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی