تحلیل روش ها و رویکرد های تولید چیدمان های خودکار فضایی

سید علی اکبر صدری [۱]، محمد هادی کابلی [۲*]، میترا میزارضایی [۳]، محمدرضا سلیمانی [۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۴ تاریخ پذیریش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

چکیده

بیش از ۶۰ سال مطالعه در حوزه تولید چیدمان های خودکار فضایی نشان است که چیدمان های معماری می تواند نقش مهمی در ایجاد ساختمان هایی صرفه جوتر ایفا کنند. این پژوهش در تلاش است بر خلاف اکثر مطالعات انجام شده که به بررسی مقالات از منظر روش محاسباتی پرداخته اند، ضـمن ارائه دسـته بندی جدیدی برای مطالعات در حوزه تولید چیدمان های معماری، به بررسی کاربرد ها و مقایسه روش ها و رویکرد های موجود بپردازد علاوه بر آن، الگویی برای تولید خودکار چیدمان های فضـــایی معرفی کند این مقاله به بررســـی ۳۴ مطالعه متخب از میان ۱۰۵ مطالعه مرتبط تولید چیدمان های فضـایی به روش تحلیل محتوا می‌پردازد. برای این منظور از پایگاه های معتبر بین المللی و داخلی استفاده شده است. یافته‌های حاصل از بررسی نشان می دهد مطالعات در حوزه تولید خودکار چیدمان های خودکار فضایی از منظر رویکرد های بازنمایی مساله می توانند در ۶ رویکرد سـازمان دهی شوند. از سوی دیگر مزایای و کاربرد هر یک از این رویکرد ها بر اساس معیارهای کیفی مورد بررسی قرار گرفته اند. در این پژوهش ضمن ارائه الگوی عام، تولید چیدمان های خودکار فضا از منظر معماری، ۳ روش تولید، جز به کل، کل به جز و مبتنی بر اصل خبرگی و کاربرد های آن را معرفی شده است.

واژگان کلیدی: چیدمان های فضایی، مولد پلان ، اتوماسیون طراحی، طراحی مولد، یادگیری ماشین.

[۱]– گروه معماری،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران.
[۲]– گروه معماری، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)
[۳]– گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.
[۴]– گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب ، تهران، ایران.

۱. مقدمه

رشـد شـهرنشـینی و به طبع، نیاز به تولید فضـایی بهینه و قابل سـکونت سـال هاست که تبدیل به موضوع مقالات بسیاری در حوزه معماری و شـهرسـازی شـده اسـت. این موضـوع چالش های متعددی را پیش روی پژوهشـگران قرار داده است، از سوی دیگر توسعه محاسبات ماشینی و اتوماسـیون، همچنین استفاده عملی از آن در صنایع و حرفه ها، موجب ایجاد رویکرد پژوهشی مبتنی بر روش های محاسباتی شد، که هدف آنها گمانه زنی اتوماسیون بخشی از فرآیند های طراحی بوده است. یکی از حوزه های مطالعاتی که از دهه ۶۰ میلادی تا کنون مورد اقبال پژوهشگران در حوزه معماری و هوش مصنوعی بوده است، تحقیق در حوزه اتوماسیون چیدمان های فضایی یا تولید خودکار پلان های معماری است.

تهیه طرح طبقه، از اولین مراحل کاری در طراحی و عمل معماری اسـت، در این مرحله از فرآیند کاری، معماران باید تمامی فضـاها مورد نیاز در برنامه پروژه را در طرح پیشنهادی لحاظ کنند. این فرآیند شامل دو مرحله برنامه ریزی و تولید می باشد (Rodrigues et al., 2013). با این حال برنامه ریزی فضایی و تولید چیدمان های فضایی زمان زیادی را در مراحل اولیه طراحی به خود اختصاص می دهند، از سوی دیگر در هنگام طراحی معماری تیم طراحی معمولا با ضـرب الاجل های زمانی روبرو هسـتند، این مساله موجب می شود تا از کیفیت طراحی فضاها کاسته شود (Das et al., 2016).

بنابر این اسـتفاده از روش های اتوماسـیون چیدمان های فضـایی اگر به صـورتی جامع و یکپارچه باشد، با تولید چندین گزینه می تواند، موجب کاراتر و اقتصادی تر شدن پروژه ها و حتی در مواردی در گیر کردن جوامع محلی و کاربران در تصمیم گیری ها شود. در سال های اخیر تکنیک های اتوماسیون تولید چیدمان های فضا، پتانسیل قابل توجهی از خود نشان داده اند. اگرچه تحقیقات در این حوزه موجب تغییر نگرش و پیشرفت هایی در برنامه ریزی سریع پروژه های پیچیده معماری مانند خانه ها ، بیمارستان ها (Das et al., 2016)، مدارس شده است. با این حال این روش ها از سوی جامعه حرفه ایی معماری مورد اقبال و استفاده قرار نگرفته و تحقیقات در این حوزه بیشتر توسط متخصین علوم دیگر انجام می شود.

تصـمیماتی که در فرآیند تولید چیدمان های فضـایی گرفته می شـود می تواند تأثیر قابل توجهی بر روی مواردی چون کارایی سـازه، بهره وری انرژی، سـطح اشـغال و... بگذارد. همچنین فرآیند های تکراری بهره وری را کاهش می دهد و تیم طراحی را مستعد خطا می کند. شبیه سازی های سـریع و ابزارهای طراحی مولد می توانند به طراحان کمک کنند تا شـهود خود را برای مواجهه بهتر با چنین مواردی توسـعه دهند و موجب ایجاد ساختمان هایی کاراتر و پایدارتر شود. هدف این مقاله این است که قابلیت‌ها و محدودیت‌های روش‌های موجود را روشن کرده و چگونگی مشارکت این روش ها را طراحی فضاهای ظریف‌تر، مؤثرتر و انعطاف‌پذیرتر در مقیاسی از طبقات و ساختمان‌ها تا کل شهرها را متصور سازد.

۱ پیشینه تحقیق

با توجه به شـواهد ترسـیم نقشـه از حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد ، که یک طرح سومری روی خشت حک شد (Donald, 1962)، تا امروز یعنی در حدود ۴۰۰۰ سـال قدمت دارد. در دهه ۱۹۷۰ ، رویای اتوماسـیون تولید چیدمان های معماری با تعیین روابط هندسـی در طراحی تا حدودی محقق شد. از آن زمان محققان به استفاده از نظریه گراف (Levin et al., 1964) (Grason, 1971)، ساختارهای درختی و درخت تصمیم گیری (Alexander, 1965)، گرامر شکل (Stiny & Mitchell, 1978) (Koning & Eizenberg, 1981)، سیستم های خبره (Eastman, 1973)، و روش های شمارشی در راستای تولید چیدمان های خود کار فضا روی آوردند.

بـا این حال، "معماران در عمل و روش‌های طراحی معمولاً از قیاس‌ها الهام می‌گیرند، یعنی بر اسـاس تجربه های قبلی خود، یا معماری دیگر هدایت می‌شـوند" (Kalay & Mitchell, 2004)، پس از طرح چنین دیدگاهی تعدادی از پژوهشـگران به دنبال راهی بوده اند تا بتوانند استفاده از تجربیات را در قالب الگوریتم ها پیاده سازی کنند. این مساله و توسعه نرم افزار های کد موجب استفاده از محاسبات تکاملی در بررسی گزینه های امکان پذیر شـد، همچنین می توان به اسـتفاده تکنیک های سـنتی یادگیری ماشین، به صورت موردی اشاره کرد (Merrell et al., 2010). با توجه به این که در حال حاضر منابع متعددی از نقشه ها و مدارک معماری دیجیتالی شده و در دسترس است، پژوهشگران این امکان را دارند تا از تکنیک های گرافیک و بینایی برای اسـتخراج ویژگی های پلان طبقات اسـتفاده کند (Wang et al., 2018). در آخرین تحقیقات اسـتفاده از الگوریتم های یادگیری عمیق و الگوریتم های مولد متخاصمی به ویژه خانواده الگوریتم های گن[۱۳] و شبکه های عصبی مبتنی بر گراف (Nauata et al., 2021)، با هدف شبیه سازی روش کار معماران در مطالعات مربوط به تولید خودکار نقشه معماری مشاهده می شود.

در ایران، مرتضـی رهبر و همکاران در سـال ۲۰۱۹ در مقاله ایی به بررسـی اسـتفاده از شـبکه های گن شـرطی برای تولید طرح طبقه پرداختند (Rahbar et al., 2019)، رضـا بـابا خانی در مقاله ایی به تبین مدل نظری تولید پلان های معماری در تعامل با الگوریتم های یادگیری ماشـین و ژنتیک پرداخته اسـت (باباخانی و همکاران، ۱۴۰۱)، همچنین صـهبا حسـیبی و علی اندجی با اسـتفاده از الگوریتم های بهینه یابی، الگوریتمی را در گرس هاپر توسـعه داده اند که بتواند از میان مدول های از پیش طراحی شـده چیدمان های فضایی مناسب را در ساختمان های میان مرتبه جانمایی کند (حسیبی و همکاران، ۱۴۰۱).

با این حال علیرغم تحقیقات انجام شده تا کنون این تکنیک ها نتوانسته اند تا معماران را برای بهره برداری عملی از چنین روش هایی قانع کنند. در اینجا باید به این مساله اشاره کرد که هدف از اتوماسیون تولید چیدمان های معماری جایگزینی معمار نیست، بلکه تولید ابزارهایی برای رهایی معماران از فرآیند های تکراری در طراحی است (Rodrigues et al., 2013) (Eastman, 1973)، تا معماران بتوانند به مسائلی بنیادین تر فکر کنند.

علارغم پیشـینه ۶۰ سـاله مطالعات در حوزه اتوماسیون چیدمان های فضایی، دسته بندی کاملی خصوصاً از منظر معماری و رویکردهای بازنمایی مســـاله چیدمان های فضـــایی وجود ندارد، اگر چه چندین مطالعه مروری مربوط به این حوزه مطالعاتی وجود دارد (Dutta & Sarthak, 2011) (Calixto & Celani, 2015) (Lobos & Donath, 2010) (Hsu & Krawczyk, 2003) (Nisztuk & Myszkowski, 2017) . در ایران نیز مریم صادقیان و اکرم حسینی به بررسی و مرور روش های تکاملی در حوزه معماری و ساخت پرداخته اند (صـادقیان، حسینی، ۱۴۰۰). عمده مطالعات انجام شده برروی روش های محاسباتی خاص تمرکز کرده اند. این پژوهش در تلاش است تا بر خلاف اکثر مطالعات انجام شـــده، ضـــمن ارائه دســـته بندی جدیدی برای مطالعات در حوزه تولید چیدمان های معماری، به بررســـی کاربرد ها و مقایسه آنها پردازد.

۲ روش تحقیق

این مقاله به بررسی ۳۴ مطالعه منتخب از میان ۱۰۵ مطالعه مرتبط تولید چیدمان های فضایی به روش تحلیل محتوا می‌پردازد. برای این منظور از پایگاه های معتبر بین المللی و داخلی اسـتفاده شده است. این پژوهش در تلاش است تا بر خلاف اکثر مطالعات انجام شده که به بررسی مقالات از منظر روش محاسـباتی پرداخته اند، ضـمن ارائه دسته بندی جدیدی برای مطالعات در حوزه تولید چیدمان های معماری، به بررسی کاربردها و مقایسـه آنها بپردازد. توجه به این نکته ضـروری اسـت که جسـتجوی کاملاً خودکار و تجزیه و تحلیل کتاب‌سنجی امکان‌پذیر نبود، زیرا کلمات کلیدی اتوماســـیون پلان و چیدمان در رشـــته‌های مختلف برای برنامه‌های کاربردی در مدار الکتریکی و برنامه‌ریزی و طراحی چیدمان کارخانه اسـتفاده می‌شوند. بر این اساس روش های موجود بر مبنای رویکرد بازنمایی مساله به ۶ دسته و از منظر نگاه معماری به ۳ دسته جز به کل، کل به جز و متنبی بر خبرگی سازماندهی شده است. در نهایت الگوی تولید چیدمان های خودکار فضاهای معماری معرفی شده است.

۳ بدنه تحقیق

[redacted]رویکرد های بازنمایی مساله در مطالعات مر بوط به تولید چیدمان های معماری

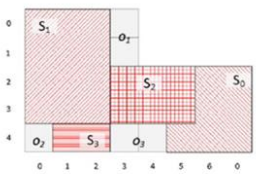
اسـتفاده از قدرت محاسـباتی کامپیوتر ها برای کمک در پیش بینی انواع چیدمان های فضـایی و چگونگی تعریف مسـاله به زبان رایانه یکی از چالش های اصلی مساله تولید چیدمان های فضایی می باشد (حسیبی و همکاران، ۱۴۰۱). طور ستنی نیز معماران حین مواجهه با مسائل معماری از روش هایی برای بازنمایی و ساده سازی مساله استفاده می کنند، برای مثال استفاده از دیاگرام های حبابی، استفاده از شبکه گرید و... بنابراین یکی از مراحل کلیدی در اتوماسیون تولید چیدمان های معماری ساده سازی مساله از طریق یک رویکرد بازنمایی مساله است.

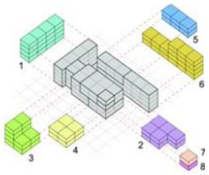
در این مرحله از فرآیند تولید چیدمان های فضایی باید مساله را به گونه ای که بتوان آن را به کمک الگوریتم های محاسباتی مورد مطالعه قرار داد، بازنمایی کرد. از میان ۳۴ مطالعه منتخب ۶ رویکرد عمده بازنمایی مسـاله چیدمان های معماری را شـناسـایی شـد که در ادامه به بررسـی و توضـیح آنها پرداخته می شـود. البته این مسـاله را باید در نظر داشـت که ممکن است در پژوهش هایی مانند (Guo & Li, 2017)، به طور همزمان از چند رویکرد استفاده شده باشد.

۳،۱،۱ بازنمایی مبتنی بر تخصیص سلولی

استفاده از شبکه های گرید در معماری از مدت ها پیش مورد توجه قرار گرفته است (Chaillou, 2021)، در این رویکرد محققین به دنبال روشی برای فرموله کردن تخصیص فضاها روی سلول های شبکه گرید هستند (Zawidzki, 2011) (Yi & Yi, 2014) (Dino, 2016) (Yeh, 2006) (Gero & Казаков, 1998). این رویکرد با تبدیل کردن ابعاد فضاها به مدول یعنی گسسته کردن و تخصیص آنها به سلول های روی یک شبکه گرید فضای جستجوی محاسباتی را تا حد زیادی کاهش می دهند، همچنین این کار موجب می شود تا تعداد زیادی از راه حل های عملاً مشابه حذف شوند (Zawidzki, 2011). تا بحال از این رویکرد برای تولید چیدمان های معماری هم بصورت دوبعدی (Yi & Yi, 2014)، و هم در فضای سه بعدی (Dino, 2016)، استفاده شده است. در این رویکرد گاهی برای تخصیص سلول ها به جای ماتریس از روش منحنی پر کننده فضا نیز استفاده شده است، در این روش فضاها با توجه به توالی مشخص شده در منحنی پر کننده معادل به سلول‌ها اختصاص داده می‌شوند. که این کار موجب ارتقاء مطلوبیت هندسه شده است (Zawidzki, 2011) (Yi & Yi, 2014).

$$A_{space} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & - & - & - & - \\ 1 & 1,3 & 1,3 & -1 & - & - & - & - \\ 1 & 1,3 & 1,3,2 & 2 & 2 & 2,0 & 0 & 0 \\ 1 & 1,3 & 1,3,2 & 2 & 2 & 2,0 & 0 & 0 \\ -1 & 3 & 3 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$





(الف) (ب) (ج)

شکل ۱. بازنمایی مبتنی بر تخصیص سلولی (ماخذ: Dino, 2016)

مراحل بازنمایی:

- ابعاد مدول سلول های شبکه گرید مدنظر توسط کاربر به الگوریتم معرفی می شود. این شبکه می تواند بسته به روش اتخاذ شده مبتنی بر مرز ساختمان باشد یا شرایط مرزی را مد نظر قرار ندهد.
- ماتریسی برای تعریف فضاها توسط کاربر تعریف می شود. مقادیر مشخص شده در ماتریس نشان دهنده تعداد سلول هایی است که آن فضا روی شبکه گرید اشغال خواهد کرد (الف).
- در این مرحله فضاها به ترتیب به سلول‌های شبکه گرید که ممکن است دارای شرایط مرزی از پیش تعریف شده باشد، اختصاص داده می شود. (ب)
- الگوریتم با تغییر مقادیر ماتریس چیدمان های امکان پذیر را مطابق با الزامات هندسی و توپولوژی مد نظر کاربر به دست می آورد (ج).

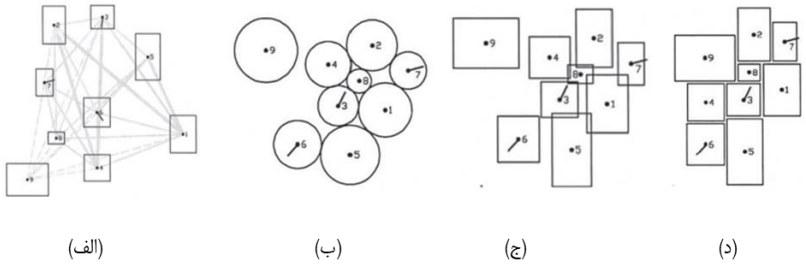
جدول ۱- مقالات بازنمایی مبتنی بر تخصیص سلولی (ماخذ: نگارندگان)

منبع	محدودیت مرز	تعداد طبقات	رویکرد معماری	هندسه فضاها	اهداف توپولوژی	اهداف هندسی	ویژگی خروجی	اقدامات برای تولید (بهینه سازی)	الگوریتم
(Dino, 2016)	+	+۱	جز به کل	چند ضلعی	همجواری	نسبت ابعادی فضاها	۳بعدی	اختصاص فضا به شبکه ها، تغییر شاخص فضا در ماتریس مکان (مساحت، فشردگی، نظم، محدب بودن فضا، طبقه ترجیحی)	K-D ،EA Tree
(Yeh, 2006)	+	+۱	جز به کل	مستطیلی	همجواری	موقعیت مکانی فضاها	۲ بعدی	اختصاص فضا به شبکه ها، تغییر شاخص فضا در ماتریس مکان (مجاورت)	NN &SA
Gero &) Казаков, (1998	+	+۱	جز به کل	چند ضلعی	همجواری	موقعیت مکانی فضاها	۲ بعدی	اختصاص فضاها به شبکه ها، الگو، ارزش ژنوتایپ (به حداقل رساندن فاصله بین فضاها)	Quadratic assignment GA
Yi & Yi,) (2014	-	۱	کل به جز	چند ضلعی	همجواری	مساحت فضا	۲ بعدی	اختصاص فضاها به شبکه ها، تغییر شاخص فضا در ماتریس مکان (PMV، سطح نور روز، سایه داخلی/خارجی)	SA
Zawidzki,) (2011	-	۱	کل به جز	مستطیلی	همجواری	پیچیدگی هندسی(نداشتن کریدور)،ابعاد کریدور	۲ بعدی	سلول ها و شبکه گرید (مجاورت)	FFN-serch (csp)

۳،۱،۲ باز نمایی مبتنی بر الگوریتم های فیزیکال

یکی از رویکرد هـای بـازنمـایی تولیـد چیـدمـان هـای فضـــایی، اعمـال قوانین فیزیکی میـان فضـــاهـاســـت (Guo & Li, 2017) (Arvin & House, 1999) (Fortin, 1978) (Chatzikonstantinou et al., 2014) (Arvin & House, 1999)، در این رویکرد فضاها به صورت دایره ها، تیوب ها یا مستطیل ها بازنمایی می شوند، این ساده سازی یعنی استفاده از دایره به جای مستطیل موجب وضـوح توپولوژیک می شـود. همجواری فضـاها معمولا به وسیله ریسمان هایی میان فضاها منطبق بر ماتریس مجاورت تعریف می شود. پس از ایجاد سـاختار حبابی اولیه، نیروهای فیزیکی در قالب جاذبه و دافعه به سـیستم وارد می شود، یعنی در این سیستم ریسمان ها به مانند فنر عمل می کنند و اعمال این نیرو ها تا زمانی که سیستم به تعادل برسد ادامه دارد.

در عمده مقالات معمولا فضـاها به شـکل دایره (Chatzikonstantinou et al., 2014) (Christensen, 2014)، یا مسـتطیل (Fortin, 1978) بازنمایی شده اند، با این حال گائو در مقاله خود رویکرد متفاوتی را دنبال کرد، او فضاها را به عنوان کره و تیوب های عمودی و افقی در نظر گرفت و با این کار توانسـت تا فضـاهایی که دارای کشـیدگی در پلان هسـتند و سـیرکولاسـیون عمودی را نیز مد نظر قرار دهد (Guo & Li, 2017).



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۲. بازنمایی مبتنی بر الگوریتم های فیزیکال (ماخذ: König & Knecht, 2014)

مراحل بازنمایی:

- اطلاعات اولیه طراحی توسط کاربر وارد می شود. این اطلاعات می تواند ماتریس همجواری، یا داده هایی هندسی مربوط به فضاها باشد.
- داده های وارد شده به دیاگرام های حبابی تبدیل می شوند. (الف)

- روابط توپولوژیک در سیستم اعمال می شوند، در این مرحله اهداف مربوط به توپولوژی و هندسه میان فضاها به کمک اعمال نیروهای فیزیکی به اجزاء معرف فضاها ایجاد می شود. نیروهای جاذبه و دافعه تا رسیدن به تعادل به ریسمان ها اعمال می شود (ب).
- الزامات هندسی از جمله حداقل همپوشانی، از بین بردن فضاهای خالی و... روی سیستم اعمال خواهد شد (ج).
- در نهایت سیستم نیاز به یک عملیات پس پردازش (پست پروداکشن) در جهت برآورده کردن اهداف زیبایی شناسی دارد (د).

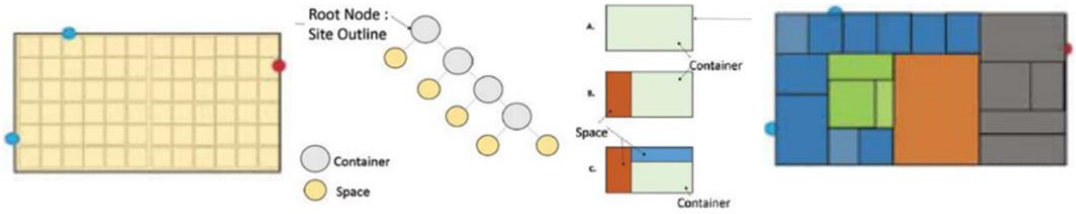
جدول ۲. مقالات بازنمایی مبتنی بر الگوریتم های فیزیکال (ماخذ: نگارندگان)

منبع	محدودیت مرز	تعداد طبقات	رویکرد معماری	هندسه فضاها	اهداف توپولوژی	اهداف هندسی	ویژگی خروجی	اقدامات برای تولید (بهینه سازی)	الگوریتم
Arvin & House, 2002)	–	۱	جز به کل	مستطیلی	مجاورت جدابودن جهت گیری	کنترل بی نظمی شکل در یک راستا بودن دیوارها ضخامت دیوارها مساحت از بین بردن فضای خالی	۲ بعدی	مختصات نقطه مرکزی فضا، فاصله لبه ها تا نقطه مرکزی؛ فنر برای نشان دادن فاصله؛ (نیروی جاذبه و دافعه، تغییر مختصات فضا ها، جابجایی دیوارها)	ایتریتیو
Guo & Li, 2017)	+	۱+	جز به کل	مستطیلی	اتصال و همجواری	ابعاد حجم حجم ساختمان	۳بعدی	مکان یابی فضاها؛ فاصله بین فضاها؛ (سه قانون ، حرکت، فشار و تعویض)	بهینه سازی تکاملیES، بهینه سازی چند عاملی
Christensen, 2014)	–	۱	جز به کل	مستطیلی	همجواری ایجاد خط داستان حرکتی	ابعاد	۲ بعدی	مختصات نقطه مرکزی از فضاها، حرکت در فضا و دید سریالی (نیروی جاذبه و دافعه، تغییر مختصات فضا ه)	ایتریتیو

Biagini et al., 2014)	–	۱	جز به کل	حبابی	امتیاز دهی به ماتریس همجواری	–	۲ بعدی، حبابی	مختصات نقطه مرکزی از فضاها؛ فاصله لبه ها تا نقطه مرکزی؛ فنر برای نشان دادن فاصله؛ (نیروی جاذبه و دافعه، تغییر مختصات فضا)	استفاده از پلاگین کانگرو در گرس هاپر
Arvin & House, 1999)	–	۱	جز به کل	مستطیلی	مجاورت، جدابودن جهت گیری	کنترل بی نظمی شکل در یک راستا بودن دیوارها ضخامت دیوارها مساحت از بین بردن فضای خالی	۲ بعدی	تغییر مختصات نقطه مرکزی از فضاها؛ فاصله لبه ها تا نقطه مرکزی؛ فنر برای نشان دادن فاصله؛ (نیروی جاذبه و دافعه، تغییر مختصات فضا ها، جابجایی دیوارها)	ایتریتیو
(Fortin, 1978)	–	۱	جز به کل	مستطیلی	مجاورت جدابودن	حداقل مساحت حداقل فاصله فضاها حداقل همپوشانی فضاها	۲ بعدی، حبابی	فاصله فضاها از هم (نیروی جاذبه و دافعه، تغییر مختصات فضا)	ایتریتیو

۳،۱،۳ بازنمایی مبتنی بر تقسیم بندی فضا

زمینه این رویکرد را می توان در تحقیقات اولیه الکساندر در حوزه برنامه ریزی فضایی جست جو کرد (Alexander, 1965)، در این روش مرز از پیش تعریف شده توسط کاربر ، بر اساس یک دنباله عددی بازگشتی تقسیم می شود. در هر مرحله درخت داده مربوط راه حل به روز رسانی و بررسی می شود (Knecht & König , 2010) (König & Knecht, 2014) (Das et al., 2016). در درخت داده، هر گره معرف یک فضای معماری است و مقادیر موجود در گره معرف اهداف ویژگی های هندسی (مانند مساحت فضا، یا تناسبات) فضایی است که بر اساس خط تقسیم به وجود آمده است.



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۳. بازنمایی مبتنی بر تقسیم بندی فضا (ماخذ: Das et al., 2016)

مراحل بازنمایی:

- مرز پیرامونی پلان توسط کاربر تعریف می شود.(الف)
- ابعاد فضاها و مجاورت های مطلوب که توسط کاربر تعریف شده، در یک درخت نگاشت می شود. (ب).
- مرز اولیه به صورت بازگشتی بر اساس داده های درختی تقسیم می شود (ج).
- طرح نهایی پس از همه تقسیم ها و اعمال محدودیت ها ایجاد می شود (د).

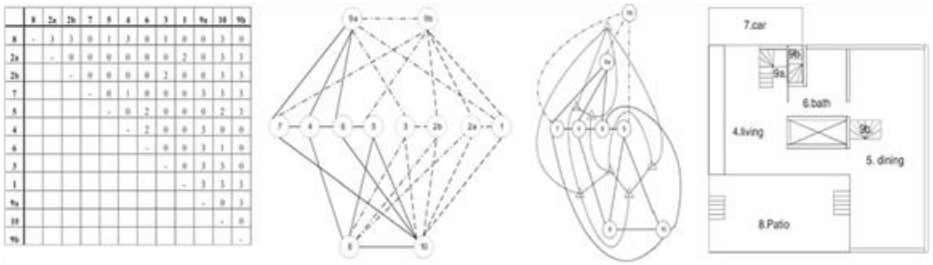
جدول ۳. مقالات بازنمایی مبتنی بر تقسیم بندی فضا (ماخذ: نگارندگان)

منبع	محدودیت مرز	تعداد طبقات	رویکرد معماری	هندسه فضاها	اهداف توپولوژی	اهداف هندسی	ویژگی خروجی	اقدامات برای تولید (بهینه سازی)	الگوریتم
Das et al., (2016)	+	۱	کل به جز	مستطیلی	همجواری	/	۲ بعدی	طرح تقسیم بر اساس درخت داده (حداکثر کردن دید میان فضاهای داخلی، حداقل کردن مسافت طی شده توسط پرستار، حداکثر کردن تعداد تخت های بیمارستان،)	درخت kd

König &) Knecht, (2014	+	۱	کل به جز	مستطیلی	همجواری	اندازه، نسبت ابعاد فضا	۲ بعدی	طرح تقسیم بر اساس درخت داده (تغییر لایه ها و مقادیر در درخت داده.)	GA/ES+K-D tree
Knecht &) (König , 2010	+	۱	کل به جز	مستطیلی	همجواری	اندازه، نسبت ابعاد فضا	۲ بعدی	طرح تقسیم بر اساس درخت داده (تغییر لایه ها و مقادیر در درخت داده.)	GA درخت Gp ،kd

۳،۱،٤ بازنمایی مبتنی گراف

از زمانی که لوین (Levin et al., 1964)، ایده استفاده از گراف ها را برای مدل‌سازی مسائل طراحی معماری مطرح کرد، تحقیقات متعددی در این حوزه انجام شده است (Chatzikonstantinou et al., 2014) (Ruch , 1978) (Lai & Chan, 2009) (Roth & Hashimshony, 1988) (Lobos & Trebilcock, 2014) (Verma & Thakur, 2010) (Schwarz et al., 1994). یک گراف از تعدادی گره ها و لبه ها تشکیل می شود. در یک گراف معادل پلان معماری، معمولا گره ها معرف یک فضا یا یک عملکرد هستند. و لبه ها نشان دهنده الزامات مجاورتی میان دوفضا معماری هستند. بنابراین هر یال باید به دو گره محدود باشد، با این حال نیازی نیست که تمامی گره ها به وسیله یال ها به هم وصل شده باشند. یک گراف می تواند برمبنا یال ها و گره های تعریف شده چندین بازنمایی (ایزوگراف) داشته باشد. این بازنمایی های می تواند موجب تنوع در ارائه گزینه های طراحی شود (Ruch , 1978)، باید به این نکته توجه کرد که همه گراف ها قابلیت تبدیل شدن به پلان طبقه را ندارند. شرط لازم برای اینکه یک گراف قابلیت تبدیل شدن به چیدمان فضایی را داشته باشد، این است که گراف باید مسطح (بتوان آن را بدون داشتن لبه هایی متقاطع در صفحه ترسیم کرد.) باشد. پس از دست یابی به گراف مسطح فرآیند تولید چیدمان ها بر مبنای محدودیت های هندسی آغاز می شود. در این مرحله باید از الگوریتم‌های گراف برای تبدیل گراف مسطح به یک طرح فضایی (گراف مستطیلی) امکان‌پذیر، استفاده شود (Lai & Chan, 2009).



شکل۴. بازنمایی مبتنی بر گراف (ماخذ: Lai & Chan, 2009)

مراحل بازنمایی:

- ابتدا نیاز های کاربر در یک ماتریس دو بعدی وارد می شود، این مقادیر می تواند بر مبنای برنامه پروژه تغییر کند (الف).
- ماتریس به یک گراف مسطح تبدیل می‌شود، که در آن گره‌ها معرف فضاهاست و لبه ها معرف همسایگی است (ب).
- بررسی امکان پذیر بودن گراف برای تبدیل به یک پلان، باید بررسی کرد که آیا می توان گراف موجود را می توان به یک گراف دو گانه تبدیل کرد یا خیر؟ (ج).
- در نهایت با وارد کردن داده های هندسی طرح نهایی بدست می آید. (د).

جدول ۴. مقالات بازنمایی مبتنی بر گراف (ماخذ: نگارندگان)

منبع	محدودیت مرز	تعداد طبقات	رویکرد معماری	هندسه فضاها	اهداف توپولوژی	اهداف هندسی	ویژگی خروجی	اقدامات برای تولید (بهینه سازی)	الگوریتم
(Ruch , 1978)	–	۱	جز به کل	–	همجواری	مساحت تقریبی فضاها	۲ بعدی	ایجاد گراف دوگانه مسطح، تبدیل به دیاگرام حبابی، تشکیل گراف مستطیلی	PERT

								(به حداقل رساندن فضای تلف شده، مجاورت فضا)	
(Lai & Chan, 2009)	–	۱	جز به کل	مستطیلی	همجواری	–	۲ بعدی	تغییر شاخص فضا را در ماتریس مجاورت، تبدیل ماتریس به گراف دوگانه، اعمال ابعاد در گراف (مجاورت فضایی، بودجه، نسبت مساحت نسبی فضاها)	/
Verma & Thakur, (2010)	+	۱+	جز به کل	–	اتصال	مساحت؛ طول؛ عرض؛ نسبت مساحت به محیط؛	۲ بعدی	تغییر شاخص فضا را در ماتریس مجاورت، تبدیل ماتریس به گراف دوگانه، اعمال ابعاد در گراف (به حداقل رساندن زمان تخلیه/ فشردگی فضاها)	NSGA-II Dijkstra
Chatzikonstantinou (et al., 2014)	–	۱+	جز به کل	مستطیلی	همجواری	عرض و طول فضاها	۳ بعدی	تغییر موقعیت مرکز فضا	Dijkstra GA،

								(به حداکثر رساندن مساحت؛ به حداقل رساندن هزینه؛ نزدیکی و جدایی فضا)	
(Lobos & Trebilcock, 2014)	+	۱	جز به کل	مستطیلی	همجواری	ابعاد فضاها	۲ بعدی	تغییر مکان اتاق ها و اعمال آن در پلان نهایی (دما (درجه سانتی‌گراد)، روشنایی (Lx)، آکوستیک (Db.) ، درصد مساحت اتاق‌ها)	SA
(Wang et al., 2018)	+	۱	جز به کل	مستطیلی	همجواری	عرض و طول فضاها	۲ بعدی	تبدیل گراف دو گانه به گراف مسطتیلی	EA

۳،۱،۵ بازنمایی مبتنی برنامه نویسی ریاضی

در این روش، پارامترهای طراحی چیدمان فضـا و الزامات عملکردی چیدمان باید به فرمول های ریاضـی تبدیل شـوند (Das et al., 2016) (Nagy et al., 2017) (Medjdoub & Yannou, 2000).

مراحل بازنمایی:

- در این روش فضاها به کمک نقاط مرکزی آنها تعریف و روابط همجواری به وسیله کنترل فاصله نسبی میان دو نقطه کنترل می شود. (الف).

- الزامات طراحی، مانند عدم همپوشانی (روی هم قرار گرفتن فضاها) و عدم سرریز(خارج شدن فضاها از مرز تعریف شده)، به محدودیت ها تبدیل شده و به صورت فرمول های ریاضی بیان می شوند (ب).
- با تغییر مکان‌ها و ابعاد فضا، طرح‌بندی‌های امکان‌پذیر با برآورده کردن تمام محدودیت‌های طراحی مد نظر به دست می‌آیند (ج).

$$R_1 = (x_1, y_1, w_1, h_1)$$

$$d_x(R_1, R_2) = max\{V_x(R_1), V_x(R_2)\} - min\{V_y(R_1), V_y(R_2)\} - \omega(R_1)\omega(R_2)$$

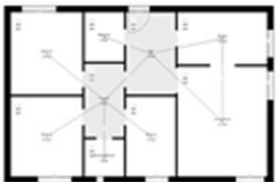
$$d_y(R_1, R_2) = max\{V_y(R_1), V_y(R_2)\} - min\{V_y(R_1), V_y(R_2)\} - \mathrm{h}(R_1)\mathrm{h}(R_2)$$

(الف)

$$f_2(\mathrm{I}) = \sum_{i=1}^{Ns-1} \sum_{j=1+i}^{Ns} f_{ov}(\mathrm{I}, \mathrm{Fj}) + \sum_{i=1}^{Ns} \sum_{j=1}^{Na} f_{ov}(\mathrm{Fi}, \mathrm{Aj})$$

$$f_{ov}(R_1, R_2) = \omega(R_1 \cap R_2)\mathrm{h}(R_1 \cap R_2)$$

(ب)



(ج)

شکل ۵. بازنمایی مبتنی بر نامه نویسی ریاضی (ماخذ: Rodrigues et al., 2013)

جدول ۵. مقالات بازنمایی مبتنی بر بر نامه نویسی ریاضی (ماخذ: نگارندگان)

منبع	محدودیت مرز	تعداد طبقات	رویکرد معماری	هندسه فضاها	اهداف توپولوژی	اهداف هندسی	ویژگی خروجی	اقدامات برای تولید (بهینه سازی)	الگوریتم
Rodrigues et al., 2013)	–	۱	جز به کل	مستطیلی	همجواری اتصال	ابعاد فضاها موقعیت پنجره ها و درها؛ اتصال بین فضاها موقعیت پلان طبقه؛	۲ بعدی	تغییر ابعاد فضاها؛ جایگزین کردن مکان فضاها. فشرده سازی هندسه ساختمان (اتصال و مجاورت؛ عدم همپوشانی؛ جهت باز شو ها؛ ابعاد کف؛ فشردگی؛ عدم سرریز؛)	ES SHC
Nagy et al., 2017)	+	۱	جز به کل	غیر مستطیلی	همجواری	لبه فضاها؛ مکان یابی فضاها؛ چیدمان میزها؛ موقعیت	۲ بعدی	تغییر ابعاد فضاها؛ جایگزین کردن مکان فضاها. فشرده سازی هندسه ساختمان؛	MOGA

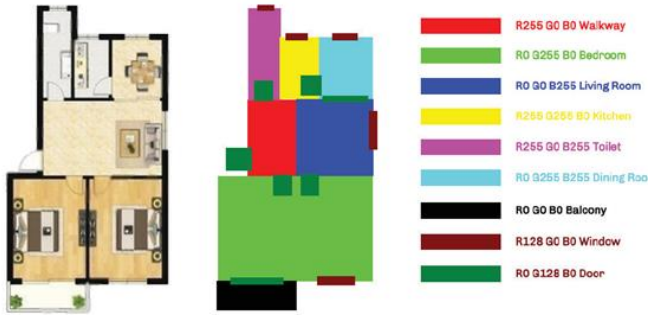
			مکانی فضاهای خدماتی؛				(مجاورت؛ ترجیح سبک کار؛ میزان و توزیع مناطق پر فعالیت؛ توزیع خطوط دید به میزهای دیگر. مقدار نور روز؛ دید بدون مانع به بیرون؛)	
Medjdoub) & Yannou, (2000	-	۱+	جز به کل	مستطیلی	همجواری	۲ بعدی	ابعاد فضاها،محل قرارگیری پنجره ها؛	تغییر مختصات رأس فضا و ابعاد فضا؛ (محدودیت های دامنه و نسبت؛ اتصال فضایی؛مجاورت فضا؛ جهت گیری؛ فضاهای هدر رفته را به حداقل برسانید. عدم سرریز؛ عدم همپوشانی؛ بیهوده	EH

۳،۱،٦ بازنمایی مبتنی بر یادگیری ماشین

در این روش یک مدل یادگیری عمیق که معمولا مدلی از خانواده شبکه های عصبی عمیق به ویژه گن (GAN) است، به کمک یک مجموعه داده از پلان واقعی آموزش داده می شود، پس از فرآیند آموزش از این مدل های از پیش آموزش دیده، برای تولید چیدمان ها معماری جدید استفاده می شود (Merrell et al., 2010) (Wang et al., 2018) (Nauata et al., 2021) (Chaillou, 2021) (Chang et al., 2021) (Nauata, 2020b) (Hua, 2016) (Wu et al., 2019) (Hu et al., 2020) با این حال در مقالاتی که مورد بررسی قرار گرفت، نمونه هایی از به کار گیری شبکه های عصبی گراف به ویژه شبکه کانولوشن مسیج پسینگ (Nauata et al., 2021) (Nauata, 2020b)، شبکه های بیزی (Merrell et al., 2010)، پردازش زبان طبیعی یعنی استفاده از توصیف ویژگی های فضا ها (مانند مجاورت فضاها، مساحت اتاق ها و حوزه های عملکردی) (Merrell et al., 2010) (Jain, 2018) وجود دارد.

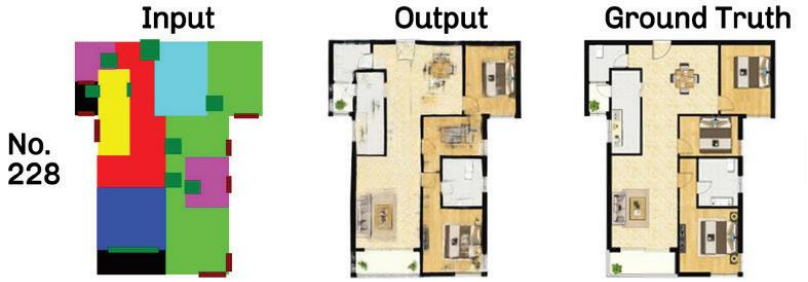
مراحل بازنمایی:

- مجموعه داده ایی از نمونه های واقعی جمع آوری و بر اساس قوانینی مشترک برچسب گذاری می شود. در این مرحله باید هر یک از فضاها (برای مثال اتاق خواب ها)، در تمامی نمونه ها به وسیله یک کد رنگی برچسب گذاری شود.



شکل ۶. نمونه ایی از قوانین آماده سازی(پیش پردازش) پلان ها توسط هوانگ و ژنگ (ماخذ: Zheng et al., 2018)

- داده ها به ماتریس های عددی شامل کانال های رنگی و مقادیر آن تبدیل می شود.
- یک شبکه عصبی عمیق با استفاده از داده های ترین و تست به عنوان ورودی و خروجی مد نظر، آموزش داده می شود. پس از این کار، مدل آموزش دیده قادر است چیدمان های فضا را بر اساس نقشه‌های برچسب‌دار تولید کند



شکل۷. نمونه ایی از چیدمان های تولید شده توسط هوانگ و ژنگ (ماخذ: Zheng et al., 2018)

جدول ۶. مقالات بازنمایی مبتنی بر یادگیری ماشین (ماخذ: نگارندگان)

منبع	گونه	تعداد طبقات	شبکه مورد استفاده	دیتا ست	سایز تصاویر ورودی (تعداد کانال های رنگی)	ورودی	خروجی	خروجی بعد از پس پردازش	کیفیت خروجی

Chaillou, (2021)	مسکونی	۱	pix2pix	Boston	۲۵۶*۲۵۶(۳)	محدوده زمین ،مرز پلان	فضا ها در مرز مشخص شده	تبدیل تصویر به بردار	کم
Wu et al., 2019)	مسکونی	۱	CNN	RPLAN	۲۵۶*۲۵۶(۳)	محل ورودی، مرز پلان	موقعیت دیوار ها در مرز مشخص شده	تبدیل تصویر به بردار	متوسط
(Hu et al., 2020)	مسکونی	۱	GNN CNN	RPLAN	۱۲۸*۱۲۸(۳)	ورودی،خط طبقه، تعداد اتاق و نوع اتاق ها	فضا ها در مرز مشخص شده در ها و دیوار ها	تبدیل تصویر به بردار	متوسط
Chang et al., 2021)	اداری	۱+	GNN GNN (voxle)	۱۲۰۰۰۰ حجم تولید شده توسط طراحان	graph Voxel program graph	گراف برنامه ریزی، ورودی ها کاربر حین تولید	چیدمان ۳ بعدی برمبنای گرید	–	کم
Nauata, 2020b)	مسکونی	۱	Conv-MPN (house-gan)	۱۱۷،۵۸۷ Layouts from Lifull	گراف همجواری،۲۵۶*۲۵۶(۳)	گراف برنامه ریزی	فضا ها در مرز مشخص شده،	–	متوسط
Nauata et al., 2021)	مسکونی	۱	Relational GAN, ConvMPN	RPLAN	گراف همجواری ۲۵۶*۲۵۶(۳)	گراف برنامه ریزی	فضا ها در مرز مشخص شده،در ها و دیوار ها	تبدیل تصویر به بردار	زیاد
Merrell et al., 2010)	مسکونی	۱	ترکیب شبکه های بیزی بهینه سازی	۱۰۰ پلان	–	پلان های کد گذاری شده (همسایگی، محد در و دیوار ها)	پلان طبقه بر مبنای ورودی		زیاد

Zheng) et al., (2018	مسکونی	۱	pix2pix HD	۱۱۵ پلان	۵۱۲*۵۱۲(۳)	مرز پلان، مرز فضا برای تولید مبلمان	فضا ها در مرز مشخص شده، جانمایی مبلمان به صورت جداگانه	تبدیل تصویر به بردار	کم

٤ بحث

برای ارزیابی مقالات و رویکرد های استفاده شده می توان از معیارهایی کمی و کیفی استفاده کرد. معیارهای قابل سنجش به دست امده عبارتند از: تنوع در هندسه تولیدی تولید، قابلیت تولید پلان های چند طبقه، و لزوم و امکان تعریف مرز ساختمان از پیش فرآیند تولید، اهداف هندسی، اهداف توپولوژی، اقدامات برای تولید و بهینه سازی.

از سوی دیگر معیارهایی وجود دارد امکان سنجش آنها ممکن نیست، از جمله قابلیت استفاده در پروژه واقعی مانند: برآورده کردن الزامات قانونی، الزامات سازه ایی، الزامات آتش نشانی، هزینه های ساخت و قابلیت اجرا و کاربر پسند بودن، یعنی خروجی تحقیق به گونه ای باشد تا کاربران و جامعه هدف بتوانند به راحتی از آن استفاده کنند. در مورد سرعت تولید با توجه به اینکه مقالات متعددی به این مساله اشاره نکرده اند از سوی دیگر پارامترهایی مانند سخت افزار مورد استفاده و روش تولید و تعداد فضاها و تعداد پارامتر های بهینه سازی در میزان آن موثر است. صرف نظر کرده ایم. که در جدول ۱ تا ۷ و به اختصار در جدول شماره ۶ مشاهده کرد. در ادامه به شرح ارزیابی انجام شده می پردازیم.

جدول ۷. معیارهای موثر در انتخاب رویکرد های بازنمای چیدمان های فضایی (ماخذ: نگارندگان)

رویکرد بازنمایی مبتنی بر	الزا مات طراحی	متغیر های طراحی	تولید شکل های نا منظم	مرز از پیش تعریف شده	الگوریتم	اهداف بهینه سازی	اقدامات برای تولید و بهینه سازی
تخصیص سلولی	هندسه توپولوژی	بر اساس پژوهش متغییر	+	+–	تکاملی، شمارشی (چند هدفه)	هندسه و توپولوژی	تغییر شاخص در ماترس مجاورت
الگوریتم های فیزیکال	هندسه توپولوژی	بر اساس پژوهش متغییر	–	–+	ایتریتیو	–	تغییر نیروها
تقسیم بندی فضا	هندسه توپولوژی	بر اساس پژوهش متغییر	–	+	کاملی، شمارشی	هندسه و توپولوژی	تغییر مقادیر تقسیم وجهت آن

گراف	هندسه توپولوژی	توپولوژی	−	+−	گراف	توپولوژی	تغییر متغیر ها توپولوژی
برنامه نویسی ریاضی	هندسه توپولوژی	بر اساس پژوهش متغییر	+	+−	کاملی، شمارشی	هندسه و توپولوژی	تغییر مختصات و ابعاد فضا
یادگیری ماشین	هندسه توپولوژی	استخراج ویژگی	+	+−	شبکه های عصبی	−	اموزش وزن های شبکه بر مبنای آموزش

الزا مـات طراحی، تمـامی رویکرد هـای تولیـد چیـدمـان هـای معماری به دنبال اعمال تعدادی متغیر طراحی به کمک الگوریتم های هوش مصنوعی بر روی چیدمان های تولید شده هستند. این الزامات را می توان به دو گروه الزامات توپولوژیک و هندسی طبقه بندی (Rodrigues et al., 2013)، کرد. این الزامات معمولاً به واسـطه طراح یا کاربر الگوریتم به عنوان ورودی وارد می شـود، الزامات توپولوژیک: رابطه نسـبی میان فضـاها را در نظر می گیرد، از جمله اتصال (وجود درب)، همجواری (دیوار مشترک)، و جدایی بین فضاها، و همچنین الزاماتی در مورد جهت گیری نسـبت به جهات فضـاها را شـمال می شـود و الزامات هندسی؛ فاکتورهایی را در سطح یک فضا مورد بررسی قرار می دهد. ابعاد فضا ها، تناسبات فضاها، مساحت فضاها، شرایط مرزی و فشردگی از جمله الزامات هندسی است.

متغیر های طراحی ، یعنی ویژگی هایی که می توانند به واسـطه الگوریتم برای اغنا الزامات طراحی در طول فرآیند تولید دچار تغییرات شوند. متغیرهای طراحی ممکن اسـت، شامل ابعاد دیوارها، ضخامت دیوار، درهای بیرونی، پنجره های بیرونی، درهای داخلی، تولید فضا به صورت چند ضـلعی بسته، مبلمان و وسایل، مرز ساختمان یا ساختمان های مجاور و متغیر های توپولوژیکی مانند جهت گیری بازشو ها، الزامات مجاورت بین فضاها باشند. متغیرهای طراحی در مطالعات منتخب یکنواخت نیستند.

قـابلیـت تولیـد پلان هـایی در چنـد طبقـه، مطـالعـات، (Dino, 2016) (Yeh, 2006) (Gero & Казаков, 1998) (Chatzikonstantinou et al., 2014) (Verma & Thakur, 2010) (Medjdoub & Yannou, 2000) چیدمان را به چند طبقه توسعه داند. در حالی که مطالعات دیگر ساختمان را به یک طبقه محدود کرد. در مورد رویکرد تخصیص سلولی در صورتی امکان تولید چیدمان چند طبقه وجود دارد که در تعریف ماتریس این مساله در نظر گرفته شده باشد. در مورد رویکرد یادگیری ماشین اگر داده های اموزشی بر اسـاس نمونه های چند طبقه جمع اوری شـده باشـند این قابلیت را دارند. هیچ یک از تحقیقات انجام شـده جز (Guo & Li, 2017)، قابلیت تولید فضاهایی با ارتفاع دو طبقه ندارد.

تولید شکل های نا منظم، قابلیت بی‌نظمی صرفاً بر اساس فرم فضاهای تولید شده تعیین می‌شود، زیرا فرم مرزی می‌تواند توسط طراحان از پیش تعریف شـود یا می‌تواند نتیجه ترکیب فضـایی اجزا باشـد. در رویکرد مبتنی بر تخصـیص سـلولی تولید فضاهای چند ضلعی با سلول های ترکیبی آسـان از دیگر روش اسـت (Yi & Yi, 2014) (Dino, 2016) (Gero & Казаков, 1998)، رویکرد یادگیری ماشین توانایی بالایی برای تولید فرم‌های فضـای نامنظم نشـان داده اسـت، همانطور که در (Chaillou, 2021) نشـان داده شده است. با این حال، برخی مطالعات دیگر نیز می توانند فضـاهای چند ضـلعی ایجاد کنند، این کار معمولا با استفاده از چندین رویکرد به طور هم زمان انجام می شود.برای مثال در (Nagy et al., 2017) روش برنامه ریزی ریاضـی و روش تقسیم فضا استفاده شده و در (Hua, 2016)، از روش مبتنی بر نظریه گراف و روش تخصـیص سـلول اسـتفاده شده است. هیچ مطالعه ای با رویکرد مبتنی بر الگوریتم های فیزیکال برای ایجاد فضاهای چند ضلعی یافت نشد.

تولید در یک مرز از پیش تعریف شـــده، در رویکرد های تخصـیص سـلولی و تقسـیم بندی فضـا تعریف یک مرز از پیش تعریف شـده ضروری است در حالی که در بقیه رویکرد های بازنمایی به عنوان یک محدودیت ممکن است در نظر گرفته شود و ضرروتی برای تعیین آن وجود ندارد.

الگوریتم های بهینه سـازی– بیشـتر مطالعات بهینه سازی در حوزه چیدمان های معماری که به دنبال چند هدف هستند. در میان مطالعات چندهدفه، بیشـتر مطالعات با تخصیص فاکتورهای وزنی مختلف به اهداف مختلف، چند هدفه را به یک هدف واحد تبدیل کردند، که نتایج بهینه سـازی به شـدت به وزن از پیش تعریف شـده بستگی دارد. در رویکرد های ۱–۵ معرفی شده در بخش قبلی، این متغیر ها معمولا بر مبنای یک روش محاسـباتی شـمارشـی یا تکاملی تغییر می یابد و بهینه می شود، در صورتی که در رویکرد شماره ۶ یعنی رویکرد مبتنی بر یادگیری ماشین این متغیر های از فضـای نهفته موجود در مدل آموزش دیده که شـامل ویژگی های اسـتخراج شـده از پلان های موجود در مجموعه داده مورد استفاده قرار دارد، استخراج می شود.

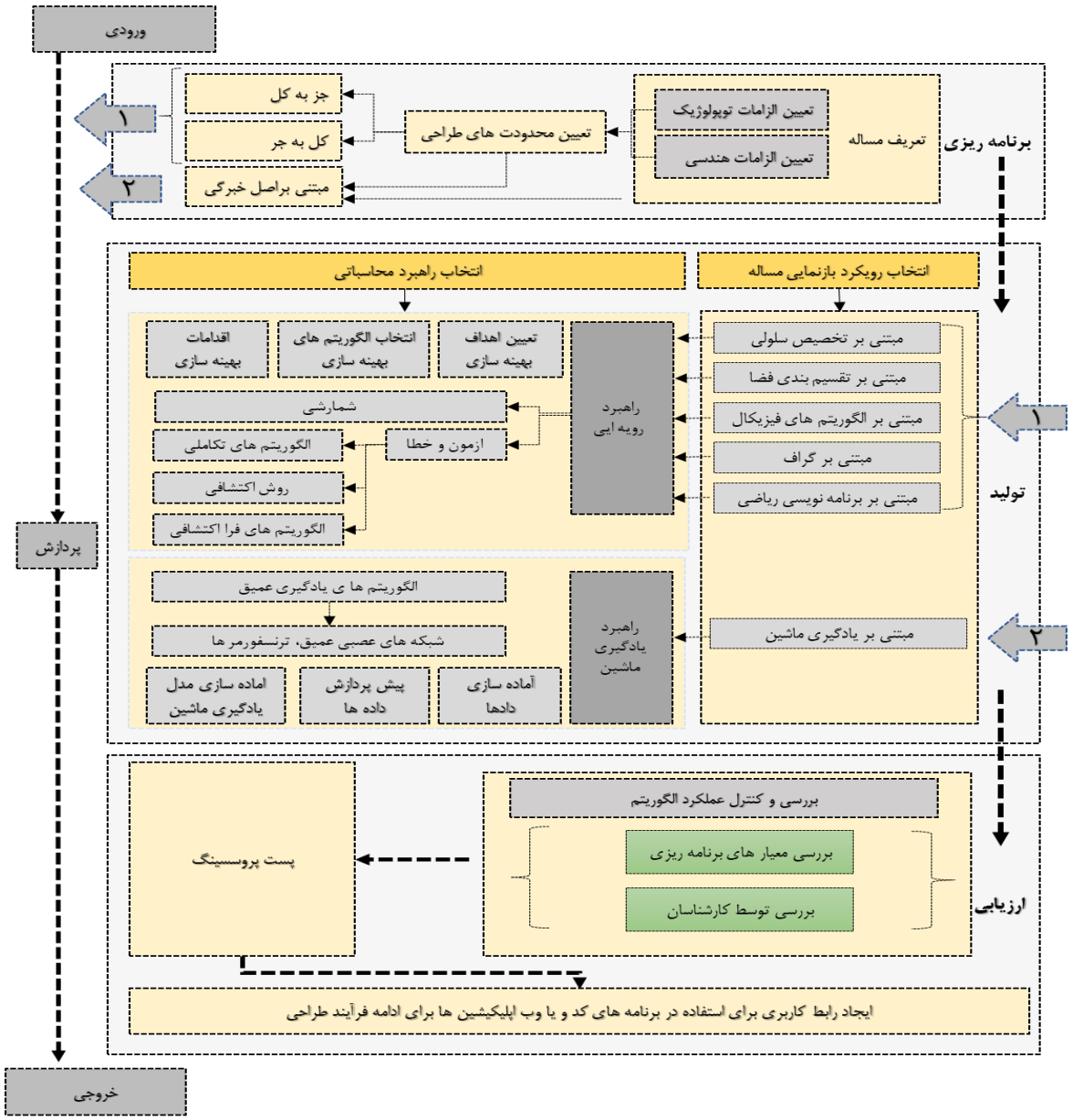
اهداف بهینه سازی، شامل عدم همپوشانی، عدم سرریز (non- overflow)، اتصال و مجاورت بین فضاها، مساحت فضا، فشردگی مرز، و مسـافت طی شـده می باشـد. با توجه به محدودیت ها و اهداف، علاوه بر موارد ذکر شـده ، اهداف دیگری مانند حداقل هزینه سـاخت (Chatzikonstantinou et al., 2014)، حداقل زمان تخلیه (Verma & Thakur, 2010) و حداکثر دید به بیرون (Nagy et al., 2017) نیز استفاده می شود. علاوه بر این، برخی از اهداف با عملکرد ساختمان خاص مرتبط هستند، مانند حداقل مسافت طی شده توسط پرستار در طراحی بیمارستان (Das et al., 2016).

اقدامات برای تولید و بهینه سـازی– اقدامات برای تولید و بهینه سـازی انجام شـده برای تغییر متغیرهای طراحی با هدف بهینه‌سـازی، اهـداف و محـدودیـت‌ها، و الگوریتم‌های بهینه‌سـازی را در جدول های جمع بندی هر رویکردبازنمایی نمایش داده ایم. با توجه به متغیرهای

طراحی، در بین عناصـر مورد استفاده برای نمایش مجدد چیدمان فضا، تنها چند مورد به عنوان متغیر طراحی برای بهینه سازی استفاده می شود. به خصوص در رویکرد بازنمایی مبتنی گراف و رویکرد تقسیم فضا، تنها متغیرهای طراحی توپولوژیکی تغییر می کنند، مانند شاخص های فضا در یک ماتریس مجاورت یا یک درخت داده. اقدامات برای تولید و بهینه سـازی در نظر گرفته شـده در رویکرد های بازنمایی مختلف متفاوت است: برای مثال، در روش مبتنی بر الگوریتم های فیزیکال، میزان نیرو و در روش برنامه‌ریزی ریاضـی مختصـات فضا تغییر می کند، از سوی دیگر در رویکرد مبتنی بر تئوری گراف و تخصـیص سـلولی، شاخص فضا در ماتریس مجاورت تغییر داده می شود. در نهایت در روش تقسیم بندی فضا، مقادیر تقسیم ها تغییر می کند.

۵ نتیجه‌گیری

در این پژوهش مطالعات در حوزه تولید خودکار چیدمان های خودکار فضایی در ۶ رویکرد سازمان دهی شد. همچنین این رویکرد های بر اساس معیار های قابل بررسی مورد بحث قرار گرفت. تحقیقات نشان داده اند که چیدمان های معماری می تواند نقش مهمی در ایجاد ساختمان هایی با صـرفه تر ایفا کنند. این روش ها می توانند موجب افزایش سـرعت به ویژه در مراحل اولیه طراحی شـوند. اگر چه تا کنون روشـی برای در نظر گرفتن تمامی محدودیت ها و اهداف در طراحی معماری معرفی نشـده اسـت و هر پژوهش تعدادی از این اهداف را به عنوان مسـاله خود در نظر گرفته اند. ما در نهایت به عنوان نتیجه گیری از روش طراحی معماری معماری ۳ روش تولید چیدمان و کاربرد آنها را معرفی می کنیم که تمامی ۶ رویکرد که در بخش یافته ها معرفی شـد، در این ۳ دسته قرار می گیرند.همچنین در نمودار شماره یک الگوی عام تولید چیدمان های خودکار فضایی بر امده از مطالعات ارائه شده است.



شکل ۸. مدل عام تولید چیدمان های خودکار فضایی (ماخذ: نگارندگان)

زمانی که هدف تولید چیدمان هایی در یک مرز مشخص مانند زمین های شهری باشد می توان از رویکرد های تولید چیدمان هایی استفاده کردکه امکان تولید به روش کل به جز را فراهم می کند. از سوی دیگر زمانی که ما با مسائلی چون ساخت رباتیک و پیش ساخته سازی یا زمین هایی که محدوده ساخت مشخصی ندارند، رو برو هستیم می توان از رویکردهایی که امکان تولید چیدمان به روش جز به کل را فراهم می کنند استفاده کنیم.

هدف از بکارگیری شبکه های عصبی عمیق و رویکرد یادگیری ماشین در واقع، تقلید از روند کار معماران در دنیای واقعی است، معماران معمولاً پیش از توجه به قوانین و اندازه ها بر مبنای تجربه خود و نمونه های موردی مطالعه شده دست به تولید دست نگاره هایی می زنند. دست نگاره هایی که کیفیت و غنای آن دست نگاره ها تا حدود زیادی وابسته به خبرگی معمار است. روش تولید سوم روش تولید مبتنی بر اصل خبرگی است، که توسط برایان لاوسن معرفی شده است، استفاده از این روش تولید زمانی ارجحیت پیدا می کند که مساله معماری دارای نمونه های ساخته شده زیادی هستند (برای مثال ساختمان های مسکونی در محدوده شهر ها). در این روش تولید از روش های محاسباتی یادگیری ماشینی و شبکه های عصبی عمیق استفاده می شود.

عدم توجه به کاربرد های هوش مصنوعی به کارگیری آن در معماری، علی الخصوص تولید خودکار چیدمان های معماری می تواند موجب مساله شناخته شده ایی در حوزه هوش مصنوعی با نام سوگیری ماشینی شود، چراکه بسیاری از روش های نوین که مبتنی بر رویکرد یادگیری ماشین و اصل خبرگی هستند، بر مبنای داده هایی آموزش می بیند که برای فرهنگ های دیگر طراحی آماده سازی شده اند. بنابراین پیشنهاد می شود در پژوهش های آتی به این مساله به خصوص روش تولید بر مبنی اصل خبرگی پرداخته شود. ما در پژوهش ها آتی خود الگویی مبتنی بر یادگیری ماشین را معرفی خواهیم کرد.

٦ فهرست مراجع:

باباخانی, ر&شاهچراغی, آ, & ذبیحی, ح. (۱۴۰۱). تبیین مدل نظری تولید و توسعه پلان های معماری در تعامل الگوریتم های یادگیری ماشین و ژنتیک. علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۴(۳), ۱-۱۵. doi: 10.30495/jest.2022.58808.5295

حسیبی, ص& اندجی, ع, & ذبیحی, ح. (۱۴۰۱). چیدمان فضایی در طراحی معماری ساختمان¬های مسکونی میان¬مرتبه با استفاده از الگوریتم بهینه یابی. پژوهش های نوین معماری, ۱ (۲), ۸۷-۱۰۲.

صادقیان، م& حسینی،ا. ۱۴۰۰. بررسی کارایی روشهای بهینه سازی تکاملی در دستیابی به اهداف معماری و ساخت. هویت شهر، ۱۵ (۱) : ۱۷-۳۴.

Arvin, S. A., & House, D. A. (2002). Modeling architectural design objectives in physically based space planning. Automation in Construction, 11(2), 213–225.

Biagini, C. (2014). Preliminary Design Through Graphs: A Tool for Automatic Layout Distribution.

C. Alexander, A city is not a Tree, Parts 1 & 2, Architectural Forum 122, 1965, ISBN 978-0500275108, pp. 58–62, 58–61.

Calixto, V., & Celani, G. (2015). A literature review for space planning optimization using an evolutionary algorithm approach: 1992-2014. https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2015-110166
Chaillou, S. (2021). Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice. Birkhaüser.
Chang, K., Cheng, C., Luo, J., Murata, S., Nourbakhsh, M., & Tsuji, Y. (2021). Building-GAN: Graph-Conditioned Architectural Volumetric Design Generation. arXiv (Cornell University).
Chatzikonstantinou, I., Kiss, Z., & Szoboszlai, M. (2014). A 3-Dimensional Architectural Layout Generation Procedure for Optimization Applications : DC-RVD.
Cumincad : CUMINCAD Papers : Paper ecaade2014_100:The generation of possible space layouts. (n.d.). http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2014_100
Cumincad : CUMINCAD Papers : Paper f317:Modeling Architectural Design Objectives in Physically Based Space Planning. (n.d.). http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/f317
Das, S., Day, C., Hauck, J. A., Haymaker, J., & Davis, D. (2016). Space Plan Generator: Rapid Generationn & Evaluation of Floor Plan Design Options to Inform Decision Making.
Dino, I. G. (2016b). An evolutionary approach for 3D architectural space layout design exploration. Automation in Construction, 69, 131–150.
DONALD, T. R. E. V. O. R. (1962). A SUMERIAN PLAN IN THE JOHN RYLANDS LIBRARY1. *Journal of Semitic Studies*, *7*(2), 184–190.
Dutta, K., & Sarthak, S. (2011). Architectural space planning using evolutionary computing approaches: a review. Artificial Intelligence Review, 36(4), 311–321. https://doi.org/10.1007/s10462-011-9217-y
Eastman, C. M. (1973). Automated space planning. Artificial intelligence, 4(1), 41-64.
Fortin, G. (1978). BUBBLE: Relationship Diagrams Using Iterative Vector Approximation. In Design Automation Conference (pp. 145–151).
Gero, J. S., & Kazakov, V. (1998b). Evolving design genes in space layout planning problems. Artificial Intelligence in Engineering, 12(3), 163–176.
Grason, J. (1971, June). An approach to computerized space planning using graph theory. In Proceedings of the 8th Design automation workshop (pp .170-178). ACM.
Guo, Z., & Li, B. (2017). Evolutionary approach for spatial architecture layout design enhanced by an agent-based topology finding system. Frontiers of Architectural Research, 6(1), 53–62.
Hsu, Y., & Krawczyk, R. (2003). New Generation of Computer Aided Design In Space Planning Methods - a Survey and A Proposal. https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2003.101
Hu, R., Huang, Z., Tang, Y., Van Kaick, O., Zhang, H., & Kang, Z. (2020). Graph2Plan. ACM Transactions on Graphics, 39(4).
Hua, H. (2016). Irregular architectural layout synthesis with graphical inputs. Automation in Construction, 72, 388–396.
Jain, M. (2018, November 29). Automatic Rendering of Building Floor Plan Images from Textual Descriptions in English. arXiv.org. https://arxiv.org/abs/1811.11938.
Kalay, Y. E., & Mitchell, W. J. (2004). Architecture's new media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design (255).

Knecht, K., & Koenig, R. (2010). Generating Floor Plan Layouts with K-d Trees and Evolutionary Algorithms. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/256471356_Generating_Floor_Plan_Layouts_with_K-d_Trees_and_Evolutionary_Algorithms
Koenig, R., & Knecht, K. (2014). Comparing two evolutionary algorithm based methods for layout generation: Dense packing versus subdivision. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 28(3), 285–299.
Koning, H., & Eizenberg, J. (1981). The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's Prairie Houses. Environment and Planning B: Planning and Design, 8(3), 295–323.
Lai, P. B., & Chan, K. C. C. (2009). EvoArch: An evolutionary algorithm for architectural layout design. Computer Aided Design, 41(9), 649–667.
Levin, P. H. (1964). Use of graphs to decide the optimum layout of buildlings. The Architects' Journal, 7, 809-815.
Lobos, D., & Donath, D. (2010). The problem of space layout in architecture: A survey and reflections. Arquitetura Revista, 6(2), 136–161. https://doi.org/10.4013/arq.2010.62.0
Lobos, D., & Trebilcock, M. (2014). Informação de desempenho de um edifício e gráficos de abordagem na concepção de projetos. Arquitetura Revista, 10(1).
Medjdoub, B., & Yannou, B. (2000). Separating topology and geometry in space planning. Computer Aided Design, 32(1), 39–61.
Merrell, P., Schkufza, E., & Koltun, V. (2010). Computer-generated residential building layouts.
Nagy, D., Lau, D., Locke, J., Stoddart, J. A., Villaggi, L., Wang, R. Y., Dale, Z., & Benjamin, D. (2017). Project Discover: An Application of Generative Design for Architectural Space Planning.
Nauata, N. (2020c, March 16). House-GAN: Relational Generative Adversarial Networks for Graph-constrained House Layout Generation. arXiv.org.
Nauata, N. (2021, March 3). House-GAN++: Generative Adversarial Layout Refinement Networks. arXiv.org.
Nisztuk, M., & Myszkowski, P. B. (2018). Usability of contemporary tools for the computational design of architectural objects: Review, features evaluation and reflection. International Journal of Architectural Computing, 16(1), 58–84.
Rahbar, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., Markazi, A. H. D., & 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
Rodrigues, E., Gaspar, A. R., & Gomes, Á. (2013). An evolutionary strategy enhanced with a local search technique for the space allocation problem in architecture, Part 1: Methodology. Computer Aided Design, 45(5), 887–897.
Roth, J., & Hashimshony, R. (1988). Algorithms in graph theory and their use for solving problems in architectural design. Computer Aided Design.
Ruch, J. (1978). Interactive Space Layout: A Graph Theoretical Approach.
Schwarz, A., Berry, D. J., & Shaviv, E. (1994). On the use of the automated building design system. Computer Aided Design, 26(10), 747–762.

Stiny, G., & Mitchell, W. J. (1978). The Palladian grammar. Environment and Planning B: Planning and Design, 5(1), 5–18. https://doi.org/10.1068/b050005
Takizawa, A., Miyata, Y., & Katoh, N. (2015). Enumeration of Floor Plans Based on a Zero-Suppressed Binary Decision Diagram. International Journal of Architectural Computing.
Verma, M., & Thakur, M. K. (2010). Architectural space planning using Genetic Algorithms.
Wang, X., Yang, Y., & Zhang, K. (2018). Customization and generation of floor plans based on graph transformations. Automation in Construction, 94, 405–416.
Wu, W., Fu, X., Tang, R., Wang, Y., Qi, Y., & Liu, L. (2019). Data-driven interior plan generation for residential buildings. ACM Transactions on Graphics, 38(6), 1–12.
Yeh, I. (2006). Architectural layout optimization using annealed neural network. Automation in Construction, 15(4), 531–539.
Yi, H., & Yi, Y. K. (2014). PERFORMANCE BASED ARCHITECTURAL DESIGN OPTIMIZATION: AUTOMATED 3D SPACE LAYOUT USING SIMULATED ANNEALING. ResearchGate.
Zawidzki, M. (2011). Application of semitotalistic 2D cellular automata on a triangulated 3D surface. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 6(1), 34–51.
Zheng, H. (2018). Architectural Drawings Recognition and Generation through Machine Learning. In ACADIA proceedings.

Analyzing methods and approaches to produce automatic automatic space layouts

Syed Ali Akbar Sadri, Mohammad Hadi Kabuli *, Mitra Mizarzaei, Mohammad Reza Soleimani

A B S T R A C T

Aims: This study presents an approach for the automatic spatial arrangements in creating more economical buildings. More than 60 years of studies in the field of production of automatic spatial layouts have proved that architectural layouts are strongly affecting the course of such benefits; nevertheless, they mainly examined the subject mathematically. The purpose of this research was to provide a new category in the production of architectural layouts while it investigated the related applications. In addition, it compared the existing approaches and methods. Finally, the study introduced a model for automatic generation of spatial arrangements.

Methods: From out of 105 reliable national and international databases, 34 studies on the production of spatial arrangements were selected and analyzed using the content analysis method.

Findings: The results indicated that the production of automatic spatial layouts could be organized in six approaches from the perspective of problem representation approaches. Additionally, the benefits and applications of each approach examined based on qualitative criteria.

Conclusion: At the same time that a general model was provided by the study, the automatic spatial architectural layout design was also established in three different methods of part to whole and whole to part relationships along with the principle of expertise and its applications.

Keywords: automatic space layouts, floor plan generator, generative design, machine learning