فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران
سال یازدهم، شماره بیست و پنجم، بهار ۱۴۰۰

نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۹
پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱
صفحات: ۳۶-۱۵
10.29252/mmi.1646.13990231

کاربرد و بسط نظریه گراف در روش نحو فضا تدوین مدل کاربردی تحلیل در معماری*

وجیهه ملایی شمس** علیرضا رضوانی*** مجید میرزاوزیری****

چکیده

در چند دهه اخیر، روش‌های مختلفی برگرفته از دانش ریاضیات جهت طراحی و تحلیل فضاهای معماری به‌کار رفته‌اند. در این میان نظریه گراف، مدلی انتزاعی برای مطالعه سازمان‌یابی فضایی ارائه می‌دهد؛ به‌طوری که یک چارچوب ریاضی ساده و انعطاف‌پذیر جهت تحلیل ویژگی‌های توپولوژیک فضایی و ارتباط آنها با مفاهیم اجتماعی و کارکردی در فضاهای معماری و شهری حاصل می‌شود. قضیه اویلر در قرن هجدهم، پایه اصلی تئوری گراف بود و بعدها منجر به شکل‌گیری مدل نحو فرم، دستور زبان شکل و نحو فضا شد. سؤال اصلی پژوهش آن است که طراحان و پژوهشگران چگونه می‌توانند تکنیکی مناسب از نحو فضا را برای دست‌یابی به اهداف خود انتخاب کنند؟ فرآیند تحقیق، از رویکرد کیفی و شیوه توصیفی-تحلیلی بهره می‌برد. با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی، به مرور نظریات و تجارب مختلف در مورد کاربرد نحو فضا در حوزه معماری می‌پردازد و آخرین دستاوردها در تکنیک‌های نحو فضا بیان می‌شود، سپس قابلیت‌ها و کاستی‌های هر یک شناسایی و به شیوه قیاسی تحلیل می‌شوند. هدف آن است که با مطالعه اصول نظریه گراف و بسط آن در تکنیک‌های نحو فضا، مدلی برای کاربرد بهینه آن در طراحی و تحلیل آثار معماری ارائه دهد. این رویکرد، به طراحان و معماران کمک می‌کند تا میزان کارآیی طرح‌های پیشنهادی را در مراحل طراحی ارزیابی کنند و یا ویژگی‌های ساختار فضایی بناهای موجود را تحلیل نموده و در هر شرایط، راهکارهای مناسب جهت حل مسائل مختلف ارائه دهند. یافته‌های پژوهش حاکی از آن هستند که تکنیک‌های فضای محدب، خط محوری و نقطه تقاطع، زمینه را جهت بررسی ارتباط ساختار فضایی با مفاهیم و کارکردهای اجتماعی، سلسله مراتب دسترسی، مدل‌سازی الگوهای حرکتی و بررسی نقاط شاخص فضایی فراهم می‌سازند و تکنیک ایزوویست و گراف‌های دید، قابلیت‌های بصری و ادراکی فضا را مد نظر دارند. در نهایت، مدلی جهت کاربرد هوشمندانه روش نحو فضا توسط طراحان و معماران و دست‌یابی به نتایج تحلیلی دقیق‌تر و سودمندتر ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: نظریه گراف، نحو فضا، ریاضیات، معماری

---

* این مقاله برگرفته از رساله دکترای وجیهه ملایی شمس باعنوان «تبیین کاربرد ریاضیات در معماری معاصر به منظور توسعه جایگاه میان رشته‌ای ریاضیات و معماری (از دهه ی ۱۹۶۰ تا کنون)» با راهنمایی دکترعلیرضا رضوانی و مشاوره دکتر مجید میرزاوزیری است .

** دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. vmshams94@gmail.com

*** دکتری شهرسازی، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول) rezvani0112@mshdiau.ac.ir

**** دکتری ریاضیات محض، عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، گروه ریاضی محض، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. mirzavaziri@gmail.com

مقدمه

نقش ریاضیات به‌ویژه در چند دهه اخیر در اکثر حرفه‌های طراحی محیطی و معماری، قابل توجه است. کاربرد آن در فرآیند برنامه‌ریزی، مرحله طراحی تا ساخت و نیز ارزیابی پس از بهره‌برداری، پیشرفت چشمگیری داشته است. معماران اغلب از هندسه به‌عنوان شاخه مهمی از ریاضیات برای دست یافتن به الگوهای طراحی فرم و ابعاد زیباشناسانه آثار خود بهره می‌برند؛ لیکن وجه محاسباتی و عددی ریاضیات کمتر مورد توجه بوده است. نحو فضا[1] که ریشه در نظریه گراف دارد، مدل‌هایی انتزاعی و روشی کمّی جهت تحلیل ویژگی‌های فضایی ارائه می‌دهد. این روش با تحلیل ساختارهای فضایی و تبدیل ویژگی‌های آنها به نمودارهای توپولوژیک، می‌تواند ویژگی‌های اجتماعی و کارکردی حاکم بر طرح معماری را به صورت کمی و بدون در نظر گرفتن جنبه‌های فرمی بیان کند. پژوهش حاضر، به این پرسش‌ها پاسخ می‌دهد؛ اصول نظریه گراف چگونه در روش نحو فضا جهت تحلیل آثار معماری به‌کار گرفته شده‌اند؟ قابلیت‌ها و محدودیت‌های تکنیک‌های مختلف حاصل از آن کدام هستند؟ و در نهایت، به این سؤال اساسی پاسخ می‌دهد که طراحان و پژوهشگران چگونه می‌توانند تکنیکی مناسب از روش نحو فضا را برای دست‌یابی به اهداف خود انتخاب کنند؟ از آنجا که طبق تحقیقات انجام‌شده تا کنون، درک روابط توپولوژیکی بین فضاهای مختلف یک بنا در ارزیابی ویژگی‌های کیفی و کمّی آن تأثیر بسزایی دارد، هدف پژوهش آن است که با درک نقش مؤثر پیکره‌بندی فضایی در قابلیت‌های اجتماعی و کارکردی فضا، مدلی ارائه کند تا پژوهشگران با توجه به اهداف مورد نظر خود، تکنیک‌های مناسبی از نحو فضا را جهت تحلیل و ارزیابی انتخاب کنند.

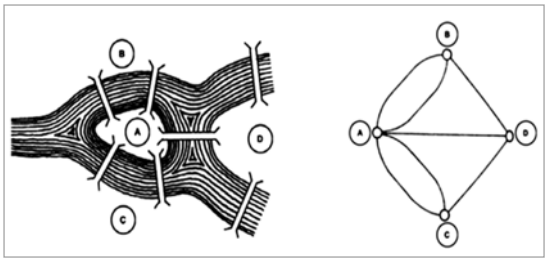
پیشینه پژوهش

نظریه گراف

گراف‌ها، مدل‌های ریاضی کارآمدی برای تحلیل بسیاری از مسائل در دنیای واقعی هستند. بسیاری از شاخه‌های ریاضی مانند؛ نظریه گروه‌ها، نظریه ماتریس‌ها، احتمال و توپولوژی، ارتباط متقابلی با نظریه گراف دارند. فرهنگ ریاضیات "مک‌گروهیل"، گراف را شیئی مسطح، مرکب از نقطه‌ها (رأس‌ها) و پاره‌خط‌ها (یال‌ها)یی بین آنها که در مطالعه مدارها و شبکه‌ها به‌کار می‌رود، تعریف کرده است. مسئله مشهور پل کونیگسبرگ[2]، الهام‌بخش توسعه "نظریه گراف" توسط لئوناردااویلر[3] در قرن هجدهم بوده است؛ یک پازل ریاضی در مورد هفت پل که چهار خشکی را به هم وصل می‌کند. این پازل، فرد را برای شناسایی یک مسیر پیوسته که یک نقطه شروع و یک نقطه پایان مشترک داشته باشد و فرد تنها یک بار از هر پل عبور کند، به چالش می‌کشد (Hopkins & Wilson, 2004). این مسئله، توسط اویلر در 1735 میلادی حل شده است؛ او دریافت جانمایی دقیق جزایر و پل‌ها مهم نیست، بلکه نحوه اتصال پل‌ها و شبکه حاصل از آنها اهمیت دارد. بنابراین، تمامی ویژگی‌های جغرافیایی و شهری را از پازل حذف کرد و تنها بر یک نمودار از چهار گره (قطعات زمین) و هفت اتصال (پل‌ها) تمرکز نمود (Ostwald, 2011a). وی استدلال کرد اگر رأس‌های شبکه را در نظر بگیرید، هر رأسی که نقطه شروع یا پایان چنان مسیری باشد، باید دارای تعداد یال زوج باشد که در محل رأس به هم می‌رسند؛ زیرا آن یال‌ها را می‌توان به صورت جفت‌های ورودی-خروجی با هم جور کرد. اما در شبکه پل‌های مورد بررسی، تعداد یال‌های هر چهار رأس فرد بودند؛ پس چنین مسیری نمی‌توانست وجود داشته باشد. در نتیجه، برای پل‌های کونیگسبرگ هیچ مسیری وجود ندارد که طی آن هر یک از هفت پل دقیقاً یک‌بار پیموده شوند (تصویر ۱). در واقع، اویلر مسئله را با درک این نکته حل کرد که پاسخ سؤال، هیچ ارتباطی با هندسه ندارد و نحوه ارتباط نقاط مهم است، نه طول یا شکل خطوط ارتباطی (Devlin, 1994). گراف، ساختاری شامل تعدادی رأس و یال‌هایی است که این رئوس را به یکدیگر وصل می‌کنند. این نظریه با ساده‌سازی محیط‌های پیچیده به مجموعه‌ای از روابط انتزاعی، روابط توپولوژیک بین اجزای آن را بررسی می‌کند.

پیشینه روش نحو فضا

تا اوایل دهه 1970 میلادی، فعالیت عمده‌ای در مورد قابلیت‌های تئوری گراف در زمینه معماری انجام نشد. در این زمان، نظریه‌پردازان گراف، محاسبات ساده ریاضی در مورد عمق نسبی ساختارهای گراف را آغاز نمودند. این فرمول‌ها،



تصویر ۱. سمت چپ: نمایش نموداری فضای جغرافیایی پل‌های کونیگسبرگ. سمت راست: گراف روابط توپولوژیک آن که نقاط توسط گره‌ها و مسیرهای حرکتی توسط یال‌ها نشان داده شده‌اند (Ostwald, 2011b).

یک دهه بعد مبنای ریاضی برای تحقیق نحو فضا را فراهم کردند و در طی این سال‌ها طیف وسیعی از کاربردهای ریاضی در معماری را مطرح نمودند. در این زمینه، می‌توان به بخشی از فعالیت‌های کریستوفر الکساندر[۴]؛ انتشار مدل محاسباتی ساده برای طراحی معماری با استفاده از نظریه گراف (1964)، ارائه یک تئوری گراف برای توضیح اتصال شهری (1965) و تعریف یک زبان الگو در طراحی (1977) اشاره کرد. لیونل مارک[۵] و فیلیپ استیدمن[۶] (1971) نیز مراحل اولیه یک مدل نحو فرم را که بر تئوری گراف متمرکز بود، ارائه کردند. آنها نموداری از روابط توپولوژیک بین فضاها در ساختمان ترسیم کردند و کاربرد نظریه گراف را در توسعه و ارزیابی طراحی مطرح نمودند. در عین حال، با وجود الهام از نظریه گراف، آنها در ادامه فعالیت‌های پژوهشی خود، بر ویژگی‌های فرم معماری تمرکز کردند و نظریه گراف را کمتر در این مسیر مفید دانستند. این دیدگاه، توسط جورج استینی[۷] در 1975 میلادی تقویت شد و توانست مبنایی برای تحلیل "دستور زبان شکل"[۸] و "طراحی محاسباتی"[۹] در معماری ایجاد کند (Ostwald, 2011a).

در دهه ۱۹۸۰، بیل هیلیر[۱۰] و جولین هانسن[۱۱] اولین کسانی بودند که بسط و کاربرد وسیع تئوری گراف را به محیط‌های ساخته‌شده آغاز کردند و تحقیقات خود را که شامل بررسی‌های دقیق‌تری در زمینه معماری و شهرسازی بود، گسترش دادند. نظریه آنها همراه با مجموعه‌ای از روابط ریاضی و تکنیک‌های محاسباتی برای مطالعه رابطه بین فضا و الگوهای اجتماعی در فضاهای معماری و شهری، با عنوان نحو فضا مطرح شد. اولین تألیفات اساسی در این زمینه، شامل کتب "منطق اجتماعی فضا" (1984)، "فضا ماشین است" (1996) و "رمزگشایی مسکن‌ها و خانه‌ها" (1998) توسط هیلیر و هانسون، به همراه مقالاتی از آلن پن[۱۲]، جان پیونیس[۱۳] و همکاران آنها، چارچوب اولیه این نظریه را تعریف کردند.

با توجه به اینکه اهمیت فضا توسط بسیاری از پژوهشگران معماری مطرح شده بود (Norberg-Schultz, 1971؛ Jencks, 1977؛ Zevi, 1957؛ Giedion, 1961)، اما تا قرن بیستم در اغلب مطالعات، ارزیابی و نقد فرم، بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های فضایی انجام می‌شد. عکس این مطلب، توسط هیلیر و هانسون در کتاب "منطق اجتماعی فضا" مطرح شد. آنها بر این نظر بودند که تمرکز بر فضا مهم‌تر از فرم است و بر ارتباط آن با پدیده‌های اجتماعی و خواص شناختی و تجربی تأکید داشتند. نظریه نحو فضا با تکیه بر این تفکر که نحوه طراحی ساختار فضایی می‌تواند پتانسیل‌های تعامل اجتماعی را تغییر دهد، مطرح شده است و چارچوب مناسبی برای درک ویژگی‌های فضایی در ارتباط با مفاهیم اجتماعی فراهم می‌کند. پژوهشگر معماری، سوفیا پسارا[۱۴] اظهار می‌کند؛ «نظریه تحلیلی بیل هیلیر در چهار دهه گذشته، توصیف فضا را بر مبنای زمینه ارتباط توپولوژیکی ساختار شهری و معماری با فعالیت‌های انسانی مطالعه کرده است و بر اساس پتانسیل‌های حرکت و نحوه دید افراد، پیکره‌بندی ساختمان‌ها و شهرها را تحلیل نموده است. از نظر هیلیر، رابطه بین طراحی و استفاده از مسیرها نه از طریق هندسه و فرم، بلکه از طریق فضا است» (Psarra, 2017: 12). مایکل استوالد[۱۵] (2011b) نیز تأکید می‌کند که این روش به جای توجه به ابعاد فیزیکی، با تمرکز بر فضا و با استفاده از روابط توپولوژیک، به راحتی امکان درک ساختار فضایی را با ساده‌سازی ارتباط بین فضاها فراهم می‌کند.

علاوه بر تداوم مطالعات نظری، پیشرفت نرم‌افزارها و تکنیک‌های تحلیل رایانه‌ای نیز موجب شد نحو فضا با استقبال بیشتری از سوی طراحان و پژوهشگران مواجه شود. طی سه دهه گذشته، با تکمیل و توسعه این روش با ابزارهای طراحی محاسباتی، اکنون محاسبات به‌طور خودکار انجام شده و مقادیر کمّیِ خروجی به‌طور مداوم ارزیابی می‌شوند. برخی ابزار موجود مانند پلاگین گرس‌هاپر[۱۶] که یک ویرایشگر گرافیکی الگوریتم در محیط نرم‌افزار راینو[۱۷] است، تهیه شده‌اند. بعضی، برنامه‌های جداگانه‌ای هستند که به‌طور انحصاری برای انجام تحلیل نحو فضا طراحی شده‌اند؛ مانند دپث مپ، در حالی که برخی دیگر از این برنامه‌ها با برنامه‌های CAD یا GIS ترکیب می‌شوند؛ مانند Spacialist که توسط گروه پژوهشی جان پیونیس طراحی شده است. sDNA نیز توسط آلن چیارادیا، کریسپین کوپر و کریس وبستر[۱۹] (2015) تکامل یافته است (Cooper & Chiaradia, 2015; Turner, 2007; Feng & Zhang, 2017).

مطالعات نشان می‌دهند که روش نحو فضا در چند دهه گذشته مورد استقبال پژوهشگران در زمینه معماری، شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری قرار گرفته است و آثاری در قالب مقالات و کتب به چاپ رسیده‌اند. برخی پژوهش‌ها درصدد توسعه این روش و قابلیت‌های تکنیکی آن بوده‌اند، از جمله؛ Turner & Penn, 2002 ؛ Batty, 2004؛ Dursun, 2007 ؛ Manum, 2009؛ Nourian et al, 2013؛ Ostwald & Dawes, 2018; 2013 ؛ Dettlaff, 2014 و مواردی دیگر. برخی پژوهش‌ها نیز با استفاده از این روش، به مطالعه و تحلیل ویژگی‌های مورد نظر خود در فضاهای معماری و شهری پرداخته‌اند؛ Mustafa؛ Bellal, 2004 ؛ Dawson, 2001

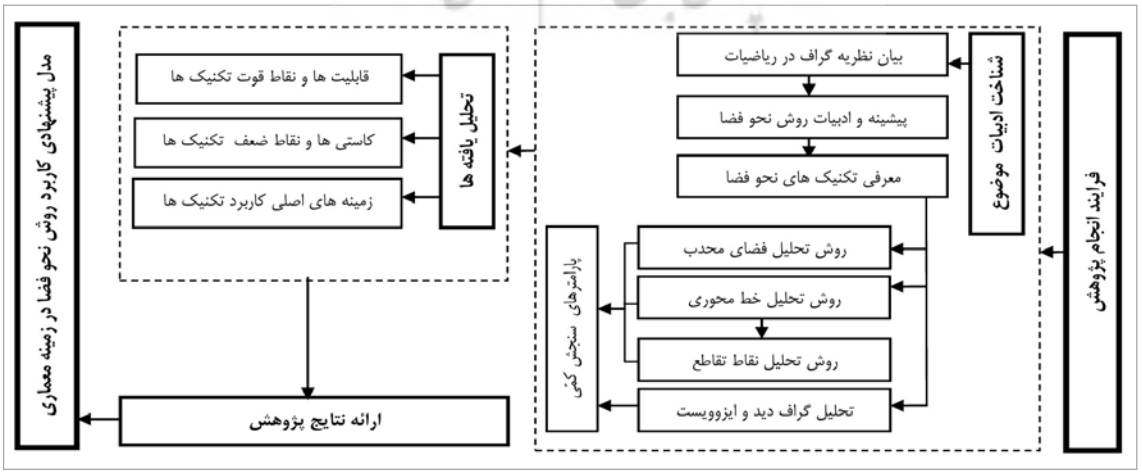
& Hassan, 2013 ؛ Jeong & Ban, 2014 و بسیاری دیگر. همچنین، سمپوزیوم‌های نحو فضا که از 1979 تا کنون برگزار می‌شوند، فرصت مناسبی برای ارائه آخرین پیشرفت‌ها در این زمینه هستند. در ایران نیز اولین پژوهش‌ها از دهه ۸۰ شمسی توسط معماریان و عباس‌زادگان با معرفی روش نحو فضا آغاز شد و تا کنون مقالات متعددی با استفاده از تکنیک‌های برگرفته از این روش، به مطالعه و تحلیل نمونه‌های موردی در زمینه معماری و شهرسازی پرداخته‌اند. مطالعه منابع و مقالات داخلی نشان می‌دهد دو خلأ اصلی در اغلب پژوهش‌های انجام‌شده وجود دارند؛ اول اینکه اکثر مقالات با بیانی مختصر از مبانی روش نحو فضا و تعداد محدودی از پارامترهای کمّی مورد نظر، به تحلیل نمونه‌های مطالعاتی خود پرداخته‌اند و نتایج به صورت جداولی از اعداد و نمودارها ارائه شده و خوانندگان این دسته از مقالات در مورد علت انتخاب روش تحلیل، فرآیند انجام آن و همچنین نحوه تفسیر نتایج کمی، دچار مشکل جدی هستند. دوم اینکه متأسفانه پژوهشی که به مطالعه قیاسی تکنیک‌های مختلف نحو فضا و قابلیت‌ها و محدودیت‌های آنها بپردازد و بتواند در انتخاب تکنیک تحلیل مناسب با شرایط و زمینه پژوهش و در راستای هدف مورد نظر، راهنمای پژوهشگران باشد، وجود ندارد. این پژوهش، درصدد رفع کاستی‌های مذکور است.

روش پژوهش

این پژوهش کاربردی، رویکردی کیفی دارد و روش تحقیق آن، توصیفی-تحلیلی است. جمع‌آوری اطلاعات، با روش اسنادی و مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده است. این تحقیق برای دست‌یابی به مفاهیم پایه و ادبیات نظری در مقالات و کتب، به مرور پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه کاربرد نظریه گراف در معماری می‌پردازد. لذا در پاسخ به سؤالات پژوهش و با توجه به اهمیت ارتباط ریاضیات و معماری، ابتدا نظریه گراف و مبانی روش نحو فضا معرفی می‌شوند. در ادامه، آخرین پیشرفت‌ها و نظریات در تکنیک‌های نحو فضا مطرح شده و قابلیت‌ها و کاستی‌های هر تکنیک شناسایی و به شیوه قیاسی تحلیل می‌شوند. در نهایت، مدلی جهت کاربرد مؤثر این روش و اعتباربخشی به پژوهش‌ها و فعالیت‌های حرفه‌ای معماری پیشنهاد می‌شود (تصویر ۲).

تکنیک‌های نحو فضا

در نحو فضا، تکنیک‌های متفاوتی از نقشه‌نگاری[۲۰] و انتزاع[۲۱] به‌کار می‌روند. فرآیند انجام تکنیک‌های تحلیلی آن، شامل سه مرحله؛ انتزاع، تحلیل کمی و تفسیر پیکره‌بندی است. در انتهای مرحله اول، یک طرح معماری یا شهری به صورت نموداری از گره‌ها و یال‌ها به نام گراف ارائه می‌شود. در مرحله دوم، ویژگی‌های توپولوژیکی گراف به صورت بصری و ریاضی با مفاهیم و روابط ریاضی محاسبه می‌شوند. در مرحله سوم، ارتباط ساختارهای فضایی و مفاهیم اجتماعی و ادراکی محیط متکی بر مقادیر کمی حاصل از روابط ریاضیاتِ گراف، تفسیر می‌شود (Ostwald & Dawes, 2018). تکنیک‌های متداول تحلیل نحو فضا عبارت هستند از؛ فضای محدب[۲۲]، خط محوری[۲۳] (Hillier & Hanson, 1984)، نقطه تقاطع[۲۴] (Batty, 2004)، ایزوویست[۲۵] (Benedikt, 1979) و گراف دید[۲۶] (Turner et al, 2001). در ادامه، هر یک از این تکنیک‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد و قابلیت‌ها و کاستی‌های آنها شناسایی می‌شوند.



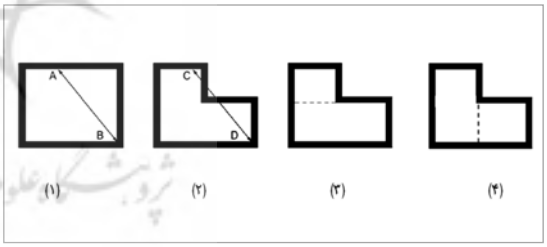
تصویر ۲. فرآیند انجام پژوهش (نگارندگان)

تکنیک فضای محدب

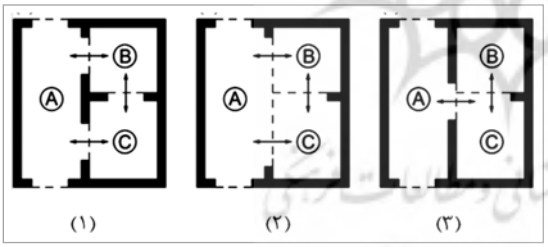
ارتباط متقابلی بین رفتار و تجربه مکانی انسان با پیکره‌بندی محیط وجود دارد (Franz & Wiener, 2008). یکی از تکنیک‌های اولیه جهت ارزیابی نحوه تأثیرپذیری ویژگی‌های فضایی و مفاهیم اجتماعی از یکدیگر، تحلیل فضای محدب است. اولین گام، تولید نقشه محدب است که با تبدیل فضاهای پلان به اشکال محدب و مرتبط با یکدیگر ایجاد می‌شود. در فضای محدب، همه نقاط به‌طور متقابل برای یکدیگر قابل مشاهده هستند. به نظر هیلیر و هانسون (1984) در یک فضای محدب، هیچ خطی بین دو نقطه در فضا، خارج از فضا قرار نمی‌گیرد. یک نقشه محدب، شامل کمترین تعداد و بزرگ‌ترین فضاهایی است که کل پلان را پوشش می‌دهند. چنانچه شکل غیرمحدب مانند یک اتاق L شکل در پلان وجود داشته باشد، به فضاهای محدب تبدیل می‌شود (تصویر ۳-الف). در نقشه محدب، تنها بر ارتباط بین فضاها تمرکز می‌شود و اتصالات بین فضاهای محدب زمانی وجود دارند که فرد بتواند بدون عبور از فضای واسطه، از یک فضا به فضای دیگر برود (Ostwald & Dawes, 2018) (تصاویر ۳-ب و ۴).

پیشنهاد هیلیر و هانسون، برای مطالعه ویژگی‌های توپولوژیک، گراف پلان توجیهی[۲۷] بوده است که جهت تحلیل کمّی و کیفی ساختارهای فضایی و کشف منطق اجتماعی فضا استفاده می‌شود. برای ترسیم آن بر اساس تئوری گراف، هر فضای محدب به یک گره در گراف و ارتباط بین فضاها به یال‌های گراف تبدیل می‌شود. ابتدا یک فضا که اغلب فضای بیرونی است، به‌عنوان فضای "حامل" یا "ریشه" در پایین‌ترین سطح (تراز صفر) قرار می‌گیرد. فضاهایی که به‌طور مستقیم با نقطه حامل ارتباط دارند، در خط بالای آن (تراز ۱) قرار می‌گیرند. فضاهایی که به‌طور مستقیم به فضاهایی در تراز ۱ متصل هستند، در تراز ۲ قرار گرفته و رسم گراف به همین ترتیب ادامه می‌یابد. خطوط هر تراز با خط‌چین نمایش داده شده و گره بیرونی با یک دایره با رسم دو قطر آن و گره‌های دیگر با حروف یا اعداد نمایش داده می‌شوند (تصویر ۵). برای ساختارهای مشابه اما با ارتباطات فضایی متفاوت، گراف‌های توجیهی مختلفی حاصل می‌شوند. ویژگی مهم این گراف (JPG)، وضوح بصری است و می‌تواند علاوه بر استفاده از محاسبات ریاضی به صورت گرافیکی نیز برای کشف برخی ویژگی‌های فضایی مانند عمق و یا میزان کنترل فضایی استفاده شود.

دو نوع روابط اجتماعی در گراف توجیهی قابل بررسی هستند؛ یکی، روابط بین ساکنان بنا و دیگری، روابط بین

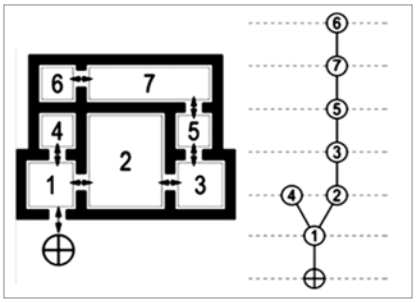


تصویر ۳-الف. (۱) فضای محدب، (۲)، فضای غیرمحدب (فضای مقعر)؛ زیرا خطی که از رأس C به D وصل می‌شود، از خارج شکل عبور می‌کند. برای تقسیم باید حجیم‌ترین و کمترین فضاها ایجاد شود. بنابراین شکل ۳ درست نیست و باید در اینجا مانند ۴، تقسیم فضاها به صورت عمودی انجام شود (Ostwald & Dawes, 2018).



تصویر ۳-ب. نحوه ارتباط بین فضاها در یک نقشه محدب: (۱) یک حلقه گردشی بین سه فضا وجود دارد، (۲) سه فضا با یکدیگر ترکیب شده‌اند، بنابراین از اهمیت حلقه گردشی کاسته شده است، (۳) مجاورت فضاهای محدب به‌نحوی است که برای رفتن از A به B فضای C نقش فضای واسطه دارد .(Ostwald & Dawes, 2018)

تصویر ۴. انتزاع پلان معماری به پلان فضاهای محدب (Byun & Choi, 2016)



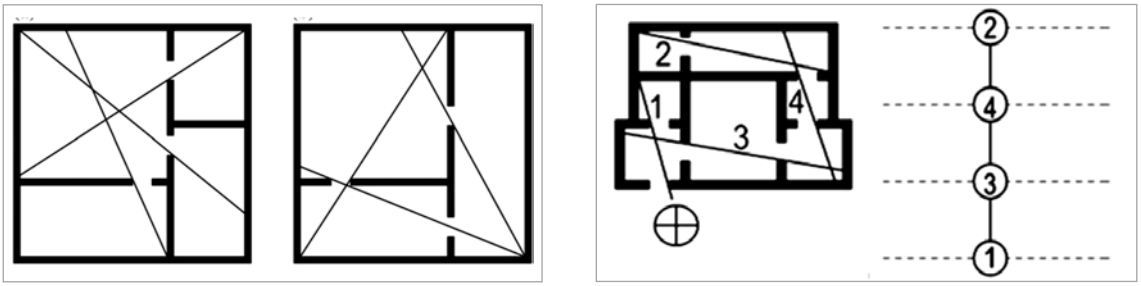
تصویر ۵. ترسیم گراف توجیهی (Ostwald & Dawes, 2018)

ساکنان و بازدیدکنندگان. گراف توجیهی به‌طور معمول با در نظر گرفتن گره بیرونی به‌عنوان حامل، از نقطه‌نظر یک بازدیدکننده ترسیم می‌شود که با داخل ساختمان آشنا نیست و به دنبال شناسایی ارتباط سایر فضاها با اولین فضای ورودی از بیرون به داخل بنا است. اما روابط ساکنین با هم پیچیده‌تر هستند و نیاز به بررسی چندین گراف توجیهی دارند. آنها با توجه به آشنایی با فضاها، از مسیرهای مختلفی برای حرکت از یک فضا به فضای دیگر استفاده می‌کنند. تعداد گراف‌های بالقوه برای یک پلان برابر با تعداد گره‌های گراف آن، با در نظر گرفتن گره بیرونی است (Ostwald, 2011a). با تغییر فضای حامل، میزان عمق فضاها در گراف توجیهی تغییر خواهد کرد و این تفاوت، ناشی از تغییر موقعیت فضاها نسبت به نقطه حامل و نحوه دست‌یابی به آنها است (Bellal, 2007). نکته مهم در انتزاع فضا به گراف دوبعدی این است که چه ویژگی‌هایی و چه بخش‌هایی از فضا در فرآیند انتزاع حفظ شود. تئوری نحو فضا عمدتاً مربوط به مرزهای ثابت و مشخصی از فضا است که همان دیوارها و درب‌ها هستند و داخل و خارج فضا را از یکدیگر جدا می‌کنند. در عین حال، تغییرات در ارتفاع سقف یا سطح کف نیز می‌توانند مرزهایی باشند که دو قسمت فضا را از هم جدا می‌کنند (Peponis & Wineman, 2002). برخی نیز بر این نظر هستند که می‌توان از فضاهای بدون فعالیت اجتماعی مانند انبار یا فضاهای بسیار کوچک و غیرقابل‌سکونت صرف نظر کرد(Ostwald, 2011b) . این تکنیک، بر مبنای روابط توپولوژیک و میزان اتصالات بین فضاها است و اغلب در تحلیل ساختارهای معماری و فضاهای داخلی به‌کار می‌رود. بررسی پارامترهای کمّی نظیر؛ هم‌پیوندی، عدم تقارن نسبی، ارزش کنترل، عامل تفاوت فضا و موارد مرتبط با آنها، تحلیل پیکره‌بندی فضایی، سلسله مراتب دسترسی، میزان تفکیک فضایی و میزان راندمان عملکردی فضا را امکان‌پذیر می‌کند.

تکنیک خط محوری

افراد در یک محیط با آنچه می‌بینند و فضایی که در آن می‌توانند حرکت کنند، جهت‌یابی می‌کنند (Turner et al, 2001). ترسیم طولانی‌ترین خط مستقیم بدون هیچ‌گونه مانع بصری یا دسترسی نشان می‌دهد تا چه حد یک فرد می‌تواند یک مسیر را ببیند یا در آن حرکت کند (Hillier, 2005; Klarqvist, 1993). در یک طرح معماری یا یک منطقه شهر، نقشه کلی حاصل از این خطوط، نقشه خط محوری نامیده می‌شود و دارای سه ویژگی مهم است؛ ۱. مجموعه‌ای از کمترین تعداد و طولانی‌ترین خطوط مستقیم است که همه فضاهای محدب یک طرح را پوشش می‌دهد. ۲. در این نقشه باید تمام خطوط متقاطع، به هم متصل شده باشند. ۳. تمام حلقه‌های گردشی که بین فضاها وجود دارد، باید در این مجموعه خطوط قرار گیرد (Ostwald & Dawes, 2018) (تصویر ۶-الف).

دو نوع تحلیل خط محوری، با عنوان نقشه‌های اولیه و ثانویه وجود دارند. مزیت گراف‌های نقشه محوری اولیه[۲۸]، توانایی در تحلیل مسیرهای حرکتی و در رویکرد ثانویه، بررسی مهم‌ترین گره‌های بصری در فضا است (Behbahani et al, 2014). در گراف نقشه محوری اولیه، خطوط حرکتی به گره‌های گراف و تقاطع خطوط به اضلاع تبدیل می‌شوند (Hillier & Hanson, 1984). البته در تحلیل نقشه‌های محوری پیچیده‌تر، از نرم‌افزارها استفاده می‌شود و ترسیم گراف به صورت دستی کمتر به‌کار می‌آید (Dawes & Ostwald, 2013) (تصویر ۶-ب). ویژگی‌های کمّی به‌ویژه در مقیاس شهری، با خطوط رنگی و کدگذاری ارائه می‌شوند. مقادیر بالا در پارامتر مورد بررسی، اغلب با رنگ قرمز و مقادیر کم با آبی نشان داده شده و مقادیر متوسط در طول طیف رنگی توزیع می‌شوند. دو ویژگی در این تکنیک حائز اهمیت است؛ یکی اینکه آیا خط محوری برای بررسی حرکت، دید یا هر



تصویر ۶-الف. در تصویر سمت چپ، حلقه گردشی حاصل از تقاطع خطوط محوری، در یک فضا قرار دارد، لذا فاقد اهمیت و غیرمفید است، اما حلقه گردشی در شکل سمت راست، حلقه‌ای مناسب و کاربردی است که سه فضا را به هم پیوند می‌دهد. ب) نقشه خطوط محوری و گراف خط محوری. این گراف در مورد پلان‌های ساده کاربرد دارد و نقشه خطی پیچیده با نرم‌افزار محاسبه می‌شود (Ostwald & Dawes, 2018)

دو مورد نظر است. اگر تنها دید بصری در نظر گرفته شود، برخی موانع مانند دیوارهای کوتاه، مبلمان و سطوح شفاف مانند شیشه، در روند انتزاع نادیده گرفته می‌شوند. چنانچه فقط حرکت در نظر گرفته شود، موانع فیزیکی و شیشه باید مانند دیوارهای صلب لحاظ شوند. ویژگی دوم اینکه این تکنیک کدام فضاها را شامل می‌شود و از کدام فضاها صرف نظر می‌کند. تصمیم‌گیری در این‌گونه موارد، به هدف پژوهش بستگی دارد و محدوده مورد مطالعه را مشخص می‌کند (Ostwald & Dawes, 2018).

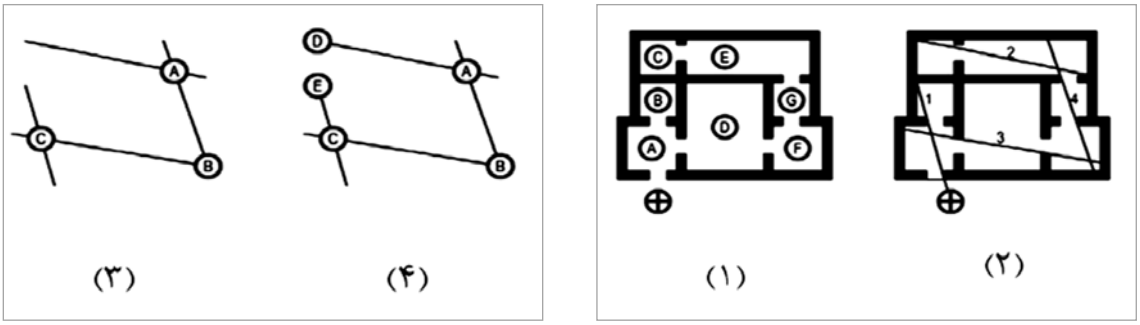
روش خط محوری با ارائه درک مناسبی از ظرفیت و پتانسیل حرکتی، به‌طور گسترده در تحلیل سیستم‌هایی در مقیاس شهری و ساختمان‌های بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج آن می‌توانند در میزان احتمال وقوع جرم (Hillier & Shu, 2000)، سنجش ارزش املاک تجاری و میزان اجاره با توجه به ویژگی‌های برجسته بصری و فضایی در یک محیط شهر (Desyllas, 2000)، تحلیل پتانسیل‌های حرکتی و پیش‌بینی برخوردهای اجتماعی در ساختمان‌های اداری، بیمارستان‌ها و سایر کاربری‌های عمومی، توضیح پدیده‌های جامعه‌شناختی مانند ترافیک عابر پیاده و حضور هم‌زمان و تحلیل و مقایسه الگوهای طراحی استفاده شوند (Hanson, 1998).

تکنیک نقطه تقاطع

مایکل بتی (2004)، نسخه معکوس گراف نقشه خطی اولیه را با عنوان "نقشه محوری ثانویه" [۲۹] ارائه کرد که در آن گره‌های گراف، تقاطع خطوط محوری و اضلاع، نشانگر خطوط محوری هستند که نقاط تقاطع را به یکدیگر متصل می‌کنند. گره‌های حاصل از تقاطع خطوط [۳۰]، یک نقطه دقیق در فضا و لزوماً دارای سطح نسبتاً بالایی از اطلاعات بصری و اهمیت مسیریابی هستند که مجموعه‌ای کارآمد و حداقل از نقاط مکث و تصمیم‌گیری برای حرکت و تغییر مسیر ارائه می‌دهند و به‌طور خاص، بر رفتار ساکنین تأثیر می‌گذارند. به نظر بتی، این روش بر تجربه استقرار انسان در فضا تأکید می‌کند. تقاطع خطوط لزوماً همه فضاهای محدب را پوشش نمی‌دهد و بنابراین برخی اطلاعات در مورد فضاهایی که در آنها نقطه تقاطع وجود ندارد، لحاظ نمی‌شود. راه حل این مسئله، استفاده از گراف "نقطه پایانی[۳۱]" است. نقاطی در انتهای خطوط محوری در تقاطع دیوارها به‌عنوان گره پایانی اضافه می‌شوند که برای رسیدن به یک پوشش جامع از پلان مفید هستند (تصویر ۷). در فضاهایی که نقطه تقاطع در آنها وجود ندارد، گره پایانی با شرط داشتن ویژگی نظارت بر فضا، به گراف نقطه تقاطع افزوده می‌شود؛ به این ترتیب، شیوه نقطه تقاطع، شامل دو گراف نقطه پایانی و گراف نقطه تقاطع است. تعداد گره‌های مرتبط با یک محور، در میزان اهمیت آن محور نسبت به محورهای دیگر گراف مؤثر خواهد بود (Batty, 2004). این گراف، تأکید را از مسیرها به ارتباطات بین آنها و تحلیل مکان‌های دقیق تغییر می‌دهد و به تغییر دیدگاه از الگوهای اجتماعی به مسائل مربوط به شناخت و تجربه فضایی می‌انجامد، اما روند انتزاع برای دست‌یابی به آن ساده نیست.

محاسبه پارامترهای کمّی

پس از فرآیند انتزاع و ترسیم گراف توجیهی، آنالیز پیکره‌بندی، نیاز به سنجش پارامترهای کمی دارد. محاسبات گراف، معطوف به مفاهیم عمق[۳۲] و اتصال[۳۳] هستند (Klarqvist, 1993) و می‌توان سایر پارامترهای عمق کل، عمق نسبی، عدم تقارن نسبی، هم‌پیوندی و ارزش کنترل و برخی دیگر را بر مبنای این دو پارامتر، بررسی و محاسبه نمود (جدول



تصویر ۷. (۱) فضاهای محدب (۲) نقشه خط محوری (۳) نقاط تقاطع (۴) نقطه پایانی. توضیح: خطوط ۱ و ۲ در نقشه خط محوری (۲) برای نظارت بر فضاهای محدب B و C در پلان ۱ مورد نیاز هستند. نقاط تقاطع خطوط نمی‌توانند تمام پیکره‌بندی ساختمان را توصیف کنند، در حالی که اضافه کردن گره‌های D و E برای نظارت به اتاق‌های B و C، این مشکل را حل می‌کند (Ostwald & Dawes, 2013).

۱). باید توجه داشت سنجش مقادیر عمق و اتصال در هر یک از تکنیک‌های یادشده با توجه به روش انتزاع و نحوه ترسیم گراف، متفاوت است. در تصویر ۸، فرآیند محاسبه پارامترهای کاربردی در سه تکنیک فوق آمده است.

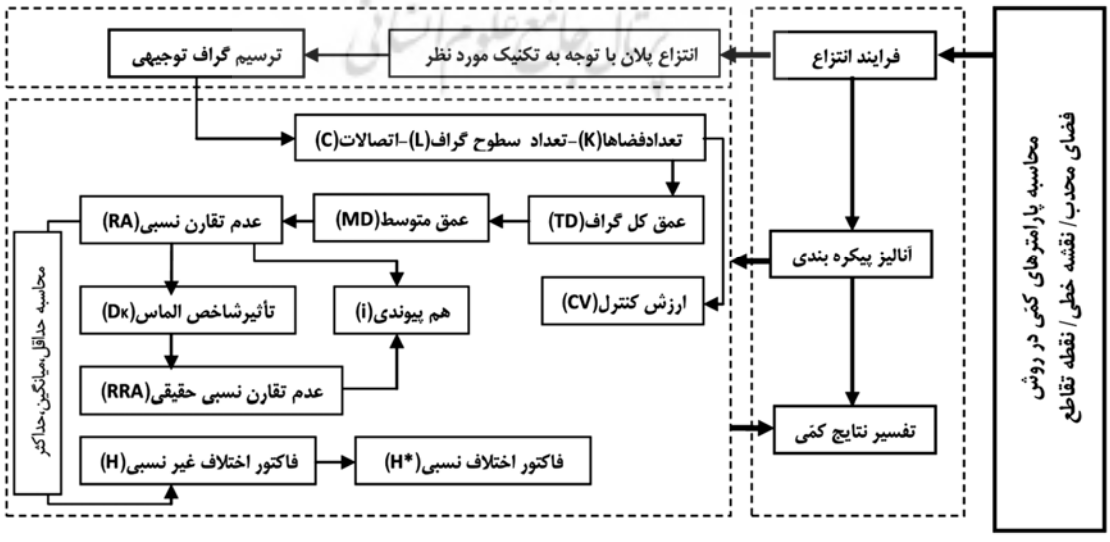
جدول ۱. تعاریف کاربردی و نحوه محاسبه پارامترهای نحو فضا در تحلیل نقشه محدب، نقشه خط محوری و گراف نقطه تقاطع

پارامتر نحو فضا			تعاریف	روش محاسبه	ملاحظات
K	Number of nodes	تعداد گره	تعداد گره در گراف توجیهی یا تعداد فضا در طرح‌های معماری و شهری	با توجه به گراف توجیهی، به صورت دستی یا توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود.	نقطه بیرونی که اغلب به‌عنوان ریشه یا نقطه حامل است، در محاسبه تعداد فضاها در نظر گرفته می‌شود.
L	Level in JPG	سطح	منظور، سطوح یا ترازها در گراف توجیهی است.	با توجه به گراف توجیهی، به صورت دستی یا توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود.	فضاها با توجه به موقعیت آنها نسبت به یکدیگر و با توجه به نقطه حامل، به صورت گره‌هایی در سطوح مختلف گراف توجیهی قرار می‌گیرند.
D	Depth	عمق	کوتاه‌ترین مسیر ممکن از یک مبدأ مشخص، برای دست‌یابی به یک فضا است.	با توجه به گراف توجیهی، به صورت دستی یا توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود.	محاسبه عمق کل، عمق متوسط، مرتبه نسبی و هم‌پیوندی بر اساس مقدار عمق انجام می‌شود.
TD	Total Depth	عمق کلی	مجموع تعداد خطوط یا نقاطی است که باید طی شوند تا از هر یک از فضاها به فضای مورد نظر رسید. مجموع "عمق" از یک نقطه به نقاط دیگر، یک سیستم فضایی را تعریف می‌کند.	$TD = (0 \times n_x) + (1 \times n_x) + (2 \times n_x) + \cdots (X \times n_x)$ TD عمق کلی، X شماره سطح در گراف و n_x تعداد گره (فضا) در هر سطح گراف توجیهی است.	هر چه عمق یک فضا کمتر باشد، آن فضا بیشتر در دسترس است و اگر عمق فضا زیاد باشد، می‌تواند فضای خصوصی محسوب شود.
MD	Mean Depth	عمق متوسط	میانگین عمق یک گره نسبت به هر گره دیگر در گراف است.	$MD = \frac{TD}{(K-1)}$ MD عمق متوسط، TD عمق کل و K تعداد فضا است.	میزان نفوذپذیری هر فضا را مشخص می‌کند.
RA	Relative Asymmetry	عدم تقارن نسبی	بررسی پیکره‌بندی فضایی در مورد میزان پیوستگی یا تفکیک فضایی است. بازه آن بین صفر تا یک است.	$RA = \frac{2(MD-1)}{K-2}$ RA عدم تقارن نسبی، MD عمق متوسط و K تعداد فضاها است.	صفر ماکزیمم پیوستگی را نشان می‌دهد، یعنی فضا دارای حداقل عمق و ماکزیمم کارایی است و مقدار یک، ماکزیمم عمق است که حداکثر تفکیک و پایین‌ترین کارایی را نشان می‌دهد.
RRA	Real Relative Asymmetry	عدم تقارن نسبی واقعی	برای مقایسه تفکیک‌پذیری در گراف‌هایی با تعداد فضاهای متفاوت کاربرد دارد. میزان تفکیک فضایی را در مقایسه با یک پیکره‌بندی ایده‌آل با عنوان گراف الماس (DK) بررسی می‌کند. پارامتر RRA برای ارزیابی دقیق‌تر RA با در نظر گرفتن کل فضاها به‌کار می‌رود که برابر میانگین مجموع مرتبه نسبی کل فضاها است.	$RRA = \frac{RA}{D_K}$ RRA عدم تقارن نسبی واقعی از فضا، RA عدم تقارن نسبی، D_K عدم تقارن نسبی فضا در شاخص گراف الماس (تعداد فضا در گراف: K) $D_K = \frac{2\left(K\left(\log_2\left(\frac{K+2}{3}\right)-1\right)+1\right)}{(K-1)(K+1)}$	عدم تقارن نسبی واقعی (RRA)، معیار حساس‌تری نسبت به ارتباط فضاها است. این مقدار در اطراف عدد یک متغیر است؛ مقادیر کمتر از یک، به فضاهای به هم پیوسته و جداسازی کمتر در سیستم اشاره می‌کنند، در حالی که مقادیر بیشتر از یک، مربوط به فضاهای تفکیک‌شده از هم هستند.

ادامه جدول ۱. تعاریف کاربردی و نحوه محاسبه پارامترهای نحو فضا در تحلیل نقشه محدب، نقشه خط محوری و گراف نقطه تقاطع

پارامتر نحو فضا			تعاریف	روش محاسبه	ملاحظات
i	integration	هم‌پیوندی	شاخص روابط بین هر فضا و دیگر فضاها در پیکره‌بندی فضایی است. میزان پیوستگی یا جدا افتادگی یک فضا نسبت به سایر فضاها در پیکره‌بندی است.	$i = \frac{l}{RA}$ $i = \frac{l}{RRA}$ i هم‌پیوندی، RA عدم تقارن نسبی، RRA عدم تقارن نسبی واقعی	هر چه تعداد ارتباط یک فضا با فضاهای مجاور آن بیشتر باشد، آن فضا از هم‌پیوندی بیشتری برخوردار است.
CV	Control value	ارزش کنترل	درجه کنترل یک فضا، دسترسی به فضاهای مجاور آن را با در نظر گرفتن تعداد اتصالاتی که هر یک از این فضاها دارند، بررسی می‌کند.	$CV = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{D_i}$ CV ارزش کنترل، D_i درجه همسایگی یک گره، n تعداد تمام گره‌های همسایه.	اگر فضایی با n فضا در ارتباط مستقیم باشد، بر هرکدام یک n ام کنترل دارد. مقدار کنترل کمتر از یک، نشان‌دهنده کنترل ضعیف این فضا است.
H	unrelativised Difference Factor	فاکتور اختلاف نسبی	برای سنجش تفکیک فضاها در یک پیکره‌بندی به‌کار می‌رود. فاکتور اختلاف (H)، در انتهای فرآیند تحلیل، برای سنجش میزان تمایز فضاها از نظر هم‌پیوندی استفاده می‌شود. مقدار H در بازه صفر و یک است.	$H = -\sum\left[\frac{a}{t} ln\left(\frac{a}{t}\right)\right] + \left[\frac{b}{t} ln\left(\frac{b}{t}\right)\right] + \left[\frac{c}{t} ln\left(\frac{c}{t}\right)\right]$ H فاکتور اختلاف نسبی، a برابر با حداکثر RA، b معادل میانگین RA، c برابر با حداقل RA و t مجموع a، b و c، (a + b + c = t)	هر چه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، فضاها متفاوت‌تر و ساختارمندتر شده و هر چه نزدیک‌تر به یک باشد، فضاها همگن‌تر می‌شوند، تا زمانی که همه آنها دارای مقادیر هم‌پیوندی یکسان شوند و اختلاف پیکره‌بندی بین آنها وجود نداشته باشد.
H*	relativised Difference Factor	فاکتور اختلاف نسبی واقعی	فاکتور اختلاف نسبی واقعی (H*)، با نرمالیزه کردن نتیجه فاکتور اختلاف نسبی (H) به مقیاسی بین ln2 و ln3 حاصل می‌شود.	$H^* = \frac{(H - ln2)}{(ln3 - ln2)}$ H فاکتور اختلاف غیرنسبی است.	هر چه این عدد کوچک‌تر باشد، حداکثر ادغام فضایی و راندمان عملکردی بیشتر را نشان می‌دهد.

(نگارندگان)

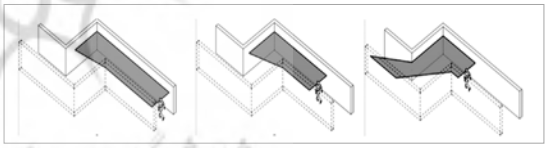


تصویر ۸. فرآیند انجام تحلیل نحو فضا و محاسبه پارامترهای کمی در سه روش فضای محدب، خط محوری و نقطه تقاطع (نگارندگان)

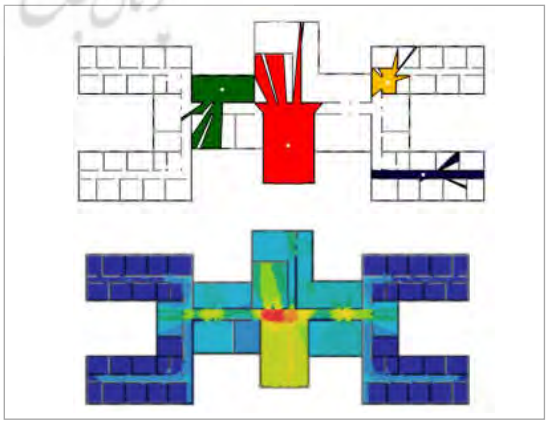
تکنیک ایزوویست

با پیشرفت علوم رایانه، از دهه 1970 میلادی پژوهش‌هایی با هدف کمّی نمودن درک تجارب بصری در محیط‌های مختلف انجام شده‌اند. با توسعه و تکامل روش نحو فضا، شاخص‌های کمی مختلفی مطرح شده‌اند و امکان تحلیل ویژگی‌های بصری فضا با ترکیبی از نظریه گراف و روابط فضایی فراهم شده است. با وجود پژوهش‌های مختلف در این زمینه (Lynch, 1976; Gallagher, 1972; Amidon & Elsner, 1968; Tandy, 1967)، به نظر می‌رسد تجزیه و تحلیل دید بصری ابتدا توسط جیمز گیبسون[۳۴] در مدل ادراک دیداری به نام "آرایه بصری محیط"[۳۵] ارائه شده است (Gibson, 1979: 65; Ostwald & Dawes, 2018: 97) (تصویر ۹).

ایزوویست به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل بصری، شامل محدوده‌ای است که از یک موقعیت معین در فضا مشاهده می‌شود. از نظر اغلب محققان معماری و طراحی شهری، اولین بار مایکل بندیکت[۳۶] این چند ضلعی را به‌عنوان مجموعه‌ای از نقاط قابل‌مشاهده از یک نقطه مشخص تعریف کرد و آن را ایزوویست نامید (تصویر ۱۰-الف). او با همکاری لری دویز[۳۷]، روش دقیق ساخت و تدوین محاسبات ریاضی و توصیف ویژگی‌های آن را ارائه داد (Davis & Benedikt, 1979).



تصویر ۹. سطح قابل‌مشاهده در سه مرحله در طی حرکت یک فرد در یک راهرو ثبت شده است (Ostwald & Dawes, 2018).

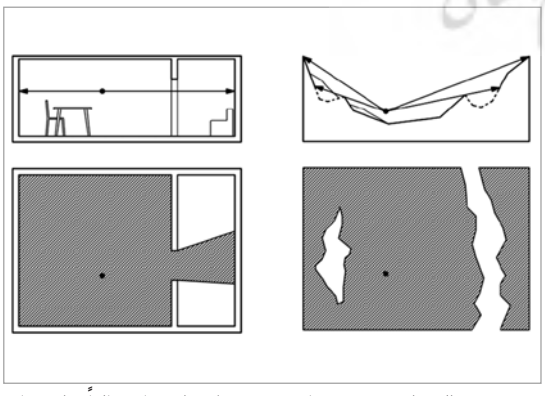


تصویر ۱۰. الف) تصویر بالا: چند ضلعی ایزوویست برای چهار نقطه مشاهده در پلان. ب) تصویر پایین: آنالیز گراف دید بر اساس ارتباط فضاها (Lee et al, 2017)

ترنر و دیگران (2001)، ایزوویست‌ها را یک روش بصری مفید جهت شناخت محیط می‌دانند. ایمو[۳۸] (2015)، ایزوویست را تکنیکی در نحو فضا دانسته که داده‌های تجربی ناشی از موقعیت افراد در فضا و میزان درک بصری افراد را مورد توجه قرار می‌دهد. ترنر و پن[۳۹] (2002) بر اساس شواهد تجربی بر این نظر هستند که ایزوویست، ویژگی‌های فضای داخلی را از دید ناظر به‌وضوح توصیف می‌کند و ویژگی‌هایی که از فضا ارائه می‌دهد، با تجربه و رفتار افراد در فضا هماهنگی دارند. به نظر گرالد فرانز[۴۰] و جان وینر[۴۱] (2005) نیز ایزوویست‌ها خواص محیطی فضا را که مربوط به رفتار و تجربه فضایی هستند، در بر می‌گیرند.

چند ضلعی ایزوویست، صفحه افقی دید در سطح چشم و میزان فضای قابل‌مشاهده از یک نقطه است؛ بنابراین، تنها حاوی اطلاعات این سطح است و اشکال و اشیای بالا یا پایین آن نادیده گرفته می‌شوند (تصویر ۱۱-الف). البته استثنائاتی وجود دارند که کمتر شناخته شده‌اند از جمله؛ ایزوویست‌هایی از یک صفحه بصری عمودی در ساختمان و یا مقایسه تفاوت ارتفاع دید در تجربه بصری که ناشی از ناظران ایستاده و نشسته است. یک نوع از آن، "نیزویست"[۴۲] است که سطحی در ارتفاعی نزدیک به ارتفاع زانو را نشان داده و شرایط خاص ناظر، پتانسیل‌های متفاوتی از حرکت و دید در محیط را بیان می‌کنند. نوع دیگر نمودارهای بصری از داده‌های سه‌بعدی حاوی چند ضلعی‌های ناپیوسته و یا حفره‌ها و برآمدگی‌ها است که طراحان منظر ارائه می‌دهند (Ostwald & Dawes, 2018) (تصویر ۱۱-ب).

به نظر گیبسون، حرکت چشمان و سرِ ناظر، آرایه بصری محیط را تغییر می‌دهد. بنابراین بر خلاف ایزوویست‌های جزئی،

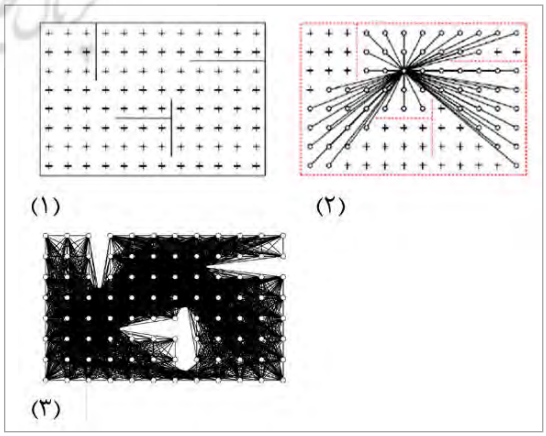


تصویر ۱۱. (الف) ایزوویست، نمایش چند ضلعی است که غالباً مواردی که در بالاتر یا پایین‌تر از صفحه دید است، در نظر نمی‌گیرد. (ب) چند ضلعی ایزوویست به دلیل برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها، شامل چند ضلعی‌های ناپیوسته است (Ostwald & Dawes, 2018).

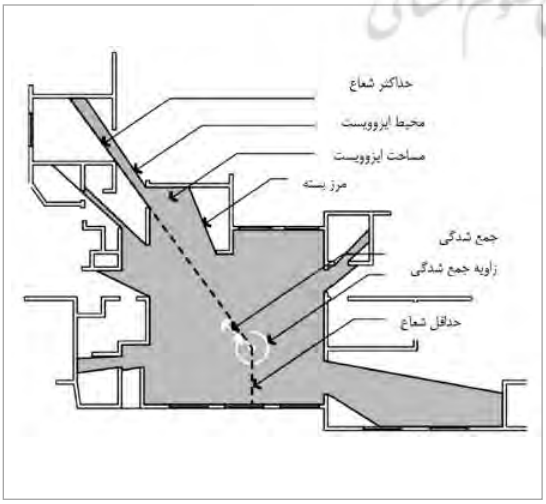
ایزوویست ۳۶۰ درجه، دید بصری گسترده‌تری را شبیه‌سازی می‌کند که مجموعه‌ای از ایزوویست‌ها یا میدان ایزوویست[۴۳] است. وجود نقاط مشاهده متعدد در میدان ایزوویست، مبنای استفاده از تئوری ریاضیاتِ گراف به منظور بررسی روابط بین آنها را ایجاد می‌کند و به یک "گراف دید" تبدیل می‌شود که امکان محاسبه اندازه‌گیری‌های دید کلی[۴۴] را علاوه بر سنجش‌های جزئی[۴۵] فراهم می‌کند. با فرآیند ریاضی، یک شبکه منظم در محیط قرار می‌گیرد و با در نظر گرفتن هر نقطه مشاهده به‌عنوان یک گره و سپس اتصال هر دو نقطه قابل‌مشاهده به‌عنوان یال، گراف ایجاد می‌شود (Turner et al, 2001). با توجه به پیچیدگی‌های این گراف، محاسبات توسط نرم‌افزار انجام می‌شوند و علاوه بر پارامترهای کمّی حاصل از نظریه گراف مشابه سایر تکنیک‌ها، امکان اندازه‌گیری‌های متریک و آماری نیز وجود دارد (تصویر ۱۲). نمایش متداول گرافیکی از نمودار دید، با اعمال طیفی از رنگ‌های گرم تا سرد، مقادیر پارامترهای مورد نظر را بررسی می‌کند (تصویر ۱۰-ب). نتایج حاصل از تحلیل، ارتباط نزدیک بین داده‌های ریاضی و رفتارهای مشاهده‌شده از افراد را تأیید می‌کنند.

جهت تحلیل کمّیِ قابلیت‌های بصری، پارامترهایی با توجه به ویژگی‌های ایزوویست و گراف دید تعریف شده‌اند. پارامترهای اولیه مانند؛ مساحت، محیط، تعداد رئوس، طول مرزهای باز یا بسته می‌توانند با هم ترکیب شوند و ویژگی‌های پیچیده‌تری را با عنوان پارامترهای ثانویه توصیف کنند. مساحت چند ضلعی ایزوویست، از اولین اندازه‌گیری‌های پیشنهادشده توسط بندکیت است. محیط ایزوویست، مجموع طول شعاع‌ها یا مرزهای باز و بسته در چند ضلعی ایزوویست است. این محاسبات، اطلاعات کافی از ویژگی‌های تجربی و بصری محیط ارائه نمی‌دهند و برای درک دقیق‌تر، نیازمند اندازه‌گیری‌های پیچیده‌تر هستیم (تصویر ۱۳). در این مورد، هر یک از پژوهشگران با توجه به دیدگاه خود، بر برخی از پارامترها تأکید بیشتری دارد، از جمله؛ مایکل بتی (2001)، ویژگی‌های فضایی را بر اساس پارامترهای؛ فاصله، مساحت، محیط، فشردگی و تحدب، تعریف نموده است. بر قابلیت دید و کنترل بصری، توسط استوالد و داوز[۴۶] (2013) تأکید شده است. ترنر و دیگران (2001)، پارامتر اتصال را به‌عنوان تعداد نقاط موجود در فضا که به نقطه مورد نظر متصل شده‌اند، معرفی کرده و مقدار آن را برای محاسبه مساحت ایزوویست استفاده کردند. آنها همچنین پارامتر هم‌پیوندی را میانگین فاصله دید از نقطه مورد نظر با تمام نقاط دیگر تعریف کردند. فرانز و وینر (2005)، متغیرهای ایزوویست را بر اساس ظرفیت فضا، میزان باز بودن، پیچیدگی و نظم معرفی کرده‌اند. در جدول ۲، پارامترهای متداول در این تکنیک‌ها تنظیم و دسته‌بندی شده‌اند.

ایزوویست و گراف دید برای طیف وسیعی از اهداف از جمله؛ مطالعات شناخت فضایی و مسیریابی، تحلیل ساختار اجتماعی، در طراحی جهت پیش‌بینی میزان دید فضایی، برخوردهای اجتماعی و ظرفیت فضا، درک ساختار فضا از نظر خواص بصری در تعاملات اجتماعی، اصول قرارگیری ایستگاه‌های کاری در ساختمان‌های اداری، همچنین در فرآیند برنامه‌ریزی، تعیین موقعیت و مسیرهای حرکتی، رفتار و تجارب فضایی، به‌کار می‌رود (Franz & Wiener, 2005). اغلب محققان بر این نظر هستند که تحلیل‌های دوبعدی به آسانی قابل درک بوده و بیشتر تابع روابط و آنالیزهای ریاضیات هستند. برخی دیگر نیز مانند بندیکت



تصویر ۱۲. ۱) ایجاد شبکه منظم بر روی پلان. ۲) نقاطی از گراف که به یکدیگر دید دارند، به وسیله اضلاع گراف به یکدیگر متصل شده‌اند. ۳) گراف دید (Turner et al, 2001)



تصویر ۱۳. پارامترهای اولیه ایزوویست در پلان معماری (Lee et al, 2017)

جدول ۲. پارامترهای کمّی در ایزوویست و گراف دید

پارامترهای اولیه	واژه معادل (انگلیسی)	تعاریف	ملاحظات/ روش محاسبه
تعداد رئوس	Number of Vertices	تعداد رئوس چند ضلعی ایزوویست	به صورت دستی یا توسط نرم‌افزار قابل محاسبه است.
رئوس محیط	Vertices per perimeter	نسبت تعداد رئوس به محیط	به صورت دستی یا توسط نرم‌افزار قابل محاسبه است. n vertices/ perimeter
مساحت اندازه همسایگی ظرفیت فضا	(A) Area Neighbourhood size Spaciousness	مساحت چند ضلعی ایزوویست (تعداد نقاطی که از نقطه ناظر قابل مشاهده هستند).	با استفاده از روابط ریاضی یا با نرم‌افزار قابل محاسبه است. ظرفیت و جاداری فضا و همچنین وسعت میدان دید را بیان می‌کند.
محیط	Perimeter length	مجموع کل مرزهای باز و بسته چند ضلعی ایزوویست	با استفاده از قواعد ریاضیات یا با نرم‌افزار قابل محاسبه است.
انسداد	Occlusivity (O)	مجموع مرزهای بسته. این مرزها نه توسط سطوح ساختمان، بلکه با توجه به دید بصری تعریف می‌شوند.	به صورت دستی یا توسط نرم‌افزار قابل محاسبه است.
ماکزیمم خط شعاعی	Maximum radial line RL(L)	طول بلندترین خط شعاعی در ایزوویست	با چشم‌انداز فضایی در ارتباط است.
حداقل خط شعاعی	Minimum radial line RL(S)	طول کوتاه‌ترین خط شعاعی در ایزوویست	با چشم‌انداز فضایی در ارتباط است.
میزان جمع‌شدگی	Drift magnitude (D_M)	فاصله از نقطه مشاهده تا مرکز جرم چند ضلعی ایزوویست	قدرت کشش بصری را بیان می‌کند. یک معیار ایزوویستی برای مدل‌سازی خاصیت ادراکی همراه با اکتشاف
زاویه جمع‌شدگی	Drift angle (D_A)	زاویه بین جهت دید یا قرارگیری فرد و مرکز جرم چند ضلعی ایزوویست	جهت کشش بصری را بیان می‌کند.
مدور بودن	Roundness (R)	میزان گرد بودن و تحدب فضایی چند ضلعی ایزوویست	isovist area/perimeter^2
دندانه‌دار بودن	Jaggedness (J)	معکوس پارامتر مدور بودن، معرف تیزگوشه بودن ایزوویست و بی‌نظمی و آشفتگی بصری است.	isovist perimeter ^{2} /area
آشکارنمایی	Revelation	بیان میزان تغییر در محدوده دید در حین حرکت. مقادیر بالا، ثبات بصری کم و افزایش اطلاعات دریافتی در حین حرکت را بیان می‌کند.	(∑area adjacent isovists - isovist area) / isovist area
میزان باز بودن فضا	openness	بیان میزان تسلط بصری ناظر بر فضا. نمایش لبه بسته با دیوارهای قابل‌مشاهده و لبه‌های باز با انسداد بصری. با دندانه‌دار بودن و ضریب آشکارنمایی ارتباط دارد.	Length open edges /length closed edges
ضریب جمعی	Clustering coefficient	بررسی ارتباط یک همسایگی با سایر همسایگی‌ها	n intervisibilities within current neighborhood/ [neighborhood size*(neighborhood size -1)]
نسبت انسداد	Proportional Occlusivity (O:P)	درصدی از محیط ایزوویست که از لبه‌های مسدود تشکیل شده است.	percentage of the consisting of occluded edges/ isovist perimeter
پیچیدگی	Complexity	به تعداد رئوس و تراکم آنها، مدور بودن، دندانه‌داری و ویژگی‌های همسایگی بستگی دارد.	Number of vertices ,Vertex density , Roundness, Jaggedness, Clustering coefficient

(نگارندگان)

معتقد هستند ایزوویست سه‌بعدی، توصیف تجربه در فضا است. اخیراً با استفاده از امکانات محاسباتی از لحاظ فنی، امکان تحلیل ایزوویست‌های سه‌بعدی میسر است و روش‌های مختلفی برای ارائه نمودارهای دید سه‌بعدی پیشنهاد شده‌اند. همچنین، تلاش‌هایی جهت تطبیق نتایج نحو فضا در فرآیند مدل‌سازی پارامتریک صورت گرفته‌اند. این موارد می‌توانند موضوعات مناسبی برای تحقیقات آتی باشند.

تحلیل یافته‌ها (تحلیل قیاسی تکنیک‌های نحو فضا)

مطالعات پژوهش نشان می‌دهند در تحلیل ارتباطات فضایی در مقیاس ساختمان‌ها، معمولاً از روش فضای محدب استفاده می‌شود و نقشه محوری اغلب در مقیاس‌های بزرگ‌تر مانند خیابان‌ها در مقیاس شهری کاربرد دارد؛ در حالی که روش نقطه تقاطع، تنها تحلیل موقعیت‌های مکانی مشخص در پلان را مد نظر دارد. تحلیل ایزوویست و گراف دید، آنچه فرد از نقطه‌ای خاص در فضای شهری و معماری مشاهده و تجربه می‌کند و یا دید نقاط مختلف فضا به یکدیگر را برای جهت‌گیری یا مسیریابی و در فضاهای معماری یا شهری مورد بررسی قرار می‌دهد. علی‌رغم وجود قابلیت‌های متعدد، شیوه انتزاع، محدودیت‌هایی در فرآیند تحلیلی هر تکنیک ایجاد می‌کند.

تکنیک اول، به دلیل عدم قطعیت در ایجاد فضاهای محدب، مورد انتقاد قرار گرفته است. اغلب در معماری مدرن به دلیل ابهام در فرآیند انتزاعِ فضاها، امکان ترسیم نقشه‌های محدب متفاوت و در عین حال صحیح، برای یک پلان وجود دارد که تحلیل‌های متفاوتی را به دنبال خواهد داشت. به نظر عثمان و سلیمان (1994)، ممکن است این تکنیک، ساختارهایی را که با پارتیشن تفکیک نشده‌اند، به‌خوبی تحلیل نکند. انتقاد دیگر آنکه تمرکز بر هندسه، موجب بی‌توجهی به برخی از وجوه کارکردی و اجتماعی فضاها می‌شود؛ زیرا ساختار توپولوژیکی فضا که به صورت بصری توسط شکل‌های محدب تعریف می‌شود، ممکن است کارکرد اجتماعی حاکم بر آن را نشان ندهد .لذا در انتزاع، معمولاً از "تحلیل فضای کاربردی" استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن فضاهای کارکردی، قانون تحدب نادیده گرفته می‌شود و عملکرد فضاها، نحوه انتزاع آنها را مشخص می‌کند. پژوهشگرانی از جمله؛ Hillier et al, 1987; Markus, 1993; Hanson, 1998; Dovey, 1999; 2010; Ostwald, 2011a، بر این روش انتزاع، توافق دارند (تصویر ۱۴). این تغییر باعث می‌شود که یک فضا صرف نظر از اینکه آیا شامل چند فضای محدب است یا خیر، به‌عنوان یک گره واحد گرافیکی در نظر گرفته شود.

این فرآیند نه‌تنها دشواری در ایجاد نقشه محدب را از بین می‌برد، بلکه راه حلی برای این انتقاد است که نحو فضا، انتزاعی غیرواقعی از برخی فضاهای چند بخشی تولید می‌کند. همچنین، اجازه می‌دهد فضاهای محدب کوچک‌تر در فضاهای مجاور بزرگ‌تر گنجانده شوند، در نتیجه نمودار را ساده می‌کند و اجازه می‌دهد نقشه دقیق‌تری از کاربرد واقعی فضاها ارائه شود (Lee et al, 2015).

در تکنیک خط محوری نیز چالش اصلی، عدم وجود یک روش تدقیق‌شده در فرآیند انتزاع است. در طول دو دهه گذشته، پژوهشگران پیشنهادهایی در این مورد داشته‌اند؛ پن و دیگران (1997)، مجموعه‌ای از تمام خطوط محوری احتمالی را تولید کردند و با استفاده از نرم‌افزار، آنها را به حداقل تعداد کاهش دادند. بتی و رانا (2004)، فرآیند تقسیم فضایی را رد کردند و از ایزوویست‌ها برای شناسایی خطوط طولانی دید استفاده نمودند. در پیشنهادی دیگر، ترنر و دیگران (2005)، مرحله نقشه محدب در فرآیند انتزاع را با ترسیم خطوطی در امتداد رأس‌ها یا بخش‌های قابل‌مشاهده جایگزین کردند. برخی دیگر از جمله جیانگ و کلارامونت[۴۷] (2002)، خطوط محوری را با داده‌های GIS ترکیب کردند.

به نظر کارلو راتی (2004)، تغییرات جزئی در هندسه فضا با وجود تجربه مکانی مشابه، منجر به تغییر قابل‌توجهی در تحلیل نقشه محوری می‌شوند. هیلیر و پن (2004) ، مخالف این موضع بوده و معتقد هستند تغییر جزئی در هندسه، تغییر در چگونگی درک و تفاوت در شناخت فضا است. مورد دیگر اینکه تحلیل خط محوری، به مفهوم مدل‌های واقعی حرکت در فضا نیست، بلکه تنها برای تعیین پتانسیل‌های حرکتی بر اساس پیکره‌بندی فضایی است و تمام متغیرهایی را که بر الگوهای واقعی حرکت تأثیر می‌گذارند، در نظر نمی‌گیرد. هیلیر در حالی که این انتقاد را می‌پذیرد، معتقد است هنوز هم این تکنیک، امکان تحلیل‌های صحیح و تکرارپذیر از محیط‌های مختلف را فراهم می‌کند. به نظر بافنا (2003)، مشکل دیگر، عدم توانایی در بیان تفاوت‌های فضایی در طول یک خط است. در واقع، با وجود ارائه برخی ویژگی‌های رفتاری در ساختار فضایی، ارائه مسیرهای احتمالی حرکت

تصویر ۱۴. ترسیم گراف توجیهی بر اساس فضاهای کاربردی پلان (Hillier et al, 1987)

و تعیین چشم‌اندازهای مهم، از آنجا که فضا بسیار انتزاعی شده است، خطوط نه به یک مکان مشخص در فضا، بلکه به گستره‌ای از مکان‌ها اشاره می‌کنند و بسیاری از ویژگی‌های هندسی فضا نادیده گرفته می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر، نقشه محوری، بین تجربه‌های فضایی در فضاهای کارکردی و یک راهروی طولانی که در امتداد یک خط قرار گرفته‌اند و با یک مسیر واحد طی می‌شوند، تمایزی قائل نمی‌شود.

فضای محدب و روش خط محوری، با مفاهیم عمومی فضا و الگوهای اجتماعی مرتبط هستند، اما نمی‌توانند مکان خاصی در فضا و یا تجربه احتمالی یک فرد در چنین موقعیتی را به روشنی توصیف کنند. در مقابل، گراف نقطه تقاطع، مربوط به ویژگی‌های یک موقعیت خاص در فضا است و به روابط عملکردی و حرکتی نمی‌پردازد. هدف از کاربرد آن، ارزیابی مکان‌هایی است که نقشه محوری آنها را به‌عنوان نقاط مهم و مؤثر در انتخاب و یا تغییر مسیر حرکت معرفی می‌کند. البته این تکنیک، قادر به ارائه اطلاعات در طول خطوطی که در فرآیند انتزاع نقشه محوری حذف شده‌اند، نیست.

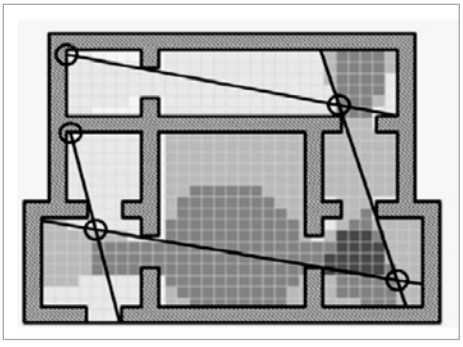
ایزوویست‌ها نیز شناخت ادراکی و قابلیت‌های بصری محیط را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهند. البته اغلب پارامترهای ایزوویستی به‌تنهایی نمی‌توانند ویژگی‌های مورد نظر را پوشش دهند، بلکه باید چندین پارامتر در ترکیب یا قیاس با یکدیگر بررسی شوند تا نهایتاً به جمع‌بندی و تحلیل مناسب دست یابیم. هر چند ترکیب آنها فرآیندی پیچیده است، تبدیل خصوصیات ادراکی و بصری فضا به پارامترهای کمی و تفسیر نتایج آن می‌تواند شاخص‌های مهمی در شناخت یک فضا ارائه دهد؛ البته لزوماً نمی‌تواند برای پیش‌بینی واکنش‌های عاطفی افراد در نظر گرفته شود. برخی پژوهش‌ها این پارامترها را با شاخص‌های ادراک فضا شامل؛ دید و منظر[۴۸]، امنیت[۴۹]، اکتشاف[۵۰]، رمز و راز[۵۱] و پیچیدگی[۵۲]، مرتبط دانسته‌اند (Ostwald & Dawes, 2018) (جدول ۳).

در حالی که تکنیک فضای محدب، الگوهای اجتماعی را در خصوصیات پیکره‌بندی یک طرح خلاصه می‌کند، ایزوویست، تغییر تدریجی در تکنیک‌های نحو فضا؛ از ویژگی‌های عمومی تا ویژگی‌های خاص و از الگوهای اجتماعی تا تجربی، را تکمیل می‌کند (تصویر ۱۵). تمام این تکنیک‌ها به‌طور مؤثری دارای ماهیت اجتماعی هستند و بر ریاضیات تکیه دارند، با این وجود، هر یک ویژگی‌های فضایی متفاوتی را شناسایی و تحلیل می‌کند. در جدول ۴، کاربردها، قابلیت‌ها و کاستی‌های هر یک از تکنیک‌ها به‌طور خلاصه آمده‌اند.

جدول ۳. پارامترهای سنجش ایزوویست در ارتباط با شاخص‌های ادراک فضا

شاخص ادراک فضا	پارامترهای کمی ایزوویست
چشم‌انداز (دید و منظر)- احساس امنیت	اندازه محدوده قابل‌مشاهده، بیشترین فاصله دید، جهت دید، مساحت، محیط قابل‌رؤیت، حداقل و حداکثر طول شعاع، شعاع انسداد، میزان تحدب، مدور بودن، نسبت مساحت به محیط، مقدار و زاویه جمع‌شدگی
رمز و راز	مرزهای بسته، خطوط شعاعی مسدود، طول متوسط انسداد، نسبت مرزهای مسدودشده به محیط، آشکار نمایی، باز بودن
پیچیدگی	آنتروپی، تعداد اضلاع چند ضلعی ایزوویست، تراکم و فشردگی، دندانه‌داری، میزان باز بودن، اختلاف طول بین خطوط شعاعی
اکتشاف و اشتیاق	مقدار و ضریب جمع‌شدگی، مساحت مخروط دید مستقیم، درصد مخروط دید نسبت به مساحت کل

(نگارندگان)



تصویر ۱۵. خط محوری و نقاط تقاطع بر روی یک گراف دید نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در طول خطوط محوری و در نقاط تقاطع، شبکه گراف دید نیز دارای رنگ های گرم‌تر است که نشان‌دهنده قابلیت بصری بالاتر در این موقعیت‌ها است (Ostwald & Dawes , 2013).

جدول ۴. بررسی کاربردها، قابلیت‌ها و کاستی‌های تکنیک‌های نحو فضا

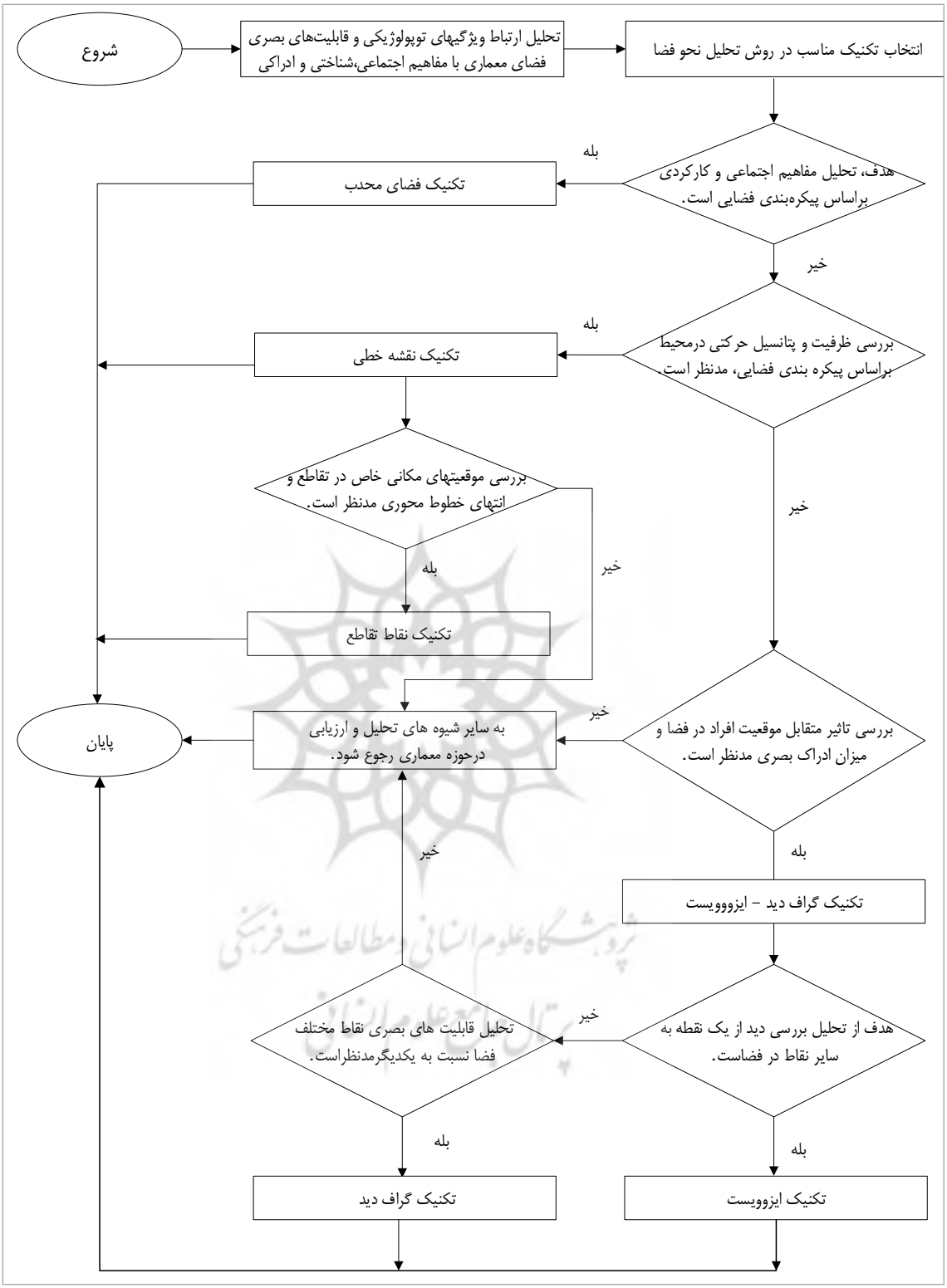
تکنیک	کاربرد	قابلیت ها و مزایا	کاستی ها و نقاط ضعف
فضای محدب(فضای کاربردی)	تحلیل درمقیاس ساختمان‌ها	- سرعت مطلوب در فرآیند انتزاع و تهیه نقشه محدب. - بررسی ارتباطات توپولوژیک و سلسله‌مراتب فضایی در پیکره‌بندی بنا. - امکان تحلیل مفاهیم اجتماعی با کمّی‌نمودن ویژگی‌های فضایی. - بررسی میزان یکپارچگی و نفوذپذیری فضایی. - بررسی قابلیت دسترسی فضاها و تعیین ظرفیت عبوری فضاها. - تشخیص و مکان یابی فضاهای عملکردی مهم در رابطه با یکدیگر . - بررسی میزان تفکیک فضایی وتعیین خصوصی یا عمومی‌بودن فضاها.	- تمرکز صرف بر ارتباط فضاها و عدم بررسی مسیرهای حرکتی. - عدم ارائه‌ی تحلیل از روابط بصری بین فضاها . - با انتزاع فضاها به گره‌های گراف، نقشه دقیقی از فضاها حاصل نمی‌شود. - عدم ارائه تحلیل از موقعیت‌های دقیق و مشخص مکانی در پلان. - در صورت وجود ابهام در تقسیم فضاها، فرایند انتزاع آسان نیست.
خط محوری	کاربرد گسترده در مقیاس شهری و ساختمانهای بزرگ	- تحلیل پیکره‌بندی خیابان‌ها در مناطق مختلف شهری. - تحلیل نحوه‌ی مسیریابی و میزان خوانایی در فضاها یا مسیرها. - مدل‌سازی حرکت مناسب در فضاهای شهری و در شبکه‌های حمل و نقل. - بررسی شاخص‌های اجتماعی در مسیرها؛ دسترسی، همسایگی‌ها، نفوذپذیری وغیره. - بررسی ظرفیت و پتانسیل حرکتی و بصری در محیط براساس پیکره‌بندی فضایی. - ارائه مسیرهای احتمالی حرکتی یا نظارتی و تولید نمودارهای تراکم رفت و آمد. - تفسیر ترافیک عابر پیاده و حضور همزمان. - مدل سازی حرکتی در جهت ممانعت از وقوع جرم. - شناسایی الگوی حرکتی و توزیع کاربری ها در شرایط موجود یک پروژه .	- عدم وجود یک روش تدقیق شده برای انتزاع یک طرح. - ایجاد محدودیت با انتزاع کل محیط به مجموعه‌ای از خطوط. - محدودیت در ترسیم تمام خطوط مربوط به مسیرهای حرکتی ممکن. - عدم توانایی در بیان تفاوت تجارب فضایی در طول یک مسیر . - عدم توجه به تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها در انتخاب مسیرهای حرکتی. - عدم توانایی نقشه محوری در تحلیل شبکه های منظم. - تغییر در نتایج تحلیل ها به دلیل تغییرات جزئی در هندسه محیط.
نقطه تقاطع	تحلیل نقاط شاخص در فضاها یا مسیرها	- متمرکز شدن بر تحلیل تقاطعات بین مسیرها. - تحلیل موقعیت های مکانی مشخص در فضاها. - تاکید بر تجربه ی حضور انسان در فضا. -توسعه دیدگاه از الگوهای اجتماعی به شناخت و تجربه فضایی. - تحلیل تجارب فضایی نقاط مختلف درامتداد و در انتهای خطوط محوری. - تحلیل نقاط تصمیم‌گیری و تغییر مسیر، نقاط مکث و نظارت، کشف دسترسی‌های ممکن و موقعیت‌های جدید . - تحلیل رابطه بین نقاط شاخص فضایی مهم در ارتباط با یکدیگر. - جایگزین مناسبِ نقشه محوری در فضاهای باز با دیوارهای متعدد.	- امکان تحلیل صرفا در نقاط تقاطع و نقاط پایانی محورها وجود دارد. - عدم سهولت در روند انتزاع برای دستیابی به گراف نقطه تقاطع. - کاهش دقت در تحلیل فضای داخلی ساختمان. - عدم پوشش تمام فضاهای محدب ساختمان توسط نقاط تقاطع. - عدم امکان تحلیل روابط عملکردی و حرکت.
گراف دید و ایزوویست	درک قابلیت های بصری فضاها	- تحلیل قابلیت‌های بصری در بخش های مختلف یک فضا. - تحلیل و پیش بینی میزان ازدحام فضایی و برخوردهای اجتماعی. - تحلیل‌مشاهدات برای کمک به‌جهت‌گیری یامسیریابی در بافت شهری و معماری. - بررسی تأثیر متقابل جایگیری افراد در فضا و میزان درک بصری آنها. - مناسب برای تحلیل فضاهای بزرگ و با مرزهای مشخص. - قابل استفاده جهت تحلیل در زمینه‌های طراحی محیطی و منظر. - توصیف ویژگی‌های فضای داخلی از دید ناظر و هماهنگی نتایج با تجارب محیطی افراد. - استخراج مفاهیم هندسی(غیرتوپولوژیکی) و اندازه گیری متریک وآماری با نرم‌افزار. - تسهیل فرایند طراحی مسیرهای حرکتی در ارتباط با تجارب فضایی. - ارائه ی تخمین های ثانویه پیچیده تر؛ ثبات بصری و یکپارچگی ساختار فضایی.	- انجام تحلیل‌های دقیق کمّی در این روش تنها با استفاده از نرم‌افزار امکان پذیر است. - عدم تطابق تحلیل های دو بعدی با تجربه ی واقعی در فضا . - علیرغم کاربرد ایزوویست ها جهت شناخت و تحلیل فضای سه بعدی در سطح مفهومی، انجام محاسبات اولیه دو بعدی بوده است. - فرضیات اصلی انسان محور در زمینه سه بعدی متفاوت است و اگر به سادگی به طور مستقیم از ساده سازی دو بعدی برداشت شود، از دقت کافی برخودار نیست.

(نگارندگان)

نتیجه‌گیری

در میان روش‌های مختلف تحلیل و ارزیابی در طراحی و تحلیل آثار معماری، روش نحو فضا دارای ویژگی‌های قابل‌توجهی است. این روش با استفاده از اصول نظریه گراف و با تمرکز بر ویژگی‌های توپولوژیکی، طرح‌های معماری و شهرسازی را به یک مدل انتزاعی تبدیل نموده و به تحلیل کمّی ارتباط پیکره‌بندی فضایی با ساختارهای اجتماعی و ویژگی‌های ادراکی و روان‌شناختی مرتبط با تجارب واقعی افراد می‌پردازد. در تمام تکنیک‌ها، یک رویه کلی شامل فرآیند سه‌گانه انتزاع، تحلیل کمّی و تفسیر مشاهده می‌شود. با این حال، ملاحظات در رابطه با هدف تحلیل ممکن است منجر به کاربرد تکنیکی خاص و در نتیجه تفاوت در نحوه انتزاع فضا، جهت دست‌یابی به پارامترهای مورد نظر شوند. هر یک از تکنیک‌ها با انتزاع طرح، گرافی از گره‌ها و یال‌ها تولید می‌کند. فضای محدب با انتزاع محیط و ترسیم گراف توجیهی از فضاها (گره‌ها) و اتصالات (اضلاع)، برای بررسی ارتباط پیکره‌بندی فضاها و مفاهیم اجتماعی و کارکردی استفاده می‌شود. در تکنیک "خطوط محوری" با انتزاع پلان به کمترین تعداد خطوط مستقیم که همه فضاهای محیط را پوشش می‌دهند، گرافی شامل شبکه‌ای از گره‌ها (خطوط) و یال‌ها (تقاطع خطوط) حاصل می‌شود، تحلیل روابط توپولوژیکی خطوط به‌طور مؤثری، به شناخت پتانسیل‌های حرکتی در محیط می‌پردازد. گراف نقاط تقاطع و پایانی، شامل نقاط (گره‌ها) و خطوط (اضلاع) است و مجموعه‌ای بهینه از مکان‌هایی که تصمیم‌گیری در مورد حرکت، نظارت و تغییر مسیر در فضا را به عهده دارند، بررسی می‌کند. ایزوویست و گراف دید نیز ویژگی‌های بصری و حرکتی فضا را به‌خوبی تحلیل می‌کنند. سه تکنیک اول، با مطالعه ویژگی‌های توپولوژیک در یک طرح معماری و با توجه به ارتباطات فضایی، مسیرها و نقاط تقاطع، به تحلیل پیکره‌بندی فضایی، سلسله مراتب دسترسی، کنترل، نفوذپذیری و خوانایی فضاها می‌پردازند و تکنیک چهارم، مربوط به هندسه فضای قابل‌مشاهده است و مدلی برای درک و تجربه عینی از فضا ارائه می‌دهد. مدل پیشنهادی در تصویر ۱۶، می‌تواند کمک مؤثری در کاربرد هوشمندانه این روش باشد و به پژوهشگران کمک می‌کند با توجه به هدف مورد نظر، تکنیک مناسب جهت تحلیل را انتخاب کنند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



تصویر ۱۶. مدل پیشنهادی کاربرد روش نحو فضا (نگارندگان)

پی‌نوشت

1. Space Syntax
2. Konigsberg
3. Leonard Euler
4. Christopher Alexander
5. Lionel March
6. Philip Stedman
7. George Stiny
8. Shape Grammar Analysis
9. Design Computing
10. Bill Hillier
11. Julienne Hanson
12. Alan Penn
13. John Peponis
14. Sophia Psarra
15. Michael Ostwald
16. Grasshopper
17. Rhino
18. Depthmap
19. Alain Chiaradia, Crispin Cooper, Chris
20. Mapping
21. Abstraction
22. Convex Space
23. Axial Line
24. Intersection Points
25. Isovist
26. Visibility Graph Analaysis Webster1
27. Justified Plan Graph (Jpg)
28. Primal Axial Graph
29. Dual Axial Graph
30. Intersections Nodes
31. Stub Nodes
32. Depth
33. Connectivity
34. James Gibson
35. Ambient Optic Array
36. Michael Benedikt
37. Larry Davis
38. Emo
39. Turner & Penn
40. Gerald Franz
41. Jan M.Wiener
42. Kneesovist
43. Field Isovist
44. Global Visibility
45. Local Measures
46. Michael Dawes
47. Jiang, Christophe Claramunt Bin Prospect

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

48. Refuge
49. Enticement
50. Mystery
51. Complexity

منابع و مآخذ

- Amidon, E. L. & Elsner, G. H. (1968). **Delineating landscape view areas a computer approach.** Berkeley, CA: US Department of Agriculture.
- Bafna, Sonit. (2003). Space syntax: A brief introduction to its logic and analytical techniques. *Environment and behavior*, 35 (1), 17-29.
- Batty, Michael. (2001). Exploring isovist fields: Space and shape in architectural and urban morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28 (1), 123-150.
- ---------- (2004). **A new theory of space syntax**. Working Paper Series. London, UK: University College London.
- Batty, Michael & Rana, Sanjay. (2004). The automatic definition and generation of axial lines and axial maps. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31 (4), 615-640.
- Behbahani, A. Peiman; Gu, Ning & Ostwald, Michael J. (2014). Comparing the Properties of Different Space Syntax Techniques for Analysing in-teriors. Architectural Research through to Practice: **48th International Conference of the Architectural Science Association 2014**. 683-694.
- Bellal, T. (2004). Understanding home cultures through syntactic analysis: The case of Berber housing. *Housing, Theory and Society*, 21 (3), 111-127.
- ---------- (2007). Spatial interface between inhabitants and visitors in m'zab houses. In **6th international space syntax symposium.** Istambul. 1-61.
- Benedikt, Michael L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and design*, 6 (1), 47-65.
- Byun, Nahyang & Choi, Jaepil. (2016). A Typology of Korean Housing Units: In Search of Spatial Configuration. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 15 (1), 41-48.
- Cooper, C. & Chiaradia, A. (2015). sDNA: How and why we reinvented Spatial Network Analysis for health, economics and active modes of transport. **GIS Research UK (GISRUK) 2015 Proceedings**. Malleson, N.; Addis, N.; Durham, H.; Heppenstall, A.; Lovelace, R.; Norman, P. & Oldroyd, R. (Eds.). Leeds, UK: The University of Leeds. 122-127.
- Davis, Larry S. & Benedikt, Michael L. (1979). Computational models of space: Isovists and isovist fields. *Computer Graphics and Image Processing*, 11 (1), 49-72.
- Dawes, Michael J. & Ostwald, Michael J. (2013). Precise locations in space: An alternative approach to space syntax analysis using intersection points. *Architectural Research*, 3 (1), 1-11.
- Dawson, Peter, C. (2001). Space syntax analysis of Central Inuit snow houses. *Journal of Anthropological Archaeology*, 21 (4), 464-480.
- Desyllas, Jake. (2000). *"The relationship between urban street, configuration and office rent patterns in Berlin"*. PhD thesis, Bartlett School of Graduate Studies, University College London.
- Dettlaff, W. (2014). Space syntax analysis–methodology of understanding the space. *PhD Interdisciplinary Journal*, 283-291.

- Devlin, Keith. (1994) **Mathematics: The Science of Patterns, The search for Order in life, Mind, and Universe**. W H Freeman & Co.
- Dovey, Kim. (1999). **Framing places: Mediating power in built form**. London: Routledge.
- ---------- (2010). **Becoming places: Urbanism/architecture/identity/power**. London: Routledge.
- Dursun, P. (2007). Space syntax in architectural design. In **6th international space syntax symposium.** 1-56.
- Emo, B. (2015). Exploring isovists-the egocentric perspective. In Proceedings of the **10th International Space Syntax Symposium** .Space Syntax Laboratory.121.
- Feng, C. H. E. N. & Zhang, W. E. N. W. E. N. (2017). Grasshopper reach analysis toolkit: Interactive parametric syntactic analysis. In Proceedings of the **11th Space Syntax Symposium.** Lisbon. #159. 1-12.
- Franz, G. & Wiener, J. M. (2005). Exploring isovist-based correlates of spatial behavior and experience. In **5th International Space Syntax Symposium**. Delft, NL: TU Delft Press. 503-517.
- ---------- (2008). From space syntax to space semantics: a behaviorally and perceptually oriented methodology for the efficient description of the geometry and topology of environments. *Environment and Planning B: Planning and Design,* 35 (4), 574-592.
- Gallagher, G. L. (1972). A computer topographic model for determining intervisibility. In **The Mathematics of Large Scale Simulation**. Brock, P (Ed.). CA: Simulation Councils, La Jolla. 3-16.
- Gibson, James J. (1979). **The ecological approach to visual perception**. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Giedion, Sigfried. (1961). **Space, time and architecture: The growth of a new tradition.** Cambridge, USA: Harvard University Press.
- Hanson, J. (1998). The anatomy of privacy in architects, London houses. **Decoding Homes and Houses**. London. 215-241.
- Hillier, B. (1996). **Space is the machine: a configurational theory of architecture**. London, UK: Space Syntax. Cambridge University Press.
- Hillier, B. (2005). The art of place and the science of space. *World Architecture,* 185, 96-102.
- Hillier, B. & Hanson, J. (1984). **The social logic of space**. London, UK: Cambridge university press.
- Hillier, Bill & Penn, Alan (2004). Rejoinder to carlo ratti. *Environment and Planning B: Planning and design,* 31 (4), 501-511.
- Hillier, B., & Shu, S. (2000). Crime and Urban Layout: The Need for Evidence. **Secure Foundations: Key Issues in Crime Prevention**. Ballintyne, S.; Pease, K. & McLaren, V. (Eds.). London: Crime Reduction and Community Safety, Institute of Public Policy Research. 224-248.
- Hillier, Bill; Hanson, Julienne & Graham, Heather. (1987). Ideas are in things: an application of the space syntax method to discovering house genotypes. *Environment and Planning B: planning and design,* 14 (4), 363-385.
- Hopkins, Brian & Wilson, Robin J. (2004). The truth about Königsberg. *The College Mathematics Journal,* 35 (3), 198-207.
- Jencks, Charles A. (1977). **The language of Post-Modem architecture**. London: Academy Editions.
- Jeong, S. K. & Ban, Y. U. (2014). The spatial configurations in South Korean apartments built between 1972 and 2000. *Habitat International,* 42, 90-102.

- Jiang, Bin & Claramunt, Christophe. (2002). Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology. *Transactions in GIS*, 6 (3), 295-309.
- Klarqvist, B. (1993). A space syntax glossary. *Nordisk Arkitektursforskning*, 2, 11-12.
- Lee, Ju Hyun; Ostwald, Michael J. & Gu, Ning (2015). Using a JPG Grammar to Explore the Syntax of a Style: An Application to the Architecture of Glenn Murcutt. *Design Computing and Cognition'14*, 589-604.
- Lee, Ju Hyun; Ostwald, Michael J. & Lee, Hyunsoo. (2017). Measuring the spatial and social characteristics of the architectural plans of aged care facilities. *Frontiers of Architectural Research*, 6 (4), 431-441.
- Lynch, Kevin. (1976). **Managing the sense of region.** Cambridge USA: MIT Press.
- Manum, B. (2009). A Graph complementary software for axial-line Analysis. proceeding of the **7th international space syntax symposium.** Stockholm: Sweden. 70.
- Markus, Tom. (1993). **Buildings and power**. London: Routledge.
- Mustafa, F. A. & Hassan, A. S. (2013). Mosque layout design: An analytical study of mosque layouts in the early Ottoman period. *Frontiers of Architectural Research*, 2 (4), 445-456.
- Norberg-Schultz, C. (1971). **Existence, space & architecture.** New York: Praeger.
- Nourian, P.; Rezvani, S. & Sariyildiz, S. (2013). A syntactic architectural design methodology: Integrating real-time space syntax analysis in a configurative architectural design process. **Proceddings of the Ninth International Space Syntax Symposium**. kim, O; Park, H T & Seo, K W (Eds.). Seoul: Sejong University Press. 1-12.
- Osman, Khadiga M. & Suliman, Mamoun. (1994). The space syntax methodology: fits and misfits. *Architecture and Behaviour*, 1 (2), 189-204.
- Ostwald, Michael J. (2011a). A justified plan graph analysis of the early houses (1975-1982) of Glenn Murcutt. *Nexus Network Journal*, 13 (3), 737-762.
- ---------- (2011b). The mathematics of spatial configuration: Revisiting, revising and critiquing justified plan graph theory. *Nexus Network Journal*, 13 (2), 445-470.
- Ostwald, Michael J. & Dawes, Michael J. (2013). Using Isovists to Analyse Architecture: Methodological Considerations and New Approaches. *International Journal of the Constructed Environment*, 3 (1), 85-106.
- ---------- (2018). **The Mathematics of the Modernist Villa: Architectural Analysis Using Space Syntax and Isovists.** Vol. 3. Birkhäuser.
- Penn, A.; Conroy, R.; Dalton, N.; Dekker, L.; Mottram, C. & Turner, A. (1997). Intelligent Architecture: new tools for the three dimensional analysis of space and built form. **First International Space Syntax Symposium**. London.
- Peponis, John & Wineman, Jean. (2002). Spatial structure of environment and behaviour. In **Handbook of environmental psychology.** Bechtel, Robert & Churchman, Arza (Eds.). New York: John Wiley. 271-291.
- Psarra, S. O. P. H. I. A. (2017). An Archaeology of the Present: Topo-Geometric Properties from the Invention of Architectural Notation to Non-Standard Variation in Architecture and Design'. Proceedings of the **11th international Space Syntax symposium.** Instituto Superior Tecnico. #172. 12.

- Ratti, Carlo. (2004). Rejoinder to hillier and penn. *Environment and Planning B: Planning and design*, 31 (4), 513-516.
- Tandy, C RV. (1967). The isovist method of landscape survey. in Symposium: **Methods of Landscape Analysis**. Murray, H C (Ed.). London: Landscape Research Group. 9-10.
- Turner, A. (2007). UCL Depthmap 7: From isovist analysis to generic spatial network analysis. Paper presented at the **6th International Space Syntax Symposium**. Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University.
- Turner, Alasdair & et al. (2001). From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and design*, 28 (1), 103-121.
- Turner, Alasdair & Penn, Alan. (2002). Encoding natural movement as an agent-based system: an investigation into human pedestrian behaviour in the built environment. *Environment and planning B: Planning and Design*, 29 (4), 473-490.
- Turner, Alasdair; Penn, Alan & Hillier, Bill. (2005). An algorithmic definition of the axial map. *Environment and Planning B: planning and design*, 32 (3), 425-444.
- Zevi, Bruno. (1957). **Architecture as Space**. New York: Horizon Press.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Received: 2019/11/30
Accepted: 2020/05/20

The application and development of graph theory through the space syntax method: The implementation of analytical practical model in architecture

Vajihe Mollaee Shams[*] Alireza Rezvani[**] Majid Mirzavaziri[***]

Abstract

Over the last few decades, different mathematical methods have been used to design and analyze architectural spaces. Meanwhile, the graph theory provides an abstract model to study the spatial configuration, so that a simple and flexible mathematical framework is obtained to analyze the spatial topological features and their relationship with social and functional concepts in architectural and urban spaces. In the eighteenth century, the Euler theorem was the basis of graph theory and later led to the formation of the syntactical model of form, shape grammar and space syntax. The main question of this research is how designers and researchers can choose the appropriate space syntax technique to achieve their goals? The research process uses a qualitative approach and a descriptive-analytical method. Adopting library research and documentary studies, this investigation reviews various theories and experiences regarding the applications of graph theory and space syntax in architecture. Furthermore, the latest achievements in space syntax techniques are expressed. Then, the unique strengths and weaknesses that each technique possesses is identified and analyzed in a deductive manner. The aim is to provide a model for its optimal application in the design and analysis of architectural works by studying the principles of graph theory and extending it to space syntax techniques. This approach helps designers and architects evaluate the effectiveness of proposed designs during the design process or to analyze the spatial structure features of existing buildings and to provide appropriate solutions to different problems in each situation. The findings of the research indicate that convex space, axial line and intersection point techniques provide the basis for examining the relationship between spatial structure and social concepts and functions, hierarchy of access, modeling of motion patterns and the study of spatial index points and isovist technique and graphs of vision consider visual and perceptual capabilities of space. Finally, a model for intelligent application of the space syntax method by designers and architects and to achieve more accurate and useful analytical results is presented.

Keywords: space syntax, graph theory, mathematics, architecture

[*] Ph. D Student of Architecture. Department of Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. *vmshams94@gmail.com*

[**] Ph. D of Urban Planning, Department of Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Ira n. *rezvani0112@mshdiau.ac.ir*

[***] Ph. D of Pure Mathematics, Department of Pure Mathematics, Faculty of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. *mirzavaziri@gmail.com*