تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۱۷ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی، ۱۶(۴۰)، ۴۵-۶۴
DOI: 10.30480/AUP.2023.4581.1996
نوع مقاله: مروری

تدوین فرایند مدل‌سازی شناختی- فضایی در معماری با تأکید بر مدل‌های محاسباتی و مفهومی- فرضی*

ویدا مکانی
دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
علیرضا عینی‌فر
استاد گروه معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(نویسنده مسئول مکاتبات)
Email : aeinifar@ut.ac.ir

چکیده

پژوهشگران برای مطالعهٔ بازنمایی‌های ذهنی از محیط و فهم دقیق دستگاه شناختی انسان از مدل و شبیه‌سازی بهره می‌برند. در پژوهش‌های معماری به دلیل پیچیدگی فرایند، به مدل‌سازی شناختی-فضایی کمتر توجه شده است. از این رو رویکردی علمی و جامع که ویژگی‌های گوناگون مدل‌سازی این حوزه را دربرگیرد، وجود ندارد. هدف این پژوهش تدوین مدل فرایند ایجاد دو گونهٔ رایج از مدل‌های شناختی-فضایی در معماری است. پرسش این است که چگونه می‌توان برای فرایند مدل‌سازی در حوزهٔ شناخت فضایی مدلی تدوین کرد که به‌طور هم‌زمان چارچوب‌های انسانی، محیطی و زمانی را مدنظر قرار دهد؟ روش تحقیق استدلال منطقی است که با تحلیل مباحث علمی در دو حوزهٔ علوم شناختی و مدل‌سازی انجام شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که هنگام ساخت مدل‌های شناختی-فضایی، در مرحلهٔ انتخاب نظریه یا مدل مبنا و یافتن ارتباط بین مفاهیم، پرداختن به چارچوب‌های زمانی، انسانی و ذهنی-محیطی در اولویت قرار دارد. در مدل‌سازی محاسباتی، رفتارهای پیچیده فضایی از طریق الگوریتم‌ها شبیه‌سازی و امکان بازتولید رفتار بررسی می‌شود. در مدل‌سازی مفهومی-فرضی به دلیل اهمیت آگاهی مشترک مردم از محیط، روش‌های قیاسی-استقرایی رایج در علوم اجتماعی کارایی دارند و استفاده از ابزارهای ترکیبی، می‌تواند میزان خطای مدل‌سازی را تقلیل دهد.

کلیدواژه‌ها: مدل، مدل‌سازی، شناخت فضایی، مدل محاسباتی، مدل مفهومی-فرضی

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری ویدا مکانی، با عنوان «شناختِ پیکره‌بندیِ توده و فضا در مجتمع‌های مسکونی» است که با راهنمایی دکتر علیرضا عینی‌فر در دانشکده معماری دانشگاه تهران در دست انجام است.

مقدمه

مدل‌ها در بستر علمی معاصر نقش کانونی دارند. همان‌طور که ابزار و ماشین‌ها توانایی‌های جسمی انسان را افزایش می‌دهند، مدل‌ها توانایی‌های ذهنی را گسترش می‌دهند و انسان را در شناخت و تجربه سامانه‌های فراتر از دسترسی مستقیم، توانا می‌سازند (Calder *et al*., 2018, 2). مدل‌سازی در علوم شناختی، به دلیل مبتنی بودن بر علم مدل‌سازی (Magnani and Bertolotti, 2017, XI)، و ماهیت میان‌رشته‌ای، از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. همچنین، به‌دلیل ماهیت دوگانهٔ رویکردهای شناختی-فضایی، مدل‌هایی که تنها بر ذهن یا محیط متمرکزند، جامعیت کافی ندارند و معرف تمامی ابعاد شناخت فرد از محیط نیستند. با وجود پژوهش‌های فراوان، اما مجزا و پراکنده در زمینهٔ ساخت و کاربرد این مدل‌ها، کاستی چارچوب تدوین‌کننده مدل‌های کارامد برای یکپارچگی متغیرهای گسترده و متنوع مؤثر بر شناخت فضایی احساس می‌شود. به دلیل جامعیت نداشتن و تنوع شیوه‌های مدل‌سازی در شناخت فضایی این پرسش مطرح می‌شود که «چگونه می‌توان برای فرایند مدل‌سازی در شناخت فضایی، مدلی تدوین کرد که به‌طور هم‌زمان متغیرهای انسانی، محیطی و زمانی را مدنظر قرار دهد؟» برای پاسخ به این پرسش شناسایی «رایج‌ترین مدل‌های شناخت فضایی در مقیاس معماری و شهر» و «رویکردها، چارچوب‌ها و روش‌های مدل‌سازی شناختی در فضا و با فضا ضرورت دارد».

بنابراین، هدف پژوهش تدوین مدل مفهومی فرایند مدل‌سازی در مطالعات شناخت فضایی است. ابتدا، با مرور الفبای نظری و شناختی مدل‌ها، به معرفی دو رویکرد متداول در مدل‌سازی شناختی- فضایی (محاسباتی و مفهومی-فرضی) و گونه‌های رایج آن پرداخته می‌شود و سپس برای روشن ساختن چگونگی مدل‌سازی علمی در مطالعات شناخت فضایی، با بهره‌گیری از روش استدلال منطقی و براساس چارچوب‌های زمانی، انسانی و محیطی، ساختاری مفهومی برای طبقه‌بندی مدل‌ها پیشنهاد می‌شود. در نهایت برای هر یک از مدل‌های محاسباتی و مفهومی-فرضی مدلی معرفی می‌شود، که بیانگر پیوند میان چارچوب‌های مذکور و فرایند مدل‌سازی است.

پیشینهٔ تحقیق

در اواخر قرن بیستم، مدل‌سازی هم در روان‌شناسی شناختی و هم در جغرافیای محیطی به موضوع تحقیق تبدیل (Hirtle, 2013, 223) و در دهه‌های اخیر پیشرفت چشم‌گیری در آن حاصل شد. گالج و همکاران (1985) در تحقیقی به بسط مدلی مفهومی از ساختار و فرایند کسب و استدلال دانش محیطی پرداختند. کویپرز (1978) بر اساس ایدهٔ نقشه شناختی و با بررسی اینکه چگونه دانش فضایی حین تجربه محیط به‌دست می‌آید، مدل تور[1] را تدوین و در آن ارتباط بین انواع دانش فضایی اعم از رویه‌ای، توپولوژیکی و متریک را نشان داد (Kuipers, 1978, 129). فراندچاه و اگنهوفر[2] (1997)، مدلی برای گونه‌شناسی فضاهای جغرافیایی برمبنای تجربه و نحوه تعامل افراد «با فضا» و «در فضا» پیشنهاد و براساس رابطهٔ سه عامل «کنترل‌پذیری، حرکت و اندازهٔ فضا»، عوامل کارامد مدل‌سازی تصور و فهم انسان از فضا را تعریف کردند. فرکسا (1991) با تأکید بر اینکه انسان‌ها در تعامل با محیط از دانش کیفی بیش از دانش کمی بهره می‌برند یکی از اولین نمونه‌های مدل کیفی در شناخت فضایی را ارائه کرد و در آن از استدلال کیفی[3] به عنوان بستری برای مطالعه سازوکارهای استنباط فضایی ذهن بهره جست. پورچوگالی و هاکن[4] (1992)، مفهوم SIRNs[5] را به عنوان واسطهٔ بازنمایی‌های درونی (شناختی) فضا و عناصر خارجی (کالبدی)، پیشنهاد کردند. این مفهوم نشان داد که حرکت در فضا منجر به تجربه‌های جدیدی می‌شود که بر مدل تأثیر گذاشته و آن را به تدریج به روز می‌کند. در سال ۱۹۷۰ نحو فضا[6]، توسط هیلیر و هنسن، به منزله ابزاری برای مدل‌سازی شهر و معماری با تأکید

بر پیکره‌بندی فضاهای ارتباطی و بررسی اثرات اجتماعی آن مطرح و در سال‌های بعد توسط سایر محققان تکمیل شد. پن (2001 ;2003) سرنخ‌هایی از انگیزه و شناخت فردی نهفته در تئوری نحو فضا را مطرح کرد (Penn, 2001) که می‌توان از آن برای توضیح فهم فضا بهره برد. هیرتل[۷] (2013) در مقاله‌ای گونه‌شناسی مدل‌های شناخت فضایی را به هفت گروه تقسیم کرد که در میان آنها گروه‌های جغرافیایی، کیفی، هم‌افزایی، نحو فضا و توپولوژیک در معماری کاربرد بیشتری دارند. مانسون و همکاران (2020) در مقاله‌ای، چالش‌های روش‌شناختی مدل‌سازی عامل بنیان فضایی[۸] را که زیرمجموعه‌ای از مدل‌های محاسباتی‌اند، توصیف و راه‌حل‌های بالقوه‌ای برای آن پیشنهاد کردند.

مرور پیشینه موضوع نشان می‌دهد که ماهیت میان‌رشته‌ای مطالعات شناخت فضایی به طیف گسترده‌ای از مدل‌ها با رویکرد، روش و شیوه‌های مختلف منتهی شده است. در اغلب این مطالعات بدون پرداختن به فرایند مدل‌سازی جامع، تنها به فرایند ایجاد یا بسط یک یا چند مدل انتخاب شده، پرداخته شده است. به همین دلیل، مطالعه فرایند مدل‌سازی مفهومی-فرضی و محاسباتی شناخت فضایی در معماری و شهرسازی می‌تواند از تازگی و اهمیت لازم برای تحقیق برخوردار باشد.

روش تحقیق

روش پژوهش کیفی است. ابتدا با مطالعه پیشینه نظری، دو رویکرد متداول و تأثیرگذار بر فرایند مدل‌سازی شناختی- فضایی در معماری شامل «محاسباتی» و «مفهومی-فرضی» برگزیده شده و سپس با بهره‌گیری از روش استدلال منطقی، بر اساس چارچوب‌های زمانی، انسانی، ذهنی-محیط، ساختاری برای طبقه‌بندی مدل‌ها پیشنهاد می‌شود. در نهایت فرایند مدل‌سازی شناختی- فضایی، برای مدل‌های محاسباتی از طریق الگوریتم، و مدل‌های مفهومی-فرضی با دو روش قیاسی و استقرایی در قالب مدلی مفهومی تدوین می‌شود.

شناخت فضایی

به دلیل دشواری مفهوم شناخت، تعریف‌های موجود «به طیف گسترده‌ای از فرایندهای ذهنی همچون تفکر، استدلال، حافظه، ادراک و غیره اشاره می‌کنند» (Mark, 1993, 51). مور و گالج (1976) شناخت را یک مفهوم کلی تعریف می‌کنند که «تمامی اشکال آگاهی و دانش» را دربرمی‌گیرد (Moore and Golledge, 1976, 6) و در آن سه عامل ادراک‌کننده، ادراک‌شونده و ابزار شناخت مؤثر است (کرباسی‌زاده اصفهانی و حیدریان، ۱۳۸۸، ۹۷). شناخت فضایی، شاخه‌ای از مباحث حوزه شناخت است که به مطالعهٔ دانش و باورها درمورد «ویژگی‌های فضایی» اشیاء و رویدادها در جهان می‌پردازد. مقصود از خصوصیات فضایی، اندازه، شکل، مقیاس و روابط بین اشیاء همچون فاصله، جهت، موقعیت و الگو است (Smelser and Baltes, 2001, 14771). به‌طور خلاصه شناخت فضایی شامل «مطالعهٔ همه فرایندهای ذهنی، از توجه و ادراک تا حافظه، استدلال، حل مسئله، تصویرسازی و زبان درباره ویژگی‌ها و روابط فضایی در محیط است» (Waller and Nadel, 2013, 3)، اعم از آنکه از سوی انسان و یا غیر انسان باشد (مانتلو، ۱۳۹۷، ۱۴۹).

گالج و همکاران (1985) اجزای دانش فضایی حاصل از تجربه را به سه دسته آگاهی درباره اشیاء و مکان‌های مهم (دانش نشانه‌ها)، روابط بین اشیاء (روابط توپولوژیکی مثل مجاورت، یا متریک مانند فاصله و جهت) و مسیرها تقسیم کرده‌اند (Golledge *et al*., 1985, 127). لازم به ذکر است در پژوهش‌های محیطی، هر شناختی از ویژگی‌های فضایی در قالب شناخت فضایی طبقه‌بندی نمی‌شود، بلکه تمایل این است که بر فعالیت‌هایی چون استدلال، ارتباطات، تخیل، بازنمایی و تفسیر نمادین تمرکز شود. بنابراین فعالیت‌هایی همچون جابه‌جایی بدن فرد برای اجتناب از برخورد به چارچوب در، با وجود پردازش شناختی اطلاعات

فضایی، مسئله‌ای از نوع شناخت فضایی نیست (Montello and Raubal, 2013, 249). شناخت محیطی نه تنها به دانش و اطلاعات محیطی بلکه به باورهای ذهنی در مورد محیط، چگونگی ظهور این مفاهیم از دل تجربه‌ها و تأثیر آنها بر رفتار افراد نسبت به محیط، نیز اشاره می‌کند (Moore and Golledge, 1976, 9). مدل در تحقیقات علمی و مدل‌سازی شناختی-فضایی به تبیین روند فوق کمک می‌کند.

مدل در تحقیقات علمی

واژۀ مدل اغلب مبهم است و در علم و فلسفه به شیوه‌های گوناگون تعریف می‌شود. در تعریف اولیه، «مدل چیزی است که امکان فهم یا توضیح چیز دیگری را فراهم می‌سازد» (Magnani and Bertolotti, 2017, XI). وورىويز و داکمن (2004) مدل را این‌گونه تعریف کرده‌اند: «ساختاری مصنوعی که در آن قسمت‌هایی از یک حوزه[۹]، که دامنۀ مبدا نامیده می‌شود، توسط یک دامنه دیگر که دامنه هدف نام‌گذاری می‌شود، نشان داده می‌شود. اجزاء تشکیل دهنده دامنه مبدا ممکن است ماهیت‌ها، روابط، فرایندها یا هر پدیده دیگری باشند.» (Hirtle, 2013, 211) دودیگ سرن‌کویچ معتقد است که «مدل نمایش ساده‌ای از سامانه‌های پیچیده یا فرایندی برای درک، کنترل و پیش‌بینی آن است.» (Dodig-Crnkovic, 2008, 1) از دیدگاه گروت و وانگ (۱۳۸۸) مدل «گونۀ تکرارپذیری است که هدف آن انتزاع قوانین طبیعی و یا عوامل اجتماعی-فرهنگی دخیل در تعاملات زندگی روزمره است.» (گروت و وانگ، ۱۳۸۸، ۲۸۲) به‌طور خلاصه مدل را می‌توان نمایش مجرد یا کالبدی یک شیء یا یک سامانه از نگاه یا دیدگاهی خاص تعریف کرد که «بیانگر تمام واقعیت یک سامانه و ماهیت یک پدیدۀ واقعی نیست، بلکه صرفاً جنبه‌هایی خاص از واقعیت را به انتخاب مدل‌ساز بیان می‌کند» (خنیفر و بردبار، ۱۳۹۳، ۱۰).

کارکرد شناختی مدل‌ها، به‌طور گسترده‌ای تأیید شده و حتی برخی محققان معتقدند «استدلال مبتنی بر مدل»[۱۰] سبک جدیدی از استدلال است که بر اساس آن، «از طریق ایجاد، دستکاری، تطبیق و ارزیابی مدل‌ها می‌توان به استنباط و استنتاج دست یافت.» (Frigg and Hartmann, 2020) در این راستا، فلسفه علم پرسش‌هایی در زمینه معناشناسی، هستی‌شناسی و معرفت‌شناسی مطرح می‌کند که در جدول (۱) خلاصه شده است.

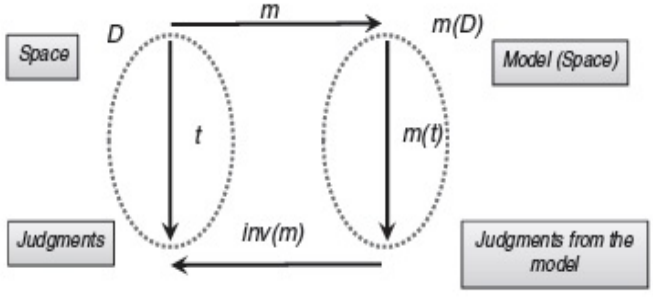
جدول ۱. رویکرد فلسفی به مدل

رویکرد فلسفی	سوال	تعریف	نمونه
هستی‌شناسی	مدل چیست؟ دانشمندان هنگام کار با یک مدل، با چه چیزی سروکار دارند؟	چیزهایی که معمولاً به عنوان مدل عمل می‌کنند در واقع به انواع مختلفی از هستی‌شناسی تعلق دارند.	اشیاء (عناصر و موضوع‌ها) کالبدی (مدل ساختمان‌ها)، اشیاء تخیلی (مدل اتم‌ها)، اشیاء انتزاعی، ساختارهای نظری مجموعه‌ها، توصیف‌ها، معادلات، یا ترکیب برخی از این‌گونه‌ها
معرفت‌شناسی	چگونه با کمک مدل‌ها (کارکردهای شناختی مدل‌ها) یاد می‌گیریم؟	با مطالعه مدل، ویژگی‌های سامانه‌ای بازنمایی‌شده آن را کشف و حقایق مربوط به آن را مشخص می‌کنیم.	یادگیری مدل‌ها (ساخت و دستکاری مدل)، یادگیری سامانه هدف، توضیح با مدل، فهم با مدل، ابزاری برای ساخت نظریه
معنا شناسی	چگونه مدل‌ها بیانگر چیزی هستند؟	بسیاری از مدل‌های علمی بیانگر بخشی یا جنبه‌ای از جهان و سامانه هدف‌اند.	مدل‌های مقیاس (مانند یک ماشین چوبی)، مدل‌های قیاسی (مانند شباهت مشخصی بین دو شیء یا روابط بین بخش‌های دو سامانه)، مدل‌های پدیدارشناختی

منبع: (براساس Frigg and Hartmann, 2020)

مدل‌سازی شناختی- فضایی

مدل شناختی، روشی قابل آزمون برای مطالعه شناخت است که با شبیه‌سازی و ساده کردن فرایندهای شناختی پیچیده، به توصیف، درک و پیش‌بینی رفتارهای انسان کمک می‌کند (Prezenski *et al*., 2017, 4). مدل‌های «شناختی- فضایی» که از طریق مدل‌سازی تصور و فهم انسان از فضای جغرافیایی به‌دست می‌آیند، زیرمجموعهٔ مهمی از مدل‌های شناختی هستند. در این مدل‌ها عناصر دامنه مبدا، ماهیت‌های فضایی[۱۱] (مکان‌ها[۱۲]) و عناصر دامنهٔ هدف[۱۳] بازنمایی‌ها و یا نماینده‌های متناظر با آن ماهیت‌ها را نشان می‌دهند. فرایند قضاوت در دامنه مبدا (t) و هدف m(t) وجود دارد. هیرتل معتقد است هماهنگی و تناسب مدل را می‌توان با مقایسهٔ قضاوت مستقیم از فضا یا دامنهٔ مبدا (حاصل فرایند t) و قضاوت متناظر آن از مدل (حاصل فرایند $m_{(t)}$) اندازه‌گیری کرد (شکل ۱). مقصود هیرتل از قضاوت، پیش‌بینی‌هایی است که از طریق مدل انجام می‌شود. او در ادامه توضیح می‌دهد این پیش‌بینی‌ها اگر به‌صورت تجربی تأیید نشود (به عبارت دیگر با قضاوت مستقیم از فضا یکی نباشد) مدل باید اصلاح و در غیر این صورت رد شود (Hirtle, 2013, 211).



شکل ۱. قضاوت مستقیم و قضاوت بر مبنای مدل‌های شناختی-فضایی

منبع: (Hirtle, 2013, 212)

به نظر ریتچی (2012) نظریهٔ عمومی یا چارچوبی کلی که ابعاد معرفت‌شناختی، روش‌شناختی و عملیاتی مدل‌سازی علمی را پوشش دهد، وجود ندارد. به تعبیری دیگر، هیچ قانون یا دستورالعمل ثابتی برای ساخت مدل در اختیار نیست (Ritchey, 2012, 1). ریتچی دو معیار ضروری برای مدل‌های علمی مطرح کرده است. اول، مدل علمی باید حداقل دو (یا بیشتر) مفهوم ذهنی به عنوان متغیر داشته باشد (مثل سن، جنسیت و غیره)؛ دوم، باید میان متغیرها ارتباط (علی، احتمالی، منطقی و غیره)، برقرارکند. او بر مبنای این دو معیار پنج ویژگی برای مدل‌سازی بیان می‌کند (Ritchey, 2012, 5):

- **مشخص بودن**[۱۴] متغیرهای مدل: برای مثال مقادیر ترتیبی یا غیر ترتیبی
- **جهت‌مندی**[۱۵] ارتباط متغیرها: جهت‌دار یا غیرجهت‌دار و متقارن بودن
- **تعیین کمیت**[۱۶] به معنای کمی بودن یا نبودن متغیرها
- **روابط چرخه‌ای**[۱۷] به معنای چرخه‌ای بودن یا نبودن متغیرها، و
- **نوع اتصال**[۱۸] که بیانگر ماهیت روابط متغیرها است؛ برای مثال برقرار بودن روابط ریاضیاتی، احتمالی، شبه علی یا غیرعلی (یعنی منطقی، هنجاری) و غیره.

به‌دلیل برخورداری از پیشینهٔ غنی در علوم گوناگون و استفاده از رویکرد، روش، سبک و الگوهای متنوع در مدل‌سازی علوم شناختی، مدل‌های شناختی- فضایی از تنوع بسیاری برخوردارند. با توجه به اهداف

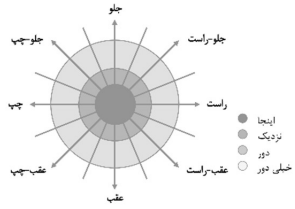
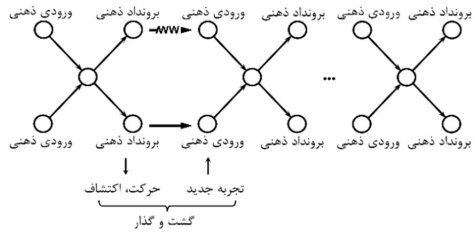
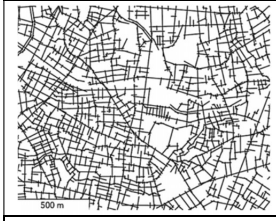
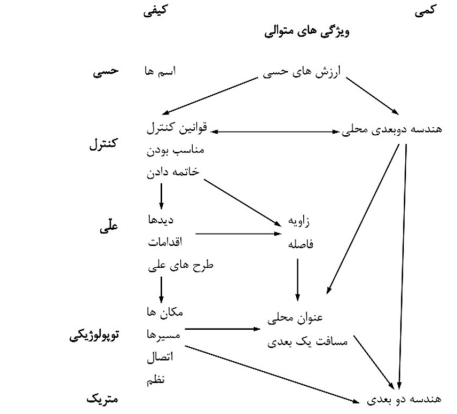
مقاله، دو دسته از رایج‌ترین مدل‌ها در شناخت فضایی که در معماری کاربرد بیشتری دارند، یعنی مدل‌های محاسباتی و مدل‌های مفهومی -فرضی، تحلیل می‌شوند.

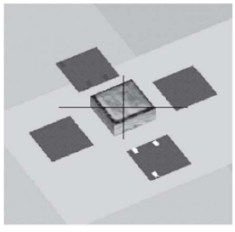
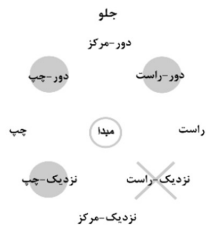
مدل‌سازی محاسباتی

مدل‌های محاسباتی[۱۹] بخش عمدهٔ پیشینه مدل‌سازی در علوم شناختی را تشکیل می‌دهند. ایدهٔ اصلی در مدل‌سازی محاسباتی درنظر گرفتن ذهن افراد به عنوان سامانه پردازشگر اطلاعات و فرایندهای ذهنی (ادراک، فهم، استدلال و غیره)، مانند برنامه‌های کامپیوتری است. در ساده‌ترین تعریف، محاسبات به معنی دستورالعمل صریح و تعریف‌شده حل یک مسئلهٔ معین است[۲۰]. «ویزبرگ[۲۱] مدل‌های محاسباتی را مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها (رویه‌ها)[۲۲] تعریف می‌کند که در آن یک حالت شروع[۲۳] به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود؛ سپس رویه‌ها مشخص می‌کند که چگونه این حالت تغییر می‌کند و به یک خروجی منتهی می‌شود. این رویه‌ها اجزای مدل هستند نه خود مدل. مدل‌ها علاوه بر مجموعه‌ای از رویه‌ها یا الگوریتم‌ها از چند فرضیه نظری[۲۴] نیز تشکیل می‌شوند» (Marraffa and Paternoster, 2017, 930). اجرای مدل محاسباتی (یعنی رویه‌های تشکیل‌دهنده مدل) نوعی شبیه‌سازی است که نتایج آن برای دانشمندان امکان تأیید یا رد فرضیه‌های پیش‌بینی‌شده را فراهم می‌کند[۲۵] (Marraffa and Paternoster, 2017, 931).

ساخت مدل‌های محاسباتی «شناخت فضایی» با هدف اثبات سازوکارهای زیربنایی شناخت فضایی، تعریف مؤلفه‌های مناسب آن و آزمایش نتایج تجربی، سابقه طولانی دارد (Hirtle, 2013, 211). برای نمونه می‌توان به مدل تور اشاره کرد که در آن مفاهیم فضایی عمدتاً برگرفته از نظریه‌های لینچ (1960) و پیاژه و اینهلدر (1967) است. در این مدل که با یک برنامهٔ کامپیوتری نوشته شده، رفتارهای پیچیده‌ای چون مسیریابی و حل مسائل فضایی، با دستورالعمل‌های ساده‌ای مانند «برو»، «بپیچ» و «ایست» شبیه سازی شده است (Kuipers, 1978, 131). دستهٔ دیگری از مدل‌های محاسباتی، مدل‌های عامل بنیان[۲۶] (ABM) هستند که برای بازنمایی اعمال، رفتار و تعاملات عناصر یا افرادِ مستقل با هدف بررسی تأثیر یک عامل یا رفتار بر روی سیستم مشخص به‌عنوان یک کل بنا نهاده شده‌اند. «عامل» یک واحد یا عنصر مستقل است که تلاش می‌کند مجموعه‌ای از اهداف را برآورده سازد (Clarke, 2014, 1225) و از مهمترین ویژگی‌های آن استقلال و توانایی تعامل با سایر عوامل و محیط است (Manson *et al*., 2020, 6). «محیط» یک دنیای مجازی است که عامل‌ها در آن عمل می‌کنند (Salgado and Gilbert, 2013, 249). در مدل‌های «عامل بنیان فضایی» (SABM)، فضا یک مؤلفهٔ مشخص و تأثیرگذار بر رفتار مدل است (Manson *et al*., 2020, 2). هیرتل (2013)، گونه‌شناسی مناسبی از مدل‌های محاسباتی در شناخت فضایی، پیشنهاد کرده است (جدول ۲).

جدول ۲. گونه‌شناسی مدل‌های محاسباتی در شناخت فضایی

گونه‌شناسی مدل‌های محاسباتی	حوزه‌های کاربردی	رویکرد	طرفداران اولیه	مصداق
کیفی[۲۷] مدل‌های کیفی-فضایی بر انواع استنباط‌هایی که از عبارات کیفی استخراج می‌شود تأکید دارند. از مقایسهٔ عبارت کیفی «از کنار بیمارستان بزرگ سفید در انتهای پارک به سمت چپ بپیچ»، با عبارت کمی «۶۰۰ متر بعد به سمت چپ بپیچ»، بهتر می‌توان به ماهیت مدل‌های کیفی پی برد.	در زمینه‌های متعددی از رباتیک تا طراحی معماری	استدلال کیفی	(Freksa, 1991)	مدل فرانک (1998) فاصله و جهت کیفی برای دو جسم، نزدیک، دور، یا بسیار دور از هم، یا جلو، عقب، چپ، راست، جلو-راست، عقب-راست، عقب- چپ یا جلو - چپ را نشان می‌دهد. 
هم‌افزایی[۲۸] مدل‌سازی هم‌افزا در مطالعات محیطی برای توصیف اینکه چگونه محیط‌های پیچیده در ذهن در طول زمان و در نتیجه تعاملات ساده ایجاد می‌شوند، به کار می‌رود. در این مدل‌ها تمرکز بر پویایی پردازش شناختی است که بین بازنمایی‌های داخلی و خارجی فضا رخ می‌دهد.	روان‌شناسی محیطی - طراحی شهری	پیوندگرایی[۲۹]	(Portugali and Haken, 1992)	 SIRNمدلی است که بازنمایی‌های درونی فضا را با عناصر بیرونی ترکیب می‌کند. شکل مقابل نمونه‌ای از SIRN برای نقشه‌شناختی است. ورودی‌ها و خروجی‌های ذهنی با نوعی متغیر تجمعی، به نام پارامترهای نظم دهنده، به یکدیگر می‌پیوندند. حرکت در فضا منجر به تجربه‌های جدیدی می‌شود که مدل را به تدریج به روز می‌کند.
نحو فضا مجموعه‌ای از ابزارهای کمی برای اندازه‌گیری چیدمان فضاهای داخلی و خارجی فراهم می‌کند. اطلاعات متریک در این مدل کم اهمیت است.	شناخت فضایی، حرکت عابر پیاده	تئوری گراف[۳۰]	(Hillier and Hanson, 1994)	نمونه‌ای از خطوط محوری (خطوط دید مستقیم) ترسیم شده از یک شهر توسط نرم‌افزار اسپیس سینتکس. 
مدل‌های رباتیک[۳۱]: برای درک بهتر شناخت فضایی انسان از طریق مؤلفه‌های سازنده سامانه‌ای کامل، ایجاد شده‌اند. رباتیک یک رویکرد مدل‌سازی واحد نیست، اما حوزه رباتیک زمینه‌ای غنی برای توسعه مدل‌های شناخت فضایی، راهکارهای مسیریابی و ارتباط انسان و ربات فراهم کرده است.	شناخت فضایی، مسیریابی، ارتباط انسان و روبات	سمبلیک (نمادین)	(Kuipers, 1978)	 SSH مدلی برای اتصال انواع دانش فضایی است که در آن ردیف‌ها به‌صورت سلسله مراتبی بیانگر پنج سطح حسی، کنترل، علّی، توپولوژیک، متریک و

گونه‌شناسی مدل‌های محاسباتی	حوزه‌های کاربردی	رویکرد	طرفداران اولیه	مصداق
				ستون‌ها بیانگر انواع دانش هستند. این سطوح از طریق انواع ارتباطات منطقی به هم پیوندمی‌خورند. بسته به ماهیت اطلاعات دریافتی، فرد ممکن است از یک یا چند سطح به صورت هماهنگ برای کاوش و حرکت در محیط استفاده کند. نقشه شناختیِ فرد ممکن است شامل نقشه متریک از قسمتی از محیط، نقشه توپولوژیک از قسمتی دیگر، دانش ساده علّی از توالی فعالیت‌های انجام‌شده و سطح کنترل برای کشف منطقه ناشناخته باشد.
مدل‌های نمادین[۳۲] مدل‌های نمادین روش مشترکی برای توضیح یافته‌های تجربی در حوزهٔ شناخت فضایی با کمک رایانه‌اند که نه تنها رفتار انسان، بلکه زیرساخت‌ها و سازوکارهای آن را توضیح می‌دهند. در واقع فرایندهای شناختی و زمینه فرایندهای شناختی با یکدیگر مدل می‌شوند.	قضاوت های فضایی	معماری شناختی	(Anderson, 2005)	VSTM نمونه‌ای از مدل‌های (ACT-R)[۳۳] است که برای نشان دادن مکان‌های تخمینی با مرجع خود- محور همراه با چرخش ذهنی و ذخیره‌سازی اطلاعات فضایی طبقه‌بندی شده است. شکل زیر موقعیت‌های فضایی را براساس موقعیت فرد و با فرض اینکه به سمت مکانی مشخص در شمال نقشه حرکت می‌کند نشان می‌دهد. فرد در مرکز تصویر و ۴ محوطه پارک ماشین در ۴ طرف قرار دارند (شکل چپ). دایره‌های توپر پارکینگ‌های خالی و X پارکینگ با ماشین را نشان می‌دهد (شکل راست).  
توپولوژیکی مدل‌های توپولوژیکی، به جای جنبه‌های اقلیدسی بر ویژگی‌های توپولوژیکی فضا تمرکز می‌کنند. در این مدل‌ها، تمرکز بر دانش افراد از روابط غیر متریک (همجواری، مجاورت، پوشش و همپوشانی[۳۴]) معطوف می‌شود.	استدلال کیفی	Set theory	(Egenhofer, 1989)	مدل ۴ تقاطع اگنهوفر (1989) با بررسی تمام ترکیبات ممکن از ارتباط بین مرزها و فضاهای داخلی، ۹ ترکیب ممکن از تقاطع‌های داخلی (^{o}) و مرزی (∂) را فهرست می‌کند. علامت ¬Ø نشان‌دهنده وجود و Ø عدم وجود فصل مشترک است. به عنوان مثال ردیف دوم نشان می‌دهد Aو B حداقل یک نقطه مشترک در مرزهای خود دارند، اما داخل هر منطقه با مرز یا داخل منطقه دیگر، اشتراکی ندارد، مانند ایران و عراق. ∂∩∂ | °∩° | ∂∩° | °∩∂ r0 (Ø, Ø, Ø, Ø) A و B جدا از هم هستند. r1 (¬Ø, Ø, Ø, Ø) A و B با هم تماس دارند. r3 (¬Ø, ¬Ø, Ø, Ø) A و B یکی هستند. r6 (Ø, ¬Ø, ¬Ø, Ø) A داخل B است. r7 (¬Ø, ¬Ø, ¬Ø, Ø) A توسط B پوشیده شده است. r10 (Ø, ¬Ø, Ø, ¬Ø) A شامل B است. r11 (¬Ø, ¬Ø, Ø, ¬Ø) A، B را می‌پوشاند. r14 (Ø, ¬Ø, ¬Ø, ¬Ø) A و B با مرزهای متمایز همپوشانی دارند. r15 (¬Ø, ¬Ø, ¬Ø, ¬Ø) A و B با مرزهای متقاطع همپوشانی دارند.

منبع: (براساس Hirtle, 2013)

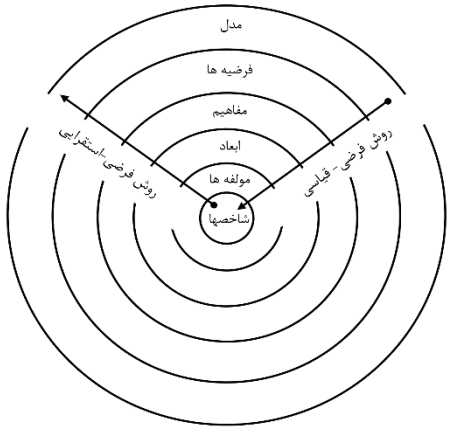
مدل‌سازی مفهومی-فرضی

از نیمه دوم قرن بیستم، مدل‌سازی فرضی[۳۵] به‌عنوان ابزاری برای استدلال و حل مسائلی که اجرای آن به شیوهٔ تجربی یا آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست، مطرح شد. اصطلاح مدل‌سازی فرضی، بیانگر «درک علمی پدیده‌های طبیعی از طریق ایجاد سامانه‌های (مدل‌های) فرضی است که از پدیدهٔ مورد بررسی بسیار ساده‌ترند و می‌توان امیدوار بود که از برخی جنبه‌ها مشابه آن باشند»[۳۶] (Basso, Lisciandra and Marchionni, 2017, 414). از دیدگاه کیوی و کامپنهود (۱۳۷۰) ساختمان مدل فرضی، پیچیده یا محدود به روابط ساده‌ای میان چند مفهوم، باید جوابگوی دو شرط باشد. ابتدا دستگاهی از روابط تشکیل دهد و بعد با استدلال عقلی یا منطقی ساخته شده باشد (کیوی و کامپنهود، ۱۳۷۰، ۱۳۲). هدف از تدوین این مدل‌ها، ایجاد نوعی شرایط

کنترل‌شده نظری، مشابه شرایط آزمایشگاه است.

مدل‌های مفهومی-فرضی در علوم شناختی نیز، به‌دلیل نبود دسترسی مستقیم به فرایندهای ذهنی، بسیار رایج‌اند. برای ساخت این مدل‌ها در حوزهٔ شناخت فضایی، برمبنای ایدهٔ کارترایت[۳۷] که معتقد است مناسب‌ترین استعاره برای تبیین در علوم شناختی، تکه دوزی[۳۸]، یا استفاده از روش‌های مدل‌سازی متفاوت است (Marraffa and Paternoster, 2017, 948)، می‌توان به تناسب نوع تحقیق از روش‌های رایج در سایر علوم استفاده کرد. در معماری و شهرسازی، به دلیل تأکید بر آگاهی مشترک و شناخت جمعی افراد می‌توان از روش‌ها و رویکردهای مدل‌سازی فرضی در علوم اجتماعی بهره برد.

کیوی و کامپنهود برای ساختن این مدل‌ها دو روش استقرایی و قیاسی را معرفی کرده‌اند. روش استقرایی با مشاهده آغاز می‌شود. بر مبنای مشاهدات، مفاهیم و فرضیه‌های جدید و ارتباط بین آنها تدوین و در نهایت مدل ساخته می‌شود. **در روش قیاسی، فرضیه‌ها محصول تجربی مشاهدات نیستند؛ آنها نتایجی نظری هستند که از استدلالی مبتنی بر یک اصل موضوع (فرضیه یا مدل) به دست آمده و مفاهیم، فرضیه‌ها و شاخص‌ها را می‌سازند. در نهایت داده‌های مشاهده باید آنها را تأیید کند** (کیوی و کامپنهود، ۱۳۷۰، ۱۳۶) **(شکل ۲).**



شکل ۲. مقایسه دو روش قیاسی و استقرایی
منبع: (کیوی و کامپنهود، ۱۳۷۰، ۱۳۹)

چارچوب‌های مدل‌سازی شناختی-فضایی

به دلیل تنوع دیدگاه‌ها و نظریه‌ها در مدل‌سازی شناختی-فضایی، در ادامه به چارچوب‌هایی اشاره می‌شود که در انتخاب نوع و فنون مدل‌سازی، در مدل‌سازی محاسباتی و فرضی مؤثرند. ممکن است هر چارچوب به نوع متفاوتی از مدل و تحلیل اشاره داشته باشد و چارچوبی که یک مدل بر اساس آن ساخته می‌شود برای دیگری مناسب نباشد.

چارچوب زمانی (رویکردهای ایستا و پویا)

مدل‌های ایستا[۳۹] مدل‌هایی هستند که خروجی آنها در طول زمان تغییر نمی‌کند؛ در مقابل در مدل‌های پویا[۴۰]، خروجی‌ها وابسته به زمان هستند و با گذشت زمان تغییر می‌کنند (Calder *et al*., 2018, 9). رویکرد پویا بر مواردی که یک سیستم یا مؤلفه‌ای از آن سیستم (A) همواره بر مؤلفه‌ای از سیستم دیگر (B) تأثیر بگذارد یا

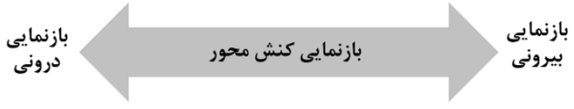
تحت تأثیر آن قرار گیرد، تمرکز دارد. مثال آن موقعیت و رفتار فوتبالیستی است که براساس مکان قرارگیری توپ و سایر بازیکنان پیوسته تغییر می‌کند. بنابراین، «هر چیزی به‌طور هم‌زمان بر چیز دیگری تأثیر می‌گذارد» (Marraffa and Paternoster, 2017, 939). در این راستا می‌توان به مدل‌های «عامل بنیان فضایی» (SABM) اشاره کرد که ازجمله نقاط قوت آنها توانایی‌شان در مدل‌سازی پویای سیستم است (Manson *et al*., 2020, 10). مدل‌های پویا در رشد و توسعهٔ پیوستهٔ قابلیت‌های شناختی انسان در طول زمان نیز کاربرد دارند.

چارچوب انسانی (فردی- جمعی)[۴۱]

برای اهداف شناختی می‌توان سه سطح از کاربران را به عمومی، گروهی و فردی، تفکیک کرد. پارامترهای شناختی در سطح عمومی برای همه افراد، در سطح گروهی برای گروه خاصی از افراد (که توانایی‌ها، علایق، اهداف یا عملکردهای مشابه دارند)، و در سطح فردی برای هر فرد، درنظر گرفته می‌شود (Montello and Raubal, 2013, 250). مدل‌های فرد-محور و مدل‌های جمعی، بر تعداد افرادی که مدل بر اساس آن شکل گرفته اشاره دارد. مدل‌های فرد-محور زمانی مفیدند که رفتار افراد تفاوت قابل‌توجهی داشته باشد. این مدل‌ها شامل مجموعه بزرگی از عوامل مستقل هستند که هر کدام افرادی را نشان می‌دهند که بر پایه ویژگی‌ها و رفتارهای فردی با یکدیگر تعامل دارند. مدل‌های جمعی معرف گروه‌های بزرگ هستند. این مدل‌ها زمانی مفیدند که تفاوت افراد به اندازه‌ای نباشد که قابل تفکیک در مدل‌های فرد-محور باشند (Calder *et al*., 2018, 9).

چارچوب ذهنی-محیطی (درونی-بیرونی)

در تشکیل و هدایت فرایندهای شناختی، چگونگی تأثیر دو مؤلفهٔ ذهن و محیط همواره محل مناقشه بوده است. «نگرش سنتی علوم شناختی، شناخت را در حکم یک عملیات قابل پردازش در ذهن انسان در نظر می‌گرفت. بنابراین، در تحلیل به ابعاد فرهنگی و اجتماعی محیط توجه نمی‌شد. درمقابل، رویکردهای محیطی، محیط‌های کالبدی، فرهنگی و اجتماعی را جنبه‌هایی حیاتی از پردازش‌های شناختی درنظر می‌گیرند» (Schwartz, 2017, 359). پژوهشگران علوم محیطی دو مفهوم بازنمایی درونی و برون‌گرایی فعال را مطرح کرده‌اند. مفهوم «بازنمایی درونی» در علوم شناختی زمانی به‌کار می‌رود که سامانه شناختی بتواند از محیط بیرونی جدا شده و با ایجاد عناصر درونی (ذهنی) جایگزین پدیده‌های غایب، مستقل عمل کند. در مقابل «برون‌گرایی» به نقش فعال محیط در تشکیل و هدایت فرایندهای شناختی فرد توجه دارد (Marraffa and Paternoster, 2017, 946). بر این اساس، کلارک مفهوم کلاسیک بازنمایی ذهنی را با «طیفی از بازنمایی‌ها» جایگزین کرد. در یک انتهای این طیف، تأکید بر حالت‌های درونی و در انتهای دیگر تأکید بر شرایط خاص محیطی (بیرونی) است. بین این دو قطب، بازنمایی‌های کنش-محور[۴۲] قرار دارند (شکل ۳). بنابراین، به اعتقاد کلارک، بر اساس پیوند یا جدایی بین فرد و محیط، باید به ترتیب از تبیین غیربازنمودی پویا یا بازنمودی بهره جست (Marraffa and Paternoster, 2017, 946).



شکل ۳. بازنمایی درونی، بیرونی و کنش محور
منبع: (ترسیم براساس Marraffa and Paternoster, 2017)

گونه‌شناسی فضای جغرافیایی

برای مدل‌سازی در حوزه شناخت فضایی (با تأکید بر محیط بیرونی یا بازنمایی ذهنی)، یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها نوع فضای بستر پژوهش است. رویکرد سنتی انسان و فضا را جدا از هم در نظر می‌گیرد. برای مثال در مدل‌های مبتنی بر چارچوب مختصات دکارتی، موقعیت هر نقطهٔ منحصر به فرد در فضا، در فضایی بسیار دقیق در محورهای x، y و z تعیین و مفاهیمی مانند توالی و ارتباط ایجاد می‌شود (Freundschuh and Egenhofer, 1997, 363). در تعریف فضای «مطلق» یا «نسبی» نیز فضا مجرد در نظر گرفته می‌شود. فضای مطلق[۴۳] فضایی است که ویژگی‌های مشخص و معین دارد و زمینه یا بستر فضایی بدون تغییر باقی می‌ماند. فضای نسبی[۴۴] با روابط میان اشیاء تعریف می‌شود و ظرف مشخص و معینی برای میزبانی از اشیا وجود ندارد. در نمونه‌هایی چون مدل‌های «عامل بنیانِ فضایی»، می‌توان دو فضای مطلق و نسبی را هم‌زمان درنظر گرفت (Manson *et al*., 2020, 8).

جدول ۳. گونه‌شناسی فضای جغرافیایی براساس تجربه افراد

گونه‌شناسی فضا	قابل دستکاری		غیر قابل دستکاری		فضای معادل با دسته‌بندی فروئنشا و اگنهوفر در مطالعات سایر محققین
	کوچک	بزرگ	کوچک	بزرگ	
	تعامل با فضا (بدون نیاز به حرکت)				
فضای اشیا قابل دستکاری	+++				فضای شیء (Ittelson, Canter)، فضای شخصی (Kolars and Nystuen)، مقیاس کوچک (Mandler, Downs and Stea)، فضای فیزیکی(Pinxten)، فضای لمسی (Mark)، فضای فیگورال (Montello).
فضای جغرافیایی				+++	مدل کوچک مقیاس (Siegel) و بزرگ مقیاس (Ittelson)، منطقه‌ای/ملی (Kolars and Nysruen)، محدوده جهانی (Muehrcke Kolars and Nysruen and Muehrcke,)، کیهان‌شناسی (Pinxten)، جغرافیایی (Montello).
فضای پانوراما			+++	+++	گره‌های فضایی (Lynch)، فضای تصویری (Mark)، ویستا (Montello).
فضای نقشه			+++	+++	
	تعامل در فضا (نیاز به حرکت)				
فضای اشیا غیرقابل دستکاری			+++		شی (Ittelson, Canter)، زندگی/کار (Kolars and Nystuen)، مقیاس کوچک (Siegel, Garling and Golledge)، متوسط (Mandler).
فضای محیطی				+++	مناطق و نواحی فضایی (Lynch)، همسایگی و شهر/ مناطق داخلی (Kolars and Nystuen)، مقیاس متوسط (Garling and Golledge)، مقیاس بزرگ (Downs and Stea, Garling and Golledge, Mandler, Siegel)، مکان‌ها (Canter)، اجتماعی-جغرافیایی (Pinxten)، فضای فرااداراکی (Mark)، محیطی (Montello).

منبع: (بر اساس Freundschuh and Egenhofer, 1997)

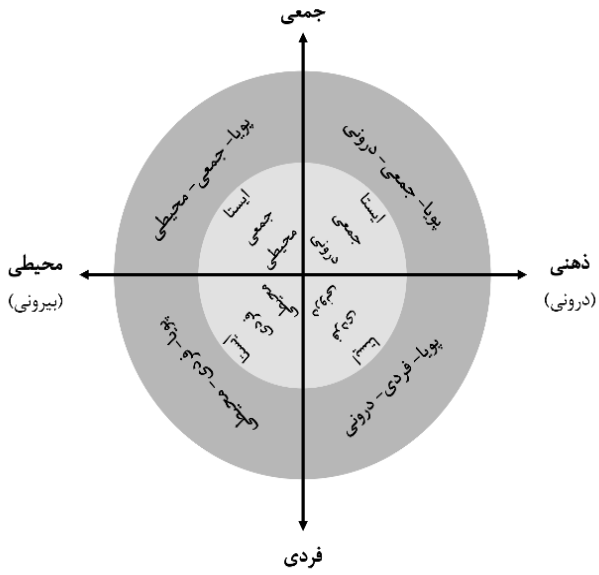
رویکرد دیگر تعریف فضا بر تجربه و تعامل انسان و فضای جغرافیایی تأکید دارد. این رویکرد ریشه در این دیدگاه روان‌شناسانه دارد که ادراک و شناخت فضایی افراد به مقیاس و تجربه وابسته‌اند. فروئنشا و اگنهوفر (1997) چگونگی تعامل فرد «با فضا» یا «در فضا» را بر ادراک و شناخت او تأثیرگذار می‌دانند. تعامل «با فضا» زمانی اتفاق می‌افتد که فضا بدون نیاز به حرکت، از یک نقطه دید قابل درک باشد. در مقابل، تعامل «در فضا» اشاره به فضاهایی دارد که از یک نقطه دید قابل درک نیستند. درک چنین فضاهایی مستلزم حرکت درفضا یا مواجهه مکرر با فضاهایی در مقیاس خانه، محله و شهر است.

فروئنشا و اگنهوفر (1997) چارچوبی برای گونه‌شناسی فضای جغرافیایی مبتنی بر تعامل فرد «با فضا» و «در فضا» پیشنهاد کردند که مؤلفه‌های اصلی آن، قابل دستکاری بودن، حرکت و اندازه فضا است[۴۵]. بر این مبنا، فضا به شش گونه تقسیم شده است (جدول ۳). برای مثال فضای پانوراما[۴۶] فضایی غیر قابل دستکاری (کوچک یا بزرگ) است که تجربه آن نیاز به حرکت ندارد؛ مانند چشم‌اندازهایی از یک اتاق، تالار، میدان و منظره. برخی از پژوهشگران فضای پانوراما را گره فضایی، فضای تصویری و ویستا[۴۷] نامیده‌اند. مثال دیگر فضای فیگورال است که بر اساس معیارهای دسته‌بندی در جدول (۳)، در دستهٔ «فضای اشیا قابل دستکاری»[۴۸] قرار دارد. این دسته از فضا، کوچک‌تر از بدن انسان و قابل دستکاری است و برای تجربه آن نیازی به حرکت نیست (Freundschuh and Egenhofer, 1997, 368).

مرجع فضایی

برای تشخیص فاصله و جهت به یک سامانه مرجع نیاز است. اغلب افراد، خود یا شیء دیگری را به عنوان مرجع انتخاب می‌کنند. برای مثال «کتاب سمت راست من است». اما در تعیین فاصله یا جهت اشیا نسبت به هم، شیء دیگری به عنوان مرجع کدگذاری می‌شود (Waller and Nadel, 2013, 7). هیرتل به نقل از لوینسون[۴۹] (1996) به سه چارچوب مرجع[۵۰] رایج شامل، سامانه‌های مرجع ذاتی[۵۱]، مرجع نسبی[۵۲] و مرجع مطلق[۵۳] اشاره می‌کند. سامانه‌های مرجع ذاتی از ویژگی‌های ذاتی اشیاء برای تعیین موقعیت اشیاء دیگر استفاده می‌کنند. برای مثال، توپ جلوی خانه است. سامانه‌های مرجع نسبی از یک شیء سوم (مانند نسبت به دریاچه، جاده سمت چپ کابین است)، برای مکان‌یابی استفاده می‌کنند. سامانه‌های مرجع مطلق، اشاره به جهت‌های جهانی مانند شمال یا جنوب دارد (Hirtle, 2013, 218).

ماهیت و روابط حاکم بر چارچوب‌های ذکر شده می‌تواند مبنای تعریف مدل‌های شناختی-فضایی تلقی شود. ترکیب روش‌مند و کامل آنها، چارچوبی جامع برای الگوهای مختلف مدل‌های شناختی-فضایی به دست می‌دهد. از ترکیب این چارچوب‌ها، هشت رابطه شامل مدل‌های ایستا-فردی-درونی، ایستا-فردی-محیطی، ایستا-جمعی-درونی، ایستا-جمعی-محیطی، پویا-فردی-درونی، پویا-فردی-محیطی، پویا-جمعی-درونی، پویا- جمعی-محیطی قابل تعریف است[۵۴] (شکل ۴). بر این اساس هر مدل شناختی-فضایی در یکی از بخش‌های شکل (۴) قرار می‌گیرد. برای مثال نظریه پردازش اطلاعات[۵۵] و مدل‌هایی همچون مدل خزانه که براساس آن شکل گرفته ایستا، مبتنی بر جمع و ذهنی‌اند. خروجی مدل در طول زمان تغییر نمی‌کند، تأکید آن بر ذهن و فرایندهای ذهنی است، و در نهایت دربارهٔ گروه یا فرد خاصی نیست. بنابراین در سمت راست، قسمت بالای مدل و دایره درونی (کمرنگ) قرار می‌گیرد. «شبکه‌های بازنمایی هم‌افزا» (SIRNs)[۵۶]، به مدل‌هایی اشاره دارد که بازنمایی‌های درونی فضا را با عناصر بیرونی ترکیب می‌کند (در جدول (۲) نمونه‌ای از این مدل‌ها تشریح شده است). تمرکز SIRNs بر پویایی فرایند شناختی است که بین بازنمایی درونی و بیرونی فضا رخ می‌دهد (Hirtle, 2013, 215). بنابراین این مدل‌ها پویا، ذهنی و مبتنی بر جمع هستند و در سمت راست، قسمت بالای مدل و دایره خارجی قرار می‌گیرند. نحو فضا چارچوبی غنی برای اندازه‌گیری کمیِ چیدمان فضاهای داخلی و خارجی است؛ تمرکز آن بر ارتباطات توپولوژیکی بین خیابان‌ها و پیاده‌روها در فضاهای بیرونی، و راهروها، سالن‌ها و پله‌ها در فضاهای داخلی است و زمان در آن نقشی ندارد. بنابراین این مدل ایستا، محیطی (بیرونی) و جمعی است و در سمت چپ، قسمت بالای مدل و دایره بیرونی قرار می‌گیرد.



شکل ۴. مدل پیشنهادی برای دسته‌بندی مدل‌ها براساس چارچوب‌های رایج در مدل‌سازی شناختی-فضایی
مدل‌های ایستا ☐ مدل‌های پویا ■

جمع‌آوری و تحلیل داده‌های شناختی-فضایی

هنگام جمع‌آوری اطلاعات در شناخت فضایی، انتخاب نحوه مواجهه با محیط مطرح است. ویژگی‌های فضایی محیط می‌تواند به روش‌های مختلف، از طریق یک یا چند واسطه، تجربه و حاصل شود. مونتلو و فریوندزکو (۱۹۹۵) چهار گروه اصلی از این واسطه‌ها را شامل ۱- تجربه مستقیم محیطی ۲- تجربهٔ غیرمستقیم محیطی (مثل نقشه‌ها) ۳- تجربه فضا ازطریق محیط‌های مجازی ۴- تجربه چندگانه فضایی (استفاده هم‌زمان از دو یا سه گروه ذکر شده)، تشخیص داده‌اند. پس از انتخاب نحوه مواجهه مردم با محیط، جمع‌آوری اطلاعات آغاز می‌شود. اطلاعات مورد نیاز از دو حوزه رفتاری و غیر رفتاری قابل دستیابی است که بر اساس اهداف، هزینه و زمان تحقیق انتخاب می‌شوند (مانتلو، ۱۳۹۷، ۱۶۹-۱۴۹) (جدول ۴).

داده‌ها پس از جمع‌آوری براساس متغیرها، ساماندهی و گروه‌بندی می‌شوند. متغیرها می‌توانند براساس نوع و مقیاس (پیوسته/ گسسته، کمی/ کیفی)، نقش (مشاهده شده، پنهان، ابزار، نماینده)، سطح (فردی، جمعی)، حوزه (اجتماعی، جمعیتی، زیستی و غیره) طبقه‌بندی شوند (Russo, 2017, 956). مرحلهٔ بعد مرحلهٔ تحلیل و آزمون مدل‌هاست. به‌لحاظ روش‌شناسی، محققان از کلیه روش‌های علمی رایج همچون روش‌های کمی، کیفی یا ترکیبی برای آزمون و یا تحلیل یافته‌های شناخت فضایی بهره می‌برند.

جدول ۴. روش‌های رفتاری و غیر رفتاری برای کسب اطلاعات در حوزه شناخت فضایی

روش			خلاصه‌ای از رویه	نمونه مطالعات انجام شده
روش‌های رفتاری				
مشاهده	غیر کلامی	حرکت فرد	رفتارهای حرکتی افراد در شرایط طبیعی، مشاهده و کدگذاری می‌شود تا تجربه و درک آنها از محیط و ارزش‌ها و احساسات آنها در مورد مکان‌ها تحلیل شود.	(Hart, 1979), (Yoshioka, 1942)
		حرکت چشم[۵۷]	حرکات چشم شرکت‌کنندگان با استفاده از تجهیزاتی همچون دوربین نصب شده به یک لنز تماسی مشاهده و ضبط می‌شود.	Carr and Schissler, 1969),) (Kiefer, Straub and Raubal, (2012
	کلامی		مشاهده رفتار کلامی به معنای مطالعه و مشاهده آنچه مردم درمورد محیط می‌گویند یا می‌نویسند، است.	Emmorey, Tversky and Taylor,) (2000), (Allen, 1997
گزارش صریح[۵۸]	غیر کلامی	نقشه‌شناختی	ترسیم نقشه از محیط یکی از بی‌واسطه‌ترین روش‌ها برای فهمیدن اینکه مردم درمورد محیط چگونه می‌اندیشند است.	Lynch, 1960), (Jansen-Os-) (mann and Wiedenbauer, 2004
		مسیریابی	در این شیوه محقق با استفاده از روش‌هایی همچون مسیریابی روی نقشه، اطلاعات را جمع‌آوری می‌نماید.	McNamara, Rump and Wer-) (ner, 2003
		مقیاس‌دهی	افراد برای اظهارنظر درباره کمیاتی که تجربه کرده‌اند نیاز به رسم و یا علامت‌گذاری خطوط و یا اشکال دارند. نمونه‌هایی از مقیاس‌دهی روان‌سنجی تمایز معنایی (داغ-سرد، نزدیک-دور) و مقیاس لیکرت (دادن رتبه) است.	Battersby and Montello,) (2009), (Waller and Haun, 2003
	کلامی	پاسخ‌ها شفاهی و کتبی	گزارش‌های صریح اغلب به‌صورت پاسخ‌های کلامی جمع‌آوری می‌شوند. پاسخ‌های کلامی افراد زمانی که برای حل مسئله‌ای با صدای بلند فکر می‌کنند نیز در این دسته جای می‌گیرد.	Passini, 1984), (Hirtle and) (Jonides, 1985
روش‌های غیر رفتاری				
مطالعه موجودات غیرانسانی			از جمله مطالعه شناخت فضایی موش، کبوتر و غیره	Shettleworth and Sutton,) (2005
مدل سازی محاسباتی			هوش مصنوعی و ربات‌ها و غیره	(Yeap and Jefferies, 1999)
علوم اعصاب			تصویربرداری از مغز با کمک روش‌هایی چون fMRI، الکتروانسفالوگرافی (EEG) یا ثبت فعالیت الکتریکی مغز.	(Wolbers *et al*., 2011)

منبع: (بر اساس مانتلو، ۱۳۹۷)

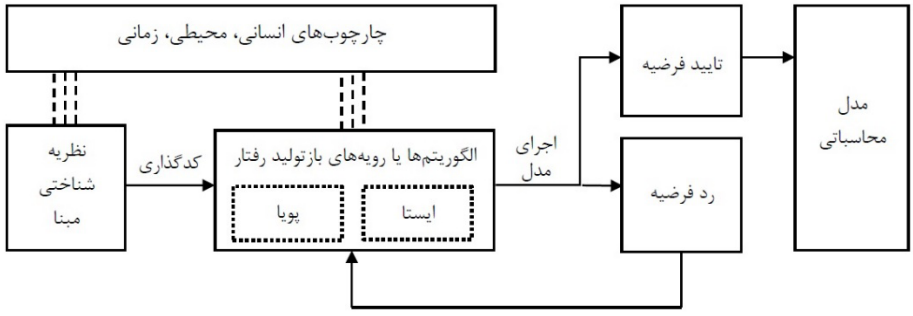
بحث و نتیجه‌گیری: فرایند مدل‌سازی در مطالعات شناخت فضایی

پیچیدگی مدل‌سازی در شناخت فضایی از یک‌سو حاصل ماهیت پیچیدهٔ ذهن و محیطی است که افراد به گونه‌های متفاوت درک می‌کنند و از سوی دیگر ریشه در رشته‌ها و حوزه‌های مطالعاتی متنوع علوم شناختی دارد. لذا پژوهشگرانی که علاقه‌مند به مدل‌سازی در حوزهٔ شناخت فضایی هستند، نیازمند بهره‌مندی از نظریه‌ها، روش‌ها و یافته‌های علوم گوناگون با نگاهی ترکیبی و ابتکاری و سازماندهی اطلاعات در قالبی یکپارچه‌اند. این پژوهش با استفاده از استدلال منطقی، ضمن ارائه گونه‌شناسی از مدل‌های شناختی-

فضایی بر اساس چارچوب‌های زمانی، انسانی و ذهنی-محیطی، فرایند مدل‌سازی دو دسته از مدل‌ها یعنی محاسباتی و مفهومی-فرضی را به دو بخش نظری و تجربی تفکیک می‌کند.

مدل‌های محاسباتی

برای ساخت مدل‌های محاسباتی در حوزهٔ شناخت فضایی، محققان باید یک نظریه شناختی یا مفهومی را از طریق زبان شبیه‌سازی، عملیاتی کنند (Poile and Safayeni, 2016, 1). در بخش نظری، رفتارهای پیچیدهٔ فضایی با دستورالعمل‌های ساده (الگوریتم‌ها) ایجاد و در بخش تجربی امکان اجرای رفتار ازطریق برنامه کامپیوتری مطالعه می‌شود. درصورت بازتولید رفتار می‌توان پذیرفت که مدل محاسباتی می‌تواند رفتار سامانه را توضیح دهد و به ساخت نظریه منجر شود (شکل ۵). در هر دو بخش نظری و عملی این فرایند، مدل پیشنهادی در شکل (۴) راهگشاست.



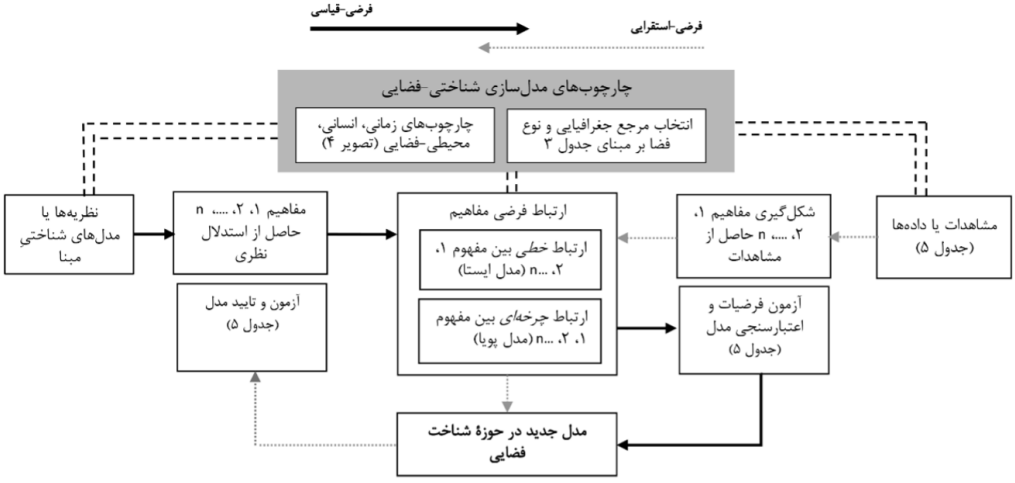
شکل ۵. فرایند مدل‌سازی محاسباتی در شناخت فضایی

مدل‌های مفهومی-فرضی

براساس مدل پیشنهادی (شکل ۶) و با استناد به روش‌های علمی، مدل‌سازی مفهومی-فرضی با دو روش فرضی-قیاسی و فرضی-استقرایی، در دو بخش نظری و تجربی ساخته می‌شود. در هر دو روش، چارچوب‌های اشاره شده در شکل(۴) و گونه‌های فضایی ارائه شده در جدول(۳) که براساس تعامل فرد «با فضا» و «در فضا»، شکل گرفته‌اند به فرایند مدل‌سازی کمک می‌کند.

مدل‌سازی فرضی-قیاسی (فلش‌های توپر در شکل (۶)) از ساخت مفاهیم بر پایهٔ نظریه‌های مبنا آغاز می‌شود. چارچوب‌های زمانی، انسانی، ذهنی-محیطی در سطح نظری و در کلیه مراحل، همچون انتخاب مدل یا نظریه مبنا، ایجاد مفاهیم و تعیین نوع رابطهٔ بین آنها و تحلیل و اعتبارسنجی مدل باید مدنظر قرار گیرد. برای مثال براساس چارچوب زمانی در مدل‌سازی پویا، فرضیات اولیهٔ پژوهشگر نمی‌تواند برپایهٔ یک نظریهٔ ایستا باشد. در فرایند ساخت فرضیه، ارتباط بین مفاهیم، از یک‌سو نتیجه استدلال منطقی و از سوی دیگر تحت تأثیر چارچوب‌های ارائه شده است. به عنوان مثال براساس چارچوب زمانی، ارتباط میان مفاهیم در مدل‌سازی پویا از نوع بازخوران و چرخه‌ای و در مدل‌سازی ایستا، خطی است. در نهایت در سطح تجربی پژوهش و با عنایت به اینکه مفاهیم و ابعاد مرتبط با ذهن اغلب قابل اندازه‌گیری مستقیم نیستند، از متغیرهای مشاهداتی همچون رفتارها، اعتقادات و باورهای افراد برای آزمون فرضیات و اعتبارسنجی مدل (جدول ۴) استفاده می‌شود. درصورت تأیید فرضیات پژوهشگر، مدل جدیدی در حوزهٔ شناخت فضایی تدوین می‌شود. در مدل‌سازی فرضی-استقرایی (فلش‌های نقطه‌چین در شکل(۶))، پژوهشگر تحقیق را بر مبنای مشاهدات (جدول ۴) آغاز و با کندوکاو مفاهیم و عوامل شناختی برای یافتن الگوی نهفته در آنها تلاش می‌کند.

در نهایت لازم به ذکر است به دلیل محدودیت‌های روش‌های آزمایشی در مطالعات شناختی (محدودیت هزینه و ابزار و محدودیت‌های اجتماعی و اخلاقی)، روش‌های مشاهده‌ای رفتاری و غیر رفتاری تدابیر ارزشمندی برای مطالعه محسوب می‌شوند. از آنجا که این روش‌ها قادر به اندازه‌گیری مستقیم شناخت نیستند، پژوهشگران برای کاهش خطا نیازمند استفاده از ابزارهای ترکیبی (مانند نقشه‌های شناختی، پرسشنامه و غیره) هستند. به کار بردن راهبردها و تدابیر پژوهشی مختلف به منظور پوشش جنبه‌های گوناگون شناخت فضایی بر غنای مدل‌ها می‌افزاید.



شکل ۶. فرایند مدل‌سازی مفهومی-فرضی در شناخت فضایی

پی‌نوشت‌ها

1. TOUR
2. Freundschuh & Egenhofer
3. Qualitative Reasoning
4. Portugali and Haken
5. Synergetic Interrepresentation Networks
6. Space Syntax
7. Hirtle
8. Spatial Agent-Based Modelling
9. Domain
10. Model-Based Reasoning
11. Spatial entities
12. Locations
13. Target domain
14. Specification
15. Directionality
16. Quantification
17. Cyclic relationships
18. Type of connectivity
19. Computational models

۲۰. به عنوان مثال جمع دو عدد سه رقمی باید با جزئیات کامل شرح داده شود: عدد اول را بنویسید؛ عدد دوم را طوری زیر عدد اول بنویسید که اعداد با ارزش مکانی یکسان زیر هم نوشته شوند؛ مجموع اعداد هر ستون را زیر همان ستون

بنویسید؛ اگر مجموع ارقام هر ستون بیش از ۹ شد رقم دهگان را به ستون بعدی سمت چپ منتقل کنید؛ هنگامی که حاصل تمام ستون‌ها به دست آمد، جمع کامل شده و الگوریتم خاتمه می‌یابد.

21. Weisberg
22. Procedures
23. Starting state
24. Theoretical hypotheses

۲۵. اگرچه مدل‌سازی و شبیه‌سازی دو واژه نزدیک و مرتبط هستند (گروت و وانگ ۱۳۸۸, ۲۸۲) که به‌لحاظ ماهیت پیش‌بینی، کسب دانش و درک پدیده‌ها مشترک‌اند اما به‌لحاظ شیوه بازنمایی تفاوت دارند. مدل، ساده‌سازی واقعیت از طریق شناسایی و برجسته کردن ویژگی‌های ضروری یک سیستم در راستای هدفی مشخص است (Batty, 2009, 52). درمقابل شبیه‌سازی تقلید و یا سعی در تکرار عملکرد سیستمی معین (اغلب پیچیده) به‌صورت کالبدی و یا در محیط رایانه‌ای (Russo, 2017, 964) برای بررسی سازوکار و رفتار آن سیستم است. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان شبیه‌سازی‌ها را به دو دسته «مبتنی بر نظریه یا مدل» و «مستقل از نظریه» تقسیم نمود (Nersessian and MacLeod, ۲۰۱۷, ۱۱۹). شبیه‌سازی‌های مبتنی بر نظریه در آزمون و شبیه‌سازی‌های مستقل از نظریه در تدوین و ایجاد نظریه یا مدل کاربرد دارند (Nersessian and MacLeod, 2017, 121 و گروت و وانگ، ۱۳۸۸, ۲۷۸).

26. Agent-Based Model
27. Qualitative Spatial Models
28. Synergy
29. Connectionist
30. Graph Theory
31. Robotic Models
32. Symbolic Models

۳۳. ACT-R یک معماری شناختی-رایانه‌ای برای مدل‌سازی فرایندهای شناختی است.

34. Proximity, adjacency, coverage, overlap
35. Hypothetical Modeling

۳۶. تمرکز اصلی ما در این مقاله، بر مدل‌های انتزاعی است که بیشتر نظری هستند تا تجربی.

37. Cartwright
38. Patchwork
39. Static models
40. Dynamic models
41. Individual-based & Population Models
42. Action-oriented
43. Absolute space
44. Relative space

۴۵. قابل دستکاری بودن اشاره به گرفتن، چرخاندن و حرکت اجسام در فضا دارد. حرکت نشانگر ضرورت سیر در فضا به منظور درک یا تجربه آن است. اندازه، ضمن تأکید بر اینکه قوهٔ شناخت انسان در فضاهای کوچک و بزرگ متفاوت عمل می‌کند، به ارتباط تجربهٔ فضایی انسان با اندازهٔ فضا اشاره دارد.

46. Panoramic space
47. Spatial nodes, Pictorial space and vistas
48. Manipulable object space
49. Levinson
50. Reference Frames
51. Intrinsic Reference Systems
52. Relative Reference Systems
53. Absolute Reference Systems

۵۴. در این مدل، الگوهایی که به‌طور هم‌زمان هم ایستا و هم پویا هستند و یا بر ویژگی‌های فردی و جمعی، یا درونی و بیرونی به‌طور هم‌زمان مبتنی می‌شوند، حذف شده است.

۵۵. تئوری پردازش اطلاعات، رویکردی محوری در علوم شناختی است که به ذهن انسان همچون یک پردازندهٔ اطلاعات می‌نگرد.

56. Synergetic inter representation networks

۵۷. بنا بر نظر مانتلو رفتار عبارت است از کنش یا فعالیت آشکاری که به‌طور بالقوه از جانب افراد قابل ادراک باشد. براساس این تعریف حرکات چشم جزء رفتارهای قابل مشاهده هستند در حالی که روش‌هایی همچون تصویربرداری مغز از مصادیق بارز رفتار نیستند.

58. Explicit Report

منابع

- خنیفر، حسین، و حامد بردبار (۱۳۹۳). درآمدی بر مدل‌سازی در علوم رفتاری. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.
- کرباسی‌زاده اصفهانی، علی، و ماریا حیدریان (۱۳۸۸). مبانی معرفت‌شناسی مدرن. مجله حکمت و فلسفه، ۱، ۹۷-۱۲۲.
- کیوی، ریمون، و لوک وان کامپنهود (۱۳۷۰). روش تحقیق در علوم اجتماعی (مترجم: عبدالحسین نیک گهر). تهران: چاپ نوبهار.
- گروت، لیندا، و دیوید وانگ (۱۳۸۸). روش‌های تحقیق در معماری (مترجم: علیرضا عینی‌فر). تهران: دانشگاه تهران.
- مانتلو، دنیل ر. (۱۳۹۷). روش‌های رفتاری در حوزهٔ پژوهش شناخت فضایی. در رابرت گیفورد، روش‌های تحقیق در روان‌شناسی محیط (مترجمان: مینو قره‌بگلو، محمدتقی پیربابایی و زهرا علی‌نام). ۱۴۹-۱۷۰. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

- Allen, G. L. (1997). From Knowledge to Words to Wayfinding: Issues in the Production and Comprehension of Route Directions. In S. C. Hirtle, A. U. Frank (Eds.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS* (363-372). Berlin: Springer.
- Anderson, J. R. (2005). Human symbol manipulation within an integrated cognitive architecture. *Cognitive Science,* 2 (3), 313-341.
- Basso, A., Lisciandra,C., and Marchionni, C. (2017). Hypothetical Models in Social Science. Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti (Eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science* (413-435). Cham: Springer Nature.
- Battersby, S. E., and Montello, D. R. (2009). Area Estimation of World Regions and the Projection of the Global-Scale Cognitive Map. *Annals of the Association of American Geographers,* 99 (2), 273-291.
- Batty, M (2009). Urban Modeling. In Rob Kitchin and Nigel Thrift (Eds.), *International Encyclopedia of Human Geography* (51-58). Oxford: Elsevier.
- Calder, M., Craig, C., Culley, D., de Cani, R., Donnelly, C.A., Douglas, R., Edmonds, B., Gascoigne, J., and Gilbert, N. (2018). Computational modelling for decision-making: where, why, what, who and how. *Rouyal Scociety Open Science* 5, 1-15. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.172096.
- Carr, S., and Schissler, D. (1969). The city as a trip: Perceptual selection and memory in the view from the road. *Environment and Behavior*, 1 (1), 7-35.
- Clarke, K.C. (2014). Cellular Automata and Agent-Based Models. In M. M. Fischer and P. Nijkamp (Eds.), *Handbook of Regional Science* (1217-1233). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Dodig-Crnkovic, G. (2008). Empirical modeling & information semantics. *Business and Economics,* 7 (2), 157-166.
- Egenhofer, M. J. (1989). *Spatial query languages*. Orono: University of Maine.
- Emmorey, K., Tversky, B., and Taylor, H. A. (2000). Using space to describe space: Perspective in speech, sign, and gesture. *Spatial Cognition and Computation,* 2 (3), 157-180.
- Freksa, C. (1991). Qualitative spatial reasoning. David M. Mark and Andrew U. Frank (Eds.), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, (361-372). Dordrecht: Kluwer Academic.

- Frigg, R., and Hartmann, S. (2020). Models in Science. Edward N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Metaphysics Research Lab, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/models-science.
- Freundschuh, S.M., and Egenhofer, M.J. (1997). Human conceptions of spaces: Implications for GIS. *Transactions in GIS,* 2 (4), 361-375.
- Golledge, R. G., Smith, T. R., Pellegrino, J. W., Doherty, S., and Marshall, S.P. (1985). A Conceptual Model and Empirical Analysis of Children's Acquisition of Spatial Knowledge. J*ournal of Environmental Psychology, 5* (2), 125-152.
- Hart, R. (1979). *Children's experience of place*. New York: Irvington.
- Hillier, B., and Hanson, J. (1994). *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hirtle, S. C., and Jonides, J. (1985). Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Memory & Cognition,* 13, 208-217.
- Hirtle, S. C. (2013). Models of Spatial Cognition. David Waller and Lynn Nadel (Eds.), *Handbook of Spatial Cognition*, (211-116). Washington, DC: American Psychological Association.
- Jansen-Osmann, P., and Wiedenbauer, G. (2004). The influence of turns on distance cognition: New experimental approaches to clarify the route-angularity effect. *Environment and Behavior,* 36 (6), 790-813.
- Kiefer, P., Straub, F., and Raubal, M. (2012). Location-Aware Mobile Eye-Tracking for the Explanation of Wayfinding Behavior. *International Conference on Geographic Information Science*. Avignon, France. 24-27.
- Kuipers, B. (1978). Modeling Spatial Knowledge. *Cognitive Science*, 2, 129-153.
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. Cambridge: MIT Press.
- Magnani, L., and Bertolotti, T. (2017). *Springer Handbook of Model-Based Science*. Springer International Publishing.
- Manson, S., An, L., Clarke, K. C., Heppenstall, A., Koch, J., Krzyzanowski, B., Morgan, F., *et al*. (2020). Methodological Issues of Spatial Agent-Based Models. J*ournal of Artificial Societies and Social Simulation,* 23(1). https://escholarship.org/uc/item/23k8q97t.
- Mark, D. M. (1993). Human spatial cognition. David Medyckyj-Scott and Hilary M. Hearnshaw (Eds.), *Human Factors in Geographical Information Systems*, (51-60). London: Belhaven Press.
- Marraffa, M., and Paternoster, A. (2017). Models and Mechanisms in Cognitive Science. Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti (Eds.) *Springer Handbook of Model-Based Science*, (929-952). Cham: Springer.
- McNamara, T. P., Rump, B., and Werner, S. (2003). Egocentric and geocentric frames of reference in memory of large-scale space. *Psychonomic Bulletin & Review,* 10, 589-595.
- Montello, D. R., and Raubal, M. (2013). Functions and Applications of Spatial Cognition. David Waller and Lynn Nadel (Eds.), *Handbook of Spatial Cognition*, (249-264). Washington, DC: American Psychological Association.
- Moore, G.T., and Golledge, R. G. (1976). *Environmental Knowing*: *Theories, Research, and Methods*. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.
- Nersessian, N.J., and MacLeod, M. (2017). Models and Simulations. Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti (Eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, (119-137). Cham: Springer.
- Passini, R. (1984). *Wayfinding in architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Penn, A. (2001). Space Syntax and Spatial Cognition or why the axial line?. 3*rd International Space Syntax Symposium* . Atlanta. 11.1-11.17.
- Poile, C., and Safayeni, F. (2016). Using Computational Modeling for Building Theory: A Double Edged Sword. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation,* 19(3), 1-8. doi:10.18564/jasss.3137.
- Portugali, J., and Haken, H. (1992). Synergetics and cognitive maps. *Geoforum,* 23 (2), 111-130.
- Prezenski, S., Brechmann, A., Wolff, S., and Russwinkel, N. (2017). A Cognitive Modeling Approach to Strategy Formation in Dynamic Decision Making. *Frontiers in Psycholgy,* 8, 1-18.
- Ritchey, T. (2012). Outline for a Morphology of Modelling Methods, Contribution to a General Theory of Modelling. *Acta Morphologica Generalis,* 1 (1), 1-20.
- Russo, F. (2017). Model-Based Reasoning in the Social Sciences. Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti (Eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, (953-970). Cham: Springer.
- Salgado, M., and Gilbert, N. (2013). Agent Based Modelling. Timothy Teo (Eds.), *Handbook of Quantitative Methods for Educational Research*, (247-265). Rotterdam: Sense Publishers.
- Schwartz, N. A. (2017). Nancy Nersessian's Cognitive-Historical Approach. Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti (Eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science* (355-377). Cham: Springer.
- Shettleworth, S. J., and Sutton, J. E. (2005). Multiple Systems for Spatial Learning: Dead Reckoning and Beacon Homing in Rats. *Journal of Experimental Psychology*: *Animal Behavior Processes,* 31, 125-141.
- Smelser, N. J., and Baltes, P. B. (2001). *Encyclopedia of Social &Behavioral Sciences*. Oxford: Pergamon Press.
- Waller, D., and Nadel, L. (2013). *Handbook of Spatial Cognition*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Wolbers, T., Hegarty, M., Bü chel, C., and Loomis, J. M. (2011). Spatial updating: how the brain keeps track of changing object locations during observer motion. *Nature Neuroscience,* 11, 1223-1230.
- Yeap, W. K., and Jefferies, M. E. (1999). Computing a representation of the local environment. *Artificial Intelligence,* 107 (2), 265-301.
- Yoshioka , J. G. (1942). A Direction-Orientation Study With Visitors at the New York World'S Fair. *The Journal of General Psychology,* 27, 3-33.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Architecture and Urban Planning. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوه ارجاع به این مقاله

مکانی، ویدا و عینی‌فر، علیرضا (۱۴۰۲). تدوین فرایند مدل‌سازی شناختی- فضایی در معماری با تأکید بر مدل‌های محاسباتی و مفهومی- فرضی. *نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی*، ۱۶(۴۰)، ۴۵-۶۴.

DOI: 10.30480/AUP.2023.4581.1996

URL: http://aup.journal.art.ac.ir/article_1198.html

Received: 09 December, 2022 | Accepted: 07 May, 2023 | Published: 23 September, 2023

Journal of Architecture and Urban Planning, 16(40), 45-64
DOI: 10.30480/AUP.2023.4581.1996
Document Type: Review Paper

Compilation of Cognitive–Spatial Modeling Process in Architecture with Emphasis on Computational and Hypothetical Models

Vida Makani
Ph.D. Candidate in Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

Ali Reza Einifar
Professor, Department of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran
(Corresponding Author)

Abstract

human cognitive system. The complexity of modeling in spatial cognition is, on the one hand, the result of the complexity of the mind and the environment that people understand in different ways, and on the other hand, rooted in the diverse disciplines of cognitive sciences. Cognitive–spatial modeling has gotten less attention in architectural studies due to the complexity of the process. Thus, in this field, there is no scientific or comprehensive approach that incorporates the various components of modeling. The purpose of this research is to develop the model of the process of creating two common types of cognitive–spatial models in architecture. The main question is: How to develop a model for the modeling process in spatial cognition that simultaneously relates human, environmental, and time frameworks? The research methodology is logical reasoning, which is accomplished by analyzing the theories of cognitive science and modeling. In the first step, the theoretical and cognitive basics of models are reviewed and two common types of spatial–cognitive modeling are introduced. Then, through logical reasoning and based on temporal, human, and environmental frameworks, a conceptual model for categorizing models is offered to clarify the scientific modeling in spatial cognition studies. Moreover, in the techniques and procedures level, due to the shortcomings of experimental methods in the study of the man–made environment (i.e. cost, instrument limitations, social and ethical limitations), behavioral and non–behavioral observation methods are useful measures for the study. Since these approaches cannot directly measure cognition, in order to decrease errors, researchers must employ mixed methods (such as cognitive maps, questionnaires, etc.). These models are enriched by choosing a wide range of methodological approaches and techniques to cover various aspects of spatial cognition. Finally, a model is introduced for each of the computational and conceptual–hypothetical models, which represents the link between the mentioned frameworks and the modeling process. The findings show that when building cognitive–spatial models, in the phase of choosing theories or the base model and finding the connection between concepts, dealing with temporal, human, and mental–environmental components is a priority. Although cognitive studies may support both dynamic and static approaches in this respect, the concept of dynamic systems is more widely recognized in the fields of architecture and urban planning due to the dynamism of two key variables, i.e., the mind and environment. Additionally, the properties of the individuals and the space under investigation both influences how people perceive their environment. According to the objectives of the study, the applied model, however, may place greater emphasis on one of the personal or environmental properties when describing how individuals perceive various spaces. Finally, in computational modeling, complex behaviors are simulated through algorithms and the possibility of behavior reproduction is investigated. In conceptual–hypothetical modeling, due to the knowledge of the general public about the environment, deductive–inductive methods that are common in social sciences will be useful.

Keywords: Model, modeling, spatial cognition, computational model, conceptual–hypothetical model