ISSN: 2538-2594; Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2019;9(2):145-155

Agent-Based Modeling; a Paradigm to Deal with Complexity and Uncertainty in Architectural and Environmental Problems

ARTICLE INFO

Article Type
Analytical Review

Authors
Mardomi K.[1] *PhD,*
Moodi A.*[2] *MSc*

How to cite this article
Mardomi K, Moodi A. Agent-Based Modeling; a Paradigm to Deal with Complexity and Uncertainty in Architectural and Environmental Problems. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2019;9(2)-:145-155.

[1]Architecture Department, Architecture & Municipal Engineering Faculty, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
[2]Architecture Department, Islamic Architecture Faculty, Imam Reza International University, Mashhad, Iran

Correspondence
Address: Architecture Department, Islamic Architecture Faculty, Imam Reza International University, Mashhad, Iran
Phone: +98 (51) 37635023
Fax: -
arminmoodi@gmail.com

Article History
Received: May 31, 2018
Accepted: July 25, 2018
ePublished: September 21, 2019

ABSTRACT

Attempts to describe what designers do by thinking of designing as a process, has its roots in systems theory. Many of design problems are made-up of heterogeneous elements, when interacting with each other; produce emergent properties, persistence over time, and adapting to changing circumstances. Hence, designers and planners have been widely paying attention to computational thinking. Despite the recent success of computational modeling and simulation methods, many of them remain incapable of illustrating the emergence phenomenon, highlighting interactions between heterogeneous agents and confronting distributed phenomena over time. Therefor in recent years, designers have shifted their focus into agent-based modeling paradigms in order to explain how to deal with such issues and to look at many potential results as options and future predictions. The aim of this paper is to review agent-based modeling, exploring the main applications in architecture and to investigate research gaps. For this purpose 203 related articles during the period from 2001 to 2016 had been surveyed, the following articles were grouped because of their common themes, Then each group explained to provide a better understanding of the prospects ahead for further studies on this modeling paradigm. Examination of the main lines of thought in its applications also indicates that collaborative design is no longer of interest to designers and robots are new and emerging area in this fields.

Keywords Agent-Based Modeling (ABM); ABM Application; Complexity; Architecture and Urban; Bottom-up Design

CITATION LINKS

[1] Computational design ... [2] Digital architectural ... [3] Adapting cellular automata to support ... [4] Theory and design in the first digital ... [5] Tutorial on agent-based modelling and ... [6] Emergence: From chaos to order: Oxford: Oxford ... [7] Signals and boundaries: Building ... [8] Towards a multi-agent model for ... [9] Agent-based modeling in urban and ... [10] Agent theory: autonomy and ... [11] On agent-based software .... [12] Understanding ... [13] Multiagent learning: Basics, challenges, and ... [14] Principles and concepts of agent-based modelling for ... [15] Everything you need to know about ... [16] Agent-based modeling: a revolution? Proc ... [17] Agent-based models in ... [18] Agent-based modeling: methods ... [19] How to do agent-based simulations in the ... [20] Towards an integrated generative design ... [21] agent-based modeling in ecological ... [22] A review on agent-based technology for ... [23] A model for asystematic mobility in urban ... [24] Crowd dynamics modelling – a literature ... [25] Advancing social functionality via agent-based parametric ... [26] Agent-based pedestrian ... [27] Pedestrian, crowd and evacuation ... [28] Genetic algorithm optimisation of ... [29] Swarm intelligence in architectural ... [30] Swarm ... [31] Crowd-driven mid-scale ... [32] Architectural exploration and creativity using intelligent ... [33] From classical models of morphogenesis to agent-based ... [34] Spatial process and data models: Toward integration ... [35] Spatial agent-based ... [36] Theoretical foundations of human decision-making in ... [37] Modelling land use change and land development using ... [38] "Space, the final frontier": how good are agent-based models at simulating ... [39] Swarm ... [40] From Moving Cube to Urban Interactive Structures, a case ... [41] One and many: an agent perspective on interactive ... [42] What happened to collaborative design? In: Cagdas ... [43] Collaborative computer-aided design—research and development ... [44] The economy needs agent-based ... [45] A conceptual design for a bilateral agent-based land market with heterogeneous ... [46] Embracing complexity and uncertainty: the potential of ... [47] Agent-based modeling: a powerful ... [48] Rethinking the role of agent-based modeling ... [49] Agent-based modeling: a new approach for ... [50] Multi-agent simulations and ecosystem ... [51] Artificial life: organization, adaptation and ...

Copyright© 2019, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

مدل‌سازی عامل‌محور پارادایمی برای مواجهه با عدم قطعیت و پیچیدگی در مسایل معماری و محیط

کریم مردمی PhD
گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
آرمین مودی* MSc
گروه معماری، دانشکده معماری اسلامی، دانشگاه بین المللی امام رضا(ع)، مشهد، ایران

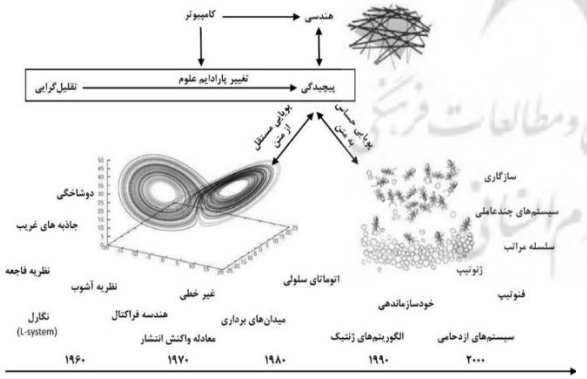
چکیده
تلاش برای توصیف عمل طراحی به‌عنوان فرآیند، ریشه در نظریه سیستم‌ها دارد. بنابراین اشاره می‌شود که بسیاری از مسایل طراحی و برنامه‌ریزی محیطی از عناصر ناهمگونی ساخته شده‌اند که در تعامل با یکدیگر قرار دارند، دارای ویژگی‌های پیدایش هستند، در طول زمان ادامه پیدا می‌کنند و با شرایط در حال تغییر سازگار می‌شوند. ازاین‌رو طراحان و برنامه‌ریزان توجه ویژه‌ای به تفکر محاسباتی کرده‌اند. با وجود آن که طی سال‌های اخیر روش‌های مدل‌سازی محاسباتی و شبیه‌سازی موفقیت‌های زیادی را کسب کرده‌اند، اما همچنان بسیاری از آنها در نمایش پدیده پیدایش، ایجاد تعامل میان عامل‌های ناهمگن و رویارویی با پدیده‌های توزیع‌شده در طول زمان ناتوان باقیمانده‌اند. در چند سال اخیر، پارادایم مدل‌سازی عامل‌محور مورد توجه قرار گرفته است تا توصیفی از نحوه رفتار این گونه مسایل ارایه و نتایج متعدد بالقوه، در قالب طیف وسیعی از گزینه‌ها و پیش‌بینی آینده مورد بررسی قرار گیرد. هدف این مقاله بررسی مدل‌سازی عامل‌محور و تبیین خطوط فکری اصلی آن در کاربردهای معماری و بررسی شکاف‌های تحقیقاتی است. بدین‌منظور ۲۰۳ مقاله مرتبط در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ بررسی شد. سپس مقالات براساس موضوعات مشترک گروه‌بندی شدند، و هر دسته تبیین شد تا وضوح بیشتری از چشم‌انداز پیشرو برای مطالعات آتی فراهم شود. مطالعات نشان داد که استفاده از این مدل‌ها می‌تواند بینش‌های بیشتری در فرآیندهای برنامه‌ریزی، طراحی و مداخلات محیطی فراهم آورد، همچنین بررسی خطوط اصلی فکری در کاربردهای آن نشان می‌دهد که در این حوزه طراحی مشارکتی دیگر مورد توجه طراحان نیست و ربات‌ها از زمینه‌های جدید و نوظهور این حوزه هستند.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی عامل‌محور، کاربردهای مدل‌سازی عامل محور، پیچیدگی، معماری و شهرسازی، طراحی از پایین به بالا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۳
*نویسنده مسئول: arminmoodi@gmail.com

مقدمه

مطالعه مدل‌های کامپیوتری در معماری و شهرسازی به دهه ۶۰ میلادی باز می‌گردد، پس از آن که مفهوم و تفکر سیستمی وارد معماری و شهرسازی شد. *کریستوفر الکساندر* در مقاله‌ای به نام "سیستم‌ها، سیستم‌ها را تولید می‌کنند" اشاره می‌کند که مردم و ساختمان‌ها با یکدیگر یک کل به نام جامعه انسانی را تشکیل می‌دهند. وی در ادامه بیان می‌دارد که ما باید برای حفظ زندگی در شهرها و ساختمان‌ها، سیستم‌هایی را ابداع کنیم که اجزاء و قوانین ما بین آنها، ویژگی کلی سیستم جامع را ایجاد کند[1]. بنابراین، توجه به مدل‌های محاسباتی در معماری و شهرسازی رو به افزایش نهاد. تا جایی که تا اواسط دهه ۹۰ میلادی، معماری بدون نرم‌افزارهای گرافیکی غیرقابل تصور شده بود و امروز فناوری‌های طراحی دیجیتال تقریباً به‌عنوان وسیله غالب در برنامه‌ریزی محیط و در حرفه معماری به ثبات رسیده است[2]. علاوه بر این، فناوری‌های دیجیتال روش‌های جدید طراحی را شکل داده‌اند که در حال حاضر به بررسی مجدد نظریه‌های طراحی محیط منجر شده است[3, 4]. در همین راستا مفهوم جدیدی از دانش معماری گسترش پیدا کرده که دارای چهارچوب‌بندی‌های جدیدی است و معماری را قادر ساخته تا از مرزهای خود فراتر رود و پروژه‌های جدیدتری را درون خود شکل دهد (شکل ۱) [2]. این صورت‌بندی جدید ریشه در فرآیند طراحی غیرخطی دارد که در آن پیدایش و ابداع به‌صورت پویا اتفاق می‌افتد. این تغییرات به خاطر پیشرفت علوم در حوزه‌های مختلف مانند سایبرنتیک، نظریه سیستم‌ها، هوش مصنوعی و حیات مصنوعی بود که به دنبال ایجاد کامپیوترهایی هوشمند بودند تا به‌وسیله آن بتوانند مسایل پیچیده را حل نمایند. درواقع تفکر محاسباتی موجب انقلابی فکری در اطراف ما شده است و روی تمامی رشته‌ها تاثیر گذاشت[2]. این جریان جدید شیوه تفکر ما را نسبت به جهان تغییر داده است. بنابراین تعجب‌برانگیز نیست که معماران و برنامه‌ریزان علاقه‌مند به این مدل سیستماتیک شوند زیرا این شیوه جدید تفکر ابزارها و فرصت‌هایی را در اختیار طراحان، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار داده که تا قبل از آن امکان‌پذیر نبوده است. یکی از این قابلیت‌ها مطالعه رفتار سیستم‌ها از پایین به بالا با استفاده از مدل‌سازی عامل‌محور است.



شکل ۱) تغییر پارادایم معرفت‌شناختی از تقلیلگرایی به پیچیدگی[2]

در این نوشتار، مدل‌سازی پایین به بالا به‌عنوان یک روش برای دستیابی به رفتار کل سیستم با تعریف رفتارهای فردی بر اجزا دیده شده است. باید در این بخش به این نکته تاکید کرد که سیستم‌های پیچیده را نمی‌توان از بالا به پایین مطالعه نمود و همچنین نمی‌توان ویژگی‌های سطح خرد را در سطح کلان پیدا نمود زیرا سیستم‌های پیچیده سرشار از روابط مداخله‌گر و غیرخطی است که همین امر موجب می‌شود با دانستن ویژگی‌های سطح خرد،

پیش‌بینی و فهم برون‌دادهای ساختارهای سیستم بسیار دشوار و حتی در موقعیت‌هایی غیرممکن باشد. این بدان معنا است که نگاه به رفتار میانگین در سطح خرد، تصویری بسیار نادرست از سیستم می‌دهد. طبیعت مدل‌سازی عامل‌محور به‌خوبی توانایی توسعه برای حل چنین مسایلی را دارد. ازاین‌رو، در دو دهه گذشته میان دانشمندان و محققین در رشته‌های مختلف و همچنین شاغلین در رایانش توزیع‌شده محبوبیت زیادی به دست آورده است؛ بنابراین این مقاله تلاش می‌کند به سه پرسش زیر پاسخ دهد:

۱) چرا باید به مدل‌سازی عامل‌محور توجه شود؟ ۲) مدل‌سازی عامل‌محور چه ویژگی‌های جدیدی ارایه کرده است؟ ۳) کاربردها و مزیت مدل‌سازی عامل‌محور در معماری و برنامه‌ریزی محیط چیست؟

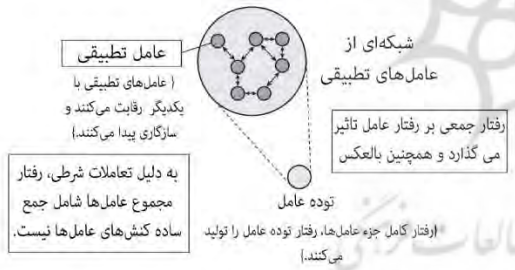
در تلاش برای پاسخ‌گویی به این پرسش‌ها، نوشتار به دو بخش تقسیم شد، در گام اول تلاش شد به چیستی و معماری عامل‌ها پرداخته و مشخص شود که چرا باید به این پارادایم توجه کرد. در همین راستا در این بخش به تعریف و بررسی مشخصات، ویژگی عامل و مدل‌سازی عامل‌محور پرداخته و در انتها به مزیت‌های این روش اشاره شد. در گام دوم به بررسی کاربردهای مربوط به این حوزه در معماری و شهرسازی اشاره شد. تا زمینه‌های کاربردی آن فراهم آورده شود.

روش تحقیق

به‌منظور بررسی وضعیت و استخراج کاربردهای فعلی مدل‌سازی عامل‌محور در معماری و شهرسازی یک منبع بی‌طرف و جامع به نام CuminCad (نمایه تجمعی از نشریات در ارتباط با طراحی معماری به کمک کامپیوتر) انتخاب شد. این مجموعه شامل اطلاعات کتاب‌شناسی بیش از ۱۲۳۰۰ پرونده از نشریات و کنفرانس‌ها مانند DDSS، CAAD futures، SiGraDi، eCAADe، CAADRIA، ASCAAD، ACADIA و غیره است. پس از بررسی ادبیات موضوع مشخص شد که پیام‌ها به دو شیوه مستقیم و غیرمستقیم میان عامل‌ها توزیع می‌شوند. ارتباطات غیرمستقیم به‌واسطه محیط پیام‌ها را منتقل می‌کنند، یعنی یک‌طرف می‌تواند یک پیام بگذارد و دیگری بعداً آن را بردارد. این نوع از ارتباطات نشانه‌ورزی نام‌گرفته‌اند. همچنین گروهی از عامل‌ها که از این شیوه برای تعامل و انطباق‌پذیری استفاده می‌کنند، هوش ازدحامی نامیده می‌شوند. بر این اساس، سه کلیدواژه عامل (Agent)، ازدحام (Swarm)، نشانه‌ورزی (Stigmergy & Stigmergic) برای جست‌وجو در سایت CuminCad انتخاب شدند. این سه واژه، در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶، مورد جست‌وجو قرار گرفتند و ۳۲۴ مقاله به دست آمد. سپس چکیده و عنوان نشریات پیداشده، مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که کدام‌یک با موضوع و هدف این مقاله مطابقت ندارند. سپس ۲۶۸ مقاله باقی‌مانده مجدداً بررسی و تعدادی از آنها مجدداً حذف شدند. در مرحله دوم، ۲۰۳ مقاله باقی‌مانده را که متناسب با بررسی ما بودند و به‌صراحت به کاربردی در معماری و شهرسازی اشاره داشتند، انتخاب شدند. در ادامه مقالات بر مبنای موضوعات مشترک گروه‌بندی شد و به همین شیوه یک طبقه‌بندی از ۱۶ سال گذشته به دست آمد. علاوه بر این، برای سنجش صحت، درستی و دقت در دسته‌بندی صورت‌گرفته، یک بررسی متقابل صورت گرفت که منجر به استانداردسازی بیشتر در ارزیابی‌ها شد.

تعریف مدل‌سازی عامل‌محور و دسته‌بندی آن

ریشه مدل‌سازی عامل‌محور را می‌توان به تحقیقات در سیستم‌های پیچیده و زندگی مصنوعی ردیابی کرد[5]. این تحقیقات به‌دنبال شناسایی اصول جهانی سیستم‌ها مانند خودسازمان‌دهی، پدیده پیدایش (نوخاستگی؛ مفهوم پیدایش به‌صورت گسترده برای شرح فرآیند یا الگوهایی که برنامه‌ریزی‌نشده و شگفت‌انگیز هستند، استفاده می‌شود؛ ویژگی‌هایی که در سیستم قرار دارد و در سطح خرد یافت نمی‌شود. چنین اموری معمولاً در سیستم‌هایی که از سطحی از پیچیدگی برخوردار هستند، روی می‌دهند) و منشا سازگاری در طبیعت بودند. *هلاند*[6] ادعا می‌کند که سیستم‌ها از سطوح مختلفی شامل کوسیستم، جوامع و ارگانیزم تشکیل شده‌اند. به اعتقاد وی، هر یک از این سامانه‌های منفرد و ارتباط مابین آنها می‌تواند به‌وسیله کامپیوترها شبیه‌سازی شود. او اضافه می‌کند که "این منفردها" را "عامل" می‌نامیم و مدل‌کردن آنها را "مدل‌سازی عامل‌محور" می‌نامیم (شکل ۲)[6, 7].



شکل ۲) سیستم پیچیده خود انطباق‌دهنده[6]

یکی از مساله‌های اساسی در میان محققین ارایه تعریفی منسجم و مدون از نظریه سیستم‌ها است که البته تا به امروز چنین تعریفی امکان‌پذیر نبوده است[8]. از همین روی، می‌توان انتظار داشت که تعریفی منسجم و مدون از مدل‌سازی عامل‌محور وجود نداشته باشد. بنابراین بحث زیادی سر عامل صورت گرفته و تعاریف مختلف و متنوعی برای آن ارایه شده است. اعم از تعاریف بسیار ساده "تنها چیزی که درک و عمل می‌کند" تا تعاریف دقیق‌تر "عامل‌هایی خودمختار، در سیستم‌های رایانشی که در محیط‌هایی پویا و پیچیده قرار گرفته‌اند و در آن محیط به‌صورت مستقل، حس و عمل می‌کنند و با این کار به مجموعه اهداف و وظایفی که برای آنها تعریف و طراحی شده است، تحقق می‌بخشند"[9]. در همین راستا، عده‌ای اعتقاد دارند که نمی‌توان تعریف ساده‌ای برای عامل‌ها ارایه نمود

بلکه صرفاً می‌توان با ارایه مترادف‌هایی توضیحشان داد[10] و اکثر تعاریف ارایه‌شده براساس مجموعه‌ای از ایده‌ها، تکنیک‌ها و ابزارهایی است که برای اجرای مدل‌های محاسباتی از سیستم‌های سازگار پیچیده به کار بسته شده‌اند.

انواع مدل‌های عامل‌محور دارای سه نوع عنصر پایه هستند[5]: الف) مجموعه عامل‌ها، رفتار و صفتشان، ب) مجموعه‌ای از روابط میان عامل‌ها و شیوه تعاملی بین آنها، ج) تعامل عامل‌ها با محیط و با یکدیگر. حال پرسشی که شکل می‌گیرد آن است که ویژگی‌های اصلی عامل‌ها چیست؟ در پاسخ به این پرسش سه ویژگی مهم برای عامل‌ها ذکر می‌شود. نخست، عامل‌ها دارای حالت درونی هستند تا بتوانند خودمختار، بدون مداخله دیگران تصمیم بگیرند و بر حالت‌های درونی و بر اقدامات خود کنترل داشته باشند[11, 12]. خودمختاری یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های عامل‌ها است که با انطباق‌پذیری در ارتباط کامل است. دوم، برنامه‌نویس برای عامل‌ها تعریف می‌کند که چگونه و با چه کسی ارتباط برقرار کند. برای آن که عامل‌ها بتوانند با دیگر عامل‌ها ارتباط برقرار کنند، نیازمند درجه‌ای خاص از هوشمندی هستند. هوشمندی عامل‌ها موجب تعامل آنها می‌شود تا به‌منظور برآوردن اهداف طراحی خود با یکدیگر به تعامل بپردازند[13]. عامل‌ها می‌توانند از طریق پرس‌وجو از سایر عامل‌ها و جست‌وجو در محیط اطراف خود اطلاعاتی درباره ویژگی‌های خاص جهان خود کسب کنند[14]. *کستل* و *کرووکز*[14] ادعا می‌کنند که تحریک‌پذیری زمینه لازم را برای تعامل میان عامل‌ها فراهم می‌آورد. در یک مدل تعاملات میان عامل‌ها نشان‌دهنده و معرف درجه‌ای از پیچیدگی‌های محاسباتی است که میزان آن به هماهنگی و تنوع عامل‌ها وابسته است[15]. سوم، برای آن که عامل‌ها بتوانند در محیطی پویا عمل و موجودیت و هویت خود را حفظ کنند، نیازمند انطباق‌پذیری با محیط خود هستند. در واقع، انطباق‌پذیری ظرفیتی برای زنده‌ماندن در شرایط متغیر است[12]. انطباق‌پذیری احتمالاً نتیجه یادگیری عامل‌ها از شرایط مختلفی است که با آن مواجه شده‌اند و همچنین یادآوری چگونگی رفتارشان با آن رویدادها است. عامل‌ها این کار را به‌وسیله محتوا اطلاعاتی که در وضعیت درونی عامل ایجاد شده است، انجام می‌دهند.

بر این اساس، تعداد زیادی از محققین اعتقاد دارند که عامل‌ها دارای سه ویژگی اصلی خودمختاری، تعامل، انطباق‌پذیری هستند. از همین روی *ماکال*[15] چهار تعریف برای عامل‌ها و مدل‌سازی عامل‌محور ارایه می‌دهد و بیان می‌دارد که این دسته‌بندی می‌تواند برای مدل‌سازان، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران مفید باشد (جدول ۱):

الف) "مدل‌های عامل‌محور منفرد" (Individual ABMS) که در آن عامل‌ها در محیط به‌صورت جداگانه نشان داده می‌شوند و ویژگی‌های متنوعی دارند.

ب) "مدل‌های عامل‌محور خودمختار" (Autonomous ABMS) که در آن عامل‌های منفرد دارای رفتار درونی هستند که به آنها اجازه می‌دهد تا به‌صورت خودمختار رفتار کنند، این موضوع به آنها این توانایی را می‌دهد تا شرایط مختلفی را که در زمان‌های متفاوت برای مدل رخ می‌دهد را حس کنند و نسبت به آن واکنش نشان دهند.

ج) "مدل‌های عامل‌محور تعاملی" (Interactive ABMS) که در آن عامل‌ها با یکدیگر و با محیط به تعامل می‌پردازند.

د) "مدل‌های عامل‌محور انطباق‌پذیر" (adaptive ABMS) که در آن تعامل می‌کنند، عامل‌های خودمختار رفتارشان در طول دوره شبیه‌سازی تغییر پیدا می‌کند، مانند این که عامل‌ها یاد می‌گیرند با شرایط جدید مواجه شوند یا با جمعیت ترکیب خود را تنظیم می‌کنند تا شامل تناسبات بزرگ‌تری از عامل‌ها شود که با موفقیت با شرایط وفق پیدا کنند.

جدول ۱) تعاریفی برای مدل‌سازی عامل‌محور براساس ویژگی عامل‌ها[14]

تعریف مدل‌های عامل‌محور/ ویژگی‌های عامل‌ها	منفردبودن	رفتارها	تعاملات	انطباق‌پذیری	مثال‌ها
مدل‌سازی عامل‌محور منفرد	عامل‌های منفرد ناهمگون*،	تجویزی، اسکریپت*،	محدود	هیچ	مدل ترافیک، که عامل‌ها بین زوج مبدا و مقصد بر طبق برنامه نوشته‌شده حرکت می‌کنند.
مدل‌سازی عامل‌محور خودمختار	عامل‌های منفرد ناهمگون*،	خودمختار، پویا*،	محدود	هیچ	مدل مالیاتی که در آن عامل‌ها شغل و مکانی را برای کارکردن انتخاب می‌کنند اما با دیگران به تعامل نمی‌پردازند.
مدل‌سازی عامل‌محور تعاملی	عامل‌های منفرد ناهمگون*،	خودمختار، پویا*،	بین دیگر عامل‌ها و محیط*،	هیچ	مدل بیماری‌های عفونی که در آن عامل‌ها از طریق تماس انتقال می‌دهند و آلوده می‌کنند و نسبت به حالت بیماریشان با توجه به رفتارهای تجویزشده واکنش نشان می‌دهند.
مدل‌سازی عامل‌محور انطباق‌پذیر	عامل‌های منفرد ناهمگون*،	خودمختار، پویا*،	بین دیگر عامل‌ها و محیط	تغییر رفتار عامل‌ها در طول شبیه‌سازی*،	مدل بهداشت و درمان که در آن عامل‌ها رفتارشان را با توجه به وضعیت سلامتشان تغییر می‌دهند.

*: عامل‌ها در جمعیت دارای مجموعه‌ای از ویژگی‌های متنوع هستند. *: رفتار عامل‌ها برون‌زا ارایه می‌شود و براساس رویدادهای درونی عامل در طول دوره شبیه‌سازی ارایه نمی‌شود.

*: حالت فعلی عامل مبتنی بر درون‌زادبودن رفتار عامل است. *: رفتارهای عامل مبتنی بر مشاهده حالت و رفتار دیگر عامل‌ها و وضعیت محیط است. *: عامل‌ها رفتارشان در طول شبیه‌سازی تغییر می‌کند، عامل‌ها یاد می‌گیرند یا جمعیت ترکیب آنها را تنظیم می‌کند.

محدودیت‌ها و سودمندی‌های مدل‌سازی عامل‌محور

بنکز[16] در مقاله "آیا مدل‌سازی عامل‌محور، انقلاب ایجاد کرده است؟" اشاره می‌کند که "در طول تاریخ نمونه‌های بسیاری وجود دارد که ابزارها موجب شکل‌گیری انقلاب علمی شده‌اند". وی در ادامه مدل‌سازی عامل‌محور را چیزی بیش از یک ابزار ساده بیان می‌کند. بنابراین *بیانچی* و *اسکاتزونی*[17] مدل‌سازی عامل‌محور را به‌عنوان فرانظریه‌ای نگاه می‌کنند که مبانی اولیه درستی برای ساخت نظریه فراهم می‌کند. درواقع مدل‌های عامل‌محور شیوه‌های جدیدی برای مواجه با پدیده‌های غیرخطی فراهم می‌کنند که از انعطاف‌پذیری برنامه‌های رایانه‌ای برای شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل استفاده می‌کنند. با مدل‌سازی عامل‌محور، می‌توان به بررسی پویایی‌هایی پرداخت که با مدل‌های تحلیلی، آماری و توصیفی، مشاهده مستقیم آنها غیرممکن است.

سیستم‌های چندعاملی دارای چندین مزیت نسبت به روش‌های مرسوم بالا به پایین و خطی است. طبق نوشتار *کستل* و *کرووکز*[14] و *بنابو*[18] سه دلیل عمده را می‌توان برای مدل‌سازان نام برد تا از این روش استفاده کنند: الف) مدل‌سازی عامل‌محور پدیده پیدایش را ثبت می‌کند. ب) توصیفی از طبیعت سیستم فراهم می‌آورد در مقابل مدل‌های مرسوم، مدل‌سازی عامل‌محور یک چارچوب برای مطالعه سیستم از پایین به بالا فراهم می‌کند. در نتیجه می‌توان مشاهده نمود که چگونه یک رفتار کلان از سطح خرد ایجاد می‌شود. ج) انعطاف‌پذیری بالایی دارند. ذکر این نکته مهم به نظر می‌رسد که ممکن است سیستم‌های چندعاملی براساس معادلاتی فرمول‌بندی‌شده باشند، اما عامل‌ها بیش از آن که تحت تاثیر فرمول‌ها باشند تحت تاثیر قوانین (تصمیم) هستند. همین موضوع زمینه لازم برای انعطاف‌پذیری بیشتر را فراهم می‌نماید[19].

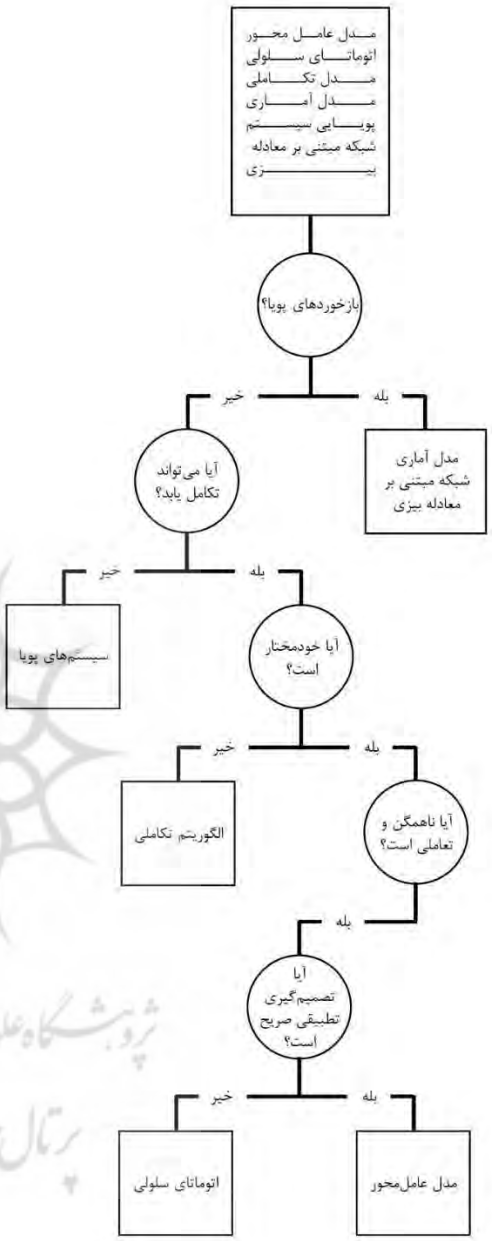
البته این مدل‌ها با چالش‌هایی هم مواجه هستند. یکی از چالش‌های شاغلین این حوزه، مواجه‌شدن با نتایج شگفت‌آور و غیرمنتظره است، همین موضوع سبب می‌شود که این پرسش شکل بگیرد که آیا این نتایج نشات‌گرفته از اشتباهی در برنامه‌نویسی است یا باید این نتایج را قبول کرد. دومین چالش سنجش صحت و دقت مدل است، در همین راستا، این پرسش مطرح می‌شود که آیا مدل صرفاً برای یک موضوع خاص سفارشی‌سازی شده است یا نتایج آن به‌عنوان ارزیابی مدل تلقی شود[9]. ازاین‌رو به نظر می‌رسد باید مدل‌ها شفاف‌تر، قابل مدیریت‌تر، قابل آزمون‌تر و تکرارپذیرتر طراحی شوند. برای همین امر گام‌هایی برای مستندسازی، آرشیو و دسترسی‌پذیری مدل‌ها صورت گرفته است. به‌عنوان مثال تعدادی از سایت‌ها و مجلات علاوه بر بارگذاری مقالات به بارگذاری مدل‌ها اقدام نموده‌اند تا افراد دیگر بتوانند صحت و درستی این مدل‌ها را بسنجند و مورد ارزیابی قرار دهند.

در حرفه معماری مدل‌های عامل‌محور به دو شیوه مولد و تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین انتخاب بجا و به‌موقع این مدل در مقایسه با سایر مدل‌های مولد و تحلیلی، در حل مسایل از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین برخی افراد تلاش کرده‌اند تا اقدام به مقایسه مدل‌های مولد و تحلیلی بکنند. به‌عنوان مثال *ویشال‌سینگ* و *نینگ‌گو*[20] اقدام به مقایسه ۵ مدل مولد برجسته نموده‌اند (جدول ۲).

جدول ۲) مقایسه پنج مدل برجسته در طراحی مولد[20]

مدل‌ها	دستور زبان اشکال	نگارل	اتوماتای سلولی	مدل‌سازی عامل محور	الگوریتم‌های تکاملی
اهداف کاربردی	- اکتشافات طراحی: چیدمان فضایی و ترکیبات بصری - بیشتر برای طراحی فرم استفاده می‌شود.	- اکتشافات طراحی: الگوها و ترکیبات بصری - بیشتر برای طراحی فرم استفاده می‌شود.	- طرح شبکه‌محور: برنامه‌ریزی/ناحیه‌بندی - قابلیت استفاده براساس توسعه طراحی به‌ویژه حساس به زمینه	- حل مسایل توزیعی - قابلیت استفاده در طراحی مانند راه‌یابی - ارزیابی و آنالیز طراحی - حساس به زمینه - ایجاد طرح‌هایی خودسازمان‌ده	- بیشتر برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود. - ارتقا/ بهبود طراحی - به‌طور همزمان پیگیری گزینه‌های مختلف طراحی مطابق با معیارهای تعیین‌شده
نوع مسایل طراحی	- ایجاد الگوهای معماری - طراحی منظم و مبتنی بر قانون - به‌طور کلی ایجاد طرح‌های دوبعدی اما نمونه‌های سه‌بعدی هم وجود دارد.	- جاده‌ها و شبکه‌ها، قطعات زمین و بافت - فرم‌هایی که به‌طور طبیعی تکامل یافته و متمایل به ارگانیک هستند. - به‌طور کلی، دوبعدی	- طراحی بلوک و توده‌گذاری، برنامه‌ریزی/ناحیه‌بندی و طراحی شهری - به‌طور کلی دوبعدی اما نمونه‌های گسترش‌یافته در سه‌بعدی هم وجود دارد.	- مسایل اجتماعی مانند: عابرین پیاده، فضاهای عمومی، جریان ترافیک و غیره - حل مسایل توزیعی - به‌ندرت برای طراحی هندسی استفاده می‌شود.	- طرح‌های مولفه محور، بهینه‌سازی مسایل
مزیت‌های مدل	هندسی (بصری تعریف‌شده)	سمبلیک	- حساس به زمینه - پایین به بالا - همزمان اثرات محلی در مقابل جهانی	- مدل‌سازی شناختی و رفتاری - پایین به بالا - همزمان اثرات محلی در مقابل جهانی	- ارزیابی و بهبود منظم طراحی - بهینه‌سازی - نوآوری تحول‌آفرین
محدودیت‌های مدل	- محدودکردن بده‌بستان در مقابل اکتشافات - به طور تدریجی رفتارهای محلی از بین می‌روند.	- به‌طور تدریجی رفتارهای محلی از بین می‌روند.	- محدود به سلول هندسی تعریف‌شده - محدودیت‌های ابعادی	- برای کارکردن با آن نیاز به عناصر دیگر طراحی وجود دارد (خودش دارای مولفه‌های طراحی نیست).	- پیشرفت پس از دستیابی به راه‌حل‌های مطلوب کم می‌شود.

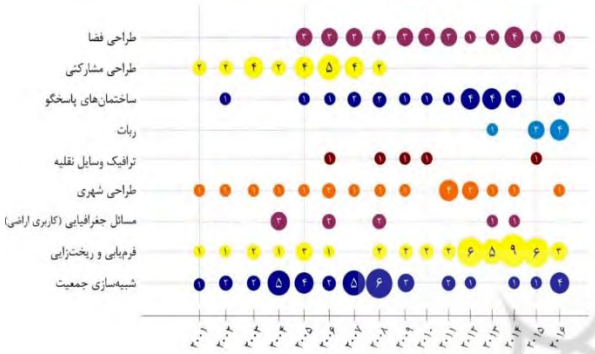
همچنین *اسکات هکبرت* و همکاران[21] مدل‌های تحلیلی را در قالب مدل‌های ایستا، پویا، تکاملی، خودمختار و تطبیقی بررسی نموده‌اند (شکل ۳).



شکل ۳) مقایسه ابزارهای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده[21]

کاربردهای مدل‌سازی عامل‌محور در معماری و شهرسازی

نمودار ۱ نشان‌دهنده گروه‌بندی کاربردهای مدل‌سازی عامل‌محور در معماری و شهرسازی و تعداد مقالات منتشرشده در هر سال است. همچنین ابعاد دوایر براساس تعداد مقالات در هر سال بزرگ و کوچک شده است تا خوانایی جدول بالاتر رود. هدف از تنظیم این نمودار نمایش تمرکز پژوهشگران مختلف روی مباحث مختلف است تا منظری کلی نسبت به موضوع در اختیار خوانندگان قرار گیرد. با توجه به نمودار ۱ بیشترین تعداد مقالات مربوط به شبیه‌سازی جمعیت (۳۹ مقاله) و فرم‌یابی و ریخت‌زایی (۴۶ مقاله) است. در چندساله اخیر توجه به حوزه فرم‌یابی و ریخت‌زایی شدت گرفته است. اما به نظر می‌رسد توجه‌ها به شبیه‌سازی جمعیت کاهش یافته است زیرا تعداد مقالات منتشرشده در این حوزه تا سال ۲۰۰۸ رو به رشد بوده است اما بعد از سال ۲۰۰۸ تعداد مقالات کاهش چشمگیری داشته‌اند. همچنین به نظر می‌رسد که "ربات‌ها" از زمینه‌های جدید و نوظهور این حوزه هستند. همچنین با توجه به نمودار ۱ می‌توان استدلال نمود که پژوهشگران این حوزه، دیگر علاقه چندانی به طراحی مشارکتی ندارند چرا که از سال ۲۰۰۸ به بعد مقاله‌ای در این حوزه به چاپ نرسیده است.



نمودار ۱) ترتیب زمانی در پیشرفت مدل‌سازی عامل‌محور

ترافیک وسایل نقلیه

در چندساله گذشته، تعداد مقالات اختصاص داده‌شده به کاربردهای فناوری عامل‌محور برای مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک به‌شدت افزایش‌یافته است و یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در این حوزه شده است. *بازان* و *کلوگل*[22] تعدادی از انگیزه‌های اصلی برای استفاده از سیستم‌های چندعاملی در ترافیک و حمل‌ونقل شهری را برشمارده‌اند: الف) حل مسایل طبیعی و حسی توسط موجودیت‌های فعال با یک دیدگاه محلی. ب) عامل‌های خودمختار یک مبنای مناسب برای مدل‌سازی سیستم‌های ناهمگن فراهم می‌کند. ج) عامل‌ها و تعاملاتشان می‌تواند توسط سطوح بالایی از انتزاع توصیف شوند. در این بخش یک مساله مهم، تجسم است. که این موضوع سبب می‌شود که تجزیه‌وتحلیل و کنترل ویژگی‌ها یا خواص میکروسکوپی یک سیستم معین تسهیل شود. د) فناوری عامل‌ها یا سیستم‌های چندعاملی اجازه می‌دهد که با ساختار متغیر سیستم‌ها با یک روش ظریف و کارآمد مواجه شد. ه) صوری‌سازی: استعاره عامل برای مدل‌سازی شرکت‌کنندگان در ترافیک یا تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود، این موضوع ما را قادر می‌سازد تا محدودیت‌های پیچیده‌ای که همه مراحل حل مساله را به هم متصل می‌کنند، ترسیم کنیم. در ابتدا، مدل‌های عامل‌محوربرای سنجش اندازه تناوب ترافیک استفاده می‌شدند. بعدها از مدل‌سازی عامل‌محور برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک استفاده گسترده‌ای شد[23]. یکی از مهم‌ترین برنامه‌ها در این حوزه نرم‌افزار ترانسیمس (تجزیه‌وتحلیل سیستم شبیه‌سازی حمل‌ونقل) است. ترانسیمس

توسط آزمایشگاه ملی‌لوس‌آلاموس توسعه پیدا کرد. این پروژه یک بسته نرم‌افزاری شبیه‌سازی یکپارچه است که با هدف ارایه اطلاعات کامل تاثیرات ترافیک، تراکم و آلودگی به برنامه‌ریزان حمل‌ونقل، تهیه شده بود[9]. این سیستم در مطالعات موردی در دالاس و پورتلند در ایالات متحده به کار رفت.

شبیه‌سازی جمعیت

مدل‌سازی جمعیت در سال‌ها اخیر به یک مساله کلیدی طراحی در محدوده‌ای کاربردی از شبیه‌سازی‌های نظامی، مهندسی ایمنی، طراحی معماری و سرگرمی‌های دیجیتال تبدیل شده است[24]. موفق‌ترین کاربرد مدل‌سازی عامل‌محور که در معماری توسعه پیدا کرده است، مطالعه حرکت پیاده و تخلیه است. افراد در این مدل‌ها به‌عنوان عامل ارایه می‌شوند، آنها از قوانین ساده‌ای پیروی می‌کنند؛ محرک‌های پیچیده انسانی و استدلال‌ها نادیده گرفته می‌شوند. اگرچه اکثر مدل‌های عامل‌محور تمایل به تحلیل دارند، اما یک روند رو به رشد برای استفاده از عامل‌ها در فرآیند طراحی مولد وجود دارد[25].

عابر پیاده: مدل‌سازی عابر پیاده از سوی تکنیک‌های مدل‌سازی عامل‌محور پیشرفت‌های زیادی نموده است، زیرا مدل‌سازی عامل‌محور می‌تواند به‌راحتی ناپیوستگی در رفتار فردی را شبیه‌سازی کنند. عامل‌ها زمانی که با موانعی در محیط مواجه می‌شوند، می‌توانند با این وضعیت موقت با استفاده از قوانین ساده جهت‌یابی مواجه شوند. *کستل* و *کروکز*[14] اشاره می‌کنند که مدل‌سازی عامل‌محور یک راه طبیعی شبیه‌سازی یک سیستم متشکل از موجودیت‌ها (اشخاص) دنیای واقعی است و در ذات خود برای شبیه‌سازی مردم در یک شیوه بسیار واقع‌گرایانه مناسب است. *هلبینگ* یکی از اولین بازیگران در این زمینه است، وی یکی از اولین مدل‌های ریاضی، برای تقلید رفتار عابران پیاده را توسعه داد[26]. مدل‌های مبتنی بر فرد برای توانایشان در شبیه‌سازی اثرات خودسازمان‌دهی ترجیح داده می‌شوند که در جمعیت‌های عابر پیاده اتفاق می‌افتد. *هلبینگ* و *بالیتی*[27] ادعا می‌کند که حرکت جمعیت خیلی شبیه به حرکت مایع‌ها و گازها است، اما تمرکز بر رفتار افراد (مدل‌های عامل محور) مطلوب‌تر است زیرا این روش انعطاف‌پذیر است. باید توجه داشت که حرکت فقط یک بخش کوچک از این رویکرد است و می‌توان جنبه‌های روانی یا اجتماعی را در تعاملات انسانی و در حرکت عابر پیاده مطالعه نمود[24]. شایع‌ترین کاربردها در این حوزه، ارزیابی پیکربندی معماری و محیط ساخته‌شده و مدل‌سازی تخلیه در ساختمان است. سایر کاربردها شامل بررسی تغییرات زیربنایی برای ترویج راه‌رفتن و برآورد الگوهای خرید در مراکز بزرگ خرید است. مورد اخیر به تجار اجازه می‌دهد تا تجزیه‌وتحلیل اقتصادی برای موقعیت‌های کالاها و سازمان‌دهی بخش‌ها و گروه‌ها صورت بگیرد[28].

خروج، آشوب و بلایای طبیعی: مردم در فضاهای عمومی با توجه به بسیاری از بلایای طبیعی یا دست‌ساخته‌های انسان مانند آتش‌سوزی، حملات تروریستی، سیل، طوفان، و غیره در معرض خطر هستند. بهینه‌سازی مسیرهای تخلیه می‌تواند جان بسیاری را نجات دهد. مدل‌سازی عامل‌محور می‌تواند در برنامه‌ریزی مسیرهای تخلیه استفاده شود و برای این موضوع رفتار مردم در شرایط غیرقابل‌پیش‌بینی شبیه‌سازی می‌شود. حوادث تخلیه مشابه ترافیک عابر پیاده است، بنابراین حوادث تخلیه به‌عنوان موارد جریان پیاده‌روی با توجه به جنبه‌های اجتماعی یا روان‌شناختی تخلیه بررسی می‌شوند. این جریان را می‌توان به دو صورت مطالعه نمود: الف) تخلیه کنترلی (غیررقابتی)؛ ب) تخلیه با وحشت (رقابتی)[24]. معمولاً مدل‌سازی عامل‌محور در دو جنبه کلی استفاده می‌شود: شبیه‌سازی فرآیند تخلیه و بهینه‌سازی مسیرهای تخلیه[29]. شبیه‌سازی فرآیند تخلیه برای طراحی عرض درست مسیرها مناسب است و از آن در مکان‌هایی که مردم تجمع می‌کنند و همچنین برای هموارکردن مسیرهای تخلیه از آن استفاده می‌کنند. این حالت بیشتر برای بهینه‌سازی مسیرهای خروج، ورودی و غیره مفید است. بهینه‌سازی مسیرهای تخلیه می‌تواند برای طراحی مسیرهایی که وجود ندارند، طول مسیرها، سرراست‌بودن و هموارى آنها به کار گرفته شوند.

طراحی فضا (سیرکلاسیون)

طراحی فضاهای معماری همانند تخلیه می‌تواند توسط مدل‌سازی عامل‌محور ایجاد شود. فضاهای عمومی (مانند موزه، سایت‌های نمایشگاه‌ها و غیره) با توجه به تعداد بازدیدکنندگان بالقوه‌شان نیاز به بهینه‌سازی در مواردی همچون خودانباشتگی، حرکت‌ها، سرعت، زمینه‌های نمایش و غیره دارند. همه این جنبه‌ها ممکن است توسط مدل‌سازی عامل‌محور طراحی و به کار گرفته شوند. برای مثال می‌توان به غرفه فیلیپس در نمایشگاه نور+ساختمان تجارت بین‌الملل اشتوتگارت در سال ۲۰۱۴ اشاره داشت که توسط گروه معماری LAVA طراحی شد. LAVA از الگوریتم‌های مبتنی بر هوش ازدحامی، پویایی گروه و ادراک بصری برای بهینه‌سازی مسیرهای بازدیدکنندگان در غرفه‌ها و کل طراحی‌شان استفاده کرده بودند. *نیل لیچ*[30] اشاره می‌کند که در سال ۲۰۰۸ استودیو Kokkugia کانسپتی برای ملبورن داکلندز طراحی کرده است. این طرح پیشنهادی از طریق دو فرآیند اصلی عمل می‌کرد: در مرحله اول، عامل‌ها برای خودسازمان‌دهی ماده شهری برنامه‌ریزی شدند و در مرحله دوم، به عناصر شهری و توپولوژی کدگذاری هوش صورت گرفت. در گروه اول، عامل‌ها برای دستور کار خودسازمان‌دهی از فرآیند افزایش استیگمرجی (نشانه‌ورزی) استفاده کردند. دسته دوم از عامل‌ها به شیوه‌ای مشابه از فرآیندهای خودسازمان‌دهی که حاکم بر سلول‌های کپک مخاطی است الهام گرفته شده‌اند، عامل‌ها در این دسته به طرف مسیرهای حداقلی عمل می‌کنند. این عامل‌های شهری در درجه‌ی اول برای تولید شبکه‌های زیربنایی استفاده شدند. همچنین *تیان‌فنگ* و همکاران[31] تلاش کردند تا با ترکیب روش طراحی چیدمان و طراحی سیرکلاسیون با توجه به دسترسی‌پذیری، تحرک و راحتی اقدام به سازماندهی فضای معماری کنند. همچنین باید توجه داشت که به عامل‌ها می‌توان برنامه‌هایی مانند نشستن،

انتظار یا مرور در کتاب‌فروشی را بسط داد تا فضای مناسب برای این عملکردها و نیز برای سیرکلاسیون شکل بگیرد.

فرم‌یابی و ریخت‌زایی

آخیم منگس با اشاره به کتاب رشد فرم بیان می‌دارد[1] که فرم می‌تواند به‌عنوان تعامل بین اجزاء داخلی و نیروهای خارجی تعریف شود، مشابه با ریخت‌زایی طبیعت، توسعه مدل‌سازی طراحی محاسباتی از فرم می‌تواند توسط فرآیند مادی‌سازی، تولید و ساخت‌وساز شکل بگیرد. *رِفَت* اشاره می‌کند که خلاقیت در طراحی معماری می‌تواند به‌عنوان پیدایش اشکال و روابط جدید بین اشکال دیده شود، از همین روی استفاده از مدل‌سازی عامل‌محور را توجیه می‌کند[32]. بنابراین به نظر می‌رسد که سیستم‌های چندعاملی برای یکپارچه‌سازی در طراحی و ایجاد فرم‌های جدید می‌توانند بسیار توانا باشند. همچنین بر طبق *بونابو*[33] می‌توان دو دلیل دیگر را برای توجه به مدل‌های عامل‌محور ذکر نمود. در مرحله اول، فرآیند خودسازمان‌دهی که در میان عامل‌ها اتفاق می‌افتد و دیگری رشد ساختمان با توجه به شرایط زمینه است. درواقع عامل‌ها به‌عنوان اشیایی خودهدایتگر، محیط پیرامون خود را مورد سنجش قرار می‌دهند و با استفاده از توابع عملیاتی مشخص نسبت به آن واکنش نشان می‌دهند و فعالیت‌هایشان را برای دسترسی به اهدافشان تنظیم می‌کنند. ازاین‌رو فرم‌ها با توجه به پارامترهای مختلف طراحی در گفت‌وگویی متقابل با زمینه شکل می‌گیرند. از تکنیک‌هایی رایج که جدیداً در ابزارهای مختلف وارد شده و مورد استفاده فراوان قرار گرفته است، می‌توان به لفافه‌کردن یک سطح مداوم در مسیرهای حرکتی باقی‌مانده در پشت عامل‌های ازدحامی اشاره کرد.

مسایل جغرافیایی (با تاکید بر کاربری اراضی)

شبیه‌سازی در ناحیه‌ای که دو دیسیپلین جغرافیا و علوم اجتماعی روی هم می‌افتند را اصطلاحاً شبیه‌سازی جغرافیایی می‌نامند. شبیه‌سازی جغرافیایی، اغلب بر پایگاه داده سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) عمل می‌کند و از عامل‌های منفرد متحرک و توانایی سیستم‌های چندعاملی برای مواجه با مجموعه داده‌های توزیع‌شده بهره می‌برد. هدف کل شبیه‌سازی جغرافیایی، درک پیدایش الگوها، روندها و دیگر ویژگی‌ها در جوامع است. همین موضوع سبب شده است تا درک ما نسبت به رشد شهرها تا حدودی تغییر پیدا کند[34, 35]. با توجه به *کستل* و *کرووکز*[14] مدل‌سازی عامل‌محور در شبیه‌سازی‌های جغرافیایی برای بازسازی شهرک‌های تمدن باستان، مطالعه پویایی خشونت داخلی، توضیح الگوهای فضای بیکاری، ارزیابی استفاده تفریحی از زمین، مطالعه هماهنگی شبکه‌های اجتماعی درون اراضی منظرهای سه‌بعدی و الگوهای سفر استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در این حوزه، کاربری اراضی است که پژوهش‌ها در آن به‌سرعت رشد و گسترش زیادی پیدا کرده است. *گرنولد* و همکاران[36] مروری کلی بر خصوصیات تصمیم‌گیری انسان در مدل‌های عامل‌محور کاربری اراضی (در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳) انجام داده‌اند. همچنین *بیجندی* و *کریمی*[37] مروری کلی بر کاربردهای مدل‌سازی عامل‌محور در کاربری اراضی انجام داده‌اند.

طراحی شهری

هپنستال و همکاران[38] با توجه به آمار سازمان ملل اشاره می‌کنند که تا سال ۲۰۵۰، شهرها در سراسر جهان رشد چشمگیری خواهند داشت؛ ازاین‌روی آن‌ها بیان می‌دارند که درک فرآیند رشد شهرها اهمیت بسیار زیادی خواهد داشت. در نتیجه آن‌ها مدل‌سازی عامل محور را به‌دلیل مدل‌سازی پدیده‌ها از سطح خرد دارای پتانسیل زیادی در بازنمایی و تعریف محدوده‌های عملکردی جدید از جایه‌جایی‌ها، بهینه‌سازی ساختار، تشکیل الگو و غیره می‌دانند. همچنین آن‌ها توجه به کلان داده‌ها را متذکر می‌شوند. اما آن‌ها هنوز استفاده از این مدل‌ها را در طراحی شهرها دارای محدودیت می‌بینند. مبلغ دیگر مدل‌سازی عامل محور و ازدحام در معماری و طراحی شهری، *نیل لیچ* است که بیان می‌دارد که با وجود توسعه تکنولوژی نرم‌افزارها، هنوز استفاده از چنین سیستم‌هایی در معماری و شهرسازی همچنان در سطح نظری باقی مانده است[39]. *بتی*[26] نشان می‌دهد چگونه انتشار تجمع‌های محدود (DLA؛ یک فرآیند رشد دندریتی) می‌تواند از لحاظ نظری در تحلیل سیاست‌های شهری مورد بهره‌برداری قرار بگیرد و رشد شهر شبیه‌سازی شود. انتشار تجمع‌های محدود براساس حرکت براونی که ذرات تجمعی به‌صورت تصادفی در شبکه‌های درخت مانند سیر می‌کنند. *نیکرسون* یک فرآیند مشابه را مورد استفاده قرار داده است، وی معتقد است که این مدل می‌تواند برای ایجاد مجموعه طرح‌ها برای زیرساخت شهری مورداستفاده قرار گیرند

ربات‌ها

ربات‌ها یکی از زمینه‌های جدیدی است که مدل‌سازی عامل‌محور در آن در حال استفاده است. کیفیت، زمان ساخت‌وساز، هزینه منجر از فاکتورهایی است که به‌شدت تحت تاثیر فاکتورهای انسانی است. با توجه به افزایش تقاضا برای این جنبه‌ها لازم است در مورد روش‌های جایگزین ساخت‌وساز فکر کنیم، به عبارتی دقیق‌تر در مورد سیستم‌های رباتیک. علاوه بر جنبه‌های ذکرشده در بالا، مزیت قطعی و مسلم آن را می‌توان قابلیت کنترل بر کل فرآیند دانست. این موضوع قابلیت پیش‌بینی و تعیین دقیق زمان ساخت‌وساز، قیمت یا مواد و مصالح ساختمانی را در اختیار ما می‌گذارد و این امر می‌تواند یک تاثیر مثبت در هزینه و تاثیرات زیست‌محیطی در ساخت‌وساز داشته باشد. تمام این موضوعات تاثیر قابل‌توجهی در شکل، طراحی و ویژگی‌های منجر به ساخت‌وساز خواهد داشت.

طراحی ساختمان‌های پاسخ‌گو

آختن و *آبراموویک*[40] بیان می‌دارند که اصطلاح ساختمان‌های پاسخ‌گو اشاره به ساختمان‌هایی دارد که هوشمندانه به محیط، نیازهای کاربر و شرایط در داخل و خارج ساختمان واکنش نشان دهند و خود را با آنها سازگار کنند. آن‌ها در ادامه توضیح می‌دهند که سازگاری در معماری ممکن است یک جزء ضروری در ایجاد معماری پایدار باشد. مفهوم عامل با توجه به آن که دارای موجودیتی

مستقر و خودمختار است، قادر به تعامل با جهان و دیگر عامل‌ها است که همین امر زمینه لازم را برای یادگیری و توسعه عامل‌ها فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که سیستم‌های چندعاملی بتوانند به‌طور گسترده در محیط‌های بسیار پویا و غیرقابل‌پیش‌بینی استفاده شوند. مفهوم عامل با توجه به ساختمان‌های پاسخگو دو مزیت عمده را دارند[41]: الف) تمایز میان اشیا و افراد وجود ندارد: می‌توان هر دو را عامل تصور کرد، بنابراین تعامل بین افراد و اشیا تحت چارچوب عامل سازگار است. ب) پاسخ‌گویی یک ویژگی ذاتی عامل است: هر عامل می‌تواند محیط اطراف خود و عامل‌های دیگر را توسط تعاریفی که برایش صورت گرفته است، حس کند و نسبت به آنها اقدام به واکنش مناسب کند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که در طول سال‌های آینده سیستم‌های چندعاملی در این حوزه رشد و توسعه فراوان داشته باشند.

طراحی مشارکتی

مدل‌سازی عامل‌محور به‌دلیل ویژگی‌های مستقل و اجتماعی آن می‌تواند از شروع مرحله طراحی تا اجرا و تولید پروژه حضور داشته باشد. در این کاربردها مدل‌سازی عامل‌محور می‌تواند از همکاری هم‌زمان افراد متخصص در رشته‌های متفاوت پشتیبانی کند که به این نوع از همکاری‌ها طراحی مشارکتی می‌گویند[9]. *آختن* و *بیتز*[42] اشاره می‌کنند که عمده مقالات منتشرشده در این حوزه به مفهوم "عاملیت" و چگونگی دیده‌شدن طراحی مشارکتی به‌وسیله سیستم‌های چندعاملی توجه ویژه‌ای داشته‌اند. موارد پیشنهادشده برای حمایت از طراحی مشارکتی از نظارت تغییرات تا سیستم‌های مدیریتی بسط داده شده‌اند که عامل‌ها به طراحان کمک نمایند تا تغییرات در محیط‌های چندکاربره به‌هم‌پیوسته و متحد شوند. به‌عنوان‌مثال، *روزنمن* و *وانگ* برای توسعه مجازی محصول، یک سیستم مدل‌سازی عامل‌محور CAD باز را توسعه دادند که از طریق رابط وب، کاربران مختلف می‌توانستند به‌صورت پویا و هم‌زمان در آن تغییراتی ایجاد کنند[9]. یکی از فعال‌ترین نهادها در این حوزه مرکز طراحی محاسباتی در دانشگاه سیدنی است[9]. *لی* و همکاران[43] یک بررسی جامع درباره کاربردهای مدل‌سازی عامل‌محور در طراحی مشارکتی انجام داده‌اند.

شکاف‌های تحقیقاتی

شکاف‌های تحقیقاتی در این زمینه شامل موارد زیر هستند:

۱) انجام پژوهش‌های جدید در ارتباط با مسایل اجتماعی، اقتصادی، زیست‌بوم و اقتصاد آن، نظریه‌بازی‌ها، دیرینه‌شناسی، توریسم، علوم‌شناختی، روان‌شناسی و برنامه‌ریزی و سیاست‌های محیطی، فضایی جدید برای انجام پژوهش‌های آتی فراهم می‌کند (جدول ۳ به معرفی مقالات مروری در حوزه‌های اشاره‌شده می‌پردازد).

۲) یکی از مهم‌ترین ویژگی عامل‌ها، قابلیت برنامه‌ریزی آنها با توجه به رویکردهای مختلف شناختی است که چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

۳) درنظرگرفتن مدل‌های چندهدفه برای نزدیک‌شدن به دنیای واقعی ضروری است.

۴) ترکیب روش‌های مختلف و ارایه روش‌های فراابتکاری جدیدتر برای حل مسایل بزرگ به بهبود نتایج کمک خواهد نمود.

۵) توجه به اعتبارسنجی مدل‌ها و ارزیابی مدل‌ها در دنیای واقعی

جدول ۳) معرفی تعدادی مقاله مروری برای شکاف تحقیقاتی موجود با دیسیپلین‌های دیگر

رشته‌ها	منابع کلیدی
اقتصاد	[44, 45]
برنامه‌ریزی و سیاست‌های محیطی	[46]
توریسم	[47]
دیرینه‌شناسی	[48]
روان‌شناسی	[49]
زیست‌بوم و اقتصاد آن	[21, 50]
علوم شناختی	[51]

نتیجه‌گیری

نظریه سیستم‌های پیچیده در طراحی یک انباشتگی از مفاهیم چندلایه است که از درهم‌آمیختن انواع مختلف تفکر، همراه با پیشرفت علم، تکنولوژی و فرهنگ در طی چند دهه اخیر رشد و توسعه پیدا نموده است. در این دیدگاه، ساختمان به‌عنوان یک موجودیتِ ایستای در انزوا کنار گذاشته می‌شود و بر شیوه تعامل بین فرد و زمینه متمرکز می‌شوند و هدف آنها دستیابی به سیستم‌های پیچیده رفتارمحور است. سیستم‌ها براساس ساختارشان با محیط تعامل و رفتار می‌کنند. در نتیجه برای کنترل، پیش‌بینی و رسیدن به وضعیت مطلوب سیستم، باید نحوه سازماندهی آن را شناخت. بنابراین بیان می‌شود که از طریق اهداف سلسله‌مراتبی یا از طریق منطق از پیش تعیین‌شده نمی‌توان طراحی و برنامه‌ریزی نمود و طراحان و برنامه‌ریزان خود نیز بخشی از این تغییر هستند. بنابراین آنها به‌جای طرح‌ریزی و کنترل به شکل سنتی، باید به مطالعه و شناخت ویژگی‌های سیستم و تجزیه مکانیزم‌ها و فرآیندهای مولد آن بپردازند. در این صورت، برنامه‌ریزی‌ها و طراحی‌ها جزیی از رفتار سیستم و سپس بخشی از آن می‌شود.

مدل‌سازی عامل‌محور یک پارادایم جدید در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده است که قابلیت مطالعه الگوها، ساختارها و رفتار آنها را از سطح خرد فراهم می‌کند و چگونگی پدیده پیدایش را در آنها به نمایش می‌گذارد. در نتیجه این مدل‌ها زمینه‌هایی را برای کنترل و نظارت بیشتر مدل‌سازان بر سیستم‌های مختلف فراهم می‌کند. این مدل‌ها به دو صورت مولد و شبیه‌ساز استفاده می‌شود.

فواید استفاده از مدل‌سازی عامل‌محور در فرآیند طراحی و برنامه‌ریزی را می‌توان در چهار مورد زیر خلاصه نمود:

۱) شفاف‌سازی بیشتر: مدل‌های عامل‌محور به‌دلیل نمایش پدیده پیدایش، درک روشنی از شیوه رفتار سیستم فراهم می‌کند.

۲) واقع‌گرایی بیشتر: واردکردن تفاوت‌های فردی، رفتار و تعاملات میان عامل‌ها موجب کاهش شکاف‌های موجود بین پیشنهادهای واقعی طراحی، انتزاع سطح بالای طراحی و برنامه‌ریزی می‌شود.

۳) بهبودیافتن تصمیمات و کنترل بیشتر بر محیط: مدل‌های عامل‌محور به‌دلیل فراهم‌کردن دسترسی به سطح خرد و نمایش پدیده پیدایش و تاثیر تعاملات در طول زمان، فرصت بیشتری برای اصلاح تصمیمات و هدایت سیستم به سوی هدف خاص فراهم می‌سازد.

۴) توانایی ثبت عدم قطعیت: مدل‌های عامل‌محور به‌دلیل ثبت و نمایش تاثیر تعاملات اجزاء بر یکدیگر و نیز پدیده پیدایش فرصتی برای ادراک عدم قطعیت برای طراحان و برنامه‌ریزان فراهم می‌کند.

۵) افزایش عقلانیت، توسعه و انباشت دانش در طراحی و برنامه‌ریزی

با توجه به محتوای نمودار ۱ می‌توان به چهار نکته زیر اشاره داشت: الف) ربات‌ها از زمینه‌های جدید و نوظهور این حوزه هستند. ب) طراحی مشارکتی دیگر مورد توجه نیست. ج) حوزه شبیه‌سازی جمعیت و طراحی فضا از حوزه‌های مورد علاقه طراحان و برنامه‌ریزان است زیرا زمینه‌هایی برای ساخت فرم، فضا و ساختار معماری براساس سیستم‌های پیچیده رفتارمحور فراهم می‌کند بنابراین با استفاده از این ابزار تلاش می‌شود تا به طرح‌های خود قبل از ساخت معنا ببخشند. د) سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ را می‌توان به‌عنوان نقطه عطفی برای مدل‌سازی عامل‌محور معرفی نمود زیرا روند پژوهش‌ها در این بازه زمانی تغییر پیدا می‌کند.

تشکر و قدردانی: بدین وسیله از سردبیر و مدیریت محترم مجله نقش جهان تشکر می‌شود.

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان مقاله متعهد می‌شوند که این مقاله تاکنون در هیچ نشریه فارسی یا زبان دیگری منتشر نشده است و تمامی حقوق و منافع آن به فصلنامه علمی- پژوهشی نقش جهان منتقل می‌شود.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

سهم نویسندگان: کریم مردمی (نویسنده اول)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی (۵۰%)؛ آرمین مودی (نویسنده دوم)، نگارنده مقاله/پژوهشگر اصلی (۵۰%)

منابع مالی: هیچ گونه حمایت مالی از سوی نهادها و سازمان‌های مرتبط دریافت نشده است.

منابع

1- Menges A, Ahlquist S, editors. Computational design thinking. Chichester: John Wiley & Son; 2011. p. 58-67.
2- Kotnik T. Digital architectural design as exploration of computable functions. Int J Arch Comput. 2010;8(1):1-16.
3- Herr CM, Kvan T. Adapting cellular automata to support the architectural design process. Autom Construct. 2007;16(1):61-9.
4- Oxman R. Theory and design in the first digital age. Des Stud. 2006;27(3):229-65.
5- Macal CM, North MJ. Tutorial on agent-based modelling and simulation. J Simul. 2010;4(3):151-62.
6- Holland JH. Emergence: From chaos to order: Oxford: Oxford University Press; 2000. p. 117.
7- Holland JH. Signals and boundaries: Building blocks for complex adaptive systems. London: MIT Press; 2012.
8- Dijkstra J, Timmermans H. Towards a multi-agent model for visualizing simulated user behavior to support the assessment of design performance. Autom Construct. 2002;11(2):135-45.
9- Chen L. Agent-based modeling in urban and architectural research: a brief literature review. Front Arch Res. 2012;1(2):166-77.
10- Wan ADM, Braspenning PJ. Agent theory: autonomy and self-control. In: Proceedings of the 7th International Conference on Artificial Intelligence: Methodology, Systems and Applications (AIMSA 96); 1996; University of Limburg, Maastricht, The Netherlands. p. 268-77.
11- Jennings NR. On agent-based software engineering. Artif Intell. 2000;117(2):277-96.
12- Pfeifer R, Scheier C. Understanding intelligence. London: The MIT Press; 2001. p. 25-7, 92.
13- Tuyls K, Weiss G. Multiagent learning: Basics, challenges, and prospects. Ai Magazine. 2012;33(3):41-52.
14- Castle CJ, Crooks AT. Principles and concepts of agent-based modelling for developing geospatial simulations. Centre Adv Spatial Anal. 2006.
15- Macal CM. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. J Simul. 2016;10(2):144-56.
16- Bankes SC. Agent-based modeling: a revolution? Proc Natl Acad Sci. 2002;99(Suppl 3);7199-200.
17- Bianchi F, Squazzoni F. Agent-based models in sociology. Wiley Interdiscip Rev Comput Stat. 2015;7(4):284-306.
18- Bonabeau E. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. Proc Natl Acad Sci. 2002;99(suppl 3):7280-87.
19- Helbing D, Balietti S. How to do agent-based simulations in the future: from modeling social mechanisms to emergent phenomena and interactive systems design. SFI Working Paper. Retrieved. 2013:25-70.
20- Singh V, Gu N. Towards an integrated generative design framework. Des Stud. 2012;33(2):185-207.
21- Heckbert S, Baynes T, Reeson A. agent-based modeling in ecological economics. Ann N Y Acad Sci. 2010;1185(1):39-53.
22- Bazzan ALC, Klügl F. A review on agent-based technology for traffic and transportation. Knowledge Eng Rev. 2014;29(3):375-403.
23- Bazzani A, Capriotti M, Giorgini B, Melchiorre G, Rambaldi S, Servizi G, Turchetti G. A model for asystematic mobility in urban space. In: Albeverio S, Andrey D, Giordano P, Vancheri A, editors. The dynamics of complex urban systems. Heidelberg: Physica-Verlag HD; 2008. p. 59-73.
24- Børve S. Crowd dynamics modelling – a literature study. Norwegian Defence Research Establishment (FFI); 2014. Report No.: 2013/03050.
25- Schumacher P. Advancing social functionality via agent-based parametric semiology. Arch Des. 2016;86(2);108-13.
26- Batty M. Agent-based pedestrian modelling. Centre Adv Spatial Anal. 2003;81:81-106.
27- Helbing D, Johansson A. Pedestrian, crowd and

2016;1:661-8.
41- Achten H. One and many: an agent perspective on interactive architecture. In: Gerber D, Huang A, Sanchez J, editors. ACADIA 2014 Design Agency Proceedings: Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture; 2014 Oct 23-25; Los Angeles, California. p. 479-86.
42- Achten H, Beetz J. What happened to collaborative design? In: Cagdas G, Gulen C, editors. Computation: The new realm of architectural design - Proceedings of the 27th Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe. Istanbul: Istanbul Technical University & Yildiz Technical University; 2009. p. 357-65.
43- Li WD, Lu WF, Fuh JYH, Wong YS. Collaborative computer-aided design—research and development status. Comput Aid Des. 2005;37(9):931-40.
44- Farmer JD, Foley D. The economy needs agent-based modelling. Nature. 2009;460(7256):685-6.
45- Parker DC, Filatova T. A conceptual design for a bilateral agent-based land market with heterogeneous economic agents. Comput Environ Urban Syst. 2008;32(6):454-63.
46- Zellner ML. Embracing complexity and uncertainty: the potential of agent-based modeling for environmental planning and policy. Plan Theor Pract. 2008;9(4):437-57.
47- Nicholls S, Amelung B, Student J. Agent-based modeling: a powerful tool for tourism researchers. J Travel Res. 2017;56(1):3-15.
48- Cegielski WH, Rogers JD. Rethinking the role of agent-based modeling in archaeology. J Anthropol Archaeol. 2016;41:283-98.
49- Smith ER, Conrey FR. Agent-based modeling: a new approach for theory building in social psychology. Pers Soc Psychol Rev. 2007;11(1):87-104.
50- Bousquet F, Le Page C. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. Ecol Model. 2004;176(3-4):313-32.
51- Bedau MA. Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up. Trends Cogn Sci. 2003;7(11):505-12.
evacuation dynamics. In: Meyers RA, editor. Encyclopedia of complexity and systems science. New York: Springer; 2009. p. 6476-95.
28- Heppenstall AJ, Evans AJ, Birkin MH. Genetic algorithm optimisation of an agent-based model for simulating a retail market. Environ Plann B Plann Des. 2007;34(6):1051-70.
29- Chen Y. Swarm intelligence in architectural design. Berkeley: University of California; 2015. p. 12.
30- Leach N. Swarm urbanism. Arch Des. 2009;79(4):56-63.
31- Feng T, Yu LF, Yeung SK, Yin K, Zhou K. Crowd-driven mid-scale layout design. ACM Transact Graph. 2016;35(4).
32- Reffat RM. Architectural exploration and creativity using intelligent design agents. Digital De Proc eCAADe. 2003:181-5.
33- Bonabeau E. From classical models of morphogenesis to agent-based models of pattern formation. Artif Life. 1997;3(3):191-211.
34- Brown DG, Riolo R, Robinson DT, North M, Rand W. Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS. J Geogr Syst. 2005;7(1):25-47.
35- Brown DG, Xie Y. Spatial agent-based modelling. Int J Geogr Inf Sci. 2006;20(9):941-3.
36- Groeneveld J, Müller B, Buchmann CM, Dressler G, Guo C, Hase N, et al. Theoretical foundations of human decision-making in agent-based land use models–a review. Environ Model Software. 2017;87:39-48.
37- Bijandi M, Karimi M. Modelling land use change and land development using agent: opportunities and challenges. Geospat Eng J. 2016;7(3):1-13. [Persian]
38- Heppenstall A, Malleson N, Crooks A. "Space, the final frontier": how good are agent-based models at simulating individuals and space in cities? Systems. 2016;4(1):9.
39- Leach N. Swarm tectonics. In: Leach N, Turnbull D, Williams C, editors. Digital tectonics. Chichester: Wiley; 2004. p. 152.
40- Abramovic V, Achten H. From Moving Cube to Urban Interactive Structures, a case study. Concepts Strateg.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی