2021, Vol.8, No.2, Pages 1 to 12
Journal of Water and Sustainable Development

آب و توسعه پایدار

سال هشتم، شماره ۲، ۱۴۰۰، صفحات ۱ تا ۱۲
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

Overview of the ODD Protocol Development Process as a Standard for Agent-Based Modeling

S. A. Shahangian[1], M. Tabesh[2*], H. Safarpour[3]

1,2,3- Ph.D. Candidate, Professor and M.Sc, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

*(Corresponding Author Email: mtabesh@ut.ac.ir)

Received: 06-12-2020
Accepted: 03-02-2021

مروری بر فرآیند توسعه رویه ODD به‌عنوان استانداردی برای مدل‌سازی عامل بنیان

سید احمدرضا شاهنگیان[1]، مسعود تابش[2*]، هانیه صفرپور[3]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشجوی کارشناس‌ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*(نویسنده مسئول، E.mail: mtabesh@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

Abstract

Ecological and social science researchers have long faced the challenge of modeling the intrinsic complexity of socio-ecological systems. A popular approach to understand and investigate these systems is agent-based modeling, which has been used not only in ecological sciences but in many other disciplines over the years and has become a widely used tool nowadays. Despite the importance of this modeling approach, there was no standard protocol to make and present these models by 2006. Hence, several expert modelers who covered a wide range of areas in ecology suggested the ODD protocol (Overview, design concepts, and details) as a standard for describing individual-based models (e.g., agent-based models) in 2006. After that, some providers of the first version of the ODD protocol have developed an updated version of this protocol in 2010 to resolve problems and ambiguities of the original version, as an alternative for the previous version, by reviewing research that used this protocol. Then, considering the fundamental role of human decisions in agent-based modeling, a new version of this protocol named ODD+D was introduced in 2013, specifically for this modeling approach. The purpose of the ODD+D protocol was the development and modification of the ODD protocol to create a standard for describing agent-based models so that it can consider human decision-making within itself. Due to the importance of applying this protocol in the structure of agent-based modeling studies, the present research introduces the ODD protocol, reviews its evolution over recent years, and addresses the detailed description of different versions.

Keywords: ODD Protocol, ODD+D Protocol, Agent-Based Modeling, Human Decision-Making, Complex Adaptive Systems.

چکیده

محققین علوم اکولوژی و اجتماعی مدت‌ها است که با چالش نحوه مدل‌سازی پیچیدگی‌های ذاتی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژی مواجه هستند. یک رویکرد معمول برای درک و بررسی این سیستم‌ها، مدل‌سازی عامل‌بنیان است که در طی سالیان گذشته نه‌تنها در علوم اکولوژیکی، بلکه در بسیاری از رشته‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفته و امروزه به ابزاری با کاربرد گسترده تبدیل شده است. با این وجود برخلاف اهمیت این رویکرد مدل‌سازی، تا سال ۲۰۰۶ هیچ رویه استانداردی برای ساخت و ارائه مدل‌های عامل‌بنیان وجود نداشت. از این رو، در سال ۲۰۰۶ تعدادی از مدل‌سازان با طیف وسیعی از حوزه‌ها در اکولوژی، رویه‌ای تحت‌عنوان ODD (مرور اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات) را به‌عنوان استانداردی برای توصیف رویکردهای مدل‌سازی فرد-محور (ازجمله عامل‌بنیان) پیشنهاد کردند. در ادامه تعدادی از ارائه‌دهندگان این رویه در سال ۲۰۱۰ با مروری بر تحقیقاتی که از نسخه اولیه آن استفاده کرده بودند، نسخه به‌روزرسانی‌شده آن را به‌منظور رفع مشکلات و ابهامات نسخه اولیه توسعه و ارائه دادند و به‌عنوان جایگزین نسخه قبلی معرفی کردند. سپس باتوجه‌به نقش اساسی تصمیمات انسانی در مدل‌سازی عامل‌بنیان، نسخه جدیدی از این رویه تحت عنوان ODD+D به‌طور خاص برای این رویکرد مدل‌سازی در سال ۲۰۱۳ ارائه شد. هدف نسخه جدید، توسعه و اصلاح رویه به‌منظور ایجاد استانداردی برای توصیف مدل‌های عامل‌بنیان بود؛ به‌نحوی‌که تصمیم‌گیری انسانی را درون خود لحاظ کند. با توجه به اهمیت استفاده از این رویه در ساختار تحقیقات مدل‌سازی عامل‌بنیان، این مقاله به معرفی رویه ODD، مروری بر سیر تحول آن در سال‌های اخیر و شرح مفصل آن در نسخه‌های متعدد می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: رویه ODD، رویه ODD+D، مدل‌سازی عامل بنیان، تصمیم‌گیری انسانی، سیستم‌های انطباق‌پذیر پیچیده.

DOI: 10.22067/jwsd.v8i2.1001

مقدمه

طراحی و پیاده‌سازی سیاست‌های مؤثر محیط‌زیستی، نیازمند درک جامعی از فرآیندهای سیستم، تعاملات پیچیده بین آن‌ها و چگونگی پاسخ آن‌ها به تغییرات مختلف است (Kelly و همکاران، ۲۰۱۳). محققین علوم اکولوژی و اجتماعی مدت‌ها است که با چالش نحوه و چگونگی مدل‌سازی پیچیدگی‌های ذاتی بسیاری از سیستم‌های اکولوژیکی، اجتماعی یا اجتماعی-اکولوژیکی که در دنیای واقعی وجود دارند، مواجه هستند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). این سیستم‌های پیچیده، باید به کمک مدل‌هایی که می‌توانند اجزای مختلفی را دربرگیرند که هم دارای مقیاس‌ها و دقت‌های متفاوت بوده و هم براساس فرضیات و الگوهای مختلفی که از حوزه‌های علوم مختلف توسعه یافته‌اند، توصیف شوند (Voinov و Shugart، ۲۰۱۳). سیستم‌های پیچیده (CS)[۱]، سیستم‌هایی هستند که از موجودیت‌های تعاملی و با تعاملات غیرخطی بین آن‌ها تشکیل شده‌اند که ممکن است به روش‌های جالب و اغلب غیر منتظره‌ای (گاهی حتی متناقض) رفتار کنند که توجیه آن‌ها را پیچیده می‌کند (Helbing، ۲۰۱۲). یک رویکرد برای بررسی این سیستم‌ها، استفاده از مدل‌های عامل بنیان (ABM)[۲] است (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰) که با ایجاد یک جامعه مصنوعی، همه زیرفرآیندهایی که برای مطالعه یکپارچه سیستم‌های پیچیده لازم هستند، به یک واحد یکپارچه متصل می‌کند (Athanasiadis و همکاران، ۲۰۰۵). رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، به‌کمک دیدگاه جزء به کل (قلعه‌بان تکمه‌داش و همکاران، ۱۳۹۴؛ شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹c)، ابزار مناسبی برای مطالعه سیستم‌های پیچیده (Helbing، ۲۰۱۲؛ Mei و همکاران، ۲۰۱۵) و جایگزینی برای تکنیک‌های مدل‌سازی سنتی است که امکان شبیه‌سازی رفتارهای نوظهور (بروز یافته)[۳] را در سیستم‌های انطباق‌پذیر پیچیده (CAS)[۴]، فراهم می‌کند (Berglund، ۲۰۱۵) (برای مطالعه بیشتر به شاهنگیان و همکاران (۱۳۹۹b؛۱۳۹۹a) مراجعه شود). مدل‌های مبتنی بر فرآیند[۵] و به‌ویژه مدل‌های عامل‌بنیان، می‌توانند نقش مهمی در تقویت درک پویایی سیستم‌های پیچیده ایفا کنند (Müller و همکاران، ۲۰۱۳). رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی، مزایای متعددی دارد (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹c) و در دهه‌های اخیر به ابزاری با کاربرد گسترده در مطالعه و بررسی سیستم‌های انطباق‌پذیر پیچیده تبدیل شده است (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹a؛ ۱۳۹۹b).

امروزه رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، در حوزه‌های مختلفی از علوم از جمله اکولوژی، ارزیابی محیط‌زیستی، علوم اجتماعی، رباتیک و بازی‌های کامپیوتری، به‌منظور بررسی روش‌هایی برای دستیابی به یک هدف مشترک و یا توضیح یک رفتار مشترک به‌کار گرفته می‌شود (López-Paredes و همکاران، ۲۰۰۵). در این زمینه نرم‌افزارهای بسیاری از جمله RePast، NetLogo، Swarm و AnyLogic برای ایجاد و توسعه مدل‌های عامل بنیان معرفی شده‌اند (قلعه‌بان تکمه‌داش و همکاران، ۱۳۹۴). باتوجه به اینکه سیستم آب شهری به‌عنوان یک سیستم انطباق‌پذیر پیچیده شناخته می‌شود (برای مطالعه بیشتر به شاهنگیان و همکاران (۱۳۹۹b؛ ۱۳۹۹a) مراجعه شود)، پیشرفت‌های چشم‌گیری در سال‌های اخیر در زمینه کاربرد این رویکرد مدل‌سازی در حوزه مدیریت منابع آب و به‌ویژه مدیریت آب شهری صورت گرفته و به‌تبع آن، زمینه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای ایجاد شده‌اند (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹b). مدل‌های عامل بنیان (ABM)، بر ارائه تعاملات بین موجودیت‌های مستقل[۶] و ناهمگن[۷] در یک سیستم که به‌عنوان عامل شناخته می‌شوند و مطابق با برخی از قوانین با یکدیگر تعامل دارند و نیز بر کشف پدیده‌ها و رفتارهای نوظهور کوچک مقیاس (میکرو) که ناشی از پیامدهای بزرگ‌مقیاس (ماکرو) و در نتیجه تعاملات و یادگیری بین موجودیت‌های فردی است، تمرکز دارند (Kelly و همکاران، ۲۰۱۳؛ Mei و همکاران، ۲۰۱۵). یک مدل عامل بنیان، معمولاً یک برنامه کامپیوتری است که یک بازیگر (عامل) موجود در یک محیط را شبیه‌سازی می‌کند. این بازیگر اطلاعاتی را درباره محیط خود دریافت می‌کند و اهدافی دارد. همچنین قادر است اقداماتی برای تغییر محیط پیرامون و تحقق اهداف خود انجام دهد. علاوه‌بر این، یک عامل می‌تواند اطلاعاتی را از سایر عامل‌ها دریافت کرده و با آن‌ها تعامل برقرار کند (Zechman، ۲۰۰۷). بنابراین شبیه‌سازی عامل بنیان، بیان صریح و خاصی را از رفتار هر فرد یا عامل موجود در سیستم شبیه‌سازی‌شده با سایر تکنیک‌های شبیه‌سازی میکرو به اشتراک می‌گذارد و با ایجاد عامل‌ها و محیطی که در آن با یکدیگر تعامل می‌کنند، آغاز می‌شود و با تجزیه و تحلیل رفتار تجمعی مشاهده‌شده، پایان می‌یابد (López-Paredes و همکاران، ۲۰۰۵).

توصیف شفاف و روشن از شبیه‌سازی‌ها به‌گونه‌ای که سایر محققان بتوانند یک شبیه‌سازی را درک کنند، موضوع مهمی در پیشرفت علمی و استفاده از شبیه‌سازی‌های پیچیده (از جمله مدل‌های عامل بنیان) است. این موضوع می‌تواند: (۱) به ارزیابی و درک کاملی از نتایج شبیه‌سازی برای خوانندگانی که شبیه‌سازی‌ها را برای بررسی و تجزیه و تحلیل با محققان دیگر تکرار می‌کنند، منجر شود؛ (۲) به انتقال دانش لحاظ‌شده در شبیه‌سازی‌ها، از یک دامنه (حوزه) به دامنه دیگر کمک کند؛ و (۳) امکان شبیه‌سازی‌ها برای مقایسه بهتر را فراهم کند که این موضوع، به‌نوبه خود عامل مهمی برای استفاده دقیق‌تر و مفیدتر از شبیه‌سازی‌ها است (Grimm و همکاران، ۲۰۱۷). برخلاف اهمیت شفافیت در نحوه ایجاد و ساختار مدل‌های عامل بنیان به‌منظور توسعه آن‌ها در تحقیقات بعدی، تا سال ۲۰۰۶ هیچ رویه[۸] استانداردی برای توصیف چنین مدل‌های شبیه‌سازی‌ای وجود نداشت که این امر می‌توانست درک و بازتولید آن‌ها را دشوار کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). در نتیجه، مدل‌سازی‌های انجام‌شده دو کاستی اساسی داشتند که به شرح ذیل می‌باشد (Müller و همکاران، ۲۰۱۳):

(۱) استدلال در مورد انتخاب یک مدل تصمیم‌گیری انسانی خاص، اغلب به‌خوبی مستند نبود و مبانی تجربی یا تئوری کافی برای آن ارائه نمی‌شد و یا مدل تصمیم‌گیری فقط براساس مورد خاص تحقیق (بدون کاربرد در دیگر مدل‌ها) صورت گرفته بود؛ درحالی‌که تصمیم‌گیری در مدل‌های عامل بنیان می‌تواند مبتنی بر تئوری‌های مختلف باشد؛ از جمله تئوری انتخاب عقلانی[۹] و عقلانیت محدود[۱۰] (ارائه رویه ODD+D تا حد زیادی به حل این مشکل کمک کرد)؛ و (۲) اغلب مدل به‌طور شفاف (واضح و کاملی) توصیف نشده بود تا امکان بازتولید مدل را فراهم و ارتباطات مدل و نتایج آن را تسهیل کند که این موضوع، مقایسه مدل و پیشرفت آن را تا حد زیادی مختل می‌کرد. ازاین‌رو، مدل‌های اولیه عامل بنیان، به‌دلیل مستندسازی ضعیف بسیار مورد انتقاد قرار گرفته بودند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

در این راستا و باتوجه‌به اهمیت موضوع، تلاش‌های متعددی در زمینه ایجاد یک چارچوب، طرح طبقه‌بندی‌شده و یا رویه استانداردی در علوم اجتماعی و کاربری اراضی، برای ارائه و توصیف مدل‌های عامل بنیان انجام شد (Müller و همکاران، ۲۰۱۳)، از جمله: ارائه یک ساختار طبقه‌بندی‌شده براساس سه الزام اجتماعی-اکولوژیکی در مدل‌های عامل بنیان (Hare و Deadman، ۲۰۰۴)، ارائه یک فرآیند سه مرحله‌ای (Richiardi و همکاران، ۲۰۰۶) و ارائه چارچوبی تحت‌عنوان MR POTATOHEAD[۱۱] (Parker و همکاران، ۲۰۰۸). اما در این بین، رویه استانداردسازی شده‌ای برای توصیف مدل‌های فرد-محور (IBM)[۱۲] (شامل مدل‌های عامل بنیان، شبیه‌سازی چندعامله یا سیستم‌های چند عامله) که توسط Grimm و همکاران (۲۰۰۶) پیشنهاد شده است و تحت عنوان رویه ODD (مرور اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات)[۱۳] شناخته می‌شود، به خوبی مورد استقبال جامعه علمی قرار گرفته است (Müller و همکاران، ۲۰۱۳). این رویه استاندارد که توسط ۲۸ مدل‌ساز با طیف گسترده‌ای از زمینه‌ها در اکولوژی، توسعه داده شده و مورد آزمایش قرار گرفته (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶)، یک طرح استاندارد برای توصیف مدل‌های فرد-محور از جمله مدل‌های عامل بنیان است؛ به‌ویژه برای مقالات ژورنالی و کنفرانسی و سایر مستندات دانشگاهی (Grimm و همکاران، ۲۰۱۷). رویه ODD توسط شبکه مدل‌سازی محاسباتی برای علوم اکولوژیکی-اجتماعی (CoMSES Net)[۱۴] و کتابخانه مرکزی آن‌ها به‌نام OpenABM.[۱۵] org توصیه شده است (Grimm و همکاران، ۲۰۱۷).

هدف از ارائه این رویه، تلاش برای ایجاد یک فرمت عمومی و ساختاری استاندارد برای مدل‌های فرد-محور از جمله عامل بنیان بود تا به کمک آن بتوان توصیف کارآمدتر و کامل‌تری از مدل‌سازی‌ها در این حوزه داشت و بازتولید آن‌ها را ساده‌تر کرد تا نهایتاً کمتر به‌دلایل غیر علمی، مورد نقد و عدم‌پذیرش قرار گیرند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). این رویه، طیف وسیعی از حوزه‌های مرتبط با اکولوژی را دربر می‌گیرد و نویسندگان آن در مجموع برای نوشتن آن، بیش از ۲۰۰ مقاله فرد-محور را مورد مطالعه قرار دادند و از آن‌ها در تهیه این رویه استفاده کرده‌اند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). برخلاف اینکه از ارائه نسخه اولیه این رویه بیش از یک دهه می‌گذرد، ولی در تحقیقات داخلی و بعضاً تحقیقات بین‌المللی ردپای ملموس و صحیحی از بهره‌گیری از این رویه مشهود نیست (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹d). درحالی‌که Grimm و همکاران (۲۰۱۷)، اظهار کردند سرمایه‌گذاری در یادگیری و استفاده از ODD بسیار اندک است؛ اما مزایای استفاده از آن هم برای کاربران این رویه و هم برای جامعه علمی، می‌تواند بسیار قابل‌توجه باشد. لذا باتوجه‌به اهمیت استفاده از این رویه به‌عنوان یک استاندارد در تحقیقاتی که در ساختار مدل خود از رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان بهره می‌گیرند، در این مقاله به معرفی این رویه و سیر تحول آن در سال‌های اخیر و همچنین شرح مفصل آن در نسخه‌های متعدد پرداخته می‌شود. به‌این‌منظور در بخش دوم این مقاله، رویه ODD در نسخه‌های ۲۰۰۶ (نسخه اولیه) و ۲۰۱۰ (نسخه به‌روزرسانی‌شده) بررسی و شرح کاملی از عنصر[۱۶]های مختلف این رویه بیان می‌شود. در ادامه و در بخش سوم، نسخه جدید این رویه تحت عنوان ODD+D که در سال ۲۰۱۳ ارائه شده است، بررسی می‌شود. هدف از نسخه جدید، توسعه و اصلاح رویه به‌منظور ایجاد استانداردی برای توصیف مدل‌های عامل بنیان بود؛ به‌نحوی که تصمیم‌گیری انسانی را درون خود لحاظ کند (Müller و همکاران، ۲۰۱۳). شرح کامل عنصرهای نسخه ۲۰۱۰ این رویه، به‌منظور آشنایی کامل با مفهوم هریک از عنصرها، دلیل و نحوه استفاده از آنها بوده که در نسخه ۲۰۱۳ نیز، با اندکی تغییرات ولی با حفظ مفاهیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین به‌منظور درک عمیق‌تر و مؤثرتری از مطالب ارائه‌شده در این مقاله و بیان شفاف‌تر و کارآمدتر از این رویه در نسخه‌های مختلف آن، سه پیوست شامل سوالات راهنمای نسخه به‌روز شده رویه ODD (پیوست A)، الگو (فرمت) راهنمای استفاده از رویه ODD+D در مقالات (پیوست B) و نمونه‌ای از کاربرد این رویه در مقالات گذشته در حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت آب شهری، به همراه نقد و بررسی آن (برگرفته از شاهنگیان و همکاران،۱۳۹۹d) و اشاره به تعدادی از مقالاتی که در این حوزه از رویه ODD یا ODD+D بهره گرفته‌اند (پیوست C)، ارائه شده است.

رویه ODD (مرور اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات)

همانطور که اشاره شد، Grimm و همکاران (۲۰۰۶) نسخه اولیه رویه ODD را در سال ۲۰۰۶ به‌عنوان استانداردی برای توصیف مدل‌های فرد-محور از جمله مدل‌های عامل بنیان، مطرح کردند. این نسخه رویه از سه دسته[۱۷] (جزء اصلی) شامل: ۱) بررسی اجمالی[۱۸]، ۲) مفاهیم طراحی[۱۹] و ۳) جزئیات[۲۰] و هفت عنصر (جزء

فرعی) شامل: ۱) هدف[۲۱]، ۲) متغیرهای حالت و مقیاس‌ها[۲۲]، ۳) فرآیند بررسی اجمالی و برنامه‌ریزی[۲۳]، ۴) مفاهیم طراحی (شامل ۹ زیر عنصر)، ۵) ورودی‌سازی (مقادیر اولیه)[۲۴]، ۶) ورودی[۲۵] و ۷) زیرمدل‌ها[۲۶] تشکیل شده است. در این رویه دسته اول، یعنی بررسی اجمالی، شامل سه عنصر ۱) هدف، ۲) متغیرهای حالت و مقیاس‌ها و ۳) فرآیند بررسی اجمالی و برنامه‌ریزی است که مروری بر ساختار و هدف کلی از مدل را فراهم می‌کند. با مطالعه این بخش، به سرعت می‌توان از تمرکز مدل، دقت و پیچیدگی آن ایده گرفت. پس از بررسی اجمالی، می‌توان به ساختار و بدنه برنامه‌ای که مدل فرد-محور (IBM) را در محیط یک زبان برنامه‌نویسی شئ‌گرا (OOP)[۲۷] اجرا می‌کند، اشاره کرد. این بدنه، شامل بیان تمامی اشیا (کلاس‌ها) است که موجودیت‌های مدل (انواع مختلف افراد یا محیط‌ها) و فرآیندهای برنامه‌ریزی مدل را توصیف می‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). دسته دوم، یعنی مفاهیم طراحی که به‌عنوان عنصر نیز در این رویه حضور دارد و شامل ۹ زیر عنصر است، خود مدل را توصیف نمی‌کند؛ بلکه مفاهیم کلی را که اساس و زیربنای طراحی مدل هستند، شرح می‌دهد. هدف از این دسته از رویه ODD، پیوند طراحی مدل با مفاهیم کلی شناخته‌شده در زمینه سیستم‌های انطباق‌پذیر پیچیده است. این مفاهیم شامل سؤالاتی است در مورد بروز (ظهور)، نوع تعاملات بین افراد، چه افرادی را برای پیش‌بینی‌ها در مورد شرایط آینده باید در نظر گرفت، یا اینکه چرا و چطور تصادفی بودن در نظر گرفته می‌شود. با اشاره به این چنین مفاهیمی از طراحی کلی، هر مدل فرد-محور از جمله عامل بنیان درون یک چارچوب بزرگتر از علم سیستم‌های سازگار پیچیده تلفیق و ادغام می‌شود. دسته سوم این رویه یعنی جزئیات، شامل سه عنصر ۱) ورودی‌سازی، ۲) ورودی و ۳) زیرمدل‌ها است که جزئیات نادیده گرفته‌شده در دسته بررسی اجمالی را نشان می‌دهد. در این دسته باید زیرمدل‌هایی که فرآیندهای مدل را اجرا می‌کنند، با جزئیات توضیح داده شوند. استفاده از رویه ODD، به معنای استفاده دقیق از این شناسه‌ها و به همان ترتیبی است که توسط این رویه مشخص شده است؛ یعنی ابتدا محتوا و اطلاعات کلی مدل (بررسی اجمالی)، سپس ملاحظات استراتژیک‌تر (مفاهیم طراحی) و در نهایت جزئیات فنی‌تر (جزئیات) ارائه شود (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰).

در ادامه Grimm و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی کاربردهای موجود از نسخه اولیه رویه ODD، بخش‌هایی از این رویه را که نیازمند بهبود و شفاف‌سازی بودند، شناسایی و در سال ۲۰۱۰ نسخه به‌روزسانی‌شده این رویه را ارائه کردند. در این ارزیابی تمامی مقالات انتشار یافته در پایگاه علمی Web of Science که به نسخه اولیه این رویه ارجاع داده‌اند، به لحاظ اینکه آیا فرمت این رویه که شامل استفاده دقیق از شناسه‌ها و توالی همه هفت عنصر آن (نسخه اولیه رویه ODD) است به‌طور کامل رعایت و دنبال شده است یا خیر، بررسی و ارزیابی شدند. بنابراین در این بررسی، هریک از عنصرهای رویه بر مبنای استفاده یا عدم استفاده، استفاده صحیح یا غلط و غیره از نسخه اولیه رویه ارزیابی شدند. با بررسی‌های انجام‌شده، نسخه به‌روزرسانی‌شده رویه ODD برای رفع مشکلات و ابهامات نسخه اولیه این رویه، جایگزین آن شده و نسخه قبلی منسوخ شد؛ اگرچه هدف اصلی و منطق ارائه‌شده در نسخه اولیه این رویه، کماکان معتبر است. به‌منظور روشن شدن تفاوت بین عنصرهای اشاره شده در دو نسخه این رویه، جدول (۱) ارائه و در ادامه، هریک از عنصرهای نسخه به‌روز شده این رویه (یعنی نسخه ۲۰۱۰) بر مبنای مراجع Grimm و همکاران (۲۰۰۶) و (۲۰۱۰) شرح داده شده‌اند. براساس توصیه ارائه‌دهندگان این رویه برای استفاده از رویه ODD در تحقیقات، باید به‌صورت زیر به آن ارجاع داده شود (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰): "توصیف مدل، رویه ODD (بررسی اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات) را دنبال می‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰)"[۲۸]. مزایای بارز رویه ODD عبارتند از (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰): ۱) ترویج فرمولاسیون دقیق از مدل، ۲) تسهیل بررسی و مقایسه مدل‌های عامل بنیان با یکدیگر و ۳) ترویج رویکردهای جامع‌تر به مدل‌سازی و تئوری. نسخه به‌روزرسانی‌شده این رویه، هر عنصر را به‌وسیله سوالات و توضیحاتی بررسی می‌کند که در ادامه مقاله به‌طور کامل شرح داده شده است.

۱- هدف

هدف کلی تحقیق از انجام مدل‌سازی عامل-محور چیست؟ هر مدل باید از یک سوال، مشکل یا فرضیه واضح و روشن شروع شود. بنابراین، رویه ODD با شرح مختصری از هدف یا اهداف کلی توسعه مدل شروع می‌شود. در اینجا، در ارتباط با نحوه عملکرد مدل توضیحی داده نمی‌شود و فقط کاربرد آن بیان می‌شود. براساس توصیه ارائه‌دهندگان این رویه، بهتر است نویسندگان به این عنصر در بخش مقدمه و پاراگرافی مستقل از توضیحات هدف کلی مقاله اشاره کنند (در واقع منظور این است که هدف ساخت مدل عامل بنیان، به‌صورت جداگانه از هدف کل مقاله در پاراگرافی مستقل، اما در بخش مقدمه ارائه شود)؛ زیرا خود این رویه، مستقلاً (و نه در ارتباط با کل مقاله) باید کامل و قابل‌فهم باشد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). بدون ارائه هدف مدل، نمی‌توان درک کرد که چرا برخی جنبه‌های واقعیت در مدل گنجانده و در مقابل، برخی دیگر نادیده گرفته شده‌اند. همچنین، داشتن یک فرمولاسیون شفاف، مختصر و خاص از هدف مدل، بسیار مهم است؛ زیرا این امر، به اینکه چرا در یک تحقیق نیاز به ایجاد یک مدل پیچیده وجود دارد و نویسندگان قرار است با مدل خود چه کاری را انجام دهند، کمک می‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۱- تفاوت‌های بین عنصرهای نسخه اولیه رویه ODD و نسخه به‌روز شده آن (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)

دسته Blocks	عنصرها در نسخه اولیه رویه ODD Elements of the original ODD protocol (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶)		عنصرها در نسخه به‌روز شده رویه ODD Elements of the updated ODD protocol (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)	
بررسی اجمالی (Overview)	هدف (Purpose)		هدف (Purpose)	
	متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (State variables and scales)		موجودیت‌ها، متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (Entities, state variables, and scales)	
	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)		بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)	
مفاهیم طراحی (Design concepts)	مفاهیم طراحی (Design concepts)	-	مفاهیم طراحی (Design concepts)	اصول اساسی (Basic principles)
		بروز (Emergence)		بروز (Emergence)
		پذیرش (Adaptation)		پذیرش (Adaptation)
		سازگاری (Fitness)		اهداف (Objectives)
		-		یادگیری (Learning)
		پیش‌بینی (Prediction)		پیش‌بینی (Prediction)
		حس کردن یا سنجیدن (Sensing)		حس کردن یا سنجیدن (Sensing)
		تعامل (Interaction)		تعامل (Interaction)
		تصادفی بودن (Stochasticity)		تصادفی بودن (Stochasticity)
		گروهی از موجودیت‌ها (Collectives)		گروهی از موجودیت‌ها (Collectives)
		مشاهده (Observation)		مشاهده (Observation)
جزئیات (Details)	ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)		ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)	
	ورودی (Input)		داده‌های ورودی (Input data)	
	زیرمدل‌ها (Submodels)		زیرمدل‌ها (Submodels)	

۲- موجودیت‌ها، متغیرهای حالت و مقیاس‌ها

چه نوع موجودیت‌هایی در مدل وجود دارند؟ این موجودیت‌ها، به‌وسیله چه متغیرهای حالت یا خصوصیاتی توصیف می‌شوند؟ دقت و گستره زمانی و مکانی مدل چیست؟ یک موجودیت، یک شیء یا بازیگر متمایز یا مجزا است که به‌عنوان یک واحد رفتار می‌کند و ممکن است با دیگر موجودیت‌ها در تعامل باشد یا تحت تأثیر عوامل محیطی بیرونی قرار بگیرد. وضعیت فعلی یک موجودیت، توسط متغیرهای حالت یا خصوصیات آن مشخص می‌شود. یک متغیر حالت یا خصوصیت، متغیری است که یک موجودیت را از سایر موجودیت‌های همان نوع یا دسته متمایز می‌کند و یا چگونگی تغییر آن با گذشت زمان را ردیابی می‌کند. علاوه‌بر این، توضیح این عنصر باید روشن کند که متغیرهای حالت می‌توانند شامل چه ویژگی‌های رفتاری و پارامترهایی از مدل باشند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). متغیرهای حالت می‌توانند در طول زمان تغییر کنند (وزن) و یا ثابت باقی بمانند (جنس). متغیرهای حالت باید در سطوح پایین یا ابتدایی تعریف شوند، به این معنا که آن‌ها را نتوان توسط متغیرهای حالت دیگر محاسبه کرد؛ زیرا آن‌ها مشخصات ابتدایی موجودیت‌های مدل هستند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). موضوع مهم این است که نباید متغیرهای سطوح پایین را با متغیرهای کمکی یا تجمعی اشتباه گرفت. متغیرهای کمکی اطلاعاتی هستند که از موجودیت‌ها در سطوح پایین و از طریق متغیرهای حالت آن‌ها، استنباط و تجمیع می‌شود. انواع موجودیت‌های مدل عامل بنیان عبارتند از (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰):

- **عامل‌ها یا افراد:** یک مدل می‌تواند انواع مختلفی از عامل‌ها را داشته باشد، مانند ارگانیسم‌ها، انسان‌ها یا نهادها. در یک نوع مشخص می‌تواند زیر گروه‌هایی نیز وجود داشته باشد؛ برای نمونه انواع گیاهان و یا مراحل مختلف زندگی حیوانات.
- **واحدهای مکانی (مانند سلول‌های شبکه):** نمونه‌ای از متغیرهای حالت شامل موارد زیر است: مکان (موقعیت)، لیستی از عامل‌های موجود در سلول و توصیف‌کننده‌های شرایط محیطی که توسط سلول نمایش داده می‌شوند. در نقش‌ها امکان وجود هم‌پوشانی نیز، وجود دارد؛ برای نمونه یک سلول از شبکه ممکن است موجودیتی با ویژگی‌های خود باشد (مثل رطوبت خاک) و در عین حال، به‌عنوان یک مکان، ویژگی و یا ارگانیسم شناخته شود.

- **گروهی از موجودیت‌ها**[۲۹]: گروه‌هایی از عامل‌ها هستند که می‌توانند رفتارهای خاص خود را داشته باشند، به‌طوری‌که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان موجودیت‌ها تفکیک کرد (مانند خانوارها). معمولاً یک گروه به‌وسیله لیستی از عامل‌های خود و اقدامات خاصی که تنها توسط آن‌ها انجام می‌شود، توصیف می‌شود و توسط موجودیت‌های سازنده آن‌ها توصیف نمی‌شود.

- **محیط:** درحالی‌که واحدهای مکانی اغلب نشان‌دهنده شرایط محیطی‌ای هستند که در طول مکان تغییر می‌کند، این موجودیت به محیط کلی یا محرک‌هایی اشاره دارد که باعث بروز رفتار و پویایی در همه عامل‌ها یا سلول‌های شبکه است. نمونه‌هایی از متغیرهای محیطی عبارتند از: دما، بارندگی، قیمت و تقاضای بازار و غیره.

طول گام و افق زمانی، اندازه سلول‌ها و گستره دنیای مدل و دلیل انتخاب این مقیاس‌ها، باید به‌طور خلاصه بیان شود؛ زیرا انتخاب مقیاس، تصمیمی اساسی است که تعیین‌کننده طراحی کل مدل است. به‌عنوان نمونه یک گام زمانی، می‌تواند یک سال را نشان دهد و شبیه‌سازی‌ها برای ۱۰۰ سال اجرا شود و یک سلول شبکه می‌تواند، یک هکتار را نشان دهد و چشم‌انداز محیطی مدل شامل ۱۰۰۰ × ۱۰۰۰ هکتار (۱۰ هزار کیلومتر مربع) باشد (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰).

۳- فرآیند مرور اجمالی و برنامه‌ریزی

چه کسی (موجودیتی)، چه کاری را و به چه ترتیبی انجام می‌دهد؟ چه زمانی متغیرهای حالت به‌روز می‌شوند؟ زمان در مدل به چه نحوی مدل‌سازی شده است، به‌صورت زمان گسسته یا به‌عنوان زنجیره‌ای پیوسته که در طول آن هر دو فرآیند پیوسته و گسسته می‌تواند اتفاق بیفتد؟ بهتر است از یک شبه کد[۳۰] (توضیحی از قاعده عملکرد یک برنامه کامپیوتری یا الگوریتمی بدون به‌کار بردن یک زبان برنامه‌نویسی خاص) برای توصیف برنامه‌ریزی با تمام جزئیات استفاده شود تا بتوان به کمک آن، دوباره مدل را اجرا کرد. "(مدل) چه می‌کند؟" این اولین سوالی است که به فرآیندهای مدل اشاره دارد. در این عنصر از ODD فقط باید نام‌های خود-توضیح‌دهنده[۳۱] از فرآیندهای مدل لیست شوند. این اسامی عناوینی از زیرمدل‌هایی هستند که در آخرین عنصر از ODD، یعنی عنصر زیرمدل‌ها شرح داده می‌شوند. فرآیندها هم توسط یکی از موجودیت‌های مدل (مثل حرکت) و هم به‌وسیله یک کنترل‌گر در سطوح بالاتر که وظایفی مانند به‌روزرسانی برنامه‌ها یا نوشتن خروجی برروی فایل‌ها را به عهده دارند (بستر نرم‌افزاری ABM مانند Swarm و NetLogo)، انجام می‌شوند. سوال "به چه ترتیبی؟" هم به‌ترتیب اجرای فرآیندهای مختلف و هم به‌ترتیب انجام یک فرآیند توسط مجموعه‌ای از عوامل، اشاره می‌کند. سؤال "چه زمانی متغیرها به‌روزرسانی می‌شوند؟"، به این مفهوم است که آیا یک متغیر حالت بلافاصله بعد از اینکه مقدار آن توسط یک فرآیند محاسبه شد، مقدار جدیدی به آن اختصاص داده می‌شود (به‌روزرسانی غیرهم‌زمان)، یا اینکه آیا مقادیر جدید ذخیره می‌شوند تا زمانی‌که همه عامل‌ها این فرآیند را انجام دهند و سپس همه به یکباره به‌روز می‌شوند (به‌روزرسانی هم‌زمان). در تعریف برنامه‌ریزی مدل، نیاز به مشخص کردن نوع مدل‌سازی زمان در صورتی‌که در عنصرهای موجودیت‌ها، متغیرها و مقیاس‌ها مشخص نباشد، وجود دارد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

۴- مفاهیم طراحی

• اصول اساسی[۳۲]

کدام مفاهیم عمومی، نظریه‌ها (تئوری‌ها)، فرضیه‌ها یا رویکردهای مدل‌سازی، پایه و اساس طراحی مدل را تشکیل می‌دهند؟ باید در مورد رابطه بین این اصول اساسی، پیچیدگی گسترش‌یافته در این مدل و هدف از مطالعه توضیح داده شود. آن‌ها چگونه لحاظ می‌شوند؟ آیا در سطح زیرمدل‌ها به‌کار گرفته می‌شوند یا دامنه آن‌ها، سطح (کل) سیستم است؟ آیا این مدل دیدگاه‌هایی درباره اصول اساسی خود آن‌ها، یعنی دامنه، کاربرد و فایده آن‌ها در سناریوهای دنیای واقعی، اعتبارسنجی و یا اصلاح آن‌ها را ارائه می‌دهد؟ آیا این مدل از تئوری جدید یا تئوری‌ای که قبلاً توسعه‌یافته برای خصوصیات عامل‌ها که پویایی سیستم[۳۳] از آن بروز می‌کند، استفاده می‌کند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• بروز (ظهور)[۳۴]

کدام پدیده در سطح سیستم واقعاً از صفات یا رفتارهای تطبیق‌پذیر افراد بروز می‌کند و کدام‌یک تنها به مدل تحمیل می‌شود؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). به‌عبارت دیگر، هنگامی که ویژگی‌ها و مشخصات خاصی از افراد یا محیط آن‌ها تغییر می‌کند، چه نتایجی از مدل در روش‌های پیچیده و شاید غیرقابل پیش‌بینی، انتظار می‌رود تفاوت داشته باشند؟ آیا نتایج دیگری وجود دارد که به‌شدت تحت تأثیر قوانین مدل باشد و کمتر به اقدامات افراد وابسته باشد و به این ترتیب به‌جای نتایج بروز یافته (نوظهور)، نتایج ناشی از ساختار از پیش ساخته‌شده برای آن باشند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• پذیرش[۳۵]

افراد در مدل چه خصوصیات تطبیق‌پذیری دارند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، می‌تواند سازگاری[۳۶] بالقوه آن‌ها را در پاسخ به تغییرات در خود آن‌ها یا محیط آن‌ها بهبود بخشند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). چه قوانینی برای تصمیم‌گیری یا تغییر رفتار آن‌ها در پاسخ به تغییرات در خود آن‌ها یا محیط آن‌ها وجود دارد؟ آیا این صفات به‌طور صریح (مستقیم) به‌دنبال افزایش برخی از معیارهای موفقیت فردی، باتوجه‌به اهدافشان هستند؟ یا در عوض، آیا این صفات صرفاً باعث می‌شوند که افراد رفتارهای مشاهده‌شده‌ای را تکرار (بازتولید) کنند که به‌طور ضمنی (غیر مستقیم) فرض می‌شود موفقیت یا سازگاری را منتقل می‌کنند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• اهداف[37]

اگر صفات تطبیقی به‌طور صریح منجر به افزایش برخی از معیارهای موفقیت افراد در رسیدن به بعضی از اهداف شوند، این اهداف به‌درستی چه هستند و چگونه اندازه‌گیری می‌شوند؟ افراد چه زمانی به‌وسیله گزینه‌های رتبه‌بندی‌شده تصمیم‌گیری می‌کنند و از چه معیارهایی برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند؟ برخی از مترادف‌ها برای اهداف عبارتند از: ۱) سازگاری و ۲) مطلوبیت[38] (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• یادگیری[39]

بسیاری از افراد یا عامل‌ها (نه تنها افراد، بلکه سازمان‌ها و غیره) به‌دلیل تجربیات خود، صفات تطبیقی خود را با گذشت زمان تغییر می‌دهند. اگر چنین است، باید نحوه و چگونگی آن توضیح داده شود؟ (آیا فرآیند یادگیری در مدل‌سازی وجود دارد؟) (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• پیش‌بینی[40]

پیش‌بینی، برای تصمیم‌گیری موفق اساسی و واجب است. اگر صفات تطبیقی یا فرآیندهای یادگیری عامل‌ها مبتنی بر تخمین عواقب آینده ناشی از تصمیمات آنها باشند، عامل‌ها چگونه شرایطی را که در آینده تجربه خواهند کرد (چه محیط و چه خود عامل‌ها) را پیش‌بینی می‌کنند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). بهتر است اشاره شود که عامل‌ها از چه مدل‌های داخلی برای تخمین شرایط آینده یا عواقب ناشی از تصمیمات خود استفاده می‌کنند؟ به چه پیش‌بینی‌های ضمنی یا پنهانی در فرضیات این مدل داخلی اشاره شده است؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• حس کردن (سنجیدن)[41]

چه متغیرهای حالت داخلی و محیطی فرض شده تا افراد در تصمیمات خود احساس کنند و در نظر بگیرند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). چه متغیرهای حالتی را از دیگر افراد و موجودیت‌ها می‌توانند درک کنند؟ احساس کردن اغلب به‌صورت محلی فرض می‌شود، اما می‌تواند از طریق شبکه‌ها اتفاق بیفتد یا حتی می توان فرض کرد در سطح جهانی است. اگر عامل‌ها یکدیگر را از طریق شبکه‌های اجتماعی[42] احساس کنند، ساختار شبکه تحمیل شده یا بروز یافته است؟ آیا مکانیسم‌هایی وجود دارد که به‌وسیله آن، عامل‌ها اطلاعاتی که به‌صورت صریح مدل‌سازی می‌شوند را به‌دست آورند، یا فرض بر این است که افراد به سادگی از این متغیرها اطلاع دارند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• تعامل[43]

چه نوع تعاملاتی بین عامل‌ها یا افراد فرض می‌شود؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). آیا تعاملات مستقیمی وجود دارد که در آن افراد با دیگران مواجه شوند و آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند یا تعاملات غیرمستقیم است؟ اگر تعاملات شامل ارتباطات باشند، چگونه چنین ارتباطاتی نمایش داده می‌شوند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• تصادفی‌بودن[44]

آیا تصادفی‌بودن، بخشی از مدل است؟ دلایل آن‌ها چیست؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). چه فرآیندهایی با فرض اینکه تصادفی یا تا حدی تصادفی هستند، مدل می‌شوند؟ آیا از تصادفی‌بودن به‌عنوان نمونه برای باز تولید تغییرپذیری در فرآیندهایی که برای مدل‌سازی دلایل واقعی تغییرپذیری مهم نیستند، استفاده می‌شود؟ آیا آن برای ایجاد وقایع مدل یا رفتارهایی که با فرکانس مشخص اتفاق می‌افتند، استفاده می‌شود؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• گروهی از موجودیت‌ها (تجمع-اجتماع)

آیا افراد اجتماعاتی را تشکیل می‌دهند یا متعلق به تجمعاتی هستند که بر دیگر افراد تأثیرگذار باشند و یا تحت تأثیر آن‌ها قرار گیرند؟ چنین تجمعاتی می‌توانند یک سطح واسطه مهم از سازمان در یک مدل عامل بنیان باشند. چگونه اجتماعات نمایش داده می‌شوند؟ آیا یک اجتماع خاص یک مشخصه بروز یافته از افراد است که در نتیجه رفتارهای فردی گرد آمده‌اند، یا اجتماعی است که صرفاً توسط مدل‌ساز تعریف شده است؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• مشاهده[45]

چه داده‌هایی از مدل عامل بنیان برای آزمودن، درک و تجزیه و تحلیل آن جمع‌آوری می‌شود و چگونه و چه زمانی جمع‌آوری می‌شوند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). آیا همه داده‌های خروجی، آزادانه استفاده می‌شوند یا فقط از داده‌های خاصی برای الگوبرداری از آنچه می‌توان در یک مطالعه تجربی مشاهده کرد، نمونه‌برداری شده و استفاده می‌شود؟ عنصر "مفاهیم طراحی" در رویه ODD اگرچه به مشخصات قطعی مدل عامل بنیان منجر می‌شود، نیاز به تکرار مدل ندارد. همچنین مفاهیم طراحی برای تفسیر خروجی‌های مدل بسیار حیاتی هستند؛ زیرا خروجی‌ها را نمی‌توان صرفاً با روش‌های قدیمی مانند معادلات و نمودارها تفسیر کرد. بنابراین، این مفاهیم در رویه ODD قرار داده شده که به‌صورت چک لیستی به اطمینان از تصمیمات طراحی کمک کند و خوانندگان را از این تصمیمات آگاه سازد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

۵- ورودی‌سازی (مقادیر اولیه)

وضعیت اولیه دنیای مدل، یعنی در زمان t=0 از اجرای شبیه‌سازی چگونه است؟ چگونه محیط و افراد ایجاد شده در شروع شبیه‌سازی، اجرا می‌شوند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)، یعنی با ذکر جزئیات اشاره شود، چند موجودیت و از چه نوعی، در ابتدای شبیه‌سازی وجود دارند و مقادیر دقیق متغیرهای حالت آن‌ها چه هستند؟ آیا مقادیر اولیه همواره یکسان هستند یا مجاز است که در طول شبیه‌سازی‌ها متفاوت باشند (تغییر کنند)؟ آیا مقادیر اولیه به‌طور اختیاری انتخاب می‌شوند یا براساس داده‌ها هستند؟ اطلاعات مربوط به داده‌ها باید ارائه شود (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰).

۶- داده‌های ورودی

آیا این مدل از منابع خارجی به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند (به‌عنوان نمونه فایل‌های داده یا مدل‌های دیگر برای نشان دادن فرآیندهایی که تحت تأثیر گذشت زمان تغییر می‌کنند)؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). در مدل‌های سیستم‌های واقعی، پویایی اغلب از یک سری زمانی از متغیرهای محیطی که در فضا و زمان تغییر می‌کنند و گاهی محرک‌های (فشارهای) خارجی نامیده می‌شوند، نشات گرفته می‌شود. به‌عنوان نمونه، بارندگی سالانه ممکن است با گذشت زمان (فصول یا سال‌ها) و تغییر در مکان (الگوهای مکانی مختلف بارندگی در مناطق مختلف) تغییر کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). نشات گرفتن (ایجاد محرک) به‌این‌معنی است که یک یا چند متغیر حالت یا فرآیندها، تحت تأثیر چگونگی تغییر این متغیرهای محیطی با گذشت زمان قرار می‌گیرند، اما این متغیرهای محیطی خود تحت تأثیر متغیرهای داخلی مدل نیستند. از طرف دیگر از مدل‌های خارجی می‌توان برای تولید ورودی (به‌عنوان نمونه یک سری زمانی) استفاده کرد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). خوانندگان باید بدانند از چه داده‌های ورودی استفاده می‌شود، چگونه این داده‌ها تولید می‌شوند و چگونه می‌توان آن‌ها را به‌دست‌آورد (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). اگر مدلی نیز از داده‌های خارجی استفاده نمی‌کند، با این حال در مقاله باید به عدم استفاده از آن اشاره شود. باید توجه داشت داده ورودی به مقادیر پارامتر یا مقادیر اولیه متغیرهای حالت اشاره نمی‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)؛ بلکه این شرایط محیطی به‌عنوان ورودی مدل، پویایی تحمیل‌شده‌ای از متغیرهای حالت خاص به مدل هستند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶).

۷- زیرمدل‌ها

تمام زیرمدل‌هایی که فرایندهای ذکر شده در عنصر فرآیند بررسی اجمالی و برنامه‌ریزی را نشان می‌دهند، باید با ذکر جزئیات و به تفصیل بیان شود که چه مواردی را شامل می‌شوند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). پارامترهای مدل، ابعاد و مقادیر مرجع آن‌ها چیست؟ چگونه زیرمدل‌ها طراحی یا انتخاب شده‌اند و چگونه پارامتری می‌شوند و سپس مورد آزمایش قرار می‌گیرند؟ زیرمدل‌ها باید با ذکر جزئیات و به‌طور کامل ارائه شوند. توضیحات عملی زیرمدل‌ها، یعنی معادله‌ها و الگوریتم‌ها، در ابتدا باید ذکر شوند و به‌صورت کاملاً آشکار، از اطلاعات اضافی جدا شوند. اینکه زیرمدل از چه مدل قبلی گرفته شده یا اینکه آیا زیرمدل جدیدی فرمول‌بندی و ارائه شده و دلیل انتخاب آن چه بوده است، می‌تواند توضیح داده شود. اگر پارامتری کردن در خارج از توضیحات ODD بحث نشده باشد، می‌تواند در اینجا گنجانده و ارائه شود. تعاریف پارامترها، واحدها و مقادیر مورد استفاده (در صورت لزوم) باید در جداولی ارائه شود (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

رویه ODD+D (ODD+Decision)

باتوجه‌به نقش اساسی تصمیمات انسانی در مدل‌سازی عامل بنیان، Müller و همکاران (2013) نسخه جدیدی از رویه ODD تحت عنوان ODD+D (ODD+Decision) را خاص مدل‌سازی‌های عامل‌بنیان توسعه داده و ارائه کردند تا تصمیم‌گیری انسانی را نیز دربرگیرد. هدف نسخه جدید این رویه، توسعه و اصلاح رویه ODD به‌منظور ایجاد استانداردی برای توصیف مدل‌های عامل بنیان بود؛ به‌نحوی‌که توصیف شفاف و جامعی را از مدل‌های عامل بنیان به روشی استاندارد، با تأکید بر تصمیمات انسانی فراهم کرده و مبانی تجربی و نظری برای انتخاب مدل تصمیم‌گیری را درون مدل لحاظ کند. ایده اصلی از ارائه رویه ODD+D، حفظ ساختار اصلی رویه ODD (که به همین علت در بخش دوم مقاله، به شرح کامل دسته‌ها و عنصرهای رویه ODD پرداخته شد) و تقویت ساختار آن به‌عنوان یک استاندارد است. تغییرات انجام‌شده در رویه ODD+D، عمدتاً در دسته (جزء اصلی) مفاهیم طراحی بوده که در ادامه مقاله به شرح آن پرداخته می‌شود. علاوه‌بر این، بخشی نیز به‌عنوان "پیش‌زمینه نظری و تجربی" به این رویه اضافه شده است تا طراحی‌ها و فرضیات مدل را به‌گونه‌ای ترغیب کند که ارتباط نزدیک‌تر و بیشتری با تئوری داشته باشند. علاوه‌براین در این رویه، مفاهیم طراحی و سؤالات راهنمای مرتبط با عنصرها مورد بازبینی قرار گرفته، گسترش یافته و بازتنظیم شده است تا تصمیم‌گیری، سازگاری و یادگیری عامل‌ها را به شکلی جامع و ساختاری واضح، متمایز و توصیف کند (Müller و همکاران، 2013). براساس Müller و همکاران (۲۰۱۳)، رویه ODD توصیف مناسبی از نحوه و چگونگی مدل‌سازی تصمیم‌گیری انسانی را ارائه نمی‌دهد، زیرا در آن: -1 به جنبه‌های اصلی مدل‌سازی تصمیم‌گیری انسانی، از جمله الگوریتم‌های تصمیم‌گیری، شکل‌گیری انتظار، خصوصیات زمانی تصمیم‌گیری و غیره، صراحتاً پرداخته نشده است؛ -2 تأکید کافی بر مبانی نظری و تجربی برای زیرمدل‌های تصمیم‌گیری انتخاب‌شده، وجود ندارد؛ و -3 بخش مفاهیم طراحی، ساختار مناسبی برای توصیف تصمیم‌گیری انسانی ارائه نمی‌دهد.

همانطورکه پیش از این اشاره شد، این رویه به‌منظور در نظر گرفتن تصمیمات انسانی در مدل‌های پیچیده عامل بنیان طراحی و توسعه داده شده است. هرچند برای عامل‌های غیرانسانی، بدون هیچ‌گونه محدودیتی برای توصیف اقدامات شبیه‌سازی‌شده آن‌ها قابل‌استفاده است. علاوه‌براین در این رویه مفاهیمی که ابهام دارند، براساس تعریف Müller و همکاران (۲۰۱۳) به شرح زیر ارائه شده است:

- **عامل:** یک عامل، به‌عنوان داده‌ها و روش‌های رفتاری دسته‌بندی شده‌ای که نشان‌دهنده موجودیتی است که بخشی از یک دنیای محاسباتی را تشکیل می‌دهد، تعریف می‌شود.
- **تصمیم‌گیری:** اشاره به روش‌هایی دارد که عامل‌ها از آن‌ها استفاده می‌کنند تا درباره رفتارهایشان تصمیم‌گیری کنند.

- **سازگاری و یادگیری:** سازگاری، قوانین تصمیم‌گیری عامل‌ها است و جایی رخ می‌دهد که اطلاعات توسط قوانین برای تولید تغییرات در تصمیم، استفاده می‌شوند و یادگیری، جایی اتفاق می‌افتد که قوانین خودشان با گذشت زمان، تغییر می‌کنند.

- **موجودیت‌ها و متغیرهای حالت:** یک موجودیت، یک شیء یا بازیگر مجزا یا متمایز است که به‌عنوان یک واحد رفتار می‌کند و می‌تواند با موجودیت‌های دیگر در تعامل باشد یا تحت تأثیر عوامل بیرونی (محرک‌ها) قرار گیرد. وضعیت فعلی یک عامل، با متغیرهای حالت آن مشخص می‌شود. یک متغیر حالت، متغیری است که یک موجودیت را از دیگر موجودیت‌ها متمایز می‌کند یا سیر تحول آن موجودیت را در طول زمان، بررسی و دنبال می‌کند. بنابر تعریف بالا، عامل یک نوع خاصی از موجودیت است. همچنین متغیرهای حالت، حداقل مجموعه‌ای از متغیرها هستند که سیستم را به‌درستی توصیف می‌کنند و پویا هستند؛ درحالی‌که پارامترها ایستا هستند اما می‌توانند بین شبیه‌سازی‌ها، سناریوها یا عامل‌ها متفاوت باشند.

- **عوامل درونی و بیرونی:** Müller و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند، توصیف شفافی برای درک متغیرهای حالت داخلی و محیطی در رویه ODD وجود ندارد؛ زیرا متغیرهای محیطی خود می‌توانند متغیرهای داخلی نیز باشند، به‌عنوان‌نمونه می‌توان به بارندگی که وابسته به تبخیر و تعرق محاسبه‌شده در مدل است، اشاره کرد. از این‌رو در رویه ODD+D، از اصطلاح عوامل درونی و بیرونی استفاده شده است. بنابر تعریف Müller و همکاران (۲۰۱۳) متغیرهایی که می‌توانند تحت تأثیر سایر متغیرهای مدل قرار گیرند، به‌عنوان عوامل درونی و متغیرهایی که نمی‌توانند تحت تأثیر متغیرهای دیگر قرار گیرند، به‌عنوان عوامل بیرونی شناخته می‌شوند. توسعه‌دهندگان این رویه تأکید دارند، برای استفاده کاربردی‌تر از رویه ODD، عوامل بیرونی (محرک‌ها) باید در لیستی جداگانه ارائه شوند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، تغییرات انجام‌شده در رویه ODD، بیشتر در دسته (جزء اصلی) مفاهیم طراحی بوده و ساختار این رویه به شرح ذیل تغییر کرده تا رویه ODD+D ایجاد شود (Müller و همکاران، ۲۰۱۳):

۱- در دسته مفاهیم طراحی، عنصر "اصول اساسی" به " پیش‌زمینه نظری و تجربی" تغییر نام داده شده و به‌منظور تأکید بر اهمیت اطلاعات مربوط به منابع فرضیات و داده‌های استفاده شده در یک مدل، گسترش یافته است. هدف از این بخش توصیف مفاهیم کلی، تئوری‌ها یا فرضیه‌هایی است که پایه و اساس طراحی مدل را تشکیل می‌دهند. همچنین در اینجا، درباره رویکرد مدل‌سازی سوالی مطرح نمی‌شود، زیرا این رویه خاص مدل‌سازی‌های عامل‌بنیان است؛ ۲- در این دسته، عنصر "اهداف" درون عنصر جدیدی که تحت عنوان "تصمیم‌گیری‌فردی" تعریف‌شده، ادغام‌شده‌است که‌پیشینه‌مفهومی مدل تصمیم‌گیری را به‌صورت خلاصه بیان می‌کند و به مفاهیمی که فراتر از آن قرار دارد، می‌پردازد؛ ۳- عنصر "سازگاری" به‌عنوان عنصری جداگانه، از دسته مفاهیم طراحی حذف و به‌عنوان جزئی از "تصمیم‌گیری فردی[۴۶]" در نظر گرفته شده است؛ ۴- عنصرهای "حس کردن (سنجیدن)" و "پیش‌بینی" گسترش‌یافته‌اندو ترتیب آن‌هامعکوس شده تا ویژگی‌ها و جدول زمانی تصمیم‌گیری انسان را منعکس کند؛ ۵- به دلیل مشابه، عنصر "تعامل" نیز توسعه یافته است؛ ۶- عنصر جدید دیگری در این دسته، تحت عنوان "ناهمگونی[۴۷]" معرفی شده؛ زیرا این یک ویژگی بسیار مهم در مدل‌های عامل بنیان است که اغلب، این مدل‌ها را از دیگر مدل‌ها متمایز می‌کند. بنابراین می‌تواند شناخت اساسی و مهمی در رابطه با ویژگی‌های آن‌ها فراهم کند. عامل‌ها می‌توانند در پارامترها و یا تصمیم‌گیری‌ها از نظر مدل‌ها یا اهداف متفاوت تصمیم‌گیری، ناهمگون باشند؛ ۷- باوجوداینکه اهمیت عنصر "ظهور" در مدل‌سازی عامل بنیان غیرقابل انکار است، این عنصر درون عنصر "مشاهده" ادغام شده است تا ریسک این موضوع که کاربران این رویه، عنصر ظهور را با خصوصیات ایجاد شده به‌جای یک نتیجه از فعل و انفعالات موجودیت‌های مدل اشتباه بگیرند، کاهش یابد. با این کار، فرمت‌های تصادفی که در مدل قرار می‌گیرند و الگوهایی را که در نتایج مدل ظاهر می‌شوند، می‌توان به‌روشنی تشخیص داد؛ و ۸- سرانجام، عنصر "جزئیات اجرایی (پیاده‌سازی)[۴۸]" در دسته جزئیات قرار گرفته است؛ زیرا این اطلاعات قابلیت مقایسه و امکان باز تولید مدل را بهبود می‌بخشد. این بخش شامل بیان زبان برنامه‌نویسی یا بستر مدل‌سازی است که در آن مدل اجرا (پیاده‌سازی) شده است. در جدول (۲) تفاوت‌های بین عنصرهای رویه ODD (نسخه به‌روز رسانی شده) و رویه ODD+D با استخراج از مراجع Grimm و همکاران (۲۰۱۰) و Müller و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده است.

لازم به توضیح است، هرچند حجم بالای سوالات راهنما در این دو رویه، خارج از حوصله بحث اصلی این مقاله است؛ اما اشاره به آن‌ها می‌تواند کمک شایانی در فهم مطالب ارائه‌شده، نحوه کاربرد و استفاده مفید از این رویه‌ها باشد. از این‌رو در پیوست A این مقاله، سوالات راهنمای مربوط به رویه ODD براساس مراجع (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷) گردآوری و ارائه شده است. همچنین Müller و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور ایجاد یک الگوی (فرمت) راهنما برای استفاده از رویه ODD+D در تحقیقات عامل بنیان، لیست کاملی از سوالاتی که برای استفاده از رویه ODD+D مورد نیاز است و همچنین نمونه‌هایی از پاسخ به این سوالات را ارائه کرده‌اند که این سوالات نیز در پیوست B این مقاله ارائه شده است. مطالعه این پیوست‌ها، دید مناسبی را از تغییرات بین رویه به‌روز شده ODD و رویه ODD+D ارائه می‌دهد. همچنین برای درک بهتر از کاربرد این رویه در تحقیقات گذشته در حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت آب شهری، مثالی در پیوست C این مقاله ارائه و نحوه کاربرد آن نیز، نقد و بررسی شده است. علاوه‌براین، به تعدادی از مقالاتی که در این حوزه از رویه ODD یا ODD+D بهره گرفته‌اند، اشاره شده است.

جدول ۲- تفاوت‌های بین عنصرهای نسخه به‌روز شده رویه ODD و رویه ODD+D

دسته Blocks	عنصرها در نسخه به‌روز شده رویه ODD Elements of the updated ODD protocol (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)		عنصرها در نسخه رویه ODD+D Elements of the ODD+D protocol (Müller و همکاران، ۲۰۱۳)	
بررسی اجمالی (Overview)	هدف (Purpose)		هدف (Purpose)	
	موجودیت‌ها، متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (Entities, state variables, and scales)		متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (State variables and scales)	
	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)		بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)	
مفاهیم طراحی (Design concepts)	مفاهیم طراحی (Design concepts)	اصول اساسی (Basic principles)	مفاهیم طراحی (Design concepts)	پیش‌زمینه نظری و تجربی (Theoretical and Empirical Background)
		بروز (Emergence)		تصمیم‌گیری فردی (Individual Decision-Making)
		پذیرش (Adaptation)		یادگیری (Learning)
		اهداف (Objectives)		حس کردن یا سنجش فردی (Individual Sensing)
		یادگیری (Learning)		پیش‌بینی فردی (Individual Prediction)
		پیش‌بینی (Prediction)		تعامل (Interaction)
		حس کردن یا سنجیدن (Sensing)		گروهی از موجودیت‌ها (Collectives)
		تعامل (Interaction)		ناهمگونی (Heterogeneity)
		تصادفی بودن (Stochasticity)		تصادفی بودن (Stochasticity)
		گروهی از موجودیت‌ها (Collectives)		مشاهده (Observation)
		مشاهده (Observation)		-
جزئیات (Details)	-		جزئیات اجرایی یا پیاده‌سازی (Implementation Details)	
	ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)		ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)	
	داده‌های ورودی (Input data)		داده‌های ورودی (Input data)	
	زیرمدل‌ها (Submodels)		زیرمدل‌ها (Submodels)	

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

امروزه رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، در حوزه‌های مختلفی از علوم از جمله اکولوژی، ارزیابی محیط‌زیستی، علوم اجتماعی، رباتیک و بازی‌های کامپیوتری، به‌کار گرفته می‌شود و در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشم‌گیری در زمینه کاربرد این رویکرد مدل‌سازی در حوزه مدیریت منابع آب و به‌ویژه مدیریت آب شهری صورت گرفته و پیرو آن زمینه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای شکل گرفته‌اند. بنابراین باتوجه‌به استفاده گسترده از مدل‌سازی عامل بنیان به‌منظور بررسی سیستم‌های پیچیده دربرگیرنده موجودیت‌های مستقل، استفاده از یک استاندارد مدل‌سازی برای مطالعه دقیق و امکان بازتولید این مدل‌ها بسیار لازم و ضروری است (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹d). از این‌رو باتوجه‌به اهمیت موضوع، تلاش‌های متعددی در زمینه ایجاد یک چارچوب، طرح طبقه‌بندی‌شده و یا رویه استانداردی برای ارائه و توصیف مدل‌های عامل بنیان انجام شده است. اما در این بین از رویه ODD در جامعه علمی به خوبی استقبال شده است. این رویه برای اولین‌بار در سال ۲۰۰۶، برای توصیف مدل‌های فردمحور از جمله مدل‌های عامل بنیان ارائه شد. سپس در سال ۲۰۱۰ با بررسی کاربرد این رویه در مقالات علمی، نسخه اولیه رویه ODD بازبینی شد و با حل مشکلات و ابهامات آن، نسخه به‌روزرسانی‌شده آن ارائه و جایگزین نسخه قبلی شد و به این ترتیب، نسخه اولیه منسوخ شد. علاوه‌براین، با توجه به نقش اساسی تصمیمات انسانی در مدل‌سازی عامل بنیان، نسخه جدیدی از این رویه تحت عنوان ODD+D در سال ۲۰۱۳، با حفظ ساختار اصلی رویه ODD و با هدف ایجاد استانداردی برای توصیف و لحاظ تصمیم‌گیری انسانی در مدل‌سازی‌های عامل بنیان توسعه داده شد؛ به‌نحوی‌که توصیف شفاف و جامعی را از مدل‌های عامل بنیان به روشی استاندارد، با تأکید بر تصمیمات انسانی فراهم کرده و مبانی تجربی و نظری برای انتخاب مدل تصمیم‌گیری را درون مدل لحاظ کند.

با بررسی انجام شده پیرامون این تحقیق، می‌توان دریافت باوجوداینکه از ارائه نسخه اولیه این رویه بیش از یک دهه و از نسخه به‌روزرسانی‌شده آن در حدود یک دهه می‌گذرد، هنوز در تحقیقات داخلی، برخلاف تحقیقات بین‌المللی، ردپای ملموسی از استفاده از رویه ODD یا ODD+D به چشم نمی‌خورد. از طرفی این رویه، ساختاری به مقالات و تحقیقات علمی می‌بخشد که با استفاده از آن، می‌توان به درک عمیق‌تری از مدل توسعه‌یافته دست

یافت و علاوه‌برآن، امکان بازتولید و توسعه مدل را نیز تسهیل نمود. بنابراین خلاء ارائه تحقیق یا تحقیقاتی در زمینه رویه ODD و نحوه استفاده از آن، که علاوه‌بر تشویق نویسندگان به استفاده از این رویه در ساختار تحقیقات خود، نحوه استفاده دقیق و صحیح از آن را نیز به‌طور شفاف برای محققین در زمینه مدل‌سازی عامل بنیان بیان کند، به شدت احساس می‌شود (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹d). ازاین‌رو، باتوجه‌به اهمیت استفاده از رویه ODD یا ODD+D در مقالات کنفرانسی، ژورنالی و به‌طور کلی تحقیقات دانشگاهی که از رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان در فرآیند تحقیق خود استفاده می‌کنند، این مقاله برروی بررسی دقیق این رویه در نسخه‌های مختلف آن و روند و سیر تحول آن در سال‌های اخیر متمرکز شد. همچنین در این مقاله سعی شده است، با ایجاد یک ساختار تحقیقاتی مناسب و به کمک شرح مفصلی از این رویه همراه با ارائه پیوست‌های متعدد به‌منظور درک نحوه کاربرد آن، بتوان شناخت صحیحی را از این رویه و کاربرد دقیق آن ارائه کرد. در نهایت، به‌عنوان جمع‌بندی از مطالب ارائه شده در این مقاله، می‌توان اظهار داشت، بهره‌گیری از رویه ODD یا ODD+D، می‌تواند کمک شایانی به جامعه علمی و پیشرفت تحقیقات در حوزه مدل‌سازی عامل بنیان و یا به‌طور کلی، مدل‌سازی عامل-محور نماید. در واقع با به‌کارگیری هر یک از این رویه‌ها در ساختار تحقیقات این حوزه، درک و بینش شفاف‌تر و عمیق‌تری از مطالعات انجام‌شده در این حوزه ایجاد می‌شود و به این ترتیب، می‌توان با آگاهی از روند مدل‌سازی، اهداف، فرمولاسیون، استدلال‌ها و مفروضات مدل و غیره، از یک سو امکان بازتولید مدل‌های عامل بنیان (یا عامل-محور) را تسهیل و مقایسه نتایج تحقیقات با یکدیگر را امکان‌پذیر کرد و از سوی دیگر، از انجام تحقیقات تکراری و یا موازی جلوگیری کرد. علاوه‌براین، اگرچه ساختار دقیق و شفاف پروتکل ODD و همچنین طیف گسترده استفاده از این پروتکل در تحقیقات بین‌المللی، اهمیت استفاده از این رویکرد را نشان می‌دهد، اما به نظر می‌رسد، ماهیت رویه ODD+D با مدل‌سازی‌هایی که به کمک مدل‌سازی عامل بنیان انجام می‌شوند و توصیف و لحاظ تصمیم‌گیری انسانی در آنها حائز اهمیت است، سازگارتر باشد، از جمله حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت آب شهری.

پیوست‌ها

برای دسترسی به پیوست‌های مقاله، به صفحات ۱۱۰ تا ۱۲۲ مراجعه کنید.

پی‌نوشت

1-Complex systems 2-Agent-based modelling
3-Emergent behaviour 4-Complex adaptive systems
5-Process-based models 6-Autonomous
7-Heterogeneous 8-Protocol
9-Rational-choice theory 10-Bounded rationality theory
11-Model Representing Potential Objects That Appear in The Ontology of Human-Environmental Actions & Decisions
12-Individual-based Models
13-Overview, design concepts, and details protocol
14-Network for Computational Modelling for Socioecological Science: CoMSES Net is an international open research community dedicated to fostering good practices for computational/agent based modeling
15-OpenABM is a node in the CoMSES Network, providing a growing collection of tutorials and FAQs on agent-based modeling, a model library intended to provide a locus for authors and modelers to share their models, and forums for modeling-related discussions and job postings.
16-Element 17-Block 18-Overview
19-Design concepts 20-Details 21-Purpose
22-State variables and scales
23-Process overview and scheduling
24-Initialization 25-Input
26-Submodels 27-Object-oriented programming
28-The model description follows the ODD (Overview, Design concepts, Details) protocol (Grimm et al., 2006 & 2010)
29-Collectives 30-Pseudo-code 31-Self-explanatory
32-Basic principles 33-System dynamics 34-Emergence
35-Adaptation 36-Fitness 37-Objectives
38-Utility 39-Learning 40-Prediction
41-Sensing 42-Social networks 43-Interaction
44-Stochasticity 45-Observation
46-Individual decision-making
47-Heterogeneity 48-Implementation details

منابع

شاهنگیان، س.ا.، تابش، م. و صفرپور، ه. ۱۳۹۹a. مدل‌سازی عامل بنیان، رویکردی قدرتمند در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری در بخش خانگی. بررسی الزامات و مفاهیم اصلی در ساختار مدل‌سازی. هشتمین کنگره هوش محاسباتی. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

شاهنگیان، س.ا.، تابش، م. و صفرپور، ه. ۱۳۹۹b. مروری بر چارچوب مفهومی چرخه تعاملاتی و فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده در حوزه مدیریت آب شهری. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۳): ۶۳-۷۹.

شاهنگیان، س.ا.، تابش، م.، صفرپور، ه.، خاشعی، م. و عباسی، م. ۱۳۹۹c. الزامات و ضرورت‌های ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی

سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری. مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۵(۴): ۱۶-۲۳.
شاهنگیان، س.ا.، تابش، م.، صفرپور، ه. و رضائی، م. ۱۳۹۹d. بررسی کاربرد پروتکل ODD برای مدل‌سازی عامل بنیان در حوزه مدیریت آب شهری. سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
قلعه‌بان تکمه‌داش، م.، طاهری تیزرو، ع. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۴. چهارچوب مدل‌های عامل‌بنیان در شبیه‌سازی رفتار ذی‌نفعان برای مدیریت منابع آب. مجله آب و توسعه پایدار، ۲(۱): ۸۷-۹۴.
Alvi M.S.Q., Mahmood I., Javed F., Malik A.W. and Sarjoughian H. 2018. Dynamic behavioural modeling, simulation and analysis of household water consumption in an urban area: a hybrid approach. In 2018 Winter Simulation Conference (WSC), Gothenburg, Sweden.
Athanasiadis I.N., Mentes A.K., Mitkas P.A. and Mylopoulos Y.A. 2005. A hybrid agent-based model for estimating residential water demand. Journal of Simulation, 81(3): 175-187.
Berglund E.Z. 2015. Using agent-based modeling for water resources planning and management. Journal of Water Resources Planning and Management, 141(11): 04015025.
Grimm V., Berger, U., Bastiansen F., Eliassen S., Ginot V., Giske J., Goss-Custard J., Grand T., Heinz S.K., Huse G. and Huth A. 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. Journal of Ecological Modelling, 198(1-2): 115-126.
Grimm V., Berger U., DeAngelis D.L., Polhill J.G., Giske J. and Railsback S.F. 2010. The ODD protocol: A review and first update. Journal of Ecological Modelling, 221(23): 2760-2768.
Grimm V., Polhill G., Touza J. (2017) Documenting Social Simulation Models: The ODD Protocol as a Standard. In: Edmonds B., Meyer R. (eds.) Simulating Social Complexity. Understanding Complex Systems. Springer, Cham, Manchester, United Kingdom.
Hare M. and Deadman P. 2004. Further towards a taxonomy of agent-based simulation models in environmental management. Journal of Mathematics and Computers in Simulation, 64(1): 25-40.
Helbing D. 2012. Agent-Based Modeling. In: Helbing D. (eds.) Social Self-Organization. Understanding Complex Systems. Springer, Berlin, Heidelberg.
Kelly R.A., Jakeman A.J., Barreteau O., Borsuk M.E., ElSawah S., Hamilton S.H., Henriksen H.J., Kuikka S., Maier H.R., Rizzoli A.E. and van Delden H. 2013. Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. Journal of Environmental Modelling and Software, 47: 159-181.
Koutiva I. and Makropoulos C. 2016. Modelling domestic water demand: An agent based approach, Journal of Environmental Modelling and Software, 79: 35-54.
Koutiva I. and Makropoulos C. 2017. Exploring the effects of domestic water management measures to water conservation attitudes using agent based modelling. Water Science and Technology: Water Supply, 17(2): 552-560.
Lin Z., Lim S.H., Lin T. and Borders M. 2020. Using Agent-Based Modeling for Water Resources Management in the Bakken Region. Journal of Water Resources Planning and Management, 146(1)05019020: 1-12.
López-Paredes A., Saurí D. and Galán J.M. 2005. Urban water management with artificial societies of agents: The FIRMABAR simulator. Journal of Simulation, 81(3): 189-199.
Mei S., Zarrabi N., Lees M. and Sloot P.M. 2015. Complex agent networks: An emerging approach for modeling complex systems. Journal of Applied Soft Computing, 37: 311-321.
Müller B., Bohn F., Dreßler G., Groeneveld J., Klassert C., Martin R., Schlüter M., Schulze J., Weise H. and Schwarz N. 2013. Describing human decisions in agent-based models–ODD+ D, an extension of the ODD protocol. Journal of Environmental Modelling and Software, 48: 37-48.
Parker D.C., Brown D.G., Polhill J.G., Deadman P.J. and Manson S.M. 2008. Illustrating a new 'conceptual design pattern' for agent-based models and land use via five case studies: the MR POTATOHEAD framework. In: Paredes A.L. and Iglesias C.H. (Eds.), Agent-based Modelling in Natural Resource Management, Universidad de Valladolid, Valladolid, Spain.
Ramsey E. and Berglund E.Z., 2021. Developing an Agent-Based Model of Dual-Flush Toilet Adoption. Journal of Water Resources Planning and Management, 147(10): 4021067.
Richiardi M., Leombruni R., Saam N.J. and Sonnessa M. 2006. A common protocol for agent-based social simulation. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 9(1): 16-31.
Voinov A. and Shugart H.H. 2013. 'Integronsters', integral and integrated modeling. Journal of Environmental Modelling and Software, 39: 149-158.
Zechman E.M. 2007. Agent-based modeling to simulate contamination events and to analyze threat management strategies in water distribution systems. In World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat. Tampa, Florida, USA.