سال دوم، شماره ۱، شهریور ۱۳۹٤، صفحات ۸۷ تا ۹٤
نشریه آب و توسعه پایدار

2015, Vol.2, No.1, Pages 87 to 94
Journal of Water and Sustainable Development

چهارچوب مدل‌های عامل‌بنیان در شبیه‌سازی رفتار ذینفعان برای مدیریت منابع آب

میلاد قلعه‌بان تکمه‌داش[۱*]، عبدالله طاهری تیزرو[۲]، حمید زارع ابیانه[۲]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکترای مهندسی منابع آب و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان.
*(نویسنده مسئول، E-Mail: milghatek@gmail.com)
تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۱

چکیده

کاربرد مدل‌های عامل‌بنیان در شبیه‌سازی رفتاری ذینفعان یک روش نسبتاً جدید برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده‌ای است که شامل عوامل خودمختاری هستند که با یکدیگر در تعامل‌اند. پیشرفت‌های محاسباتی، کاربرد مدل‌های عامل‌بنیان را در زمینه‌های مختلف میسر کرده است. این کاربردها در مدل‌سازی رفتار انسان در بازار و چرخه‌های تولید، مدل‌سازی پیشرفت و از بین رفتن تمدن‌های گذشته تا مدل‌سازی پیچیدگی‌های سیستم‌های منابع/مصارف آب و بسیاری دیگر گسترش یافته‌اند. در این مقاله اساس مدل‌سازی عامل‌بنیان تبیین می‌شود، ابزارهای مورد استفاده در این زمینه معرفی می‌گردند و کاربرد آن در زمینه‌ی مدیریت منابع آب نمایش داده می‌شود. به کارگیری مدل‌هایی از این قبیل، امکان شبیه‌سازی تعاملات اجتماعی را میسر می‌سازد. تلفیق اینگونه مدل‌های شبیه‌سازی با مدل‌های شبیه‌سازی منابع آب، به تولید و بالابردن اطمینان‌پذیری مدل‌های جامع پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی عامل‌بنیان، مدیریت منابع آب، ذینفعان، شبیه‌سازی.

Agent based modeling framework in simulation of stakeholder's behavior for managing water resources

M. Ghallehban Tekmedash[1*], A. Taheri Tizro[2], H. Zare Abyane[2]

1,2- PhD student of water resources engineering & Associate Professor, water engineering department, Bu-Ali Sina university, Hamedan, Iran

*(Corresponding Author Email: milghatek@gmail.com)
Received: 20-6-2015
Accepted: 12-9-2015

Abstract

Application of agent based model in simulation of stakeholder's behavior is slightly a new method for modeling of complicated systems that include autonomous agents interacting with each other. Recent numerical achievements have made the applications of agent based models possible in various fields. These applications range from modeling of human progress and destruction of past civilizations to modeling of complexities in water resources/consumption systems. In this article foundation of agent based modeling is defined, related tools in this field is introduced and their application in water resources management is clarified. The use of such models provides social interactions simulation. Integration of such simulation models with water resources simulation models helps to make and improve the reliability of decision support systems in water resources management.

Keywords: Agent based modeling, water resources management, stakeholders, simulation.

مقدمه

مدل‌سازی عامل‌بنیان رویکردی نسبتاً جدید برای مدل‌سازی سامانه‌هایی است که از عوامل مستقل ولی در تعامل با هم تشکیل شده‌اند. مدل‌سازی عامل‌بنیان یک پارادایم نسبتاً جدید است و از زمان پیدایش پایگاه‌های داده، یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در مدل‌سازی محسوب می‌شود. علوم مهندسی و علوم مدیریت مشترکاً برای توصیف، درک و مدیریت پدیده‌ها به دنبال مدل‌سازی دنیای واقعی هستند، با این تفاوت که علوم مهندسی پدیده‌های دنیای طبیعی و علوم مدیریت سامانه‌های انسانی را مدل‌سازی می‌نمایند (Epstein و Axtell، ۱۹۹۶).

از آنجا که دانش مدل‌سازی در زمینه‌ی پدیده‌های طبیعی و قوانین مرتبط با آن بسیار پیشرفت کرده است، مدل‌های تقریبی زیادی برای این‌گونه پدیده‌ها ساخته شده و اثربخشی این مدل‌ها با توجه به پیشرفت‌های مستمر در علوم مهندسی و فیزیک مشهود و قابل اثبات است. اما دنیای واقعی انسانی به دلیل پیچیدگی‌های رفتاری «انسان» کمتر به شکل مدل ارائه شده است. همچنین، سامانه‌های بشری بسیار پویاتر و پیچیده‌تر از دنیای طبیعی است و از حالت ثبات برخوردار نیست. همین امر موجب پیچیدگی و عدم‌قطعیت هرچه بیشتر مسائل انسانی می‌شود. برای تصمیم‌گیری در خصوص اینگونه مسائل باید فاکتورهایی نظیر عوامل کلیدی، قوانینِ رفتاریِ عوامل، نحوه‌ی تعامل عوامل با یکدیگر و با محیط و از این دست مسائل در نظر گرفته شوند (Bonabeau، ۲۰۰۲). ما در دنیایی زندگی می‌کنیم که به شکل فزاینده‌ای در حال پیچیده‌تر شدن است. سیستم‌هایی که نیاز به تحلیل و مدل‌سازی آنها داریم از لحاظ همبستگی‌های چندگانه همواره پیچیده‌تر می‌شوند. ابزارهای سنتی مدل‌سازی دیگر مانند گذشته قابل کاربرد نیستند. برخی از سیستم‌ها همیشه آنقدر پیچیده بوده‌اند که قادر به مدل‌سازی آنها نبوده‌ایم. مدل‌سازی اقتصادی به صورت سنتی، به فرضیات ساده‌کننده‌ای مانند همگن بودن رفتار عوامل وابسته بوده‌اند تا با این فرضیات، مسئله از لحاظ تحلیلی و محاسباتی قابل حل گردد. هم اکنون قدرت محاسباتی به سرعت در حال پیشرفت است. این پیشرفت‌ها امکان توسعه مدل‌هایی با مقیاس شبیه‌سازی میکرو را برای محدوده‌های بزرگ فراهم آورده‌اند که چند سال پیش ممکن نبود (Macal و North، ۲۰۰۵).

هدف اصلی این مقاله، پاسخ به چند پرسش است که عبارتند از: الف) چرا مدل‌سازی عامل‌بنیان یک روش مناسب و بهتر در موارد مرتبط با محیط انسانی می‌باشد؟ ب) چگونه مدل‌سازی عامل‌بنیان برای حل مسائل کاربردی در حوزه مدیریت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد؟ ج) مراحل بکارگیری مدل‌سازی عامل بنیان چیست؟

این مقاله در دو بخش تهیه شده است. بخش اول در مورد معرفی اجمالی مدل‌سازی عامل‌بنیان و تاریخچه آن است. همچنین ابزارهای کاربردی مدل‌سازی عامل‌بنیان به اختصار معرفی می‌گردند. بخش دوم تفکّر عامل‌بنیان و چگونگی کاربرد مدل‌سازی عامل‌بنیان را توضیح می‌دهد، و برخی روش‌های توسعه مدل‌های عامل‌بنیان در مدیریت منابع آب مورد بررسی قرار می‌گیرند.

معرفی مدل‌سازی عامل‌بنیان و ابزارهای آن

۱- پیش‌زمینه‌ی مدل‌سازی عامل‌بنیان

مدل‌سازی عامل‌بنیان ارتباطات زیادی با بسیاری از موضوعات مانند علم پیچیدگی‌ها، علوم سیستمی، پویایی سیستم‌ها، علوم کامپیوتر، مدیریت، جامعه‌شناسی و شبیه‌سازی دارد. مدل‌سازی عامل‌بنیان به علت اصول نظری، دیدگاه مفهومی و فلسفه آن و همچنین به علت کاربرد تکنیک‌های مدل‌سازی از این علوم استفاده می‌نماید. مدل‌های عامل‌بنیان ارتباط مستقیمی با سیستم‌های انطباقیِ پیچیده دارد و مفهوم ذاتی آن تعریف سیستم‌ها از دیدگاه جزء به کل می‌باشد، برخلاف پویایی سیستم‌ها که دیدگاه کل به جزء دارند. سیستم‌های انطباقی[1] پیچیده همیشه درگیر این مسئله بوده‌اند که چگونه رفتارهای پیچیده از سوی عوامل خودمختار در طبیعت بروز می‌کند. علاوه بر این مدل‌سازی عامل‌بنیان امکان مدل‌سازی رفتار واقعی افراد را فراهم می‌آورد. حال آنکه، اَشکال سنتی مدل‌سازی براساس قواعد و اصول بهینه‌سازی رفتارها است (Macal و North، ۲۰۰۵).

۲-کاربردهای مدل‌سازی عامل‌بنیان در علوم آب و منابع طبیعی

کاربرد مدل‌های عامل‌بنیان در علوم منابع طبیعی ابتدا درباره مدیریت منابع تجدیدپذیر توسط Bousquet (۱۹۹۳) مورد مطالعه قرار گرفت. در مطالعه مذکور، یک شبیه‌ساز چند عاملی برای درک بهتر اندرکنش میان بهره‌برداران و منابع طبیعی ایجاد گردید. همچنین Balmann (۱۹۹۷) این نوع مدل‌ها را در زمینه مدیریت عملیات کشاورزی مورد استفاده قرار داد. تحقیق مذکور بیشتر بر جنبه‌های اقتصادیِ کشاورزی تمرکز داشت و بیشترین منفعت اقتصادی برای کشاورزان در نظر گرفته شد. Becu و همکاران (۲۰۰۳) در زمینه شبیه‌سازی عامل‌بنیان برای مدیریت آب حوضه آبریز در جنوب تایلند مطالعه‌ای

انجام دادند. آنها برای این هدف یک مدل عامل‌بنیان به نام CATCHSCAPE تهیه کرده، سناریوهای اقتصادی، کاربری اراضی و مدیریت منابع آب را مورد آزمون قرار دادند. در همین سال Feuillette و همکاران (۲۰۰۳) مقاله‌ای با موضوع حل اختلافات در مدیریت منابع آب زیرزمینی نگاشتند. به گزارش نگارندگان مدل ارائه شده با نام SINUSE قابلیت بالایی در شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده و توزیعی دارد. قابلیت کاربرد مدل‌های عامل‌بنیان برای ارزیابی سیستم‌های آبیاری اجرا شده در سنگال موضوع تحقیق Barreteau و همکاران (۲۰۰۴) است که نتیجه آن ایجاد یک آزمایشگاه مجازی برای شبیه‌سازی براساس سناریوهای مختلف می‌باشد. در بخش مدیریت آب شهری مدل‌های عامل‌بنیان کاربرد بیشتری نسبت به حوضه‌های آبریز داشته‌اند. Galán و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل عامل‌بنیان برای مدیریت آب شرب در کلان شهر والادولید توسعه دادند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که با استفاده از مدل‌های عامل‌بنیان نتایجی می‌توان کسب کرد که با استفاده از روش‌هایی مانند پویایی سیستم‌ها و سایر مدل‌ها به سختی قابل دستیابی می‌باشند. همچنین در زمینه کیفیت آب در سطح حوضه آبریز تحت تأثیر آلودگی کشاورزی در یک منطقه با استفاده از مدل‌های عامل‌بنیان مطالعه‌ای انجام شده است که نتایج آن نشان داد تغییر رفتار کشاورزان بر پیش‌بینی و تصمیم‌گیری سایر کشاورزان مؤثر است و نتایج واکنش عوامل بر منابع آب متفاوت می‌باشد (Ng و همکاران، ۲۰۱۱). در سال ۲۰۱۳ نیز یک چهارچوب برای مدیریت اختلاف میان ذینفعان در حوضه آبریز سن واکین توسط Akhbari و Grigg ارائه شد. این چهارچوب برای ارزیابی راه‌های مؤثر در تشویق ذینفعان جهت همکاری بیشتر به منظور کاهش مصرف آب کشاورزی و به دنبال آن، کاهش میزان آلودگی آب و افزایش جریان آب رودخانه ارائه گردید (Akhbari و Grigg، ۲۰۱۳).

۳- ابزارهای مدل‌سازی عامل‌بنیان

امروزه بسیاری از محیط‌های نرم‌افزاری برای مدل‌سازی عامل‌بنیان به شکل رایگان در اختیار هستند. این ابزارها شامل نرم‌افزارهای REPAST (North و Macal، ۲۰۰۵)، SWARM (Minar و همکاران، ۱۹۹۶)، NetLogo و MASON و بسیاری دیگر می‌باشند. ابزارهای تجاری غیر رایگان نیز مانند AnyLogic وجود دارد. نرم‌افزار SWARM اولین ابزار توسعه مدل‌های عامل‌بنیان می‌باشد که در سال ۱۹۹۴ معرفی شده است. بعد از معرفی نرم‌افزار SWARM، ابزاری به نام REPAST در مسائل شبیه‌سازی جوامع و رفتار آن‌ها بکار گرفته شد. این نرم‌افزار یک ابزار رایگان و با کد آزاد برای مدل‌سازی عامل‌بنیان در مقیاس کلان می‌باشد. کاربران بوسیله کتابخانه‌ی این نرم‌افزار به سهولت می‌توانند مدل‌های خود را ایجاد کنند یا می‌توانند از محیط برنامه‌نویسی بصری در این نرم‌افزار استفاده کنند.

تفکر عامل‌بنیان

۱- عامل چیست؟

هرچند تعاریف گوناگونی برای واژه‌ی "عامل" ارائه گردیده، اما در همه این تعاریف چند گزینه به صورت مشترک وجود دارد. این گزینه‌ها شامل خصوصیات، قوانین رفتار، حافظه، منابع در دسترس، اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری و قوانین اصلاح‌کننده‌ی رفتار عوامل هستند (شکل ۱). برخی محققان هر نوعی از اجزای مستقل (مانند نرم‌افزار، مدل، افراد و غیره) را به عنوان عامل در نظر می‌گیرند (Bonabeau، ۲۰۰۲). سایر محققین معتقدند که رفتار یک عامل بایستی انطباقی باشد تا بتوان آن را یک عامل در نظر گرفت. در تعریف این گروه از محققین، عنوان عامل برای اجزایی در نظر گرفته می‌شود که می‌توانند از محیط خود یاد بگیرند و رفتار خود را در واکنش به آن تغییر دهند. برخی دانشمندان معتقد هستند که عامل‌ها بایستی هم شامل قوانین رفتاری اساسی باشند هم شامل یک سری قوانین سطح بالاتر باشند که قوانین رفتاری اساسی را تغییر دهند (Casti، ۱۹۹۷). قوانین اساسی باعث بروز واکنش به محیط می‌شوند؛ درحالیکه قوانین سطح بالاتر باعث سازگاری با محیط می‌گردند. اوائل قرن بیستم یک محقق دیدگاهی از نظر علوم کامپیوتر ارائه داد که خصوصیات اساسی رفتار مستقل (خودمختار) را نشان می‌دهد. او ابراز داشت که ویژگی اصلی یک عامل، قابلیت آن در اتخاذ تصمیمات مستقل می‌باشد (Jennings، ۲۰۰۰). این امر نیازمند فعال بودن یک عامل است نه منفعل بودن آن. در کل، عوامل دارای خصوصیات زیر هستند:

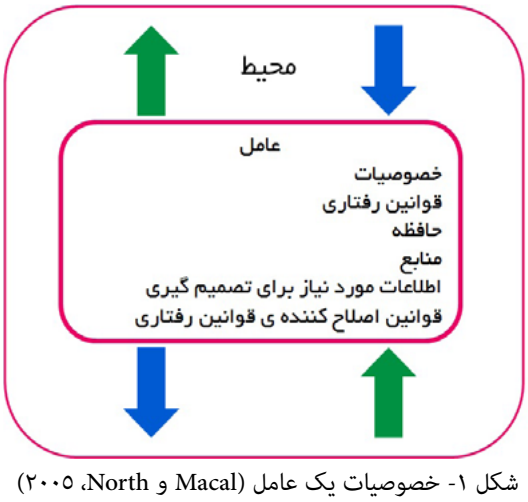
• یک عامل قابل تشخیص می‌باشد. یک عامل به صورت جداگانه دارای یک سری از خصوصیات (شکل ۱) و قوانین رفتاری است و شامل قابلیت‌های تصمیم‌گیری است. عوامل بر خود متکی هستند. یک عامل دارای مرز است و می‌توان به سادگی تشخیص داد که آیا یک جزء، بخشی از یک عامل هست یا خیر، یا حتی یک خصوصیت مشترک است یا خیر.

• یک عامل دارای بعد مکان است، در یک محیط زندگی می‌کند که با دیگر عوامل در تعامل است (شکل ۱). عوامل برای اندرکنش با دیگران دارای پروتکل (آداب و رسوم) هستند مثلاً برای برقراری ارتباط یا قابلیت واکنش به محیط روش خاص خود را دارند. عوامل می‌توانند صفات سایر عوامل را شناسایی کنند.

• هر عامل هدف-محور است، یعنی دارای اهدافی است که در راستای دستیابی به آن‌ها حرکت می‌کند. این اهداف لزوماً به صورت بهینه تعریف نمی‌شوند.
• عامل خودمختار و خودمحور است. عامل می‌تواند به صورت مستقل در محیط خود و در تعامل با دیگر عوامل عمل کند.
• یک عامل انعطاف پذیر است؛ دارای قابلیت یادگیری و سازگارسازی رفتار خود براساس تجربیاتش می‌باشد. این امر نیازمند شکلی از حافظه (شکل ۱) است. همچنین، یک عامل قوانینی دارد که بر اساس آن‌ها رفتار خود را اصلاح می‌کند.

عوامل انواع مختلفی دارند، ناهمگن‌اند و خصوصیات و قوانین رفتاری پویایی دارند. قوانین رفتاری از نظر تکامل، میزان اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری، میزان حافظه از وقایع گذشته متفاوت است. عوامل از لحاظ خصوصیات و منابع نیز متفاوت هستند. به عبارت دیگر، هر عامل بسته به متغیرهای محیطی اطراف و ویژگی‌های درونی خود با سایر عوامل تفاوت دارد. از سوی دیگر، منابع در دسترس (از لحاظ فنی، اقتصادی، دانش و غیره) برای هر عامل متفاوت است.

محیطی که عوامل در آن قرار دارند و با آن در اندرکنش می‌باشند بر درک این عوامل نسبت به مسأله موجود و نوع تصمیم‌گیری آنها تأثیرگذار است. شکل (۱) عامل را در ارتباط با محیط خود و خصوصیات درونی خود نشان می‌دهد. پیکان‌ها نشان‌دهنده‌ی تعامل یک عامل با محیط هستند و هر عامل خصوصیاتی دارد که به شکل مشترک برای تمام عوامل در نظر گرفته می‌شود اما این خصوصیات برای هر عامل با سایرین متفاوت است.



شکل ۱- خصوصیات یک عامل (Macal و North، ۲۰۰۵)

۲. مراحل اصلی ایجاد مدل عامل‌بنیان

به طور کلی در توسعه یک مدل، گام‌های ابتدایی شامل: تعریف هدف از مدل، سوال‌هایی که مدل بایستی به آنها پاسخ دهد و انتخاب کاربران کلیدی در فرایند است. گام بعدی، تحلیل سیستماتیک سیستم مورد مطالعه می‌باشد. همچنین تعریف اجزاء و اندرکنش میان اجزاء، منابع اطلاعاتی متقن و صحیح بایستی مورد نظر قرار گیرند. گام بعدی بکارگیری مدل و ایجاد آزمایشاتی با استفاده از پرسش سوال‌های شرطی بوسیله تغییر سیستماتیک پارامترها (واسنجی) و فرضیات (صحت‌سنجی) می‌باشد. نهایتاً درک دقت مدل و نتایج آن با استفاده از تحلیل حساسیت و سایر تکنیک‌ها به عنوان گام نهایی در نظر گرفته می‌شود.

برای توسعه یک مدل عامل‌بنیان، علاوه بر گام‌های فوق، موارد زیر نیز باید به دقت تعیین گردند:

• تشخیص عوامل یا ذینفعان
• تشخیص صحیح خصوصیات و رفتار عوامل
• تعریف محیطی که عوامل در آن زندگی می‌کنند و با آن اندرکنش دارند
• تعریف روابط میان عوامل و توسعه یک تئوری درباره اندرکنش آنها با یکدیگر و محیط
• توسعه اطلاعات در رابطه با عوامل
• تعیین صحیح اندرکنش‌های عامل-عامل و همچنین اندرکنش‌های عامل-محیط
• ارزیابی مدل رفتاری عوامل

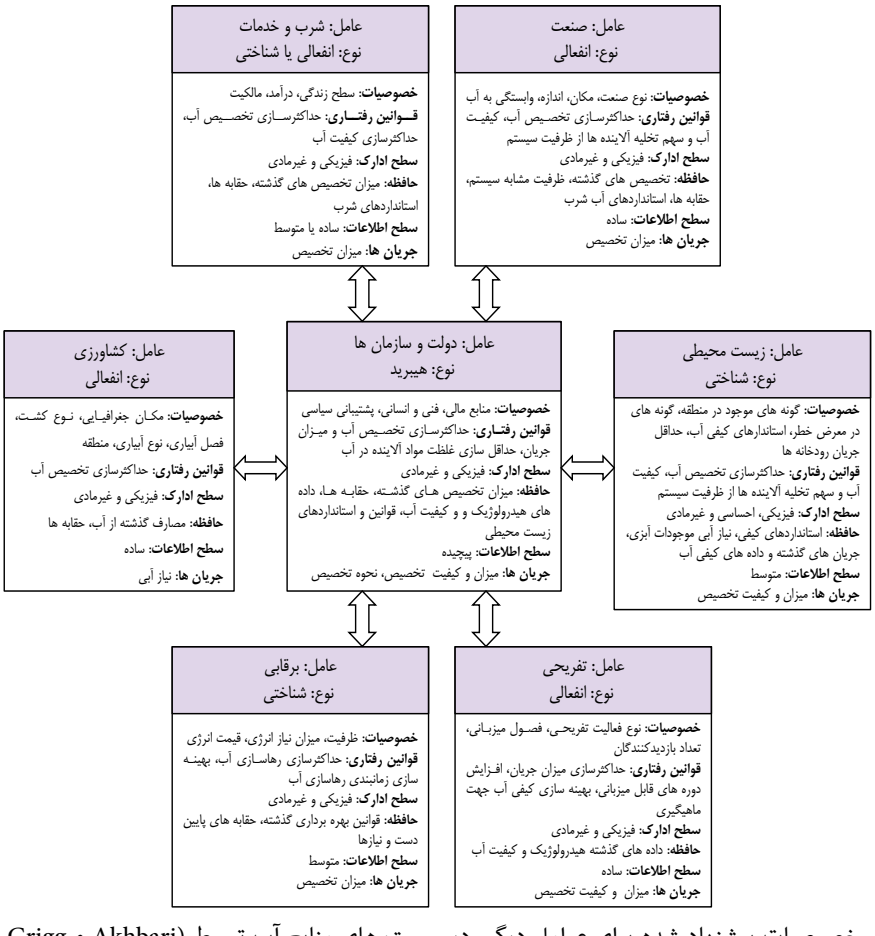
۳. طبقه‌بندی رفتار عوامل و اندرکنش‌ها

محققان رفتار عوامل را به دو کلاس انفعالی[۳] و شناختی[۴] تقسیم کرده‌اند. عوامل انفعالی براساس درک خود از محرک‌ها (وقایعی در محیط که بر رفتار عوامل موثر می‌باشند) واکنش نشان می‌دهند (Bandini و همکاران، ۲۰۰۹). رفتار این عوامل شامل یک سری از قوانین شرطی است که با یک استراتژی، انتخاب و تلفیق شده و هنگام مواجه شدن با قوانین مختلف از خود واکنش نشان می‌دهند. عوامل شناختی مکانیسم انتخاب پیچیده‌تری دارند. رفتار این عوامل براساس دانش آن‌ها درباره محیط، حافظه و تجربیات ایشان شکل می‌گیرد. علاوه بر این دو نوع از رفتار، کلاس سومی نیز وجود دارد که هیبرید نامیده می‌شود که ترکیبی از عوامل انفعالی و شناختی می‌باشد. در این کلاس عوامل دارای ساختار لایه‌ای هستند. ساختار لایه‌ای می‌تواند عمودی یا افقی باشد. هیچ اولویتی در مورد لایه‌های افقی وجود ندارد. در این ساختار برای آنالیز رفتار عوامل، نتایج لایه‌های مختلف بایستی ترکیب شوند. در ساختار عمودی اولویت بیشتری برای عوامل انفعالی در مقایسه با نوع شناختی آنها وجود دارد و این لایه‌ها فقط زمانی فعال می‌شوند که هیچ رفتار انفعالی‌ای فعال نشده باشد.

براساس سطح اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری در هر عامل، خصوصیت رفتاری آن‌ها مشخص می‌گردد. عوامل کشاورزی، تفریحی و صنعت در حوزه رفتاری- انفعالی جای می‌گیرند؛ زیرا واکنش آن‌ها نتیجه مواجهه با محرک‌ها است و تصمیمات اتخاذ

شده از سوی این عوامل براساس قوانینی شکل می‌گیرد که در مورد حقابه آن‌ها وضع می‌شوند. رفتار عوامل شرب و خدمات می‌تواند انفعالی یا شناختی باشند؛ درحالیکه عوامل برقابی و محیط‌زیست به دلیل فرایند تصمیم‌گیری پیچیده آن‌ها رفتاری شناختی از خود نشان می‌دهند. رفتار عوامل توزیع‌کننده آب (دولت) هیبریدی است و براساس نوع ساختار سازمانی آن‌ها می‌توانند افقی یا عمودی باشند (برای مطالعه بیشتر در زمینه ساختار لایه‌ای عوامل به Brooks (۱۹۸۶) مراجعه کنید). تمام عوامل با متولیان آب دارای اندرکنش مستقیم و غیرمستقیم هستند؛ چون این عوامل درحالیکه دولت را از نیاز آبی خود با خبر می‌سازند، تحت تأثیر تصمیم‌های متولیان آب هستند.

دانشمندان چهار سطح درک عوامل را به چهار بخش تقسیم می‌کنند: ۱) فیزیکی[۵] ۲) احساسی[۶] ۳) منطقی[۷] ۴) غیرمادی[۸]. در مدیریت منابع آب هنگامی که طرف‌های ذینفع سطوح ادارکی مختلفی از آب داشته باشند، توجه به نحوه درک عوامل لازم به نظر می‌رسد (Wolf، ۲۰۰۸). شکل (۲) چهارچوب کلی در مورد تشخیص خصوصیات عوامل درگیر در مدیریت منابع آب را ارائه می‌دهد. به غیر از متولیان آب (دولتی) تمام عوامل به آب نیاز دارند. سطح اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری در عوامل کشاورزی، صنعت و تفریحی، ساده است چون ارتباط ساده‌ای بین نیاز آن‌ها به آب و منفعت حاصل از آن وجود دارد. سطح اطلاعات مورد نیاز برای عامل شرب و خدمات براساس پیچیدگی و تعداد پارامترهای مورد نظر در یک موضوع خاص، می‌تواند ساده یا متوسط در نظر گرفته شود. کیفیت آب، اولویت تخصیص، جمعیت شهر و وجود منابع مالی فاکتورهای کلیدی در تعیین این سطح برای عامل شرب و خدمات می‌باشند. سطح اطلاعات لازم برای محیط زیست متوسط است. این عامل بایستی درک کاملی از سیستم هیدرولوژیک آب، استانداردها و قوانین داشته باشد تا بتواند براساس منابع مالی، محدودیت منابع آب، استانداردهای کیفی و کمی از حقابه خود دفاع کند. عامل برقابی نیز سطح اطلاعات متوسطی نیاز دارد. چون بایستی دانش کافی در زمینه تولید برق، مسائل هیدرولوژی، زیست‌محیطی، اکولوژیک و اقتصاد داشته باشد. متولیان آب (دولت) بایستی خواسته‌های تمام ذی‌نفعان را مورد توجه قرار دهند و در مقابل آن‌ها به عدالت رفتار کنند. بنابراین سطح اطلاعات برای عامل توزیع کنندگان آب پیچیده می‌باشد (Akhbari و Grigg، ۲۰۱۵).



شکل ۲- خصوصیات پیشنهاد شده برای عوامل درگیر در سیستم‌های منابع آب توسط (Akhbari و Grigg، ۲۰۱۵)

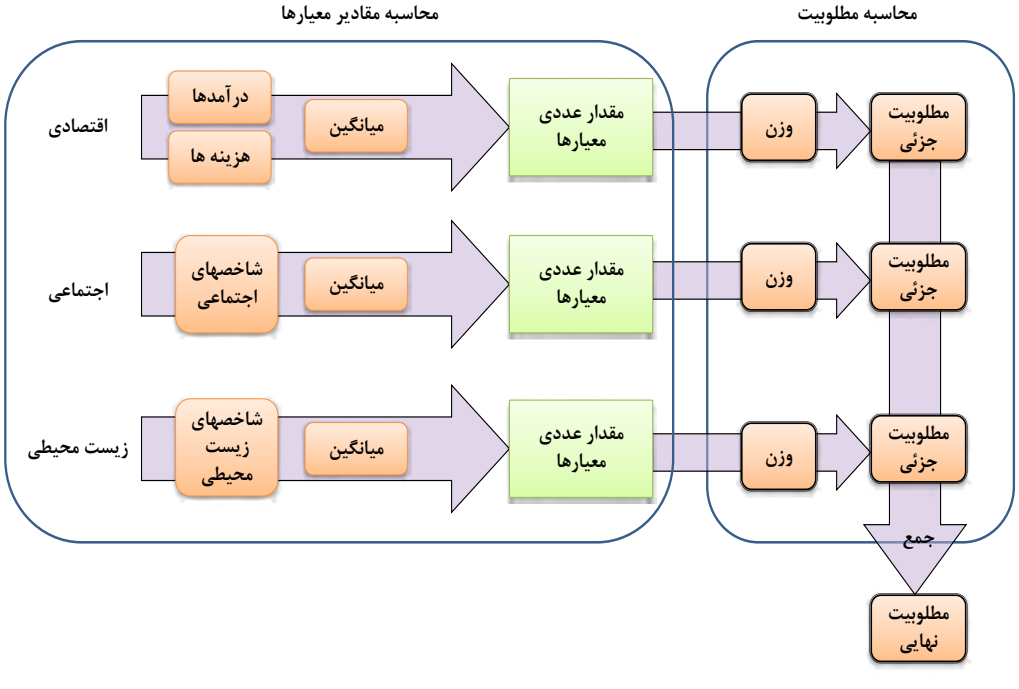
۴. تعریف محیط در مدیریت منابع آب

محیط در سیستم‌های منابع آب می‌تواند منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شود؛ مانند حوضه آبریز، شبکه آبیاری و زهکشی، آبخوان، سد، رودخانه و غیره. معمولاً محیط، خود می‌تواند به عنوان یک زیرمدل برای مدل کلی عامل بنیان که شامل مدل شبیه‌سازی رفتاری عامل‌ها نیز هست تولید شود. به عبارت دیگر مدلی که محیط و فرایندهای آن را شبیه‌سازی می‌کند، می‌تواند یک مدل بیلان آب، شبیه‌سازی حوضه آبریز یا یک مدل برنامه‌ریزی تخصیص آب از یک سد باشد. این مدل به شکل جداگانه تهیه شده و به مدل شبیه‌سازی رفتاری که حاصل تبیین رفتار و اندرکنش‌های عوامل است لینک می‌شود. لینک این دو مدل باید به صورت رفت و برگشتی باشد. بدین ترتیب که بازخوردهای حاصل از مدل شبیه‌سازی محیط (شامل وضعیت کمی و کیفی منابع آب) بر نوع تصمیم‌گیری عوامل شبیه‌سازی شده در مدل رفتاری تأثیر گذاشته و از طرفی، نتایج حاصل از مدل رفتاری بر ورودی مدل شبیه‌سازی محیط در دور بعدی محاسبات تأثیرگذار خواهند بود.

۵. تابع مطلوبیت

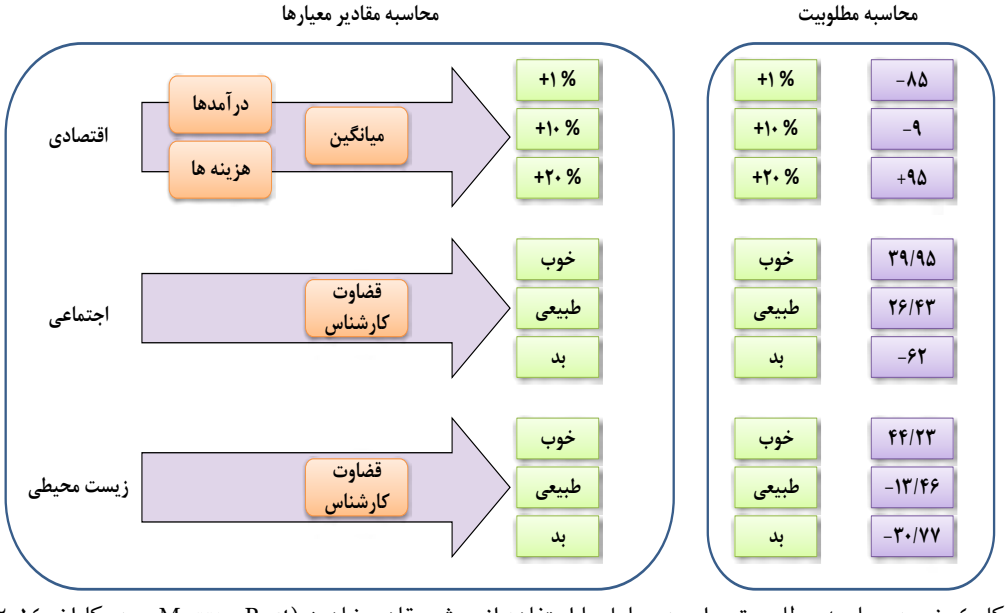
هر تصمیم‌گیرنده با توجه به خصوصیات رفتاری خود دارای یك تابع مطلوبیت می‌باشد. نیاز است که عوامل، توابع مطلوبیت خود را برای هر معیار (از لحاظ اقتصادی، اجتماعی، ریسک‌پذیری، زیست‌محیطی، توزیع آب و ...) تعیین نمایند. مقادیر مطلوبیت هر عامل نسبت به این معیارها می‌تواند با مصاحبه مستقیم، تکمیل پرسشنامه، برگزاری جلسات مشترک میان ذینفعان و سایر روش‌ها برآورد شوند. مجموعه‌ی این مقادیر یک شاخص کلی از مطلوبیت آن عامل بدست می‌دهد. هر شاخص در یک فضای مشترک قرار می‌گیرد. این فضا، جایی است که مقادیر مربوط به مطلوبیت‌های عوامل قابل مقایسه هستند. دو روش برای محاسبه مطلوبیت‌ها ارائه می‌شود.

- **روش اول:** با استفاده از ارزش‌گذاری از طریق وزن‌دهی برای هر عامل، یک سیستم قابل مقایسه تهیه می‌شود. هر عامل می‌تواند براساس اولویت‌های خود به معیارها وزن خاص خود را اختصاص دهد. میانگین وزنی مقادیر مطلوبیت‌ها برای تمام معیارها، مطلوبیت آن عامل محسوب می‌شود. فرایند محاسبه مطلوبیت عوامل در شکل (۳) نشان داده شده است. هر معیار با یک ارزش عددی تعیین می‌شود. به عنوان مثال برای معیار اقتصادی سود نهایی و برای سایر معیارها مجموع شاخص‌های تعریف شده از آن معیار، مقدار ارزش عددی آن را تعیین می‌کند. تمام این مقادیر به یک واحد مشترک تبدیل می‌شوند. می‌توان مقادیر معیارها را به مقادیر تابع نرمال تبدیل کرد. سپس با استفاده از وزن‌های اختصاص یافته توسط هر عامل به این معیارها مقادیر مطلوبیت آنها محاسبه می‌شود (Murray-Rust و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۳- نحوه محاسبه مطلوبیت برای هر عامل با استفاده از روش وزن‌دهی (Murray-Rust و همکاران، ۲۰۱۴)

- **روش دوم:** در این روش مقادیر نمادین برای ارزش‌گذاری معیارها استفاده می‌شوند. این مقادیر بایستی شبیه هم باشند. مثلاً در معیار اقتصادی، سود نهایی برای یک عامل (که از اطلاعات بازار بدست می‌آید) به مقادیر نمادین تبدیل می‌شوند. برای مثال به شکل درصدی بیان می‌شوند. برخی از معیارهایی که به صورت کیفی هستند بایستی توسط کارشناسان خبره طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شوند. این روش برای هر معیار یک مقدار نمادین ایجاد می‌کند. وقتی که برای هر عامل اقدام به محاسبه مطلوبیت می‌شود، برای هر معیار یک مطلوبیت نسبی وجود دارد که می‌تواند مستقیماً از جمع کردن این مقادیر بدست آید. به عبارت دیگر مقادیر نمادین مشخص شده برای هر معیار به صورت مستقیم برای محاسبه تابع مطلوبیت بکار می‌روند. فرایند محاسبه مطلوبیت عوامل با این روش در شکل (۴) نشان داده شده است (Murray-Rust و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ٤- نحوه محاسبه مطلوبیت برای هر عامل با استفاده از روش مقادیر نمادین (Murray-Rust و همکاران، ۲۰۱٤)

این مقادیر تنها به عنوان مثال ارائه گردیده و فقط برای تفهیم به خواننده آورده شده‌اند.

جمع‌بندی

رقابت بر سر استفاده از آب در حال افزایش است و این مسئله منجر به بروز اختلافات زیادی میان عوامل مختلف با اهداف متفاوت و ناسازگار با یکدیگر می‌شود. مدل‌های فنی (هیدرولوژیکی) برای فراهم آوردن اطلاعات از لحاظ فنی و علمی به منظور آشنایی از نحوه رفتار و واکنش سیستم‌های منابع آب مورد نیاز هستند؛ اما مدل‌های شبیه‌سازیِ رفتارهای انسانی و اجتماعی بشر نیز به منظور آگاهی از نحوه واکنش عوامل دخیل در یک سیستم نسبت به تصمیم‌های مدیریتی، الزامی به نظر می‌رسند. در این مقاله مدل‌های عامل‌بنیان، خصوصیات آن‌ها، نحوه ایجاد این مدل‌ها و کاربرد آنها در مسائل مدیریت منابع آب معرفی شدند. همچنین، نحوه شناسایی خصوصیات رفتاری ذینفعان و گام‌های اساسی در تهیه یک مدل عامل‌بنیان ارائه شده است. در این مدل‌ها تمام جنبه‌های موثر در مسائل منابع آب (اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، اکولوژیک، هیدرولوژیک و ....) می‌توانند در نظر گرفته شوند. بنابراین می‌توان با استفاده از این ابزار سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری ایجاد کرد تا از این طریق دیدگاه جامع‌تری نسبت به مسائل منابع آب حاصل شود. درنتیجه کارشناسان، مدیران، تصمیم‌گیرندگان، حتی کشاورزان و سایر عوامل دخیل در سیستم‌های منابع آب قادر خواهند بود تا با اطلاع از نتایج واکنش‌های خود بهترین رویکردها را برای رسیدن به اهداف خود (با در نظر گرفتن جنبه‌های بیشتری از این مسائل) اتخاذ کنند.

پی نوشت

1- adaptive
2- Visual
3- Reactive
4- Cognitive
5- Physical
6- Emotional
7- Intellectual
8- Spiritual
9- Sub-Model
10- Symbolic

منابع

Akhbari M. and Grigg N.S. 2013. A framework for an agent-based model to manage water resources conflicts. Water resources management, 27(11): 4039-4052.

Akhbari M. and Grigg N.S. 2015. Managing Water Resources Conflicts: Modelling Behavior in a Decision Tool. Water Resources Management, 29(14), 5201-5216.

Balmann A. 1997. Farm-based modelling of regional structural change: A cellular automata approach. European review of agricultural economics, 24(1): 85-108.

Bandini S., Manzoni S. and Vizzari G. 2009. Agent based modeling and simulation: an informatics perspective. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 12(4): 1-4.

Barreteau O., Bousquet F., Millier C. and Weber J. 2004. Suitability of Multi-Agent Simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley. Agricultural Systems, 80(3): 255-275.

Becu N., Perez P., Walker A., Barreteau O. and Le Page C. 2003. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand: description of the CATCHSCAPE model. Ecological Modelling, 170(2): 319-331.

Bonabeau E. 2002. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(suppl 3): 7280-7287.

Bousquet F., Cambier C., Mullon C., Morand P., Quensière J. and Pavé A. 1993. Simulating the interaction between a society and a renewable resource. Journal of biological systems, 1(02): 199-214.

Brooks R.A. 1986. A robust layered control system for a mobile robot. Robotics and Automation, IEEE Journal of, 2(1): 14-23.

Casti J. 1997. Would-be worlds: how simulation is changing the world of science. Wiley. NewYork. USA.

Epstein J.M. and Axtell R. 1996. Growing artificial societies: social science from the bottom up. Brookings Institution Press. Washington, D.C. USA.

Feuillette S., Bousquet F. and Le Goulven P. 2003. SINUSE: a multi-agent model to negotiate water demand management on a free access water table. Environmental Modelling & Software, 18(5): 413-427.

Galán J.M., López-Paredes A. and Del Olmo R. 2009. An agent-based model for domestic water management in Valladolid metropolitan area. Water Resources Research, 45(5): 1-17.

Jennings N.R. 2000. On agent-based software engineering. Artificial intelligence, 117(2): 277-296.

Macal C.M. and North M.J. 2005. Tutorial on agent-based modeling and simulation, Proceedings of the 37th conference on Winter simulation. Winter Simulation Conference, pp. 2-15.

Minar N., Burkhart R., Langton C. and Askenazi M. 1996. The swarm simulation system: A toolkit for building multi-agent simulations. Santa Fe Institute Santa Fe. New Mexico. USA.

Murray-Rust D., Robinson D.T., Guillem E., Karali E. and Rounsevell M. 2014. An open framework for agent based modelling of agricultural land use change. Environmental Modelling & Software, 61: 19-38.

Ng T.L., Eheart J.W., Cai X. and Braden J.B. 2011. An agent-based model of farmer decision-making and water quality impacts at the watershed scale under markets for carbon allowances and a second-generation biofuel crop. Water Resources Research, 47(9): 1-9.

North M.J. and Macal C.M. 2005. Escaping the accidents of history: an overview of artificial life modeling with Repast, Artificial life models in software. Springer. London.

Wolf A.T. 2008. Healing the enlightenment rift: Rationality, spirituality and shared waters. Journal of International Affairs, 61(2): 51-58.