

**Review Paper**

**مقاله مروری**

**Presentation of the Integrated and  
Comprehensive Framework in Assessment  
of Water Demand Management Policies**

**الزامات و ضرورت‌های ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع  
در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری**

Seyyed Ahmadreza Shahangian<sup>1</sup>, Massoud Tabesh<sup>\*2</sup>,  
Haniye Safarpour<sup>3</sup>, Melica Khashei<sup>3</sup> and Mahnaz  
Abbasi<sup>3</sup>

سید احمدرضا شاهنگیان<sup>۱</sup>، مسعود تابش<sup>\*۲</sup>، هانیبه صفرپور<sup>۳</sup>، ملیکا  
خاشعی<sup>۳</sup> و مهناز عباسی<sup>۳</sup>

1- Ph.D. Candidate, School of Civil Engineering, College  
of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی عمران- مهندسی محیط‌زیست، پردیس  
دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

2- Professor, School of Civil Engineering, College of  
Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران،  
تهران، ایران.

3- M.Sc. Student, School of Civil Engineering, College of  
Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی محیط‌زیست،  
پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\* Corresponding author, Email: [mtabesh@ut.ac.ir](mailto:mtabesh@ut.ac.ir)

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [mtabesh@ut.ac.ir](mailto:mtabesh@ut.ac.ir)

Received: 15/02/2020

Revised: 20/07/2020

Accepted: 20/07/2020

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

**Abstract**

**چکیده**

In recent years due to water resources scarcity and increase in water extraction costs, more attention has been given to water consumption; specifically, urban water consumption as a more sensitive and high priority demand with high costs of supplying. Accordingly the water and wastewater authorities are directed to modern water management methods including water demand management policies and water conservation. These practices and policies not only have widespread positive and negative effects in different aspects, but also by affecting the different components of the system, can make more severe and immense effects. Amongst the most important aspects related to such policies are the social aspect and the main stakeholders of the urban water management, i.e. households. Thus, the purpose of this paper is to address these different aspects by reviewing the requirements and obligations of the integrated framework in assessment of water demand management policies. To this end, firstly the importance and necessity of assessing the water demand management policies has been discussed. Then, different approaches for integrated environmental assessment and management have been introduced by demonstrating the main implications. Also, some illustrative examples are presented. Finally, the agent-based model is introduced as the integrated approach for investigating the micro-level social interaction and assessment of macro-level aggregated impacts.

در سال‌های اخیر کمبود شدید منابع و افزایش سریع هزینه‌های استحصال آب، باعث شده است که موضوع مصرف آب بیشتر مورد توجه قرار گیرد؛ به‌ویژه مصرف آب شهری که از حساسیت و اولویت بالاتری نسبت به دیگر کاربری‌ها برخوردار است و بسیار پر هزینه‌تر است. این موضوع، متولیان صنعت آب و فاضلاب را به سمت شیوه‌های مدیریتی جدید از جمله مدیریت تقاضا و اقدامات صرفه‌جویانه در مصرف آب سوق داده است. این اقدامات و سیاست‌ها نه تنها تبعات مثبت و منفی گسترده‌ای را بر جنبه‌های مختلف در پی دارند، بلکه می‌توانند با اثرگذاری بر اجزای مختلف سیستم، شدت و گستره این تبعات را تحت تأثیر قرار دهند. یکی از مهم‌ترین این جنبه‌ها، ابعاد اجتماعی و ذینفعان اصلی این حوزه یعنی خانوارها (مشترکین) است. از این‌رو، هدف این مقاله پرداختن به موضوعات مذکور به بررسی الزامات و ضرورت‌ها در ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های متعدد است. در این مقاله، ابتدا به ضرورت و اهمیت ارزیابی یکپارچه سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری و سپس با ارائه مفاهیم اصلی در این زمینه، به بررسی انواع رویکردهای رایج در زمینه ارزیابی یکپارچه پرداخته شده است. مثال‌هایی نیز برای بیان شفاف‌تر مسئله بیان شده است. در نهایت مدل عامل بنیان به‌عنوان رویکرد یکپارچه‌سازی برای بررسی نحوه تعاملات کوچک مقیاس اجتماعی و ارزیابی تبعات بزرگ مقیاس تجمعی جنبه‌های مختلف، معرفی شده است.

**Keywords:** Agent-Based Model, Environmental Impact, Integrated Assessment, Water Demand Management, Water Distribution Network.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی یکپارچه، مدیریت تقاضا، سامانه‌های آب شهری، مدل‌سازی عامل بنیان، یکپارچه‌سازی دانش.

کمتر از نوع مدیریت تقاضا بوده که این امر تعادل بین عرضه و تقاضا را دستخوش تغییرات جدی کرده است. از سوی دیگر در فرآیند تصمیم‌گیری برای توسعه این سامانه‌ها، جنبه‌های اقتصادی (رشد و توسعه) بر دیگر جنبه‌ها، از جمله جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی، غلبه دارند و عملاً الزامات توسعه پایدار<sup>۱</sup> نادیده گرفته شده است. این امر تبعات جبران‌ناپذیری از جمله بحران شدید تأمین آب، کاهش سطح کیفیت خدمات شرکت‌های تأمین و توزیع آب و نتیجتاً نارضایتی‌های اجتماعی، خسارات گسترده زیست‌محیطی، بعضاً مشکلات بهداشتی و غیره را در سال‌های اخیر در پی داشته است و در صورت عدم توجه به آن‌ها، شدیدتر نیز خواهند شد. بنابراین مدیریت مطلوب تأمین، توزیع و تقاضای آب در حوزه مدیریت آب شهری، از جمله راه‌کارهایی هستند که می‌تواند تأثیر به‌سزایی در مقابله با بحران آب و سازگاری با کم‌آبی داشته باشد.

مدیریت آب شهری طیف وسیعی از سیاست‌ها و اقدامات را دربر می‌گیرد و متأثر از محرک‌های بسیاری از جمله محرک‌های اجتماعی، اقتصادی، مدیریتی، اقلیمی، فنی و غیره است. این محرک‌ها می‌توانند با اعمال فشار بر سیستم و تغییر در شرایط موجود، متولیان را مجبور به اتخاذ سیاست‌هایی در این حوزه کنند که نوع نگرش متولیان و تجربیات آن‌ها از موارد مشابه در گذشته، در اتخاذ و اجرای موفق این سیاست‌ها بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر اتخاذ هر سیاستی در این حوزه که در راستای بهبود شرایط موجود و آینده‌آرایی می‌شود، می‌تواند مستقیماً تبعات مثبت و منفی گسترده‌ای را در پی داشته باشد؛ به‌طوری‌که دامنه این تبعات، حتی می‌تواند اجزای سامانه‌های آب شهری از جمله شبکه توزیع آب، شبکه جمع‌آوری فاضلاب، تصفیه‌خانه آب و تصفیه‌خانه فاضلاب را تحت تأثیر قرار دهد. این تبعات می‌توانند به تشدید یا تضعیف محرک‌های موجود و وخیم‌تر شدن یا بهبود شرایط منجر شوند. از سوی دیگر در حوزه مدیریت آب شهری، گروه عمده مصرف‌کنندگان آب را خانوارها (مشترکین) تشکیل می‌دهند. بنابراین گروه مهم دیگری که تحت تأثیر اعمال سیاست‌های مدیریت آب شهری قرار دارند، مشترکین یا همان گروداران (ذی‌نفعان)<sup>۲</sup> اصلی در حوزه شهری هستند که توجه به نقش و تأثیرگذاری آن‌ها در اجرای موفق برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های مدیریت آب شهری بسیار حائز اهمیت است. نقش خانوارها از سه جنبه بسیار حائز اهمیت است: (۱) نگرش و انگیزه رفتاری خانوارها (مشترکین) درباره رفتارهای صرفه‌جویانه و حفاظت از آب<sup>۳</sup>؛ (۲) نگرش و انگیزه رفتاری آنها در مورد پذیرش یا عدم پذیرش عمومی این سیاست‌ها و (۳) عکس‌العمل‌ها و

مطالعات سازمان ملل متحد<sup>۴</sup>، نشان می‌دهد که کمبود آب مشکلی حاد در سراسر خاورمیانه است. بر طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۷، منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA)<sup>۶</sup> با حدود پنج درصد از جمعیت جهان و تنها بهره‌مندی از یک درصد از کل آب شیرین، به‌شدت تحت تأثیر آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی خواهند بود (IDRC, 2010). پژوهش‌های صورت‌گرفته نیز حاکی از آن است که با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در مناطقی که در آینده با بحران آب مواجه خواهند شد و نیز رشد سریع جمعیت، تا سال ۲۰۵۰ میلادی سهم سرانه آب هر نفر به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب می‌رسد (بیران و هنربخش، ۱۳۸۷). همچنین کشور ایران با متوسط بارش سالانه حدود ۲۴۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر، در زمره مناطقی از جهان است که از موهبت نزولات جوی به اندازه کافی بهره‌مند نیستند و قسمت عمده‌ای از مساحت آن را مناطق خشک و کم‌آب فراگرفته است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱). از طرفی، اگرچه متوسط بارش دراز مدت حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است؛ اما بیشتر مناطق، بارشی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال دارند که این موضوع، موجب برداشت بیش از اندازه از منابع آب تجدیدپذیر شده است (Keshavarzi et al., 2006). بنابراین در سال‌های اخیر کمبود شدید منابع و افزایش سریع هزینه‌های استحصال آب، باعث شده است که موضوع مصرف آب، بیشتر مورد توجه قرار گیرد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۶). اگرچه از کل مصرف آب در ایران تنها حدود ۶ درصد به تأمین آب خانگی اختصاص داده می‌شود، اما نسبت به سایر کاربری‌ها از حساسیت و اولویت بیشتری برخوردار است (ملکی‌نسب و همکاران، ۱۳۸۶) و شامل فرآیندهای بسیار پر هزینه و پیچیده‌تری است (Keshavarzi et al., 2006)؛ فاضلی و همکاران، ۱۳۸۸).

بنابراین اهمیت آب شهری به لحاظ کمیت و کیفیت، هزینه بالای تأمین آن، منابع آبی محدود در دسترس، شرایط اقلیمی موجود و روند تغییرات آن و نیز هزینه‌های سنگین طرح‌های توسعه، انتقال آب و بهره‌گیری از منابع آبی جایگزین، مثل منابع آب نامتعارف، و نیز عدم پذیرش عمومی<sup>۴</sup> برخی از این راه‌کارها، متولیان صنعت آب و فاضلاب را به سمت شیوه‌های مدیریتی جدید از جمله مدیریت تقاضا<sup>۵</sup> و اقدامات صرفه‌جویانه در مصرف آب سوق داده است. علاوه بر این، رویکرد مدیریتی غالب برای اکثر سامانه‌های آب شهری، بیشتر از نوع مدیریت تأمین (عرضه) و

کرده است تا به مدیریت تقاضا و اجرای برنامه‌های صرفه‌جویانه در مصرف آب به‌عنوان یک راه‌حل کم‌هزینه، پایدار و قابل‌اعتماد روی آورند (Baumann et al., 1998). مدیریت تقاضا کمک می‌کند که بیشترین خدمات آبی با حداقل حجم آب ممکن فراهم شود. بنابراین، برقراری تعادل مناسب بین گسترش ظرفیت تأمین و مدیریت تقاضای آب می‌تواند منافع زیادی از جمله به تأخیر انداختن هزینه‌های بالای تأمین آب و آثار منفی محیط‌زیستی آن، کاهش در هزینه‌های بهره‌برداری، کاهش فاضلاب، کاهش مصرف آب گرم و صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی را به‌همراه داشته باشد (Cheng, 2002). مدیریت تقاضای آب که به‌عنوان پاسخی به کمبود آب و پایداری محیط‌زیست مطرح است، می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های موثرتر و کارآمدتر در حوزه مدیریت آب شهری شود و در عمل شامل سه عنصر و هدف کلیدی بهره‌وری، عدالت و پایداری است (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹). برای دستیابی به مدیریت مؤثر تقاضای آب، معمولاً اقدامات و سیاست‌های مختلفی به‌کار گرفته می‌شود که به دو دسته کلی، تقسیم‌بندی می‌شوند: سیاست‌های وابسته به قیمت آب<sup>۱۴</sup> و سیاست‌های غیروابسته به قیمت آب<sup>۱۵</sup>. به‌طور کلی این سیاست‌ها عبارتند از: (۱) آموزش و آگاهی عمومی<sup>۱۶</sup> (فرهنگ‌سازی)؛ (۲) اعمال محدودیت‌های مصرف آب<sup>۱۷</sup>؛ (۳) اقدامات حفاظت از آب و صرفه‌جویی در مصرف آن و (۴) قیمت‌گذاری (انصاری و صالح‌نیا، ۱۳۸۶؛ شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹).

مدل‌سازی: مدل‌سازی راهی است که می‌توان از طریق آن، مشکلات دنیای واقعی را حل کرد (Grigoryev, 2012). بنابراین مدل‌ها، نمایش‌دهنده‌هایی از پیچیدگی‌های دنیای واقعی هستند که همواره نسبت به آن پیچیدگی کمتری دارند (Grigoryev, 2012). در بسیاری از موارد، نمی‌توان به آزمایش در دنیای واقعی برای یافتن راه‌حل‌های مناسب پرداخت؛ ساختن، نابود کردن و ایجاد تغییرات ممکن است بیش از حد هزینه‌بر، خطرناک و یا حتی غیر ممکن باشد (Grigoryev, 2012)؛ این درحالی است که مدل‌های ریاضی برای نمایش مشکلاتی که در قالب چارچوب‌های علمی خود را نمایش می‌دهند، سنجیده‌تر و آگاهانه‌تر عمل می‌کنند و امکان شبیه‌سازی رفتار دنیای واقعی را در یک محیط مصنوعی، فراهم می‌آورند که موجب تکرار آسان و ارزان آن‌ها برای دفعات زیاد می‌شود (Doyle and Ford, 1998). مطابق شکل ۱، دنیای مدل‌سازی محیطی با ریسک‌پذیری آزاد است که امکان حل مشکلات و مدیریت آن‌ها را فراهم می‌آورد.

تصمیمات آن‌ها در پاسخ به تغییر شرایط که می‌تواند تبعات مثبت و منفی دیگری را در پی داشته باشد؛ به نحوی که گستره تبعات ناشی از این‌گونه اقدامات می‌تواند شبکه توزیع، متولیان و حتی خود مشترکین را نیز، تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو پرداختن به چنین موضوعاتی که بتواند پیامدهای ناشی از یک سیاست در ابعاد مختلف را بررسی کند، موضوع بسیار مهمی است؛ چراکه عدم توجه به چنین پیامدهایی می‌تواند منجر به عدم دستیابی به اجرای موفق یک سیاست و حتی بروز تبعات وخیم‌تر و در ابعاد گسترده‌تری نیز شود (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به اهمیت موضوعات اشاره شده، تحقیقاتی در مقاطع دکتری و کارشناسی ارشد در دانشگاه تهران در زمینه ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های مختلف اجتماعی، فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی تعریف شده و در حال انجام است. لذا با توجه به این‌که هدف این مقاله صرفاً مروری بر الزامات و ضرورت در ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری است، در این بخش ابتدا به بیان مفاهیمی پرداخته می‌شود که الزامات اساسی در شکل‌گیری این چارچوب هستند. از این‌رو ابتدا به تعریف مفاهیمی از جمله مدیریت تقاضای آب<sup>۹</sup> شهری، مدل‌سازی<sup>۱۰</sup> و یکپارچه‌سازی<sup>۱۱</sup> دانش و اهمیت و ضرورت یکپارچه‌سازی در ارزیابی سیاست‌های محیط‌زیستی که مفاهیم اساسی در ارتباط با موضوع تحقیق هستند، پرداخته می‌شود. سپس، به رویکردهای رایج که توانایی ارزیابی و مدل‌سازی یکپارچه (IAM)<sup>۱۲</sup> را دارند، اشاره می‌شود و با ارائه مثال‌هایی، به بیان روشن‌تری از لزوم و اهمیت ارائه یک چارچوب جامع و یکپارچه در این حوزه، پرداخته می‌شود. در نهایت نیز مدل عامل بنیان<sup>۱۳</sup> به‌عنوان رویکرد یکپارچه‌سازی مورد استفاده در تحقیقات مذکور، برای بررسی نحوه تعاملات کوچک مقیاس اجتماعی و ارزیابی تبعات بزرگ مقیاس تجمعی جنبه‌های مختلف، معرفی می‌گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

مدیریت تقاضای (مصرف) آب شهری: مدیریت تقاضای آب، شامل فرآیندی از برنامه‌ریزی، سازماندهی، هماهنگی و کنترل برای شناسایی شیوه‌های مصرف و ابزارهای موجود برای کنترل سطوح و کاهش مصرف آب است (تابش، ۱۳۹۶). کمبود آب و هزینه بالای توسعه طرح‌های تأمین آب، دولت‌ها (متولیان) را مجبور



شکل ۱- نمایش شماتیک ساخت دنیای واقعی در محیط مدل سازی (Grigoryev, 2012)

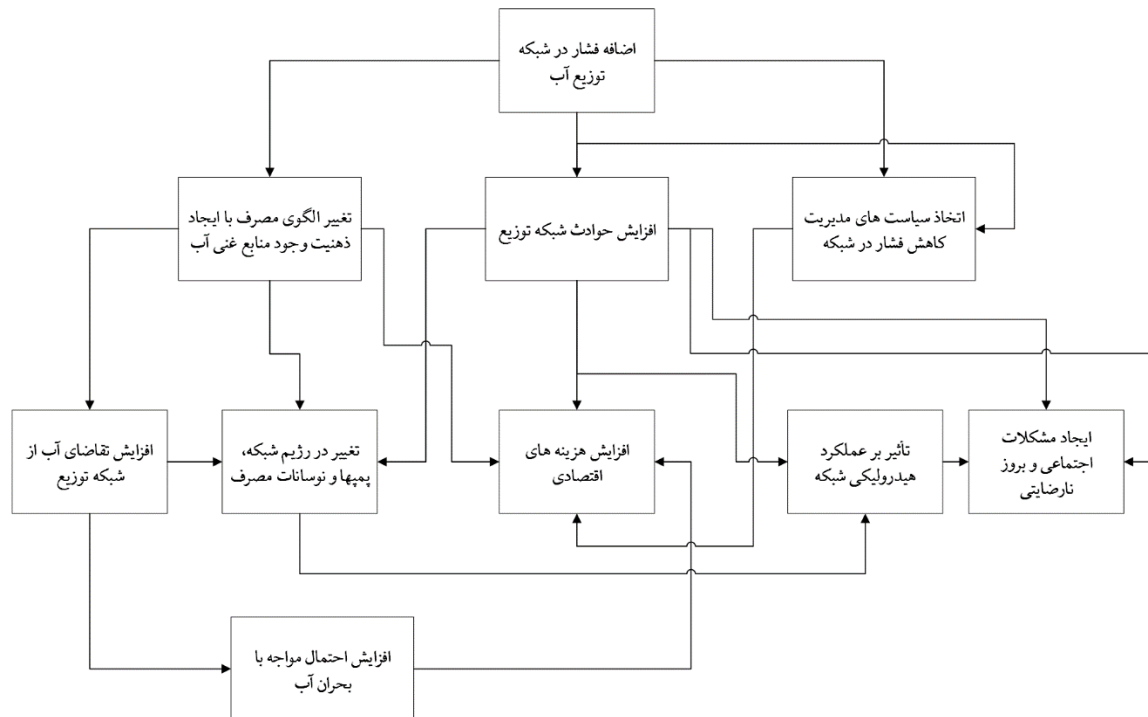
یافته‌اند، باشند. مدل‌سازی یکپارچه روشی در حال توسعه برای تجمیع و گرد هم آوردن اطلاعات، نظریه‌ها و داده‌های متعددی است که از علوم مختلف نشأت گرفته می‌شود و این تفاوت نه فقط به دلیل این است که آن‌ها اهداف و سیستم‌های متفاوتی را مطالعه و بررسی می‌کنند؛ بلکه به این دلیل است که آن‌ها به روش‌های مختلف و با استفاده از زبان‌ها، فرضیات، مقیاس‌ها و تکنیک‌های متفاوت عمل می‌کنند (Voinov and Shugart, 2013).

مدل‌ها یا رویکردهای یکپارچه‌سازی دانش: مدل‌هایی که امروزه در طیف وسیعی از زمینه‌ها (از جمله محیط‌زیست، هیدرولوژی، اقتصاد و غیره) توسعه یافته‌اند و وظیفه یکپارچه‌سازی دانش و ادغام فرآیندهای متعدد سیستم را درون یک چارچوب واحد دارند، به نظر ابزار کاربردی و مفیدی برای کمک به ارزیابی پیچیدگی‌های یکپارچه‌سازی و درک ماهیت آن‌ها، تجزیه و تحلیل سناریوها (گزینه‌ها) با ذینفعان<sup>۲۲</sup>، ارزیابی نتایج آن‌ها و برقراری ارتباط بین نتایج به روشی شفاف و روشن هستند. نیاز به چنین مدل‌ها یا ابزارهایی در ارزیابی یکپارچه، به‌طور گسترده‌ای برای اثربخشی در تصمیم‌گیری و مدیریت مورد تأیید قرار گرفته است (Kelly et al., 2013). پنج مدل یا رویکرد معمول و رایج در مدل‌سازی مدیریت و ارزیابی یکپارچه که توانایی درک پیچیدگی‌های سیستم و یکپارچه‌سازی دانش از منابع و زمینه‌های متعدد را بوسیله توسعه مدل‌ها دارند و می‌توانند مسائل، مقادیر، مقیاس‌های چندگانه و ملاحظات عدم قطعیت‌ها را در خود جای دهد و مشارکت ذی‌نفعان را نیز تسهیل کنند، عبارتند از: پویایی‌های سیستم<sup>۲۳</sup>؛ شبکه‌های بی‌زین<sup>۲۴</sup>؛ مدل‌های مؤلفه پیوندی<sup>۲۵</sup>؛ مدل‌های عامل بنیان و مدل‌های دانش-محور<sup>۲۶</sup> (که به‌عنوان سیستم‌های خبره<sup>۲۷</sup> نیز شناخته می‌شوند) (Kelly et al., 2013).

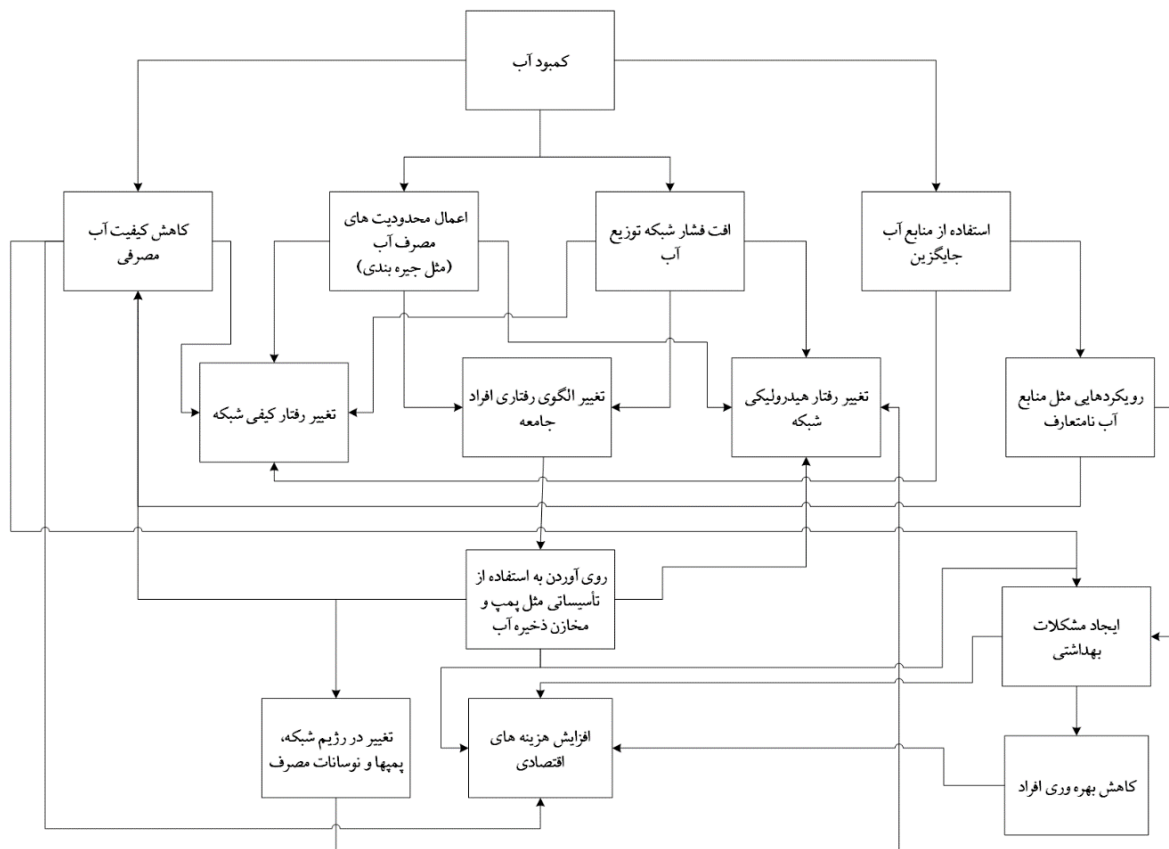
یکپارچه‌سازی دانش: اگرچه مدل‌سازی فرآیندهای محیط‌زیستی دهه‌ها است که مورد توجه محققین بوده است؛ اما با توجه به افزایش میزان و شدت مشکلات و خسارات محیط‌زیستی در قرن بیست و یکم، نیاز به ارزیابی و مدل‌سازی یکپارچه به میزان قابل توجهی افزایش یافته است (Parker et al., 2002). از سوی دیگر، طراحی و پیاده‌سازی سیاست‌های مؤثر محیط‌زیستی، نیازمند درک جامعی از فرآیندهای سیستم (بیوفیزیکی، اجتماعی و اقتصادی)، تعاملات پیچیده بین آن‌ها (اندرکنش بین انتخاب یک سیاست با فرآیندهای محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی، اجتماعی و اهداف مرتبط) و چگونگی پاسخ آن‌ها به تغییرات مختلف است. ارزیابی نتایج پیش‌بینی‌شده باید براساس بازخوردها<sup>۱۸</sup>، اثرات جانبی<sup>۱۹</sup> و گاهی سبک و سنگین کردن<sup>۲۰</sup> میان اهداف مختلف (و اغلب متضاد) و یا اثرات توزیع شده<sup>۲۱</sup> درون یک هدف، به‌عنوان مثال به لحاظ بعد مکانی، باشد. از سوی دیگر ممکن است اثرات مثبت و منفی، در مقیاس زمانی بسیار متفاوت رخ دهد. اثرات زیست‌محیطی گاهی تا سال‌ها و حتی در برخی موارد تا دهه‌ها قابل رویت نیستند؛ در حالی که هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی سریع‌تر بروز می‌کنند و با دقت بیشتری نیز تخمین زده می‌شوند. در حال حاضر آگاهی روبه رشدی درباره پیچیدگی ارزیابی چنین وابستگی‌های درونی برای آگاه‌سازی تصمیم‌گیران وجود دارد (Kelly et al., 2013). بنابراین هم‌زمان با افزایش چشم‌گیر تأثیرات فعالیت‌های بشر بر محیط زیست، علاقه‌مندی به تجزیه و تحلیل سیستم‌هایی که طیف وسیعی از علوم را دربر می‌گیرند نیز، بیشتر می‌شود. این سیستم‌ها پیچیده‌تر هستند و باید با مدل‌هایی توصیف شوند که می‌توانند شامل اجزای مختلفی که دارای مقیاس‌ها و دقت‌های متفاوت بوده و براساس فرضیات و الگوهای مختلفی از زمینه‌های علوم توسعه

تنها شکل مربوط به هر مثال و نحوه تعاملات پیرامون آن آورده شده است.

به‌منظور بیان روشن‌تری از ضرورت ارائه یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری، در این بخش دو مثال ارائه شده است (شکل‌های ۲ و ۳). در این جا



شکل ۲- اثر اضافه فشار آب شبکه بر دیگر جنبه‌ها (شکل مثال ۱)



شکل ۳- اثر کمبود آب در یک منطقه بر دیگر جنبه‌ها (شکل مثال ۲)

پویا بین عوامل و محیط آن‌ها را بهبود بخشد (Kelly et al., 2013). مزایای رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی عبارتند از (Galan et al., 2009؛ دربندسری، ۱۳۹۵):

- منجر به بیان شفاف‌تر و واقعی‌تر (طبیعی) از سیستم هدف می‌شود؛

- امکان صرف‌نظر کردن از فرضیه همگن بودن در جمعیت که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد را فراهم می‌آورد (بنابراین می‌توان موجودیت‌ها و عامل‌ها را به‌صورت غیریکسان شبیه‌سازی کرد)؛

- اجازه اعمال نمایش صریح و شفاف از محیط‌های جغرافیایی با حالت واقع‌بینانه را می‌دهد؛

- امکان مدل‌سازی تعاملات محیطی را فراهم می‌کند؛

- امکان مدل‌سازی متقابل تعاملات بین افراد در مقیاس میکرو و رفتارهای سیستم در مقیاس ماکرو<sup>۳۳</sup> را فراهم می‌کند؛

- می‌تواند رفتارهایی که بروز پیدا کرده است را بررسی و شناسایی کند و آن‌چه که به عنوان الگوهای جدید در مقیاس بالاتر از یک سیستم بروز می‌کند و نتیجه تعامل در سطح پائین‌تر است را نشان دهد؛

- می‌تواند به سرعت انتقادات بالقوه و اصلاحات پیشنهادی متخصصان و ذی‌نفعان را در مدل اعمال نماید؛

- این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان تمامی ابعاد تأثیرگذار در یک مدل واحد از جمله جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، منطقه‌ای، تکنولوژیکی و هر بعد نفوذی را در نظر گرفت، بنابراین دانش یکپارچه و بین‌رشته‌ای را ایجاد می‌کند.

بنابراین با توجه به این که چارچوب پیشنهادی در این تحقیق، به‌دنبال شناسایی رفتارهای خانوارها به‌عنوان اصلی‌ترین ذی‌نفعان حوزه شهری (بررسی جنبه‌های اجتماعی) و مدل‌سازی تعاملات کوچک مقیاس بین افراد و ارزیابی تبعات ناشی از آن در کنار سایر جنبه‌ها در مقیاس بزرگ است، برای یکپارچه‌سازی از مدل عامل‌بنیان استفاده شده است. مدل‌سازی عامل‌بنیان، یک روش مدل‌سازی برای نمایش مستقیم پدیده‌های اجتماعی است که در مقایسه با سایر روش‌های مدل‌سازی در مقیاس میکرو، بیان صریح (روشن) و مشخصی از رفتار هر یک از افراد حاضر در سیستم مدل‌سازی دارند (López-Paredes et al., 2005). در واقع مدل‌سازی عامل‌بنیان، یک مطالعه محاسباتی از سیستم‌هایی است که در آن نهادهای مستقل<sup>۳۴</sup> با رفتارهای پویا و خصوصیات ناهمگن (ناهمسان) با یکدیگر در تعامل هستند (et Heckbert al., 2010). عوامل، محیطی که در آن قرار دارند و فرآیند روابط

با جمع‌بندی مطالب اشاره شده تا این‌جا، می‌توان دریافت که به‌منظور ارزیابی یکپارچه سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های مختلف، نیاز به استفاده از مدلی است که بتواند ارزیابی جنبه‌های مختلف را در خود جای دهد. مدل‌های پویایی‌های سیستم و عامل‌بنیان به‌منظور بهبود درک از سیستم و یادگیری اجتماعی<sup>۲۸</sup> مناسب هستند؛ این موضوع به‌دلیل تأکید این روش‌ها به بررسی فرض‌ها و نتایج احتمالی و معقول، به‌جای پیش‌بینی یا تصمیم‌گیری دقیق است. فقط با این تفاوت که در مدل‌های پویایی‌های سیستم نگاه کل به جزء یا از بالا به پائین<sup>۲۹</sup> است، ولی در مدل‌های عامل‌بنیان، نگاه جزء به کل یا از پائین به بالا<sup>۳۰</sup> و بررسی تعاملات کوچک مقیاس است. چنین مدل‌هایی اغلب توسعه پیدا می‌کنند تا به تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان اجازه دهند مدل‌ها و فرضیه‌های متعددی را در رابطه با فرآیندهایی مورد آزمون قرار دهند که درک ضعیفی نسبت به آن‌ها وجود دارد. همچنین ثابت شده است که مدل‌های عامل‌بنیان ابزارهای بسیار مناسبی برای یادگیری اجتماعی در طیف وسیعی از محیط‌ها هستند که در آن فرضیات درباره فرآیندها و تعاملات بررسی و به اشتراک گذاشته می‌شود. همچنین، این مدل‌ها می‌توانند اثرات فردی و یا جمعی را در نظر بگیرند. علاوه بر آن، چنانچه هدف از مدل‌سازی تعاملات بین افراد باشد و نه اثرات جمعی سیستم، رویکرد عامل‌بنیان مناسب‌ترین گزینه است (Kelly et al., 2013). هم‌چنین، مدل‌سازی عامل‌بنیان، چارچوبی را مهیا می‌کند تا بتوان روش‌های قابل‌اجرائی را که با الزامات متعدد مدل‌سازی مدیریت زیست‌محیطی مطابقت داشته باشد، اعمال کرد. به‌عبارت دیگر شبیه‌سازی عامل‌بنیان اجازه می‌دهد تا مدل‌های محیط‌زیستی را به سیستم‌های اجتماعی که در آن‌ها تعبیه شده است، متصل کرد؛ به‌گونه‌ای که نقش تعاملات اجتماعی و انطباق‌پذیر<sup>۳۱</sup> و تصمیمات فردی (در مقیاس میکرو<sup>۳۲</sup>) می‌تواند در مدیریت محیط‌زیستی مدل‌سازی شود. علاوه بر این، اجازه مطالعه و بررسی تعاملات بین مقیاس‌های متعدد از تصمیم‌گیران، بررسی واکنش‌های انطباق‌پذیر، پاسخ‌های جمعی به تغییر محیط‌ها و سیاست‌های مدیریت محیط‌زیستی را می‌دهد (Hare and Deadman, 2004). مدل‌های عامل‌بنیان، برای یادگیری اجتماعی و ابزار پشتیبان مدیریت بسیار مناسب هستند و عمدتاً برای تجزیه و تحلیل نهادی و سیاستگذاری و شبیه‌سازی فرآیندهای اجتماعی- اقتصادی یا اجتماعی- اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا درک حاصل از تعاملات و اثرات متقابل

یکپارچه‌سازی دانش و غیره به بررسی انواع رویکردهای رایج در زمینه ارزیابی یکپارچه سیاست‌های مدیریت محیط‌زیستی پرداخته شده است. علاوه بر این با بیان مثال‌هایی، هم ضرورت تحقیق در این زمینه و هم بیان شفاف‌تری از مسئله صورت گرفت. در ادامه با جمع‌بندی مطالب و زمینه‌های مورد بررسی تحقیقات تعریف شده در دانشگاه تهران و با توجه به خصوصیات مدل‌های یکپارچه‌سازی و ویژگی‌های مدیریت آب شهری، به ارائه مدل عامل‌بنیان که برای بررسی چگونگی تعاملات کوچک مقیاس اجتماعی و ارزیابی تبعات بزرگ مقیاس جنبه‌های مختلف در انجام تحقیقات محققین این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، پرداخته شد. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، این مقاله صرفاً بیان چکیده‌ای از تحقیقاتی است که در مقاطع دکتری و کارشناسی ارشد در دانشگاه تهران در زمینه ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری از جنبه‌های مختلف اجتماعی، فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی تعریف شده و در حال انجام است. لذا در این مقاله تنها اهمیت موضوع بیان شده و در مقالات بعدی نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مختلف ارائه خواهد شد.

#### ۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- United Nations
- 2- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 3- Middle East and North Africa
- 4- Public Acceptance
- 5- Water Demand Management
- 6- Sustainable Development
- 7- Stakeholder
- 8- Water Conservation
- 9- Water Demand Management
- 10- Modelling
- 11- Integration
- 12- Integrated Assessment and Modelling
- 13- Agent-Based Model
- 14- Price Policies
- 15- Non-Price Policies
- 16- Education and Public Awareness
- 17- Water Restrictions
- 18- Feedbacks
- 19- Side Effects
- 20- Trade-offs
- 21- Distributed Impacts
- 22- Analyze Alternatives with Stakeholders
- 23- Systems Dynamics
- 24- Bayesian Networks
- 25- Coupled Component Models
- 26- Knowledge-Based Models
- 27- Expert Systems
- 28- Social Learning
- 29- Top-Down Approach
- 30- Bottom-Up Approach
- 31- Adaptive

و تعاملات میان آن‌ها، به‌عنوان ارکان اصلی این دسته از مدل‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Bandini et al., 2009). این مدل‌ها از دو یا تعداد بیشتری عامل<sup>۳۵</sup> ساخته می‌شوند که در یک زمان مشابه قرار دارند، در منابع مشترکی سهیم هستند و نهایتاً در ارتباط با یکدیگر قرار دارند. این عامل‌ها معمولاً قادر به واکنش نسبت به تغییرات دریافتی در محیطشان از طریق کنش به محیط یا سازگاری درونی هستند (Kelly et al., 2013). در واقع عامل‌ها، یعنی همان بازیگران اجتماعی مانند مردم و سازمان‌های نهادی که برای واکنش به محیط طراحی شده‌اند (Yuan et al., 2014)، با یکدیگر و محیطشان ارتباط برقرار کرده و منجر به بروز پیامدهایی در مقیاس ماکرو می‌شوند (Heckbert et al., 2010). نهاد‌های مستقل نه تنها می‌توانند غالباً انسان باشند، بلکه می‌توانند گروه‌ها، جانداران و حتی موجودیت‌های بیوفیزیکی مثل آب باشند (Kelly et al., 2013). اساساً این مدل‌سازی، شامل ایجاد یک برنامه کامپیوتری است که در آن موجودیت‌های شناسایی شده در سیستم هدف و تعاملات بین آنها، توسط مؤلفه‌های نرم‌افزاری (عامل‌ها) که بین آن‌ها و محیط مجازی‌ای که داخل آن قرار دارند، نمایش داده می‌شود (Edmonds, 2001).

#### ۴- جمع‌بندی

این مقاله با هدف ارائه الزامات و ضرورت‌های ایجاد یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری شکل گرفته است. از این‌رو ابتدا به بیان مسئله و ضرورت آن در زمینه زنجیره تأمین- تقاضای آب خانگی<sup>۳۶</sup> که دو گروه اصلی از ذینفعان را شامل می‌شود، پرداخته شد. این دو گروه عبارتند از: (۱) شرکت‌های آب و فاضلاب که وظیفه تأمین آب شهری و سیاست‌گذاری در این حوزه را دارند و (۲) خانوارها که مصرف‌کنندگان عمده آب شهری هستند و توجه به نقش و اهمیت خانوارها به‌عنوان ذی‌نفعان اصلی در حوزه مدیریت آب شهری و تعاملاتی اجتماعی که در پی اتخاذ این سیاست‌ها در حوزه شهری صورت می‌گیرد، بسیار حائز اهمیت است. در واقع این چرخه، رشته‌ای از تعاملات بین این دو ذینفع را شامل می‌شود. ابتدا شرکت آب و فاضلاب یک سیاست را اعمال می‌کند و سپس مصرف‌کنندگان (خانوارها) نسبت به آن واکنش نشان می‌دهند. افراد میزان مصرف آب خود را با توجه به سیاست‌های اعمالی، شرایط آب و هوایی یا سایر پارامترها مورد بازبینی قرار می‌دهند و در نهایت، شرکت آب و برق نیز سیاست قیمت‌گذاری آب را اصلاح می‌کند. سپس با ارائه مفاهیم اصلی در این زمینه که الزامات اساسی در شکل‌گیری این چارچوب هستند، از جمله

- Cheng, C.L., (2002), "Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building", *Energy and Buildings*, 34(3), 261-266.
- Doyle, J.K. and Ford D.N., (1998), "Mental models concepts for system dynamics research", *System Dynamics Review*, 14(1), 3-29.
- Edmonds, B., (2001), *The use of models: Making MABS actually work, in multi-agent-based simulation*, Edited by S. Moss and P. Davidsson, Springer, Berlin.
- 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), W05401.
- Grigoryev, I., (2012), *AnyLogic 6 in three days: A quick course in simulation modeling*, AnyLogic North America.
- Hare, M., and Deadman, P., (2004), "Further towards a taxonomy of agent-based simulation models in environmental management", *Mathematics and Computers in Simulation*, 64(1), 25-40.
- Heckbert, S., Baynes, T., and Reeson, A., (2010), "Agent-based modeling in ecological economics", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185(1), 39-53.
- International Development Research Centre (IDRC), (2010), *Water demand management- making the most of the water we have*, available on: <https://www.idrc.ca/en/article/water-demand-management-making-most-water-we-have>.
- 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", *Environmental Modelling & Software*, 47, 159-181.
- Keshavarzi, A.R., Sharifzadeh, M., Kamgar Haghghi, A.A., Amin, S., Keshtkar, S., and Bamdad, A., (2006), "Rural domestic water consumption behavior: A case study in Ramjerd area, Fars province, I.R. Iran", *Water Research*, 40(6), 1173-1178.
- López-Paredes, A., Saurí, D., and Galán, J.M., (2005), "Urban water management with artificial societies of agents: The FIRMABAR simulator", *Simulation*, 81(3), 189-199.
- Parker, P., Letcher, R., Jakeman, A., Beck, M.B., Harris, G., Argent, R.M., Hare, M., Pahl-Wostl, C., Voinov, A., Janssen, M. and Sullivan, P., (2002), "Progress in integrated assessment and modelling", *Environmental Modelling & Software*, 17(3), 209-217.
- Voinov, A., and Shugart, H.H., (2013), "Integronsters', integral and integrated modeling", *Environmental Modelling & Software*, 39, 149-158.
- Yuan, X.C., Wei, Y.M., Pan, S.Y., and Jin, J.L., (2014), "Urban household water demand in Beijing by 2020: An agent-based model", *Water Resources Management*, 28(10), 2967-2980.

- 32- Micro-Scale  
33- Macro-Level  
34- Autonomous Entities  
35- Agent  
36- The Residential Water Demand-Supply Chain

## ۶- مراجع

- انصاری، ح.، و صالح‌نیا، ن.، (۱۳۸۶)، "بررسی و ارزیابی استراتژی‌های حفاظت از منابع آب در فضای سبز با تأکید بر استراتژی‌های «وابسته به قیمت آب»"، *ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران*، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. بیران، ص.، و هنربخش، ن.، (۱۳۸۷)، "بحران وضعیت آب در جهان و ایران"، *راهبرد*، ۴۸(۳)، ۱۹۳-۲۱۲.
- تابش، م.، (۱۳۹۶)، *مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب*، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- دریندسری، پ.، (۱۳۹۵)، "تدوین یک مدل رفع اختلاف مبتنی بر مدل‌سازی عامل‌محور برای مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- شاهنگیان، س.ا.، تابش، م.، و صفربور، ه.، (۱۳۹۹)، "مروری بر چارچوب مفهومی چرخه تعاملاتی و فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده در حوزه مدیریت آب شهری"، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۶(۳)، ۶۳-۷۹.
- عباسپور، ف.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، و عطاری، ج.، (۱۳۹۶)، "تأثیر قانون هدفمندی یارانه‌ها بر مصرف آب شهری مشهد"، *آب و فاضلاب*، ۲۸(۱)، ۶۵-۷۳.
- فاضلی، م.، پور رجب، ر.، و امجدی، م. ر.، (۱۳۸۸)، "مدیریت کمی آب شهری و اولویت‌بندی فعالیت‌های مدیریت تقاضا"، *سومین همایش ملی آب و فاضلاب*، تهران، ایران.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۱)، *راهنمای شناخت و بررسی عوامل مؤثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن*، نشریه شماره ۵۵۶، تهران، ایران.
- ملکی‌نسب، ا.، ابریشم‌چی، ا.، و تجریشی، م.، (۱۳۸۶)، "ارزیابی صرفه‌جویی در مصرف آب خانگی به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف"، *آب و فاضلاب*، ۱۸(۲)، ۲-۱۱.
- Bandini, S., Manzoni, S., and Vizzari, G., (2009), "Agent based modeling and simulation: An informatics perspective", *Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4), 1-4.
- Baumann, D.D., Boland, J.J., and Hanemann, W.M., (1998), *Urban water demand management and planning*, McGraw-Hill, Inc., New York.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.