Archive of SID

نشریه علمی سیاست‌گذاری اقتصادی
مقاله پژوهشی/ سال سیزدهم، شماره بیست و پنجم، بهار و تابستان ۱۴۰۰

بررسی اثرات تبلیغات و اجبار به رفتار صرفه‌جویانه بر مصرف آب با توجه به تعاملات اجتماعی مصرف‌کنندگان*

سید فرزاد موسوی[۱]
نرگس صالح نیا[۲]
احمد سیفی[۳]
احمدرضا اصغرپور ماسوله[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷

چکیده

کمبود منابع آب تجدیدپذیر در ایران، برخی از پژوهش‌گران را به مطالعه و بررسی سیاست‌های مناسب برای کاهش مصرف آب وادار کرده است. سیاست‌های تبلیغاتی (آگاه‌سازی مصرف‌کننده در جهت اتخاذ رفتار مناسب از روی اختیار) و سیاست‌های اجبار به داشتن رفتار صرفه‌جویانه (از طریق الزامات قانونی یا فنی مانند نصب کنتورهای هوشمند) دو نمونه از این سیاست‌ها هستند. اکثر مطالعات، تعاملات اجتماعی میان مصرف‌کنندگان آب خانگی و تغییر و تحول رفتار مصرفی آنان را در مدل‌های خود لحاظ نمی‌کنند که این امر باعث ضعف اساسی مدل می‌شود. لذا این مطالعه با مدل‌سازی تعاملات اجتماعی سعی در تدوین یک چهارچوب مبتنی بر عامل به کمک فرآیند انتشار برای بررسی بهتر رفتار مصرف آب دارد. مدل مبتنی بر عامل طراحی شده، برای مصرف‌کنندگان آب خانگی شهر شیراز و با توجه به داده‌های ۱۳۹۷-۱۳۸۴ کالیبره و از آن برای شبیه‌سازی هر یک از سناریوها برای سال‌های بعد استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تبلیغات در سال شروع فرآیند شبیه‌سازی، بهبود مناسبی در نسبت افراد دارای رفتار همکارانه و مصرف در سال‌های پس از آن ایجاد خواهد شد. همچنین در مورد اجبار مصرف‌کنندگان به اتخاذ رفتار صرفه‌جویانه، نیازی به وادار کردن همه‌ی مصرف‌کنندگان (بالای یک حد مشخص مصرف) نیست بلکه بهتر است صرفا افراد با رفتار غیر همکارانه (و با مصرف بالاتر از یک حد مشخص) را مجبورکرد، زیرا پیروی از رفتار شبکه هم‌جوار باعث توزیع رفتار همکارانه در کل سیستم خواهد شد و به سبب آن صرفه‌جویی مناسبی در کل مصرف آب صورت خواهد گرفت.

واژگان کلیدی: مصرف آب، فرآیند انتشار، تعاملات اجتماعی، تبلیغات، اجبار.

Keywords: Water Consumption, Diffusion Process, Social Interactions, Advertising, Coercion.

JEL Classification: Q25, C63, D12, Q33.

[۱]. فارغ التحصیل دکتری اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد moosavi-farzad@mail.um.ac.ir
[۲]. استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول) n.salehnia@um.ac.ir
[۳]. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد spring05@um.ac.ir
[۴]. استادیار گروه جامعه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد asgharpour@um.ac.ir

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول مقاله می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

ایران در یکی از مناطق کم آب جهان واقع است. گزارش بانک جهانی[1](۲۰۱۷) نشان می‌دهد که در ایران حدود ۹۴ درصد مردم در مناطق دارای تنش آبی[2]زندگی می‌کنند، در صورتی که متوسط جهانی این رقم حدود ۳۶ درصد است. همچنین ۹۴ درصد تولید ناخالص داخلی ایران در مناطق دارای تنش آبی به دست می‌آید در حالی که این رقم برای متوسط جهانی ۲۲ درصد است. ایرانیان باستان از طریق زیرساخت‌های هوشمند هیدرولیکی شامل قنات‌ها، آب راهه‌ها (جوی‌ها)، لوله‌های رسی، سدهای قوسی، سدهای گرانشی بزرگ، آسیاب‌های آبی، سیل بندها و مخازن نگهداری یخ و آب، در استخراج، کنترل و استفاده از آب بسیار موفق بوده‌اند. این نوآوری‌های فنی، با توسعه‌ی قدیمی‌ترین نظام قانون‌گذاری آب، اندازه‌گیری، بازاریابی و حل و فصل منازعات آبی، شرایط را برای مدیریت مؤثر منابع آبی برای هزاران سال فراهم آورده بود (مدنی و همکاران[3]، ۲۰۱۶). پیشینه‌ی موفق در مدیریت صحیح منابع آب در ایران، زمینه‌ی زیست در مناطق خشک و ساخت تمدن‌ها را فراهم می‌نمود. به تدریج با افزایش جمعیت و مصرف، رخداد خشک‌سالی‌ها و نیز تغییر مرزهای آبی کشور، زمینه‌های بروز بحران آشکار شد. اکنون بخش‌هایی از مناطق باستانی با تمدن چندین هزار ساله با کمبود جدی آب مواجه است. همچنین با توجه به افزایش تقاضا و کاهش دسترسی به منابع آب، ارزش اقتصادی آب در طول زمان افزایش می‌یابد و باعث عدم تعادل می‌شود که می‌تواند منجر به درگیری‌های منطقه‌ای احتمالاً جدی‌تر در مقایسه با منازعات مرتبط با نفت شود (آنتونلی و گروسو[4]، ۱۳۹۸). تغییرات آب و هوایی، خشک‌سالی‌ها و افت منابع آبی علاوه بر کاهش رفاه، پیامدهای منفی سیاسی، مناقشات و منازعات را نیز در پی دارند. در حالی که شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی به طور سنتی به عنوان عوامل شکل دهنده‌ی جوامع انسانی باستانی ملاحظه می‌شوند، نباید تأثیر تغییرات شدید آب و هوایی و خشک‌سالی‌ها را نادیده گرفت. به گونه‌ای که یک پژوهش (شریفی و همکاران[5]، ۲۰۱۵) مشترک دانشمندان علوم زمین، دیرینه اقلیم‌شناسان و مورخان با بررسی داده‌های دیرینه- اقلیمی در فلات ایران نشان می‌دهد که تحولات تمدن‌های بین‌النهرین و ایران شامل فروپاشی امپراطوری اور سوم، سقوط

---

[1]. World Bank (2017)

[۲]. برداشت ۴۰ درصد یا بیشتر از آب‌های سطحی (مطابق با تعریف بانک جهانی در گزارش ۲۰۱۷).

[3]. Madani (2016)

[4]. Antonelli and Greco

[5]. Sharifi (2015)

www.SID.ir

Archive of SID

امپراطوری ایلام و پادشاهی ماد، امپراتوری هخامنشی، پارت‌ها، امپراتوری ساسانی و حکومت صفوی با دوره‌های بزرگ خشک‌سالی و ریزگرد فراوان در منطقه همزمانی داشته‌اند. شرایط کنونی ایران نیز خشک‌سالی توأم با مصرف زیاد آب است. جهت رسیدن به توسعه و جمعیت پایدار، لزوم مدیریت مصرف فزاینده‌ی منابع آبی به صورت فعال، آشکار است. در حال حاضر مدیریت منابع آب بیشتر تحت تأثیر سیاست‌های بخش عرضه و رویکرد مهندسی قرار دارد اما مدیریت صحیح آب به طور تنگاتنگی به سامانه‌های اجتماعی، دانش فنی، همچنین به صورت عمیقی به دانش اجتماعی، آگاهی از مکان و محیط زیست منطقه، نقش‌های سیاسی و شبکه‌ها گره خورده است و مدیریت آب بدون لحاظ این موارد پدیده‌ای نامرئی و غیر قابل لمس خواهد شد.

سیاست‌گذاران حوزه آب به عنوان معماران انتخاب[1] مسئولیت دارند زمینه و بستر تصمیم‌سازی صحیح را برای مصرف‌کننده فراهم آورند. یکی از گام‌های مهم اصلاح قیمت‌هاست، یعنی انگیزه‌های اقتصادی؛ اما رویکرد اصلاح قیمت از لحاظ سیاسی دشوار است (تیلر و سانستین[2] ۲۰۰۸) و دولت به دلیل نگرانی‌های مرتبط با برابری نمی‌تواند ریسک قیمت‌گذاری بالا یا تأمین کمتر را بپذیرد. دسترسی اندک به آب آشامیدنی سالم موجب آسیب‌پذیری خانوارها نسبت به بیماری‌ها می‌شود (ساوجی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). لذا هم‌زمان با اصلاح قیمت، اقدامات دیگری مانند تبلیغات، تغییرات قانونی، اعمال جریمه یا محدودیت‌ها نیز لازم است. این اقدامات باید به گونه‌ای طراحی شوند که تنش و هزینه‌های کمتر و در عین حال اثرگذاری بیشتری داشته باشند.

مطالعات بسیاری جهت بررسی تقاضای آب در ایران صورت گرفته است، اما تعامل مصرف‌کنندگان با یکدیگر و با محیط و قابلیت تغییر رفتار آن‌ها جزء جامانده این مطالعات است. برای بررسی رفتار مصرفی آب، باید با کمک مدل‌سازی‌های مناسب، آثار تغییرات متغیرهای مستقل سنجیده شوند. این تغییرات در جامعه‌ای با اجزای متعامل اتفاق می‌افتد و نه در جامعه‌ای با افراد منزوی. لذا با توجه به مطالب بیان شده، این مطالعه بر بررسی عمیق‌تر تقاضای آب خانگی متمرکز خواهد شد به گونه‌ای که نقش تعاملات اجتماعی بین مصرف‌کنندگان را نیز لحاظ می‌کند و از مجرای آن، سناریوهای افزایش تبلیغات و اجبار به رفتار همکارانه در صرفه‌جویی را بررسی می‌کند. برای این کار از رویکرد شبیه‌سازی مبتنی بر عامل به عنوان یک روش محاسباتی با

---

[1]. اصطلاح Choice Architecture اولین بار توسط ریچار تیلر و کاس.آر سانستاین به عنوان ابزاری برای بهبود تصمیم‌گیری مصرف‌کننده با حداقل‌کردن سوگیری و خطاهای ناشی از عقلانیت محدود ابداع شد.

www.SID.ir

[2]. Thaler and Sunstein (2008)

Archive of SID

رویکرد پایین به بالا، برای بررسی سناریوهای مختلف «اگر-آن‌گاه» در محیطی که اجزای آن در تعامل با یکدیگرند، استفاده می‌شود. کنش و واکنش بین مصرف‌کنندگان و اثرپذیری آن‌ها از یکدیگر در بسیاری از مطالعات لحاظ نشده است و توجه به آن‌ها منجر به بهبود مدل تبیین تقاضا می‌شود. در گام بعد با استفاده از داده‌های تجربی شهر شیراز، کالیبراسیون (واسنجی) و شبیه‌سازی رفتار مصرفی به کمک مدل انجام خواهد شد و از آن در بررسی اثرات دو سناریوی تبلیغات و اجبار افراد به رفتار همکارانه بر روند مصرف و درصد همکاری در رفتار مصرفی استفاده می‌شود. شهر شیراز علاوه بر داشتن جمعیت زیاد، هم به لحاظ توریستی و گردشگری و هم به لحاظ مهاجرپذیری مخصوصاً از استان‌های جنوبی کشور، همواره تقاضای آب رو به رشدی دارد و در ماه‌های گرم سال همواره با مشکل افت فشار و قطعی موضعی آب مواجه است.

مزیت این مطالعه در این است که به کمک الگوی انتشار اجتماعی و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل به بررسی پویایی‌های رفتار صرفه‌جویانه و صیانتی آب در خانوارهای غیر همگن می‌پردازد و نقش شبکه اجتماع هم‌جوار را بر روی اتخاذ رفتار مصرفی خانوارها لحاظ می‌کند. مدل نظری، روش کالیبراسیون پارامترها و نتایج آن، می‌تواند برای مطالعات دیگر در حوزه‌های آب کشاورزی و صنعتی، مصرف برق و گاز خانوارها نیز به کار رود.

۲- شبیه‌سازی مبتنی بر عامل

ایده اصلی و اساس شبیه‌سازی مبتنی بر عامل بر این است که بسیاری از پدیده‌ها، قابل مدل‌سازی توسط تعدادی از عامل‌ها، محیط و توصیف تعاملِ «عامل با عامل» و «عامل با محیط» هستند. حتی از دید هایک[1] و اسمیت[2] نهادها و میراث‌های فرهنگی بشر نیز نتیجه تعاملات انسان‌ها و نه حاصل طراحی سنجیده شده‌ی آن‌ها هستند[3] (اسمیت[4]، ۲۰۰۲). تفاوت اساسی شبیه‌سازی مبتنی بر عامل با دیگر روش‌های شبیه‌سازی، توانایی آن در مدل‌سازی کنش و واکنش‌ها و تعاملات است؛ مدل‌سازی مبتنی بر عامل، بر عقلانیت محدود، ناهمگونی و نفوذ اجتماعی متمرکز است و به عنوان یک روش محاسباتی محقق را قادر می‌سازد تا با استفاده از مدل‌های محتویِ عامل‌های متعامل درون یک محیط، به خلق مدل، تحلیل و آزمایش آن اقدام کند (اسکاتزونی[5]، ۱۳۹۲).

---

1. Hayek
2. Smith (2004)
3. "Constructivist and Ecological Rationality in Economics", Prize Lecture, December 8, 2002.
4. Smith
5. Squazzoni

www.SID.ir

Archive of SID

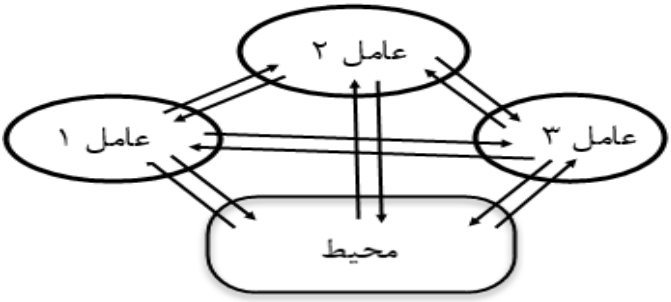
در این روش نگاه بر روی اشیاء موجود در سیستم و نحوه‌ی رفتار آن‌هاست. لذا مدل‌سازی در این روش از پایین به بالا[1]با شناسایی عامل‌ها و رفتار تک تک آن‌ها صورت می‌گیرد. در این روش برای توصیف تعامل، عوامل را به هم متصل می‌کنند و آن‌ها را در یک محیط قرار می‌دهند. در این صورت رفتار کلی سیستم، برآیند رفتار تعداد زیادی از رفتارهای فردی عامل‌هاست.

در هر مدل مبتنی بر عامل سه جزء اصلی وجود دارد (نمودار ۱) که در ادامه به اختصار بیان می‌شود.

الف- عامل: شخص، موجود، شیء یا نهادی خودمختار[2](متمایز) با ویژگی‌ها، اقدامات و اهداف خاص است. عامل‌ها تولیدکننده رفتار هستند و قادر به پذیرش، تعدیل و تغییر رفتارهایشان هستند. تصمیمات عوامل بر اساس یک مجموعه از قوانین یا اهدافی است که می‌تواند از یک عامل به عامل دیگر متفاوت باشد.

ب- محیط: محیط در شبیه‌سازی مبتنی بر عامل چشم‌اندازی است که عوامل در آن برهم‌کنش دارند. محیط به پویایی عوامل کمک می‌کند و می‌تواند واقعی یا انتزاعی باشد.

ج- کنش و واکنش‌ها یا تعاملات: شامل قواعد و روابطی است که سیستم را شکل می‌دهند. قوانینی که عوامل از آن‌ها پیروی می‌کنند می‌توانند از یک منطق ساده تا یک تئوری بازی پیچیده متغیر باشند. عوامل اغلب با یکدیگر و یا با محیطشان ارتباط دارند و از طریق این ارتباطات تعامل دارند.



منبع: نگارندگان

نمودار ۱: ساختار یک مدل ساده‌ی مبتنی بر عامل

[1]. Bottom-Up
[2]. Autonomous

www.SID.ir

Archive of SID

گام‌های اصلی یک مدل مبتنی بر عامل به صورت زیر است (اخباری و گریگ[1] ۲۰۱۵):

۱- مشخص کردن عامل‌ها
۲- مشخص نمودن رفتارهای متمایز عامل‌ها
۳- تعریف محیطی که عامل‌ها در آن زندگی می‌کنند و با آن در تعامل هستند
۴- شناسایی ارتباطات عامل‌ها با هم و ایجاد نظریه‌ای در مورد تعاملات آن‌ها با همدیگر و محیط
۵- ایجاد داده‌های مورد نیاز مرتبط با عامل‌ها
۶- نشان دادن تعاملات عامل‌ها با یکدیگر و با محیط
۷- اعتبارسنجی مدل رفتار عامل

۳- مروری بر مطالعات پیشین

۳-۱- درک تأثیرات اجتماعی بر رفتار انسان‌ها و نیز بر رفتار مصرف آب

از نظر غالب پژوهش‌گران علوم اجتماعی، رفتار افراد بیش از آن‌که ناشی از یک ماموریت آگاهانه باشد تحت تاثیر تعاملات اجتماعی آنان است. مردم کنش می‌کنند و محصول محیط اجتماعی‌اند و در گروه‌ها یا طبقات مختلف نشانه‌های مشترکی را می‌پذیرند تا خودشان را از دیگران در سایر کلاس‌ها یا گروه‌ها متمایز کنند (اکرلاف و کرانتون[2] ۱۳۹۵).

درک تأثیرات اجتماعی به دو دلیل بسیار مهم است. دلیل اول این‌که بیشتر مردم از بقیه یاد می‌گیرند. دوم این‌که یکی از روش‌های مؤثر هدایت مردم، همین تأثیرات اجتماعی است (تیلر و سانستین[3] ۲۰۰۸). سیاست‌گذاران باید بدانند که چگونه رفتارهای اجتماعی سودمند را تشویق و از انواع مضر آن نیز جلوگیری کنند.

تأثیرات اجتماعی در دو دسته اصلی قرار می‌گیرند. اولین دسته، اطلاعات است. وقتی که بسیاری از مردم کاری را انجام می‌دهند یا به موضوعی فکر می‌کنند، اعمال و افکارشان منتقل‌کننده‌ی اطلاعاتی است که می‌تواند به نفع دیگران هم باشد. دومین دسته، فشار هم‌گروهی‌ها و عدم تمایل افراد برای مواجهه با مخالفت در گروه است. به عنوان مثال مجموعه آزمون‌های اَش[4] روانشناس اجتماعی برجسته در دهه ۱۹۵۰، نشان داد که افراد تحت آزمون، به تصمیمات غریبه‌هایی که شاید

1. Akhbari and Grigg (2015)
2. Akerlof and Kranton
3. Thaler and Sunstein (2008)
4. Asch

www.SID.ir

Archive of SID

هرگز دوباره آن‌ها را نمی‌دیدند و دلیل خاصی هم وجود نداشت که بخواهند دوستشان داشته باشند واکنش مثبت نشان می‌دادند.

آزمایش جالب بیتسون و همکاران[1](۲۰۰۶) از دانشگاه نیوکسل نیز نشان می‌دهد که حتی صرف احساس زیر نظر بودن افراد (بدون این‌که واقعا زیر نظر باشند) در یک گروه یا شبکه می‌تواند رفتار مثبت و همکاری آنان در گروه را تقویت کند. مطالعه‌ی چارنس و رابین[2](۲۰۰۲) نیز به فهم و درک ترجیحات اجتماعی پرداخته است که در زمره یکی از پر استنادترین مقالات حوزه علوم اجتماعی و اقتصاد است. انسان‌ها همزمان در دو دنیا زندگی می‌کنند؛ که در یکی از آن هنجارهای اجتماعی برپاست و در دیگری هنجارهای بازار حاکم است. هنجارهای اجتماعی ریشه در طبیعت انسان و نیاز او به اجتماع دارند و معمولاً صمیمانه و مبهم هستند در حالی که هنجارهای بازار اصولاً ابهامی ندارند و مبادلات (مانند دستمزد، قیمت و نرخ بهره) صریح هستند. در برخی مواقع، افراد بر پایه رفتار قبلی دیگران چیزی را خوب (یا بد) تصور می‌کنند و عیناً دست به همان کار می‌زنند (آریلی[3]، ۱۳۹۰).

یک مدل اقتصادی متعارف، اجتماعی شدن را عموماً در نظر نمی‌گیرد، مگر این‌که همه به گونه‌ای یکسان اجتماعی شوند. در چنین مدلی هر تفاوتی بین مردم به عنوان تفاوت‌های شخصی دیده می‌شود. اقتصاددانان با پیروی از گری بکر[4] مسائل اجتماعی را وارد مدل‌ها کردند. رویکرد بکر گسترش دادن تابع مطلوبیت بود (اکرلاف و کرانتون، ۱۳۹۵).

هنجارهای اجتماعی به عنوان عامل مؤثر بر رفتار مصرفی آب خانوارها، در برخی از مطالعات بررسی شده است. به طوری که در مطالعات جاگر و شولتز[5](۲۰۱۷)، اوتاکی و همکاران[6] (۲۰۱۷)، برنودو و همکاران[7](۲۰۱۴) و فرارو و همکاران[8](۲۰۱۱) مصرف‌کنندگان علاوه بر ترجیحات فردی، ترجیحات اجتماعی ناشی از مصرف آب را نیز نشان می‌دهند. همچنین با توجه به آثار تعاملات بر مصرف آب، موس و ادموندز[9](۲۰۰۵) برای تبیین الگوهای تجربی حاصل از بررسی داده‌های تغییرات مصرف آب در بریتانیا، خانوارهایی را در نظر گرفتند که مصرف آب

1. Bateson (2006)
2. Charness and Rabin (2002)
3. Ariely
4. Gary Becker
5. Jaeger and Schultz (2017)
6. Otaki (2017)
7. Bernedo (2014)
8. Ferraro (2011)
9. Moss and Edmonds (2005)

www.SID.ir

Archive of SID

خود را تحت تأثیر همسایگان تنظیم می‌کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند در شرایطی که صنعت آب دولتی بوده است، با توجه به حضور خانواده‌ها در داخل شبکه‌های اجتماعی، فشار همسایه کارکرد کنترل اجتماعی را داشته و مانع از مصرف افراطی آب شده است، زیرا مردم بر یکدیگر نظارت کرده و مجازات‌ها و عدم مطلوبیت‌های اجتماعی را تحمیل می‌کردند. مطالعات تجربی زیادی از جمله مطالعه‌ی تمباتا و تاکیوچی[1](۲۰۱۷) در مورد مدیریت منابع آب ژاپن نیز حاکی از آن است که وقتی یک گروه مصرف‌کننده آب در جامعه برای صرفه‌جویی در مصرف همکاری می‌کنند، دیگر گروه‌ها نیز تمایل بیشتری به صرفه‌جویی دارند، در نتیجه، سطح همکاری و صرفه‌جویی، بستگی به همکاری دیگر گروه‌های مصرف‌کننده آب دارد.

در مطالعه حاضر نیز مصرف‌کننده در یک محیط اجتماعی در قالب کنش و واکنش‌های مداوم با محیط و دیگران، رفتار خود را شکل می‌دهد. ضمن این‌که متغیرهای اقتصادی، شرایط آب و هوایی و تبلیغات نیز دخیل خواهند بود. خانوارها منزوی نیستند بلکه در یک محیط اجتماعی تعاملات زیادی با یکدیگر دارند و این امر باید در تابع مطلوبیت مصرف‌کننده وارد شود.

۲-۳- مروری بر مدل های مبتنی بر عامل برای مصرف آب

در تحقیقات تقاضای آب مشخص شده است که مدل‌سازی‌های مبتنی بر عامل نسبت به مدل‌سازی رگرسیونی ساده و سری‌های زمانی توانایی بیشتری برای شمول تعداد زیاد متغیرهای اجتماعی و فیزیکی (کمی وکیفی)، مدل‌سازی دخالت‌های سیاسی، شبیه‌سازی تصمیمات فردی و عدم قطعیت دارند (بپل[2] ۲۰۱۶). از جمله می‌توان به شبیه‌سازی و ارزیابی پایداری برنامه‌های مدیریت خشک‌سالی و سناریوهای چندگانه تغییر اقلیم، بارش و تبخیر شهر رالی[3]در کارولینای شمالی (مشهدی علی و همکاران[4] ۲۰۱۷)، تخصیص بهینه منابع آبی رودخانه فرامرزی نیل (دینگ و همکاران[5] ۲۰۱۶)، مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی (فرهادی و همکاران[6] ۲۰۱۶)، مدیریت تعارضات منابع آب حوزه سن جواکین[7](اخباری و گریگ[8] ۲۰۱۳)، مقایسه سیستم‌های تخصیص

1. Tembata and Takeuchi (2017)
2. Bepple (2016)
3. Raleigh
4. Mashhadi Ali (2017)
5. Ding (2016)
6. Farhadi (2016)
7. San Joaquin Watershed
8. Akhbari and Grigg (2013)

www.SID.ir

Archive of SID

آب (ژائو[1] ۲۰۱۳)، تقلید فن‌آوری و رفتار مصرف آب (ریکسون و همکاران[2] ۲۰۰۷) و شبیه‌سازی مدیریت منابع آب در حوزه دانوب[3] بالایی (ارنست و همکاران[4] ۲۰۰۵) اشاره کرد.

با توجه به این‌که پژوهش پیش رو از مطالعات مبتنی بر عامل بسیاری برای طراحی مدل رفتار مصرفی آب استفاده کرده است، لازم است به طور خاص برخی از چهارچوب‌های مبتنی بر عامل طراحی شده در مطالعات و پروژه‌های مدل‌سازی تقاضای آب خانگی به همراه ساختار کلی و مشخصه‌های آن‌ها بیان شود.

۱- ابزار شبیه‌سازی ارزیابی سیاست‌های قیمت‌گذاری آب در مناطق شهری (DAWN):

مطالعات آتاناسیادیس و همکاران[5] (۲۰۰۵) به طور خاص بر تخمین مصرف آب تحت سناریوهای مختلف قیمت‌گذاری، با در نظر گرفتن تعاملات اجتماعی، گسترش سیگنال‌های حفاظت از منابع آبی در بین مصرف‌کنندگان آب و واکنش به سیاست‌های حفاظت آب متمرکز است. مصرف آب به کمک یک مدل اقتصادسنجی تکمیل شده با یک مدل فعالیت اجتماعی، تخمین زده می‌شود. تعاملات اجتماعی، انتشار سیگنال‌های حفاظت آب در درون جامعه مصرف‌کننده را شبیه‌سازی می‌کنند.

نتایج این مطالعه برای شهر یونان به طور خلاصه نشان می‌دهد که اجرای یک سیاست آموزشی و اطلاع‌رسانی در مقیاس متوسط همراه با تعدیل قیمت آب به میزان تورم، اثرات مشابه با افزایش قیمت آب به میزان ۵٪ دارد و اثرات سیاست آموزش و اطلاع رسانی در طول زمان گسترش خواهد یافت. همچنین، یک سیاست عمده حفاظت آب می‌تواند موجب صرفه جویی بیش از ۵٪ در کل تقاضای آب شود.

۲- مدل خانوار تنها[6]

هدف مدل و مطالعه‌ی لینکولا و همکاران[7] (۲۰۱۳) پرداختن به رفتار پویای ساکنین است و فعالیت‌های ساعتی مصرف آب اعضای خانوار را در یک بافت رفتاری و فنی شبیه‌سازی می‌کند. این مدل مبتنی بر عامل، سیستم مصرف آب درون یک خانوار منفرد را شبیه‌سازی می‌کند، لذا

1. Zhao (2013)
2. Rixon (2007)
3. Danube
4. Ernst (2005)
5. Athanasiadis (2005)
6. Single Household Model
7. Linkola (2013)

www.SID.ir

Archive of SID

عامل‌ها اعضای خانواده هستند. ویژگی‌هایی که تصور می‌شود بر فرآیند تصمیم‌گیری اعضای خانوار اثرگذار باشد، مانند اشتغال، سن، مدت زمان در خانه بودن، خصوصیات عملی مصرف آب (بهداشت شخصی، آشامیدن، پخت و پز، شستن لباس، دستشویی، ظرفشویی و ...) مد نظر قرار می‌گیرند.

این مطالعه با بررسی مصارف آب خانوارهای مختلف (مجرد، خانواده‌های دارای فرزند و زوج‌های بازنشسته) هلندی و آمریکایی نشان می‌دهد که خانوارهای بازنشسته آب بیشتری مصرف می‌کنند چون اغلب مواقع در خانه هستند. عامل‌ها عادات دوش گرفتن و استحمام خود را بر اساس وضعیت اشتغال و سن خود شکل می‌دهند. خانوارهای مجرد، تنها و شاغل بیشترین دفعات استحمام وسطح مصرف آب در دوش گرفتن را دارند. عاملی که به صورت تمام وقت در بیرون از خانه شاغل است، در مقایسه با عامل بازنشسته، بیش از ۵۰ درصد آب کمتری در آشپزخانه مصرف می‌کند. در مورد مصرف آب سرویس بهداشتی نیز همین الگو برقرار است. همچنین پویش‌های آموزش صرفه‌جویی در آب برای بخشی از جمعیت که پذیرا هستند، مؤثرند.

۳- مدل مبتنی بر عامل مصرف آب خانگی (RWUM[1])

مدل چو و همکاران[2](۲۰۰۹) بر اساس داده‌های مصرف آب خانگی در شهر پکن توسعه یافته و تنظیم شده است. این مدل با تفکیک تقاضای کل آب به مصارف دوش و حمام، توالت، لباسشویی و شیر آب، پاسخ مصرف‌کنندگان ناهمگن را با در نظر گرفتن نفوذ بازارِ فن‌آوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب، سیاست‌های تنظیمی، توسعه اقتصادی، آگاهی‌های عمومی و ترجیحات ارزیابی می‌کند. نتایج بررسی‌های این مطالعه نشان می‌دهد که خانوارهای پکن به راحتی ابزارهای اقتصادی‌تر و صرفه‌جویانه در مصرف آب را نمی‌پذیرند. لذا برای افزایش کارایی استفاده از آب، دولت می‌تواند از پویش‌های آگاهی عمومی برای تغییر در قواعد تصمیم‌گیری خانوارها جهت تسریع در تعویض دستگاه‌های سنتی آب بهره ببرد.

٤- مدل پروژه‌ی اروپایی آب شیرین و مدیریت منابع (FIRMA[3])

این مدل مبتنی بر عامل (داونینگ و همکاران[4] ۲۰۰۰؛ بارتلمی و همکاران[5] ۲۰۰۱)، در قالب پروژه‌ی اروپایی آب شیرین و مدیریت منابع، توسعه یافت و مربوط به منطقه جنوب انگلستان

1. Residential Water Use Model
2. Chu (2009)
3. Freshwater Integrated a Resource Management with Agents (FIRMA)
4. Downing (2000)
5. Barthelemy (2001)

www.SID.ir

Archive of SID

است. سیاست ویژه‌ای که به آن پرداخته می‌شود، اثربخشی راهکار تشویق به وسیله‌ی مقامات در مدیریت مصرف داخلی آب در طول دوره‌های خشک‌سالی است. نتایج این مطالعات در بررسی شکاف بین مقادیر مصرفی و مصرف مورد انتظار نشان می‌دهدکه مصرف در ماه‌هایی که مقامات و مسئولین خانوارها را ترغیب به صرفه‌جویی می‌کردند کاهش یافته است و بلافاصله با پایان پافشاری‌ها به حالت عادی برگشته است.

۵- مدل تقاضای آب خانوار شهری (HWDP[1])

این مدل (یوان و همکاران[2] ۲۰۱۴) یک رویکرد مبتنی بر عامل را برای پیش‌بینی تقاضای آب خانوارهای شهر پکن تحت سناریوهای متفاوت قیمتی و توسعه‌ی اقتصادی اجتماعی به کار می‌برد، همچنین به ارزیابی منافع سیاست‌های حفاظت آب می‌پردازد. برای یک عامل خانوار ویژگی‌های مصرف کل، مصرف سرانه، بعد خانوار و تحصیلات مطرح است. این عامل‌ها در یک شبکه دوبعدی قرار دارند و تنها با عوامل همسایگی خود ارتباط دارند. تعاملات بین آن‌ها مبتنی بر ویژگی‌ها و رفتارهایشان است. بررسی‌های این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش اندک قیمت آب عامل اصلی کاهش صرفه‌جویی بوده است به گونه‌ای که در حالت رشد اندک قیمت آب تا سال ۲۰۲۰ (۶ سال پس از تحقیق) میزان تقاضای کل خانوارهای شهری پکن به ۳۱۷/۵ متر مکعب افزایش خواهد یافت اما با افزایش چشم‌گیر قیمت آب و افزایش‌های اندک درآمد قابل تصرف، به ۲۹۴/۹ متر مکعب خواهد رسید. این مطالعه سناریوهای تحصیلاتی و درآمدی بسیاری را بررسی می‌کند. به عنوان مثال میانگین اختلاف مصرف عامل‌های تحصیل کرده و غیر تحصیل کرده با درآمد بالا را ۱/۴ متر مکعب برای هر نفر در سال (سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰) برآورد می‌کند. همچنین نشان می‌دهد که خانوارهای با درآمد بالاتر همیشه آب بیشتری مصرف می‌کنند و سیاست‌های مؤثر بر کاهش مصرف باید بر روی طرح‌های صرفه‌جویی برای خانوارهای با درآمد بالا تمرکز کند.

به عنوان جمع‌بندی مطالعات بیان شده باید ذکر کرد که در سال‌های اخیر توجه محققین حوزه‌ی آب به تعاملات اجتماعی مصرف‌کنندگان و نقش شبکه اجتماع هم‌جوار بر رفتار مصرفی آب خانوارها بیشتر شده است، بنابراین در بررسی مدیریت آب مخصوصاً مدیریت تقاضای آب شهری، استفاده از شبیه‌سازی مبتنی بر عامل به عنوان ابزاری که متغیرها و تعاملات اجتماعی را به خوبی مدل‌سازی می‌کند رو به گسترش است.

www.SID.ir

[1]. Urban Household Water Demand
[2]. Yuan (2014)

Archive of SID

۴- روش شناسی تحقیق

۴-۱- تشریح مدل پایه

دو نوع رفتار مصرفی صرفه‌جویانه یا همکارانه[1](C) و غیر صرفه‌جویانه یا غیر همکارانه[2](NC) برای مصرف‌کنندگان آب خانگی در نظر گرفته می‌شود. محیط اجتماعی فرد و متغیرهای اقتصادی و آب و هوایی (مانند دمای هوا) به کمک مدل انتشار، تعیین‌کننده میزان مطلوبیت فرد برای گرایش به یکی از این رفتارها است. برای هر فرد یک مصرف بهینه با توجه به محیط اجتماعی وی وجود دارد. فرد متناسب با نوع رفتار خود و میزان مصرف بهینه، تقاضای خود را در دوره بعد تعدیل می‌کند. نهاد قانون‌گذار (مانند شرکت آب و فاضلاب) نیز قیمت آب، مخارج تبلیغات برای صرفه‌جویی در مصرف و مقررات را تعیین می‌کند و هدفش افزایش صرفه‌جویی در مصرف آب است. لذا در این مطالعه سعی در شبیه‌سازی آثار سناریوهای مختلف بر مصرف آب و اهداف نهاد قانون‌گذار است. به این منظور ابتدا مطلوبیت فرد از انتخاب نوع رفتارش در متن مدل انتشار بحث می‌شود. در قسمت بعد روش محاسبه مصرف بهینه فرد و نحوه تعدیل تقاضای آب وی بیان می‌شود. بعد از تنظیم مدل و به دست آمدن پارامترها، اثر سناریوهای مختلف بر مصرف آب و میزان رفتار همکارانه قابل بررسی خواهد بود.

۴-۲- مدل انتشار

بسیاری از هنجارهای اجتماعی و الگوهای رفتاری، به طور فوری و هم‌زمان توسط همه اعضای یک جامعه اتخاذ نمی‌شوند، بلکه غالباً نتیجه فرآیند انتشار تدریجی هستند که در میان شبکه‌های اجتماع، رخ می‌دهند (نیومن[3] ۲۰۰۳). فرآیند انتشار مدل‌سازی شده در این مطالعه با استفاده از مدل انتشار اجتماعی یانگ[4](۱۹۹۹) طراحی شده است. این گونه مدل‌ها در ابتدا از جامعه شناسی توزیع نوآوری[5]الهام گرفته شده‌اند.

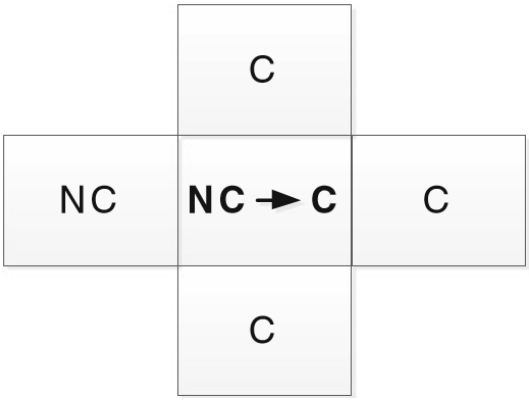
فرض می‌شود تعداد N خانوار وجود دارند که شانس و یا توان انتخاب دو نوع رفتار مصرفی (C و NC) آب را دارند. این دو نوع رفتار را می‌توان به اشکال مختلف همکارانه یا غیر همکارانه، صرفه‌جو یا غیر صرفه‌جو، دلسوز منابع طبیعی یا غیر دلسوز، تعبیر کرد. خانوارهای با رفتار

1. Cooperative, Conservative
2. Non-Cooperative, Non-Conservative
3. Newman (2003)
4. Young (1999)
5. Innovation Diffusion

www.SID.ir

Archive of SID

همکارانه، صرفه‌جو و دلسوز منابع برعکس نوع دیگر، در مصرف آب دقت بیشتری می‌کنند و مصرف خود را کاهش می‌دهند. همچنین مطابق با نمودار ۲ فرض می‌شود هر عامل یک شبکه اجتماعی V_i دارد که وقتی از رفتار آنان پیروی می‌کند، یک مطلوبیت اجتماعی مثبت دریافت می‌دارد. این شبکه اجتماعی شامل خانوارهای همجوار فرد است. مدل فرض می‌کند که یک نوع عامل وجود دارد که خانوار است. همچنین همسایگی هر عامل به عنوان ناحیه‌ای مربعی در شبکه مشخص شده است که مرکزش آن عامل خاص است و شعاع آن با پارامتر محدوده‌ی دید[1] تعریف می‌شود. فرض می‌شود که همه عوامل مستقر در آن ناحیه همسایه‌های عامل هستند.



منبع: اخباری و گریگ، ۲۰۱۳

نمودار ۲Error! No text of specified style in document.: تأثیر شبکه اجتماعی (همسایگان) بر حفظ یا تغییر رفتار یک عامل

۳-۴- نوع رفتار مصرفی

برای تعیین نوع رفتار مصرفی، با توجه به شبکه اجتماعی که عامل در آن قرار دارد، توابع مطلوبیت زیر فرمول بندی می‌شوند. این معادلات نشان می‌دهند که یک عامل با چه درجه و شدتی تمایل دارد رفتار خودش را حفظ کند و یا آن را تغییر دهد (U نشان‌گر مطلوبیت است):

$$U_{i,n+1}\,(C \to C) = a \times V(i,C)_n + MF_{i,n+1} \quad (۱)$$

$$U_{i,n+1}\,(C \to NC) = b \times V(i,NC)_n \quad (۲)$$

$$U_{i,n+1}\,(NC \to C) = a' \times V(i,C)_n + MF_{i,n+1} \quad (۳)$$

$$U_{i,n+1}\,(NC \to NC) = b' \times V(i,NC)_n \quad (۴)$$

www.SID.ir

[1] .SightLimit

Archive of SID

$$U^{*}_{i,n+1}(C\ or\ NC \rightarrow C) = 1 \qquad (۵)$$

معادلات ۱ تا ۴، مطلوبیت‌های ناشی از حفظ یا تغییر رفتار خانوار را نشان می‌دهد. به عنوان مثال $U_{i,n+1}\ (C \rightarrow C)$ مطلوبیت عامل i با رفتار C در دوره‌ی جاری، به سبب حفظ رفتارش در دوره بعد را نشان می‌دهد. هر عاملی که در دوره جاری رفتار C را داشته باشد برای این‌که نوع رفتار خود را حفظ کند $(C \rightarrow C)$ و یا آن را به NC تغییر دهد $(C \rightarrow NC)$ باید میزان مطلوبیت خود از حفظ یا تغییر رفتار را محاسبه کند که این کار با استفاده از معادلات ۱ و ۲ صورت می‌گیرد. همچنین اگر عاملی در دوره جاری رفتار NC را داشته باشد برای تصمیم تغییر رفتار به $C)\ NC \rightarrow$ یا حفظ آن $(NC \rightarrow NC)$ باید مطلوبیت‌های ناشی از هر اقدام را بر اساس معادلات ۳ و ۴ محاسبه کند. اگر عامل i دارای رفتار C باشد، معادله ۱ تمایل وی برای حفظ رفتارش و معادله ۲ تمایل وی برای تغییر رفتارش را نشان می‌دهد. اگر عامل i دارای رفتار NC باشد، معادله ۳ تمایل وی برای تغییر رفتار و معادله ۴ تمایل وی برای حفظ رفتارش را محاسبه می‌کند.

در این معادلات جزء اول سمت راست، بیان‌گر فشار اجتماعی است. $V(i,C)_n$ و $V(i,NC)_n$ به ترتیب نسبت همسایگان عامل i با رفتار C و NC هستند که نشان‌گر اثر رفتار همسایگان بر رفتار یک عامل است و مجموع آن‌ها برابر با ۱ است، به عنوان مثال اگر ۴۰ درصد همسایگان یک عامل دارای رفتار C باشند آنگاه ۶۰ درصد دیگر دارای رفتار NC هستند. در این معادلات a، b، a' و b' پارامترهای مدل هستند. در واقع، این ضرایب نشان می‌دهند که داشتن درصد مشخصی همسایه با رفتار C یا NC به چه میزان رفتار خانوار را به C یا NC سوق می‌دهد. وقتی یک عامل از رفتار همسایگانش پیروی می‌کند، مطلوبیت اجتماعی مثبت دریافت می‌کند. در جدول ۱ تعریف دقیق پارامترها بیان شده است.

جدول ۱: تعریف پارامترها

پارامتر	تعریف
a و b'	تمایل فرد به تقلید از همسایگان در پیروی از رفتار کنونی خود
b و a'	تمایل فرد به تقلید از همسایگان در پیروی از رفتار متضاد

منبع: دربندساری[1] و همکاران (۲۰۱۷)؛ اخباری و گریگ (۲۰۱۵)

www.SID.ir

[1]. Darbandsari (2017)

Archive of SID

مقادیر پیشنهادی این پارامترها بر اساس مطالعات ادواردز و همکاران[1](۲۰۰۵)، اخباری و گریگ (۲۰۱۵) و دربندساری و همکاران[2]برای آب شرب شهر تهران (۲۰۱۷) به صورت زیر است:

$$a = b' = 0.7\,; \qquad b = a' = 0.3$$

در معادلات ۱ و ۳ جزء اصلاح[3] $MF_{i,n+1}$ آثار دیگر عوامل بر انتخاب رفتار خانوار است و فشار به سمت رفتار C را اندازه‌گیری می‌کند. اگر محدودیت منابع آب به هیچ عنوان وجود نداشته باشد و آب کافی برای تخصیص به حداکثر تقاضای تمام مصرف‌کنندگان موجود باشد، آن‌گاه جزء اصلاح برای معادلات ۱ تا ۴ به صورت معادله ۶ خواهد بود:

$$MF_{i,n+1} = MF^{*}_{i,n+1} = 1 - [a \times V(i,C)_n] \qquad \text{برای معادله (۱):} \qquad (۶)$$

$$MF_{i,n+1} = MF^{*}_{i,n+1} = 1 - [a' \times V(i,C)_n] \qquad \text{برای معادله (۳):}$$

با جای‌گذاری $MF^{*}_{i,n+1}$ در معادلات ۱ و ۳، $U_{i=1}$ (یعنی مطلوبیت ۱۰۰٪) می‌شود. زیرا تقاضای مصرف‌کننده کاملاً تأمین می‌شود و عامل مصرف‌کننده به عنوان همکاری‌کننده ملاحظه می‌شود. همچنین معادله ۵ برای زمانی به کار می‌رود که نهاد قانون‌گذار با وضع قانون یا هر اهرم دیگری، شخص را ملزم به رفتار C کند (اخباری و گریگ[4]، ۲۰۱۵).

جزء اصلاح تابعی از تبلیغات بر روی صرفه‌جویی آب، نسبت مخارج آب خانوار به درآمد و شرایط آب و هوایی است.

$$MF_{i,n+1} = \alpha_1 * AE_{n+1} + \alpha_2 * CE_{i,n+1} + \alpha_3 * RE_{n+1} \leq 1 \qquad (۷)$$

AE_{n+1}: اثر تبلیغات بر رفتار مصرفی خانوار (مخارج تبلیغات به صورت نرمال شده[5] و در بازه ۰ تا ۱ وارد مدل می‌شود). تبلیغات شاید روشن‌ترین نمونه امکان دست‌کاری دسته‌بندی‌ها، هنجارها و ایده‌آل‌ها باشد که نه تنها از هنجارهای موجود استفاده می‌کند بلکه ایده‌آل‌های جدید نیز می‌سازد. هدف از تبلیغات واداشتن مردم به انجام کاری است تا ایده‌آلی را برآورده سازند (اکرلاف و کرانتون، ۱۳۹۵).

1. Edwards (2005)
2. Darbandsari (2017)
3. Modification Factor
4. Akhbari and Grigg (2015)
5. Normalized

www.SID.ir

Archive of SID

$CE_{i,n+1}$: نسبت هزینه‌های مصرف آب به درآمد برای خانوار i در دوره n+1 است.

RE_{n+1} نیز اثر بارش بر رفتار مصرفی خانوار را نشان می‌دهد.

خانوار با رفتار C یا NC در یک دوره، با توجه به حداکثر سازی توابع مطلوبیت ۱ تا ۵ تصمیم به حفظ یا تغییر رفتار می‌گیرد.

$$\text{Max}\begin{cases} U_{i,n+1}\ (C \to C) \\ U_{i,n+1}\ (C \to NC) \end{cases} \qquad \text{Max}\begin{cases} U_{i,n+1}\ (NC \to C) \\ U_{i,n+1}\ (NC \to NC) \end{cases} \tag{۸}$$

برای هر خانوار، یک مصرف بهینه‌ی متأثر از شبکه اجتماعی D_i^* با توجه به مصرف شبکه اجتماعی‌اش وجود دارد. زمانی که تعداد v همسایه وجود داشته باشد، مصرف بهینه، با حل مسئله کمینه‌سازی زیر به دست می‌آید (یوان و همکاران[1] ۲۰۱۴):

$$\begin{aligned} &Min\ \textstyle\sum_{k=1}^{v} w(k)\sqrt{\left(D_i^* - D_k\right)^2 + (I_i - I_k)^2} \\ &s.t\ min\{D_i, D_k\} \le D_i^* \le max\{D_i, D_k\} \qquad k = 1,2,..,v \end{aligned} \tag{۹}$$

D_k: مصرف سرانه‌ی آب خانوار در همسایگی؛ I_i: درآمد خانوار؛ I_k: درآمد خانوار در همسایگی.

این حداقل‌سازی به این معنی است که هر خانوار یک مصرف بهینه‌ی سرانه آب را دنبال می‌کند که میزان آن از معادله ۲۲ تخمین زده می‌شود و در آن عامل خانوار، فاصله بین مصرف خود و همسایگانش را با توجه به تفاوت درآمدی خود و آن‌ها به حداقل می‌رساند. قید منطقی لحاظ شده در این معادله نیز شرط ریاضیاتی وجود جواب است و بیان می‌کند که میزان مصرف بهینه خانوار نمی‌تواند از حداقل مصرف خود خانوار و همسایگانش کمتر باشد و یا از حداکثر مصرف خود خانوار و همسایگانش بیشتر باشد.

$w(k)$ ضریب وزنی است. یک عامل، کمتر تحت تأثیر همسایه‌ای قرار می‌گیرد که تفاوت درآمدی زیادی با وی دارد؛ یعنی خانوار با درآمد بالاتر، آثار ضعیف‌تری بر خانوار با درآمد کمتر دارد، به عبارتی خانوارها در تقلید میزان مصرف آب از یکدیگر، از کسانی بیشتر متأثر می‌شوند که به لحاظ درآمدی نیز به آنان نزدیک‌تر باشند و این امر منطقی به نظر می‌رسد زیرا طبقات مختلف درآمدی می‌تواند سبک‌های زندگی و مصرفی متفاوتی را ایجاد کند. استفاده از

www.SID.ir

[1]. Yuan (2014)

Archive of SID

ابزارآلات مختلف مصرف آب، کولرهای گازی و وان حمام مواردی هستند که بر مصرف آب اثرات مثبت یا منفی زیادی دارند. اما صرف داشتن همسایگانی با این وسایل منجر به تقلید فرد در خرید این تجهیزات و به تبع آن تغییر در میزان مصرف متأثر از همسایگان نخواهد شد بلکه نیازمند داشتن درآمد کافی است؛ لذا $w(k)$ را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد که در آن ضریب وزنی تابعی از شباهت‌های درآمدی است:

$$w(k) = \frac{max\{|I_j - I_i|\} - |I_k - I_i|}{max\{|I_j - I_i|\} - min\{|I_j - I_i|\}} \quad j = 1,2,\dots,v \qquad (۱۰)$$

مدل فرض می‌کند که عوامل با توجه به مطلوبیت‌های دریافتی از شبکه اجتماعی خود، در هر دوره درصدی از شکاف بین مصرف خود و مصرف بهینه را جبران می‌کنند. لذا مصرف سرانه خانوار i در هر دوره بسته به C یا NC بودن او تعدیل می‌شود. به کمک مدل‌های تعدیل موجود در مطالعات شبیه‌سازی تقاضای آب و بازطراحی آن‌ها مطابق با هدف تحقیق پیش رو، تعدیل تقاضا در هر دوره به‌صورت معادلات ۱۱ تا ۱۸ در جدول ۲ خواهد بود.

جدول ۲: معادلات تعدیل تقاضا

رفتار اتخاذی خانوار در دوره t	رفتار اتخاذی خانوار در دوره t+1	شکاف بین مصرف و مصرف بهینه	تقاضا	
C	C	if $(D_i^t - D_i^{*t} \geq 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t - U_i^{t+1}(C \to C) \times (D_i^t - D_i^{*t}) + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۱)
C	C	if $(D_i^t - D_i^{*t} < 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۲)
C	NC	if $(D_i^t - D_i^{*t} \geq 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۳)
C	NC	if $(D_i^t - D_i^{*t} < 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t - U_i^{t+1}(C \to NC) \times (D_i^t - D_i^{*t}) + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۴)
NC	C	if $(D_i^t - D_i^{*t} \geq 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t - U_i^{t+1}(NC \to C) \times (D_i^t - D_i^{*t}) + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۵)
NC	C	if $(D_i^t - D_i^{*t} < 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۶)
NC	NC	if $(D_i^t - D_i^{*t} \geq 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۷)
NC	NC	if $(D_i^t - D_i^{*t} < 0)$	$D_i^{t+1} = D_i^t - U_i^{t+1}(NC \to NC) \times (D_i^t - D_i^{*t}) + \alpha(Tem^{t+1} - Tem^t)$	(۱۸)

منبع: نگارندگان

Tem^t دمای هوا در دوره t و α نیز ضریب تعدیل دما است. معادلات ۱۱ تا ۱۸، تغییرات مصرف افراد (برای حالت‌های مختلف رفتاری و میزان مصرف بهینه) را بر اساس مطلوبیت‌های بدست آمده از تغییر یا حفظ رفتار، مصرف دوره‌ی قبل و تغییرات دما مدل‌سازی می‌کنند. در تفسیر این

www.SID.ir

Archive of SID

معادلات، فرد دارای رفتار C در دوره t+1 همواره تمایل به حفظ یا کاهش مصرف خود نسبت به دوره t دارد و در صورتی که مصرفش بیشتر از مصرف بهینه باشد، درصدی از این فزونی را جبران خواهد کرد. این جبران متناسب با میزان مطلوبیت کسب شده از معادلات ۱ تا ۵ خواهد بود.

فردی با رفتار C در دوره‌ی قبل که بنا به معادلات ۱ تا ۴ در دوره جاری تصمیم به حفظ این رفتار گرفته و همچنین میزان مصرفش در دوره قبل بیش از مصرف بهینه‌اش بوده است، سعی در کاهش شکاف مصرف خود با مصرف بهینه دارد که این کاهش متناسب است با میزان مطلوبیتی که از اتخاذ رفتار C در دوره جاری بدست می‌آورد. همچنین فرد دارای رفتار NC همواره تمایل به حفظ یا افزایش مصرف خود دارد و در صورتی که مصرفش کمتر از بهینه باشد، درصدی از این کاهش را جبران خواهد کرد. مانند حالت قبل، این جبران نیز متناسب با میزان مطلوبیت کسب شده از معادلات ۱ تا ۵ خواهد بود.

۵- اجرای مدل و شبیه‌سازی

۵-۱- داده‌ها

این مطالعه از داده‌های قیمت آب و مصرف آب ۱۰۰۰ مشترک آب خانگی ثبت شده در شرکت آب و فاضلاب شهر شیراز استفاده می‌کند. در هر سلول مربعی ۳۰۰ در ۳۰۰ متری مسکونی از شهر یک خانوار به عنوان نماینده‌ی تمام مصرف‌کنندگان واقع در آن جغرافیا انتخاب شده است. لازم به ذکر است که مناطق متروکه و بایر، صنعتی، اداری- نظامی و فضای سبز نیز بخش‌هایی از جغرافیای شهر هستند که در برگیرنده‌ی هیچ عاملی نیستند. مطابق رویکرد رایج مدل‌سازی مبتنی بر عامل در فضای دو بعدی همسایه‌های این سلول و عامل شامل ۸ سلول مجاور وی (در صورت وجود) می‌باشند.

هم‌چنین داده‌های درآمدی خانوارها از مرکز آمار ایران و دفتر برنامه و بودجه شهرداری شیراز به دست آمده‌اند. داده‌های آب و هوایی (میزان بارش باران و دمای هوا) از اداره کل هواشناسی استان فارس[1] قابل استخراج می‌باشند.

برای انجام فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی از داده‌های در دسترس سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۸۴ استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که هنوز (آبان ماه ۱۳۹۹) برخی از جزئیات داده‌های اقتصادی مورد نیاز

www.SID.ir

[1]. http://www.farsmet.ir/ReportAmar.aspx

Archive of SID

این تحقیق برای سال ۱۳۹۸ در دسترس محققین قرار نگرفته است و لذا آخرین سال داده‌های در دسترس مربوط به سال ۱۳۹۷ است.

۲-۵- کالیبراسیون (واسنجی) و اعتبارسنجی[1] مدل

برای این‌که مدل بهترین تطابق با دنیای واقعی را داشته باشد و مقادیر پیش‌بینی شده بهترین تطابق را با مقادیر مشاهده شده داشته باشند از معیارهایی برای انتخاب پارامترهای مطلوب استفاده می‌شود. رایج‌ترین آن‌ها، مجموع مربعات خطا، ضریب تعیین (R^2)، کارایی ناش- ساتکلیف[2] (NSE)، ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی هستند (اخباری، ۲۰۱۲). مطالعه‌ی حاضر، حداقل کردن ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین دو سری داده‌های شبیه‌سازی و داده‌های واقعی را به عنوان معیار به کار می‌برد و متوسط مصرف سرانه‌ی آب در یک سال بر حسب متر مکعب مبنای محاسبه‌ی خطا است.

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{t=1}^{T}(obs_t - sim_t)}{T}\right)^{0.5} \qquad (۱۹)$$

sim_t: مقدار شبیه‌سازی شده در زمان t obs_t: مقدار مشاهده شده در زمان t

برای تعیین پارامترهای مجهول مشابه مطالعات مختلف مورد استناد این مطالعه، در نظر گرفتن دامنه تغییر و مقادیر ممکن برای هر پارامتری که نیاز به کالیبراسیون دارد بسیار مهم و اجتناب ناپذیر است. جدول ۳ شمای کلی از پارامترها را نشان می‌دهد که باید در فرآیند کالیبراسیون[3] با حداقل شدن معیار RMSE بدست آیند.

جدول ۳: پارامترهایی که باید در فرآیند کالیبراسیون بدست آیند

پارامتر	دامنه تغییر	مقادیر ممکن
α_1: ضریب تأثیر تبلیغات بر رفتار خانوار	۰-۱	۰، ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶، ۰.۸، ۱
α_2: ضریب تأثیر نسبت مخارج آب به درآمد خانوار	۰-۱۰	۰، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰
α_3 : ضریب تأثیر شرایط آب و هوایی بر رفتار خانوار	۰-۱	۰، ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶، ۰.۸، ۱
α: تغییرات تقاضای آب ناشی از یک درجه افزایش دمای هوا	۰-۰.۰۵	۰، ۰.۰۱، ۰.۰۲، ۰.۰۳، ۰.۰۴، ۰.۰۵

منبع: دربندساری[4] و همکاران (۲۰۱۷)

[1]. Validation
[2]. Nash-Sutcliffe
[3]. Calibration
[4]. Darbandsari (2017)

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ برای فرآیند کالیبراسیون و داده‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ برای بررسی اعتباریابی و صحت سنجی مدل به کار می‌روند (جدول ۴).

جدول ۴: تقسیم‌بندی داده‌ها

سال‌های ۱۳۹٤-۱۳۸٤: (۱۱ سال)	**داده‌های کالیبراسیون**
سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۵: (۳ سال)	**داده‌های صحت سنجی**

منبع: نگارندگان

با توجه به جدول ۴، چیدمان‌ها و ترکیب‌های زیادی از پارامترها، طبق اصل ضرب در علم ترکیبیات وجود دارد. اجرای فرآیند کالیبراسیون و صحت سنجی به کمک کدنویسی در محیط نرم افزار متلب (MATLAB) صورت گرفته است.

الگوریتم تهیه شده به گونه ایست که ابتدا هر کدام از ترکیبات مختلف پارامترها را وارد فرآیند شبیه‌سازی می‌کند. لذا در هر دوره مجموعه‌ای از داده‌های مصارف عامل‌ها بدست می‌آید. با میانگین‌گیری از این داده‌ها، مصرف متوسط در هر دوره بدست می‌آید. پس از آن خطای RMSE بین دو سری داده‌های تولیدی مدل و داده‌های واقعی محاسبه می‌شود.

در مرحله بعد، الگوریتم یاد شده، ۵۰ مدل با کمترین خطای RMSE را از بین این مدل‌ها انتخاب می‌کند. این مدل‌های منتخب نیز هر کدام برای مجموعه داده‌های صحت سنجی اجرا می‌شوند و RMSE مربوط به این مرحله نیز با توجه به داده‌های اعتبارسنجی محاسبه می‌شود. در نهایت بهترین عملکرد، به عنوان مجموعه‌ی پارامتر منتخب نهایی و خروجی الگوریتم نمایش داده می‌شود. به این صورت فرآیند کالیبراسیون و صحت سنجی انجام می‌گیرد و مدلی با پارامترهای تعیین شده در جدول ۵ به عنوان مدلی که رفتار مصرفی آب شرب شهر شیراز را بهتر از دیگر مدل‌ها توصیف می‌کند، حاصل می‌شود.

جدول ۵: نتایج فرآیند کالیبراسیون و صحت سنجی

$\alpha = 0.03$	$\alpha_3 = 0.2$	$\alpha_2 = 6$	$\alpha_1 = 0.2$

منبع: نتایج تحقیق

مدل کالیبره شده، آماده‌ی کارکرد اصلی خود یعنی اجرای سناریوهای مختلف و پیش‌بینی مصرف متوسط خانوارها است. لذا ادامه‌ی کار با مشخص شدن سناریوهای مختلف و و پیاده‌سازی آن‌ها دنبال می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

وظیفه نهاد قانون‌گذار نظارت بر مصرف کل آب و نگه داشتن آن در محدوده معقول است. به همین جهت از ابزارهای مختلفی مانند قیمت‌گذاری استفاده می‌کند که در مطالعات دیگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سیاست‌های مد نظر این مطالعه تبلیغات و نیز اعمال مقررات سخت‌گیرانه به منظور اجبار به اتخاذ رفتار همکارانه است.

۳-۵- نهاد قانون‌گذار و اهداف

نهاد قانون‌گذار (مانند شرکت آب و فاضلاب و وزارت نیرو) در هر دوره هزینه‌هایی برای تبلیغات صرفه‌جویی در مصرف آب در نظر می‌گیرد. تأثیر و انعکاس تبلیغات و نیز سناریوی اجبار به وسیله دو شاخص "نسبت تعداد خانوارهای با رفتار صرفه‌جویانه به کل" و "میزان صرفه‌جویی در میزان مصرف آب" بیان می‌شوند. نهاد قانون‌گذار ممکن است میزان دلخواهی از این نرخ‌ها را به عنوان نرخ هدف دنبال کند.

$$SP_{t+1} = SP_t + \Delta SP \qquad SR_{t+1} = SR_t + \Delta SR \qquad (۲۰)$$

که SP_t نسبت خانوارهای دارای رفتار صرفه‌جویانه (رفتار C) در دوره‌ی t و ΔSP افزایش آن در یک دوره است. SR_t نیز نرخ صرفه‌جویی در آب برای دوره t بوده و ΔSR تغییرات آن است.

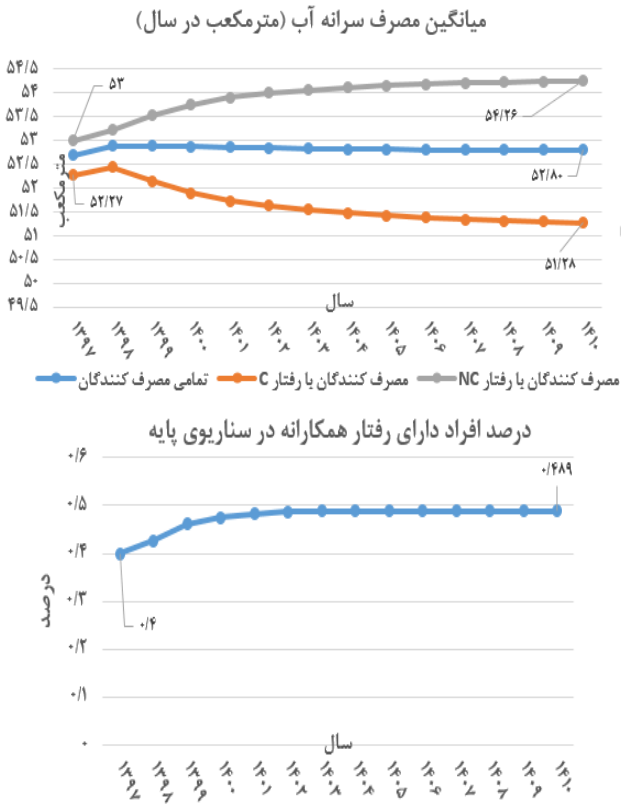
۶- یافته‌های تحقیق

۶-۱- سناریوی پایه

به عنوان مبدأ برای مقایسه‌ی سناریوها، یک سناریوی پایه تعریف می‌شود. این سناریو حالتی را در نظر می‌گیرد که هیچ‌کدام از متغیرها در طی دوره شبیه‌سازی تغییر نکنند و میزان آن‌ها برابر با مقدار سال پایان کالیبراسیون و تست (سال ۱۳۹۷) تنظیم شده باشد. این سناریو میزان مصرف آب را در حالتی که مقدار متغیرها (قیمت، درآمد، مخارج ریالی تبلیغات سازمان آب و فاضلاب برای ترغیب به صرفه‌جویی در مصرف طبق آمار دفتر روابط عمومی و آموزش همگانی سازمان آب و فاضلاب، آب و هوا) برابر با میزان آن‌ها در سال ۱۳۹۷ باشد، پیش‌بینی می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID



منبع: نتایج تحقیق

نمودار ۳: پیش‌بینی بر اساس سناریوی پایه

در این حالت تداوم پویایی رفتار در خلال الگوی انتشار همچنان ادامه می‌یابد و توضیح دهنده‌ی تغییرات مصرف خواهد بود. در نمودار ۳ پیش‌بینی تغییرات تعداد افراد دارای رفتار همکارانه، تغییرات سرانه‌ی مصرف آب بر حسب متر مکعب در سال برای کل افراد، گروه افراد دارای رفتار C و نیز گروه افراد دارای رفتار NC نشان داده است. در مورد همکارانه یا غیر همکارانه بودن رفتار باید توضیح داد که ممکن است شخصی به لحاظ جبری مصرف بالایی داشته باشد اما مقادیر تغییرات تقاضای وی منفی باشد، پس در آن دوره در زمره افراد با رفتار همکارانه تلقی می‌شود زیرا روند مصرف وی کاهشی بوده است. یا این‌که فرد مصرفش افزایش پیدا کرده باشد اما این افزایش ناشی از افزایش دما باشد، که در این حالت باز هم فردی با رفتار همکارانه تلقی می‌شود. بر

www.SID.ir

Archive of SID

عکس ممکن است با وجود کاهش دما و ثابت بودن سایر شرایط، مصرف فرد تغییر نکرده باشد لذا در آن دوره فرد با وجود عدم تغییر مصرف، غیر همکارانه تلقی می‌شود.

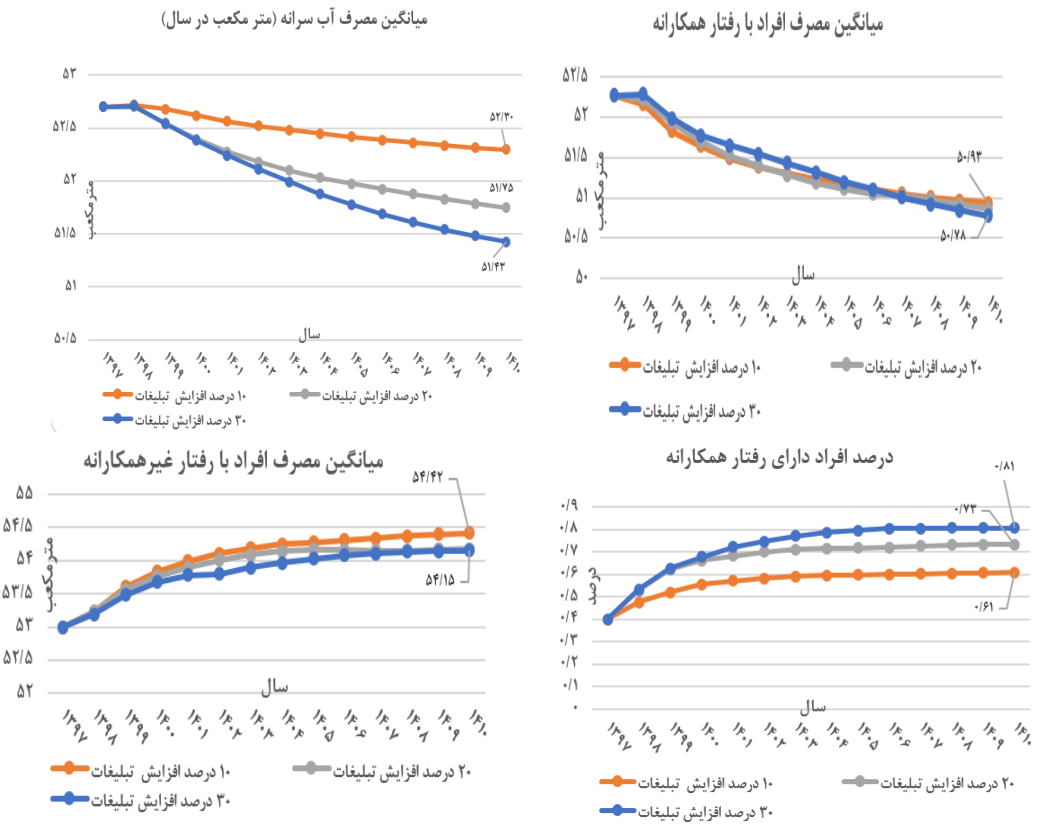
در سناریوی پایه، مقدار میانگین مصرف کل، تغییرات زیادی ندارد.آنچنان که از مدل مشاهده شد، تغییرات مصرف کل برآیند چند عامل است: نسبت افراد با رفتار همکارانه (و به تبع آن غیر همکارانه)، تغییرات مصرف افراد دارای رفتار همکارانه و همین‌طور تغییرات مصرف افراد دارای رفتار غیر همکارانه. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سناریوی پایه، مصرف افراد دارای رفتار همکارانه کاهش و مصرف افراد دارای رفتار غیر همکارانه افزایش خواهد داشت. از طرفی افزایش مصرف افراد غیر همکارانه بیش از کاهش مصرف افراد با رفتار همکارانه است، با این وجود چون پویایی رفتار بر اساس فرآیند انتشار در جهت بهبود نسبت افراد با رفتار همکارانه بوده است، میزان میانگین مصرف سرانه تغییرات زیادی ندارد و تا سال ۱۴۰۰ مقدار ۱۰۰ لیتر در سال برای هر نفر نسبت به سال ۱۳۹۷ افزایش خواهد یافت. در این سناریو درصد افراد با رفتار همکارانه از ۴۰ درصد در سال ۱۳۹۷ به حدود ۴۹ درصد در سال ۱۴۱۰ خواهد رسید. میانگین مصرف سرانه‌ی سالیانه برای افراد با رفتار غیر همکارانه در سال ۱۴۱۰ به میزان ۱۲۶۰ لیتر (به میزان ۲/۴ درصد) بیشتر از سال ۱۳۹۷ خواهد بود. این رقم برای افراد با رفتار همکارانه کاهش تقریبا ۱۰۰۰ لیتری (حدود ۲ درصد) مصرف خواهد بود.

۲-۶- تبلیغات

مخارج تبلیغات برای صرفه‌جویی در مصرف آب، در قالب قرارداد با صدا و سیما، تبلیغات محلی (شامل بیلبورد، تلویزیون شهری، بنر، پوستر و ...)، انتشارات (کتاب، بروشور و ...)، لوازم تبلیغاتی (لوازم کمک آموزشی جهت دانش‌آموزان و بزرگسالان و ...)، ارتباط با رسانه و موارد دیگر است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی تبلیغات در نمودار ۴ نشان داده شده است. این نتایج شامل میانگین مصرف سرانه‌ی کل، میانگین مصرف افراد با رفتار همکارانه، میانگین مصرف افراد با رفتار غیر همکارانه و نیز روند تغییرات نسبت افراد با رفتار همکارانه در هر سناریو است.

www.SID.ir

Archive of SID



منبع: نتایج تحقیق

نمودار ۴: پیش‌بینی‌های سناریوی افزایش تبلیغات

۳-۶- سناریوهای اجبار به رفتار همکارانه

سناریوهای اجبار مربوط به حالتی است که قانون‌گذار با تعیین و تصویب مقررات یا برخی ابزارها و تمهیدات فنی و غیر فنی بخواهد افراد مشخصی را به رفتار همکارانه وادار کند. هر چند این مطالعه روش‌های فنی و قانون‌گذاری اجبار مصرف‌کننده را بررسی نمی‌کند بلکه آثار آن را شبیه‌سازی می‌نماید اما به لحاظ فنی نصب کنتورهای هوشمند با دبی مشخص و نیز الزامات قانونی و جریمه‌های مالی از راهکارهای اجبار مصرف‌کنندگان هستند. این کار در مورد کنترل مصرف آب در بخش کشاورزی در کشور تا حدودی اجرا شده است و از سال ۱۳۸۹ (به دنبال تصویب

www.SID.ir

Archive of SID

قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب کشاورزی فاقد پروانه)، نصب کنتور هوشمند برای تحویل حجمی آب بر روی چاه‌های کشاورزی، با هزینه مالکان اجباری شد.[1]

در این مطالعه، شبیه‌سازی سناریوهای مرتبط با اجبار مصرف‌کنندگان به داشتن رفتار همکارانه به صورت تأثیر بر جزء اصلاح $MF_{i,n+1}$ در معادلات ۱ تا ۴ لحاظ می‌شوند. مشخص است که بسته به میزان و قدرت این اجبارها، سناریوهای بسیاری قابل اجرا هستند. جدول ۶ نحوه‌ی اعمال این سناریوها در فرآیندهای شبیه‌سازی در مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۶: جزء اصلاح در سناریوهای مربوط به اجبار

پارامتر		جزء اصلاح ($MF_{i,n+1}$)
تعریف		فشار به سمت رفتار C را اندازه‌گیری می‌کند
دامنه	**برای عامل با رفتار C**	از 0 تا $1-[a\times V(i,C)_n]$
	برای عامل با رفتار NC	از 0 تا $1-[a'\times V(i,C)_n]$
مقدار نهایی		بر اساس سناریوها می‌تواند تغییر کند

منبع: نتایج تحقیق

در این مطالعه به بررسی چهار سناریو (۲ سناریو برای اجبار همه افراد و دو سناریو برای اجبار افراد با رفتار غیر همکارانه) پرداخته می‌شود.

در هر کدام از این دو نوع اجبار، جزء اصلاح ($MF_{i,n+1}$) برای خانوارهای مشمول اجبار به صورت $MF^*_{i,n+1}$ در معادلات ۶ محاسبه می‌شود در نتیجه به جای معادلات ۴-۱ از معادله ۵ برای آن خانوارها استفاده می‌شود.

بر این اساس شبیه‌سازی روند مصرف سرانه و مصارف گروه دارای رفتار همکارانه، گروه با رفتار غیر همکارانه و نیز پویایی رفتار همکارانه برای چهار سناریوی زیر صورت می‌گیرد:

۱- در حالتی که مصرف‌کنندگان با مصرف سرانه بالای ۵۴ متر مکعب در سال وادار به رفتار همکارانه شوند.

۲- در حالتی که مصرف‌کنندگان با مصرف سرانه بالای ۵۵ متر مکعب در سال وادار به رفتار همکارانه شوند.

۳- مصرف‌کنندگان با رفتار غیر همکارانه و مصرف سرانه بالای ۵۴ متر مکعب در سال وادار به رفتار همکارانه شوند.

[1] مطابق با تبصره ۱ ماده واحده قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری مصوب سال ۱۳۸۹ (https://rc.majlis.ir/fa/law/show/782294).

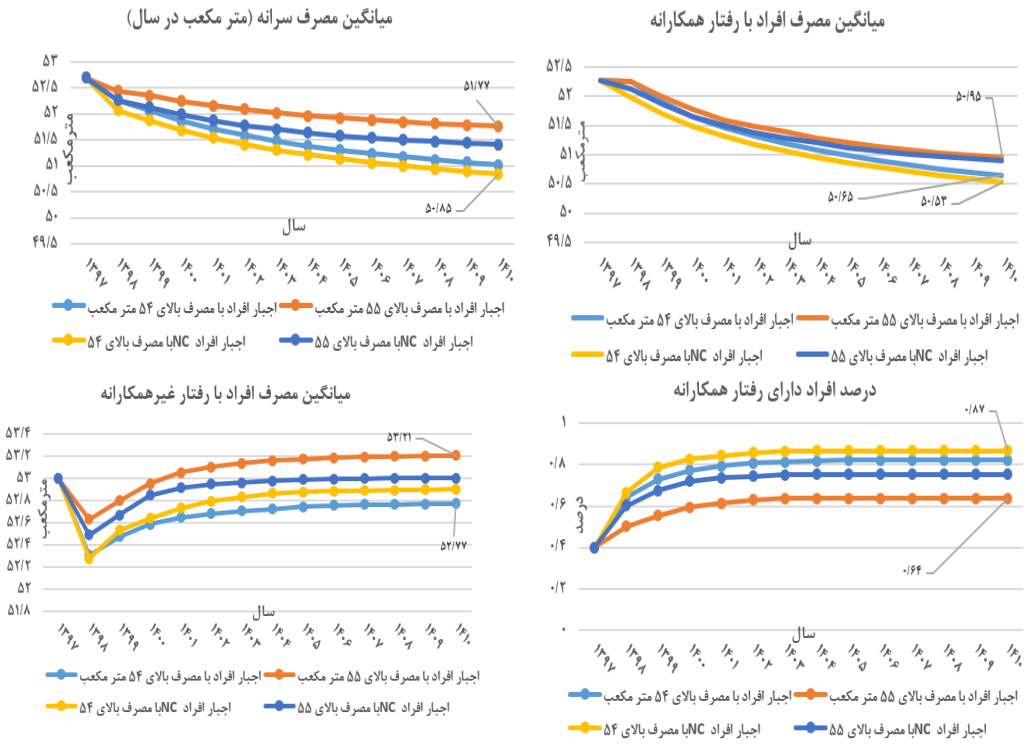
www.SID.ir

Archive of SID

۴- مصرف‌کنندگان با رفتار غیر همکارانه و مصرف سرانه بالای ۵۵ متر مکعب در سال وادار به رفتار همکارانه شوند.

لازم به ذکر است که مقادیر ۵۴ و ۵۵ متر مکعب با توجه به میانگین مصرف افراد با رفتار غیر همکارانه در سناریوی پایه انتخاب شده‌اند. هر چند مدل توانایی شبیه‌سازی برای مقادیر متفاوت را نیز دارد.

نمودار ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مربوط به این سناریوها را نشان می‌دهد.



منبع: نتایج تحقیق

نمودار ۵: پیش‌بینی‌های سناریوهای اجبار

۷- نتیجه‌گیری

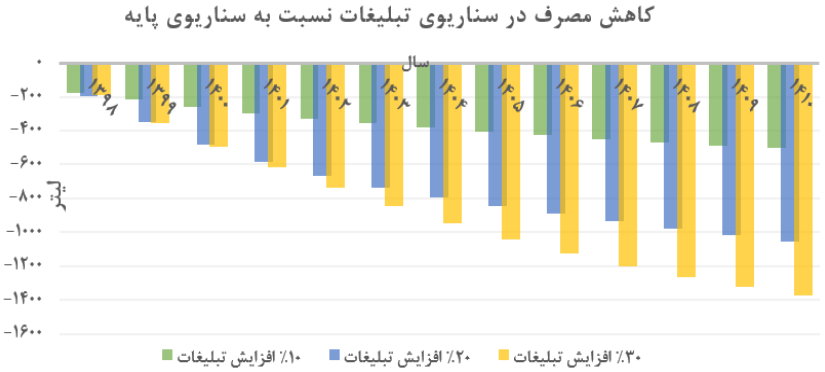
در این مطالعه، با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل و الگوی انتشار اجتماعی به بررسی پویایی‌های رفتار صرفه‌جویانه و صیانتی آب در خانوارهای غیر همگن پرداخته شده است و از آن

www.SID.ir

Archive of SID

طریق به بررسی سناریوهای تبلیغات (به عنوان نمونه‌ای از اختیار و تلنگر زدن به مصرف‌کننده) و سناریوهای اجبار مصرف‌کنندگان به داشتن رفتار همکارانه پرداخته می‌شود.

سناریوهای شبیه‌سازی شده در بحث تبلیغات، شامل افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی مخارج تبلیغات جهت ترغیب مصرف‌کنندگان به رفتار صرفه‌جویانه است. در سال ۱۴۱۰ میزان کاهش مصرف سرانه نسبت به سال ۱۳۹۷ طبق هر کدام از این سناریوها به ترتیب ۴۰۰، ۹۵۰ و ۱۲۷۰ لیتر است (به ترتیب معادل ۰/۸، ۱/۸ و ۲/۴ درصد کاهش مصرف سرانه). تفاوت با سناریوی پایه بیش از این مقادیر است و در نمودار ۶ روند آن قابل مشاهده است. همچنین درصد افراد دارای رفتار همکارانه در سیستم بهبود مناسبی می‌یابد و به ترتیب به ۶۱، ۷۳ و ۸۱ درصد خواهد رسید. اهمیت این نتایج وقتی واضح‌تر است که میزان مخارج تبلیغات (هزینه‌ها) با منافع ناشی از آن مقایسه شود. میزان مصرف کل آب خانگی شهر شیراز در سال ۱۳۹۷ بالغ بر ۹۱ میلیون متر مکعب بوده است، لذا کاهش ۲/۴ درصدی در مصرف سرانه با فرض ثابت بودن جمعیت منجر به صرفه‌جویی بیش از ۲/۱۸ میلیون متر مکعب در مصرف کل سالانه می‌شود. اما مشخص است که جمعیت کلان‌شهر شیراز رو به افزایش است، بنابراین کاهش مصرف سرانه اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. این میزان صرفه‌جویی در مصرف کل در کنار هزینه‌ی ریالی تبلیغات بسیار امیدبخش است. طبق آمار دفتر روابط عمومی و آموزش همگانی سازمان آب و فاضلاب شیراز، در سال گذشته مبلغ ۷۲۶۰۰۰۰۰۰۰ ریال صرف مخارج تبلیغات در صرفه‌جویی آب شده است، پس افزایش ۳۰ درصدی مخارج تبلیغات برابر با مبلغ ۲۱۷۸۰۰۰۰ ریال است که در مقابل افزایش صرفه‌جویی بیش از ۲ میلیون متر مکعب آب تقریباً رقم ناچیزی است.



منبع: نتایج تحقیق

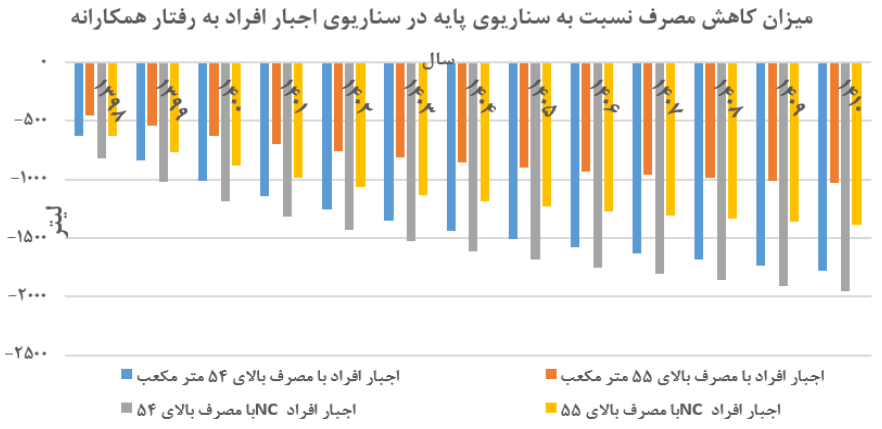
www.SID.ir

نمودار ۶: کاهش مصرف در سناریوی تبلیغات نسبت به سناریوی پایه

Archive of SID

با توجه به شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، به جهت توصیه سیاستی باید بیان کرد که واکنش مصرف‌کنندگان آب خانگی نسبت به تبلیغات، بسیار قابل ملاحظه است. دلیل این امر می‌تواند از این جهت باشد که تبلیغات بیشتر مربوط به صرفه‌جویی در آب، سیگنال کمبود آب را به مصرف‌کننده ارسال می‌کند و چون خود مصرف‌کنندگان دغدغه‌های منابع آب و کمبود آن را دارند و پیامدهای مصرف بالا را به خوبی می‌دانند، لذا به سیاست‌های آگاه‌سازی و تبلیغات واکنش مثبت نشان می‌دهند. سیاست‌گذار می‌تواند با افزایش مخارج تبلیغات و تنوع بخشی آن، همچنین تشکیل پویش‌های صرفه‌جویی در آب از هدر رفت منابع آبی جلوگیری کند.

سناریوی اجبار می‌تواند حالت‌های متفاوتی را در بر گیرد اما در این مطالعه شامل حالت‌هایی است که در آن دولت بتواند با الزامات قانونی یا فنی، خانوارهای با رفتار بالای ۵۴ یا ۵۵ متر مکعب مصرف سرانه یا فقط خانوارهای با رفتار غیر همکارانه‌ی با مصارف بالای ۵۴ یا ۵۵ متر مکعب را وادار به رفتار همکارانه کند. میزان کاهش مصرف سرانه‌ی مورد انتظار بر حسب لیتر در اثر اعمال هر کدام از این سیاست‌ها، در نمودار ۷ در مقایسه با سناریوی پایه در سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۱۰ نشان داده شده است.



منبع: نتایج تحقیق

نمودار ۷: میزان کاهش مصرف نسبت به سناریوی پایه در سناریوی اجبار افراد به رفتار همکارانه

در این سناریوها، ترتیب بهترین نتایج کسب شده برای کاهش مصرف به صورت زیر است:

الف- اجبار مصرف‌کنندگان با رفتار غیر همکارانه و مصرف بالای ۵۴ متر مکعب

ب- اجبار مصرف‌کنندگان با مصرف بالای ۵۴ متر مکعب

ج- اجبار مصرف‌کنندگان با رفتار غیر همکارانه و مصرف بالای ۵۵ متر مکعب

www.SID.ir

Archive of SID

د- اجبار مصرف‌کنندگان با مصرف بالای ۵۵ متر مکعب

مطابق محاسبات این تحقیق دولت نیازی به اجبار همه‌ی مصرف‌کنندگان بالای یک حد مشخص مصرف ندارد بلکه بهتر است که صرفا افراد با رفتار غیر همکارانه‌ی با مصرف بالاتر از یک حد مشخص را اجبار کند. چرا که این اجبار به رفتار همکارانه از خلال فرآیند انتشار و با اثرپذیری مصرف‌کنندگان به بسط رفتار همکارانه در دوره‌های بعد و افزایش روند صرفه‌جویی منجر خواهد شد. هر چند که میزان کاهش مصرف و صرفه‌جویی در این سناریوها بسیار قابل قبول است اما مشکلات سیاست اجبار در مرحله‌ی اجرای آن از لحاظ قانونی، فنی و سیاسی از نقاط ضعف این سناریو است ضمن این‌که با آزادی مصرف‌کننده منافات دارد و هزینه‌های مالی و اجتماعی زیادی را در پی دارد. لذا این مطالعه سیاست‌های اجبار را پیشنهاد نمی‌کند و سیاست‌های افزایش تبلیغات را راهکار مناسب‌تری می‌داند. اما در صورتی که نهاد تصمیم‌گیرنده بخواهد در کنار تبلیغات، سیاست اجبار را نیز دنبال کند بهتر است که (با نصب کنتورهای هوشمند) مصرف‌کنندگان با رفتار غیر همکارانه را شناسایی و وادار به داشتن رفتار همکارانه کند. نیاز به یادآوری است که بین افراد با مصرف بالا و افراد با رفتار غیر همکارانه در مدل مورد استفاده در این مطالعه تفاوت وجود دارد که این تفاوت در معادلات و توضیحات مقاله قابل مشاهده است.

www.SID.ir

Archive of SID

References

Akerlof, G.A. & Kranton, R.E. (2010). *Identity Economics: How Our Identities Shape Our Work, Wages, and Well-Being*, (M. Feizi, Trans.). Tehran: Negaje Moaser publication.

Akhbari, M. & Grigg, N.S. (2013). "A Framework for an Agent-based Model to Manage Water Resources Conflicts". Water Resour Manage **27**(11): 4039-4052.

Akhbari, M. & Grigg, N.S. (2015). "Managing Water Resources Conflicts: Modelling Behavior in a Decision Tool". Water Resour Manage **29**(14): 5201-5216.

Akhbari, M. (2012). *Models for Management of Water Conflicts: A Case Study of the San-Juaquin Watershed*, California. Ph.D. Dissertation. Colorado State.

Alimashhadi, A. Shafiee, M.E. & Berglund, E. Z. (2017). "Agent-based Modeling to Simulate the Dynamics of Urban Water Supply: Climate, Population Growth, and Water Shortages". Sustainable Cities and Society **28**: 420-434.

Antonelli, M. & Greco, F. (2015). *The Water We Eat: Combining Virtual Water and Water Footprints*, (M.M. Farsi Aliabadi & M. Daneshvar Kakhaki, Trans.). Tehran: Etka Publication.

Ariely, D. (2008). *Predictably Irrational: The Hidden Forces That Shape Our Decisions*, (R. Rambod, Trans.). Tehran: Mazyar Publication.

Athanasiadis, I. N. Mentes, A. K. Mitkas, P. A. & Mylopoulos, Y. A. (2005). "A Hybrid Agent-Based Model for Estimating Residential Water Demand". Simulation **81**(3): 175-187.

Barthelemy, O. Moss, S. Downing, T. & Rouchier, J. (2001). Policy Modelling With ABSS: The Case of Water Demand Management. Centre for Policy Modelling. Manchester Metropolitan University. Manchester. CPM Report. 29:39

Bateson, M. Nettle, D. & Roberts, G. (2006). "Cues of Being Watched Enhance Cooperation In A Real-World Setting". Biology Letters **2**(3): 412-414.

Bepple, J. (2016). *The Application of Agent Based Modeling to Simulate Residential Water Use Responses to Urban Growth, Regulation, and Social Influence in Kelowna British Columbia*, Canada (Doctoral Dissertation, University of British Columbia).

Bernedo, M. Ferraro, P.J. & Price, M. (2014). "The Persistent Impacts of Norm-Based Messaging & Their Implications for Water Conservation". Jounal of Consum Policy **37**(3): 437-452.

Charness, G. & Rabin, M. (2002). "Understanding Social Preferences with Simple Tests". The Quarterly Journal of Economics **117**(3): 817-869.

www.SID.ir

Archive of SID

Chu, J. Wang, C. Chen, J. & Wang, H. (2009). "Agent-Based Residential Water Use Behaviour Simulation & Policy Implications: A Case-Study in Beijing City". Water Resources Management **23**(15): 3267-3295.

Darbandsari, P. Kerachian, R. & Malakpour Estalaki, S. (2017). "An Agent-based Behavioral Simulation Model for Residential Water Dem & Management: A Case-Study of the Tehran City". Simulation Modelling Practice & Theory **78**: 51-72.

Ding, N. Erfani, R. Mokhtar, H. & Erfani, T. (2016). "Agent Based Modelling for Water Resource Allocation in the Transboundary Nile River". Water **8**(4): 139-151.

Downing, T.E. Moss, S. & Pahl-Wostl, C. (2000). "Understanding Climate Policy Using Participatory Agent-Based Social Simulation". Lect Notes Comput Sci **197**: 198-213.

Edwards, M. Ferrand, N. Goreaud, F. & Huet, S. (2005). "The Relevance of Aggregating a Water Consumption Model cannot be Disconnected from the Choice of Information Available on the Resource". Simul. Model. Pract. Theory **13**(4): 287-307.

Ernst, A. Schulz, C. Schwarz, N. & Janisch, S. (2005). "Shallow and Deep Modeling of Water Use in a Large. Spatially Explicit Coupled Simulation System". 3rd Conference of the European Social Simulation Association (ESSA), Koblenz, Germany.

Farhadi, S. Nikoo, M.R. Rakhshandehroo, Gh.R. Akhbari, M. & Alizadeh, M.R. (2016). "An Agent-Based-Nash Modeling Framework for Sustainable Groundwater Management: A Case Study". Agricultural Water Management **177**: 348-358.

Ferraro, P.J. Miranda, J.J. & Price, MK. (2011). "The Persistence of Treatment Effects with Norm-Based Policy Instruments: Evidence from a Randomized Environmental Policy Experiment". American Economic Review **101**(3): 318-22.

Jaeger, C.M. & Schultz, P.W. (2017). "Coupling Social Norms & Commitments: Testing the Under Detected Nature of Social Influence". Journal of Environmental Psychology **51**: 199-208.

Linkola, L. Andrews, C.J. & Schuetze, T. (2013). "An Agent Based Model of Household Water Use". Water **5**(3): 1082-1100.

Madani, K. AghaKouchak, A. & Mirchi, A. (2016). "Iran's Socioeconomic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation". Iranian Studies **49**(6): 997-1016.

Moss, S. & Edmonds, B. (2005). "Sociology & Simulation: Statistical & Qualitative cross validation". American Journal of Sociology **110**(4): 1095-1131.

Newman, M. E. J. (2003). "The Structure and Function of Complex Networks". SIAM Rev **45**: 167-256.

www.SID.ir

Archive of SID

Otaki, Y. Ueda, K. & Sakura, O. (2017). "Effects of Feedback about Community Water Consumption on Residential Water Conservation". Journal of Cleaner Production **143**: 719-730.

Rixon, A. Moglia, M. & Burn, S. (2007). "Exploring Water Conservation Behaviour through Participatory Agent-based Modelling". Topics on System Analysis and Integrated Water Resources Management 73-96.

Savojipour, S. Assari Arani, A. Agheli, L. and Hassanzadeh, A. (2018). "The Determinants of Urban Families' Health Expenditure". The Journal of Economic Policy **10**(19): 25-52. doi: 10.29252/jep.10.18.25.

Sharifi, A. Pourmand, A. Canuel, E. A. Ferer-Tyler, E. Peterson, L. C. Aichner, B. ... & Swart, P. K. (2015). "Abrupt Climate Variability since the Last Deglaciation based on a High-resolution, Multi-proxy Peat Record from NW Iran: The Hand that Rocked the Cradle of Civilization? ". Quaternary Science Reviews **123**: 215-230.

Smith, V.L. (December 8, 2002). "Constructivist & Ecological Rationality in Economics". Prize Lecture.

Squazzoni, F. (2012). *Agent-Based Computational Sociology*, (A.R. Asgharpour Masouleh, Trans.). Mashhad: Sonboleh publication.

Tembata, K. & Takeuchi, K. (2018). "Collective Decision Making under Drought: An Empirical Study of Water Resource Management in Japan". Water Resources and Economics **22**: 19-31.

Thaler, R.H. & Sunstein, C.R. (2008). *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*, New Haven, Yale University Press.

World Bank (2017). *Iran Economic Monitor*, Spring 2017: Oil-Driven Recovery. Washington. DC.

Young, H.P. (1999). "Diffusion in Social Networks". Work. Pap. 2, Brookings Inst. Washington D.C.

Yuan, X.C. Wei, Y.M. Pan, S.Y. & Jin, J.L. (2014). "Urban Household Water Demand in Beijing by 2020: An Agent-based Model". Water Resour Manage **28**(10): 2967-2980.

Zhao, J. Cai, X. & Wang, Z. (2013). "Comparing Administered and Market-based Water Allocation Systems through a Consistent Agent-based Modeling Framework". Journal of Environmental Management **123**: 120-130.

www.SID.ir

Archive of SID

Original Research Article

Investigating the effects of advertising and forcing frugal behavior on water consumption with regard to social interactions of consumers

Seyed Farzad Moosavi[1]
Narges Salehnia[2]*
Ahmad Seifi[3]
Ahmadreza AsgharpourMasouleh[4]

Received: 14-11-2020 Accepted: 07-12-2020

Introduction: In order to achieve sustainable development, it is necessary to actively manage the increasing consumption of water resources. In this regard, from the economic point of view, possible policies for water crisis management are presented in the form of increasing the supply and controlling the demand. For Iran, policy-makers have focused more on the supply side and the production of water and less on the demand management.

This study attempts to design a model for the behavioral characteristics of residential water consumers in terms of their social interactions (i.e., the effect of social networks on the consumption behavior) and to simulate the actual water demand in Shiraz City.

Theoretical framework

Description of the base model: Two types of consumption behaviors, cooperative (C) or non-cooperative (NC), have been considered for residential water consumers. Using the individual's social environment, economic and climatic variables (such as temperature) and the diffusion process model, the tendency to one of these two behaviors is determined. There is an optimal social consumption for each household according to its social environment. Depending on the type of the behavior and the optimal consumption, the household adjusts its demand in the next period. To determine the agent's water consumption behavior according to the corresponding social network, the following utility functions are formulated:

[1]. Ph.D. of Economics, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad
[2]. Assistant Professor, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad
Email: n.salehnia@um.ac.ir
[3]. Associate Professor, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad
[4]. Assistant Professor, Department of Social Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

www.SID.ir

Archive of SID

$$U_{i,n+1}\ (C \to C) = a \times V(i,C)_n + MF_{i,n+1} \quad (1)$$
$$U_{i,n+1}\ (C \to NC) = b \times V(i,NC)_n \quad (2)$$
$$U_{i,n+1}\ (NC \to C) = a' \times V(i,C)_n + MF_{i,n+1} \quad (3)$$
$$U_{i,n+1}\ (NC \to NC) = b' \times V(i,NC)_n \quad (4)$$
$$U^*_{i,n+1}(C\ or\ NC \to C) = 1 \quad (5)$$

These equations illustrate the utility of maintaining or changing household's behavior. In these equations, a, b, a' and b' are the parameters of the model. $V(i,C)_n$ and $V(i,NC)_n$ are the proportion of neighbors of agent i with the behavior of C and NC, respectively, indicating the effect of a neighbors' behavior on the behavior of an agent. The first right-hand part of the above equations represents the social pressure. The modification factor ($MF_{i,n+1}$) is the effect of the other factors on the household's choice of behavior and measures the pressure to have behavior C.

Optimal water consumption affected by social network: When there are V neighbors, the optimal consumption is obtained by solving the following minimization problem:

$$Min \sum_{k=1}^{v} w(k)\sqrt{\left(D_i^* - D_k\right)^2 + (I_i - I_k)^2} \quad (6)$$

$$s.t\ \ min\{D_i, D_k\} \le D_i^* \le max\{D_i, D_k\} \qquad k = 1,2,..,v$$

I_k: Neighbor's income I_i: Household's income D_k: Neighbor's water consumption per capita $w(k)$: Weight coefficient.

Household's water consumption adjustment: The model assumes that agents compensate for a percentage of the gap between their consumption and their optimal water consumption in each period, according to the utility that they obtain from their social network.

This study is based on the data from 1000 household water users in the residential areas of Shiraz. In each residential cell of 300 × 300 square meters in the city, a household is selected to represent all the consumers in that geography. The present study minimizes the root mean square error (RMSE) between two sets of simulation data and real data, as a criterion for calibration. The data from 2005 to 2016 are used for the calibration process, and the data from 2017 to 2019 are used to validate the model.

Results and Discussion

www.SID.ir

Archive of SID

Advertisement scenarios: Simulated advertising scenarios show 10, 20, and 30 percent of increase in advertising expenditures to encourage consumers to behave cooperatively. In 2032, the rate of reduction in per capita consumption, compared to 2019 and according to each scenario, will be 400, 950 and 1270 liters, respectively. The difference from the baseline scenario is more than these values. Also, the percentage of the people with cooperative behavior in the system will improve and reach 61, 73 and 81%, respectively.

Scenarios of coercive behavior: The coercion scenario includes situations in which the government can, by legal or technical requirements, force households with per capita consumption more than 54 or 55 cubic meters, or only non-cooperative households with the consumption more than 54 or 55 cubic meters, to cooperate.

In these scenarios, the order of the best results obtained to reduce consumption is as follows:

A- Forcing consumers with non-cooperative behaviour and consumption above 54 cubic meters

B- Forcing consumers with consumption above 54 cubic meters

C- Forcing consumers with non-cooperative behaviour and consumption above 55 cubic meters

D- Forcing consumers with consumption above 55 cubic meters

Conclusion: The results show that an increase in advertisement can improve the percentage of people with cooperative behavior to reduce consumption. Also, in the case of forcing consumers to adopt saving behavior, it is not necessary to force all the consumers (above a certain threshold of consumption), but it is better to force only those with non-cooperative behavior (and with consumption above a certain threshold). Following the behavior of a neighborhood network will distribute the cooperative behavior throughout the system and, therefore, cause proper saving in the total water consumption.

Keywords: Water consumption, Diffusion process, Social interactions, Advertising and coercion.

JEL Classification: Q25, C63, D12, Q33.

www.SID.ir