مدیریت بحران آب شهر اراک با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم

محمد احسانی‌فر*: استادیار و دکتری تخصصی تحقیق در عملیات، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران M-Ehsanifar@iau-arak.ac.ir
نیما همتا: استادیار و دکتری تخصصی مهندسی صنایع، گروه مهندسی مکانیک (ساخت و تولید)، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران
مهرانگیز عبدالهیان: کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۱
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

کمبود منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های حیاتی برای اغلب کشورهای جهان است. حدود ۰٫۵ میلیون نفر در شهر اراک، مرکز استان مرکزی، زندگی می‌کنند. به علت افزایش تقاضا و کمبود آب در سال‌های اخیر و به دلیل تغییر اقلیم در آینده، تقاضای آب مورد نیاز این شهرستان افزایش خواهد یافت. پل زدن بین شکاف عرضه و تقاضا نیازمند به ابزارهای مدیریتی قدرتمند است. در این مقاله، سیستم آب شهری اراک با استفاده از روش سیستم دینامیک مدل شده است. در پژوهش حاضر با به‌کارگیری مدل‌سازی پویا و روش تحلیل پویایی‌های سیستم، تلاش شد با دیدی جامع نسبت به سیستم آب اراک پرداخته شود و با استفاده از شبیه‌سازی رفتاری در محیط نرم‌افزار ون‌سیم (Vensim)، مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب در متغیر اصلی و رفتار مرجع سیستم مورد بررسی قرار گیرد. مدل پویایی سیستم شهر اراک شامل منابع عرضه‌ی آب، منابع تقاضای آب (خانگی، آبیاری و صنعت) است و از ابزارهای مدیریت آب (تغییر قیمت و کاهش جمعیت) استفاده شده است. سناریوهای مختلفی برای مدل شبیه‌سازی شده، از جمله نصب لوازم کاهنده‌ی مصرف و اصلاح شبکه‌ی تأمین، مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل برای شهر اراک مناسب ارزیابی شده و می‌تواند برای بقیه‌ی شهرها به‌ویژه شهرهایی که در مناطق خشک یا نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند، کاربردی باشد.

واژه‌های کلیدی: *مدیریت منابع آب، پویایی‌های سیستم، شبیه‌سازی، آب*

Crisis Management of Water in Arak City Using System Dynamics

Mohamad Ehsanifar[1*], Nima Hamta[2], Mehrangiz Abdollahian[3]

Abstract

Water scarcity has become one of the most vital challenges in most countries around the world. Roughly 0.5 million residents live in Arak, the capital of Markazi province of Iran. Because of the increasing water demand and recent water shortages due to climate change, more water will be required in the city in the future. Bridging the gap between supply and demand needs powerful management tools. In this study, Arak urban water system has been modeled using a System Dynamics (SD) approach. Employing dynamic modeling and the dynamic system analysis method, the present study was conducted to address the integrated water resources management in Arak region taking advantage of a comprehensive outlook of the water resources system in the region and implementing a behavioral simulation in the Vensim software. The Arak SD model includes water supply sources, demand sources (domestic, irrigation and industry use) and management tools (water price change, wastewater reuse, inter-basin water transfer, and, population reduction). Model simulation for different scenarios investigates the influence of installing conservative fixtures, leak detection and reformation of the water supply network. The model has proven to be useful for Arak's urban, and its methodology is applicable to other cities, especially those in arid or semi-arid regions.

Key words: *water resource management, System Dynamic, Simulation*

1 Department Of industrial Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University , Arak, Iran ;Email: M-Ehsanifar@iau-arak.ac.ir
2 Department Of mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran
3 Department Of industrial Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

مقدمه

به‌نظر می‌رسد در میان کشورهای مختلف جهان، کشورهای منطقه‌ی خاورمیانه و شمال آفریقا بیش از همه جا آبستن حوادث ناشی از کم‌آبی و بی‌آبی است. ایران نیز به‌منزله‌ی یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان در منطقه‌ی خاورمیانه، از جمله کشورهایی است که با بحران آب مواجه است، به گونه‌ای که هر امروزی که به نام آینده‌ی دیروز بر مردمان این سرزمین می‌گذرد، وضع مربوط به آب بدتر و بدتر می‌شود. طبق گزارش روزنامه‌ی اطلاعات در کشور ایران، سرانه‌ی منابع آب، حدود ۴۰ سال قبل بالغ بر ۸۶۰۰ متر مکعب برای هر نفر بود و با جمعیت بیش از ۶۰ میلیونی کنونی به رقمی درحدود ۲۲۰۰ متر مکعب در سال برای هر نفر کاهش یافته است و چنانچه این شاخص به ۲۰۰۰ متر مکعب در سال برای هر نفر برسد، کشور از نظر آب بحران‌زده تلقی می‌گردد. در کشورهایی چون کشور ما که سیستم بوروکراتیک بر آن حاکم است، دولت‌ها عموماً مجبور به باج‌دهی به مراکز مسکونی پرجمعیت می‌شوند. بدین طریق که بیشترین سرمایه‌گذاری‌های ملی، عمدتاً برای پاسخ‌گویی به نیاز مردم ساکن در شهرهای بزرگ چون پایتخت اختصاص می‌یابد که یکی از جنبه‌های آن تأمین آب شرب شهرهاست. همین امر موجب کم‌توجهی به نقاط کوچک‌تر، خصوصاً روستاها شده و در نتیجه سیل عظیم مهاجران را از روستاها و شهرهای کوچک‌تر روانه‌ی اماکنی می‌کند که مورد توجه بیشتری واقع شده‌اند. در نتیجه دولت‌ها در شهرهای بزرگ این کشورها، همه روزه با افزایش تقاضای آب مواجه می‌شوند که این امر سرمایه‌گذاری بیشتری را طلب می‌کند و این فرایند تکرار می‌گردد [۱۲].

این امر موجب شده تا بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب با توجه کامل به محدودیت‌ها و برای تأمین نیازها و اهداف مختلف که گاه با یکدیگر در تضاد هستند، صورت گیرد. از عمده دلایل تنش‌های آبی می‌توان به افزایش جمعیت، محدودیت منابع، آسیب‌پذیری سیستم‌ها، آلودگی منابع و برنامه‌ریزی‌های بی‌رویه در توسعه‌ی بخش کشاورزی و صنعتی اشاره نمود. منابع آب اگرچه تجدیدپذیر هستند، اما حجم آن‌ها ثابت است و در مقابل، تقاضای بشری برای آن رو به افزایش است؛ به گونه‌ای که طی صد سال اخیر تقاضای جهانی برای آب بیش از شش برابر شده در صورتی که جمعیت سه برابر شده است. به این ترتیب سرانه‌ی آبی برای مردم جهان رو به کاهش است و از طرفی متأسفانه آلاینده‌ها اعم از پساب‌های صنعتی، زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و روستایی، منابع آبی را آلوده و از استانداردهای مصرف خارج می‌کنند [۱].

رویکرد پویایی‌های سیستم درک پیچیدگی‌های سیستم را تسهیل نموده و در تجزیه و تحلیل رفتار اجزای سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. توانایی این روش به حدی است که می‌توان با بهره‌گیری از آن مسائل ساده و پیچیده را مدل‌سازی کرد و تغییر ناشی از تعامل متغیرها و شناسایی رفتار آتی آن‌ها را در دوره‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار داد. این روش امکان شبیه‌سازی واقعی‌تر از سیستم را با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی مؤلفه‌های مختلف آن فراهم می‌کند و از این طریق دریچه‌ی جدیدی را در مسائل بهینه‌سازی منابع آب می‌گشاید.

از میان مدل‌های متعدد در مدیریت منابع آب، برخی از مدل‌ها دارای خصوصیت پویایی هستند. در این مدل‌ها درک مسائل و تغییرات به صورت حلقه‌ای و بازخورد است. به کمک این شیوه شبیه‌سازی، پیامدهای نامشخص و پیش‌بینی نشده‌ی تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده‌ی این روش، شبیه‌سازی رفتار سیستم در شرایط فعلی و آینده برای تسریع و تسهیل یادگیری است. در ادبیات تحلیل پویایی سیستم، مدل‌های زیر قابل توجه هستند:

یه (۱۹۸۵) [۲] راه‌های مختلف موجود در زمینه‌ی شبیه‌سازی و مدیریت منابع آب را بررسی نمود و به این نتیجه رسید که تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی تحلیل سیستم‌ها در مخازن برای به‌کارگیری در عمل چندان مناسب نیست. وی عامل این مشکل را ناآگاهی کاربران از فرمول‌ها و مدل‌های کامپیوتری، ساده‌سازی بیش از حد سیستم و عدم تطبیق مدل فرضی با واقعیت و محدودیت‌های طراحی عنوان نمود. بنابراین ضرورت به کارگیری یک روش شبیه‌سازی که هم بر واقعیت منطبق باشد و هم امکان دخالت کاربر در توسعه‌ی مدل را ایجاد نماید، آشکار می‌شود.

پالمر و همکاران (۱۹۹۵)، [۳] فعالیت‌های زیادی را در حوزه‌ی رودخانه با استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی انجام دادند. کیز و پالمر (۱۹۹۳) روش فوق را در شبیه‌سازی مطالعات خشکسالی به کار گرفتند.

سیمونوویک و فهمی (۱۹۹۹)، [۴] از روش فوق برای ارزیابی درازمدت منابع آبی و تحلیل سیاست‌های اعمالی در حوزه‌ی رودخانه‌ی نیل در مصر بهره جستند.

رایاسیکارمان و سیمونوویک (۲۰۱۳)، [۵] مدلی برای برآورد منابع آب کانادا به وسیله‌ی روش شبیه‌سازی پویایی سیستم ارائه کردند. پارامترهایی چون تنوع آب و هوایی و تغییرات آن، صدور حجم زیاد آب به امریکا، آلودگی آب، مدیریت آب‌های شهری و کارهای زیر بنایی انجام شده یا در دست ساخت برای انتقال و زهکشی آب‌های موجود، نیاز به مدلی جامع را که ارتباط بین همه‌ی این پارامترها در آن دیده شود، نمایان می‌کرد. برای انجام مدل‌سازی، کشور کانادا به چند ناحیه‌ی آبی و هر ناحیه نیز به ۳۰ حوزه‌ی کوچک‌تر تقسیم شدند.

پی‌یر و روت (۱۹۹۴)، [۶] مدلی مبتنی بر پویایی سیستم برای بررسی شکل ساحل و دماغه‌ی کاد در ایالت ماساچوست امریکا ساخته‌اند. این مدل با توجه به تغییر اقلیم در دنیا به نحوه‌ی پیشرفت آب دریا در دماغه می‌پردازد. فرسایش دماغه و ساحل، مسئله‌ای پویاست و مدل مبتنی بر پویایی سیستم کمک شایانی در شبیه‌سازی تغییرات این فرایند با پویایی سیستم در سال‌های آینده می‌کند. این مطالعه در واقع تلفیق سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی است.

سیمونوویک و احمد (۲۰۰۴)، [۷] از روش سیستم دینامیک برای مدل کردن عملکرد مخزن در مخزن شل ماوس بر روی

رودخانه‌ی آسینیبون در کانادا استفاده کرده‌اند. راحتی اصلاح مدل در پاسخ به تغییرات داخل سیستم و توانایی آن برای اجرای آنالیز حساسیت، این روش را در مقایسه با تکنیک‌های آنالیز سیستم دیگر برای مدل کردن عملکرد سیستم جذاب‌تر کرده است.

گام‌های حل مسئله در رویکرد پویایی‌های سیستم

اغلب مدل‌سازها از یک فرایند مشخص در رویکرد پویایی‌های سیستم استفاده می‌کنند که گام‌های آن به شرح زیر است:

۱. درک سیستم؛
۲. شناسایی و تعریف مسئله؛
۳. مفهوم‌سازی سیستم (روابط علی و معلولی- بازخورهای اطلاعاتی)؛
۴. صورت‌بندی مدل (متغیرهای تصمیم- جریان‌های فیزیکی اطلاعاتی)؛
۵. شبیه‌سازی و اعتبارسنجی؛
۶. تحلیل و بهبود سیاست؛
۷. اجرای سیاست.

شناسایی و تعریف مسئله

برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سامانه‌های منابع آب برای تحقق اهداف توسعه‌ی پایدار در یک منطقه، نیازمند مشارکت همگانی است. همه‌ی کسانی که در امر توسعه و مدیریت منابع آب دخیل هستند، باید همواره اثرات سیستم را در تغییرات اقتصادی، اجتماعی و همچنین محیط‌زیست ارزیابی کنند، چرا که نیازها و تخصیص آب ممکن است طی زمان و در پاسخ به دیگر تغییرات سیستم تغییر کند. تغییر در یک بخش سیستم می‌تواند تغییرات ناخواسته در دیگر قسمت‌های آن ایجاد کند. به‌منظور بررسی نیازهای آینده‌ی یک منطقه و پیش‌بینی‌های مرتبط با آن، باید دینامیک یک سیستم یا منطقه را بررسی نمود. مزیت استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم در تصمیم‌گیری‌ها، در نظر گرفتن مجانب‌های آن و بررسی تغییرات مورد انتظار آن است [۱].

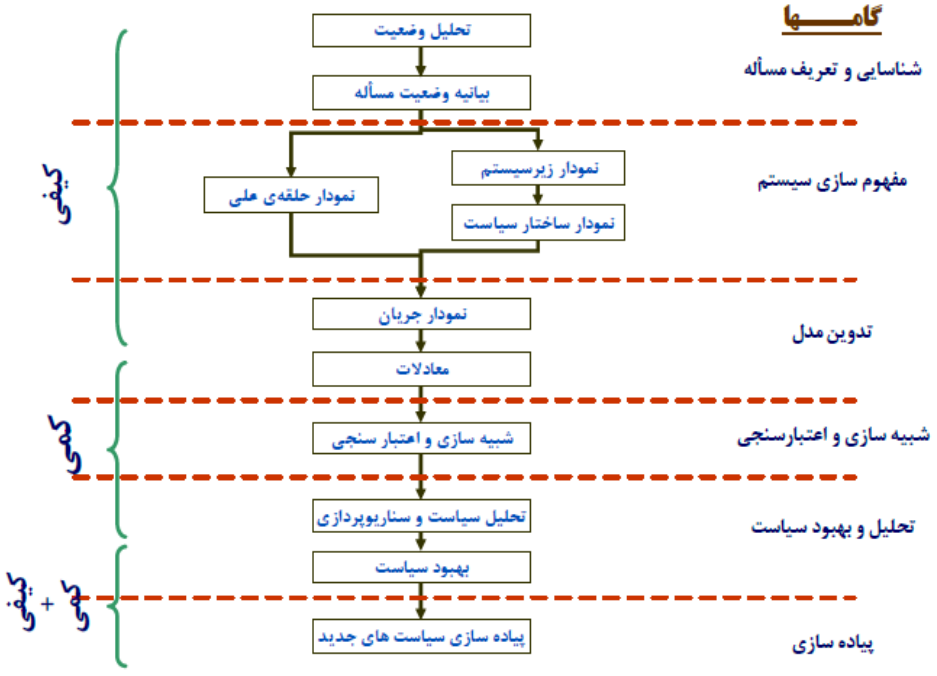
جامعه‌ی آماری مورد مطالعه

شهر اراک چهارمین و یکی از مهم‌ترین قطب‌های صنعتی ایران است. دشت اراک دشت وسیعی است در استان مرکزی که شهر اراک را، که مرکز استان است، در خود جای داده است. دشت اراک از شمال به کوه‌های خلجستان و از جنوب به کوه‌های کمره محدود شده و به‌وسیله‌ی جویبارهایی که از این کوه‌ها سرچشمه می‌گیرند، مشروب می‌شود.

با فرض کم آبی در شهر اراک و با مطالعه‌ی سیستم، متغیرهای تأثیرگذار بر سیستم آب شهری اراک شناسایی می‌گردند. نمودارهای جریان و علت و معلولی برای سیستم رسم شده و الگوی پویایی سیستم در نرم‌افزار ون‌سیم شبیه‌سازی می‌گردد. دیتاهای مربوط به متغیرهای تأثیرگذار جمعیت، مصرف، عرضه، قیمت و فاضلاب استفاده شده در سیستم دینامیک مربوط به این شهر است.

مفهوم‌سازی سیستم

در بخش مفهوم‌سازی سیستم، به شناسایی روابط علی بین پارامترهای تأثیرگذار بر الگوی مصرف آب و سیاست‌های قابل



تصویر۱: مراحل مدلسازی با رویکرد پویایی های سیستم [۸]

اعمال بر آن پرداخته می‌شود. همه‌ی تعاملات درونی سیستم و محیط آن در این متدولوژی در نظر گرفته می‌شود. مفهوم‌سازی سیستم باید به صورت کامل در قالب حلقه‌های بازخوردی، جریان‌های فیزیکی و اطلاعاتی، متغیرها و پارامترها ترجمه شود.

عوامل مؤثر در الگوی مصرف آب

بر اساس متدولوژی پویایی سیستم‌ها، مدل‌های علت و معلولی طبق مشاهدات صورت گرفته روی رفتار سیستم و نیز با الهام از نظریه‌های معتبر در حوزه‌ی ادبیات مسئله شکل می‌گیرد. برای توسعه‌ی مدل علت و معلولی ابتدا فرضیات دینامیکی که بیانگر توصیف ساختار سیستم است ارائه می‌شود.

تقاضای آب

تقاضای آب برحسب کاربری‌های وسیع آن به سه دسته تقاضای آب شهری، کشاورزی و صنعتی تقسیم می‌شود. تقاضای آب در بخش‌های مختلف به سرعت در حال افزایش است تا پاسخ‌گوی تقاضای فزاینده‌ی جمعیت باشد. منشأ تقاضا نیازهای تجمیع شده‌ی انسانی است. در مدل این مقاله، تأکید بر واقعیت‌های رفتاری بشر است و به تقاضای آب برای محیط زیست و کنترل کیفی، زمانی که به آستانه‌ی بحران برسد، زنگ خطرهایی را به صدا در می‌آورد که باعث می‌شود تقاضا برای آن در تصمیم تأثیر بگذارد. در مدل مقاله‌ی حاضر، این خطرها مدنظر قرار گرفتند.

عرضه‌ی آب

۵۰ درصد آب شرب مورد نیاز شهر اراک از سد کمال صالح و ۵۰ درصد آب شرب مورد نیاز از چاه‌ها و منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. حجم ذخیره‌ی آب در سد کمال صالح ۱۱۰ میلیون متر مکعب است که در زمان گردآوری اطلاعات این مقاله، میزان ذخیره‌ی آب در کمترین میزان آب و یک پنجم حجم ذخیره‌ی آب معادل ۲۰ میلیون متر مکعب است. سد کمال صالح بر روی رودخانه‌ی تیره از سرشاخه‌های دز و در ۷۴ کیلومتری جنوب غربی شهر اراک احداث شده و آب مورد نیاز شهرهای اراک، شازند و صنایع بزرگ منطقه را تأمین می‌کند. سد کمال صالح از نوع سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی و با ۱۱۰ میلیون متر مکعب حجم مفید مخزن، ۸۷ کیلومتر خط لوله‌ی انتقال فولادی، ۵ مخزن متعادل کننده و ذخیره به ظرفیت کلی ۵۴ هزار مترمکعب، دو باب تصفیه‌خانه و پیش تصفیه‌خانه، سه واحد ایستگاه پمپاژ و همچنین ۱۷ مگابایت برق مصرفی برای ایستگاه‌های پمپاژ تشکیل شده که با بهره‌گیری از تمامی این مؤلفه‌ها، عملیات انتقال آب از سد کمال صالح به شهر اراک و پالایشگاه شازند به صورت مداوم میسر می‌شود.

استان مرکزی و کلان‌شهر اراک در سال‌های گذشته به دلیل تحمل فشار بیش از حد تقاضای آب در سفره‌های زیرزمینی با بیلان منفی مواجه است و در تقسیم‌بندی وزارت نیرو نیز جزو مناطق بحرانی و کم‌آب به شمار می‌آید. استان مرکزی با متوسط بارندگی ۲۷۰ میلی‌متر جزو مناطق نیمه‌خشک است که در دهه‌ی اخیر تجربه‌ی خشکسالی نیز به کاهش بارش‌ها دامن زده است. در حال حاضر تأمین آب آشامیدنی برای مناطق شهری و روستایی استان و اراک در شرایط خاصی است و در صورت غفلت از تدبیر تأمین منابع آبی، بحران جدی ایجاد خواهد شد.

با توجه به رشد جمعیتی و توسعه‌ی ۲۰ سال آتی کلان‌شهر اراک، در سال‌های قبل تأمین آب آشامیدنی از سد کمال صالح پیش‌بینی شده بود که متأسفانه بخشی از آب این سد با وجود کاربری آشامیدنی، سهم صنایع شده است. این درحالی است که به دلیل خشکسالی‌های پی در پی آب‌گیری مخزن این سد نیز با معضل جدی مواجه بوده و هنوز به سطح استاندارد نرسیده است. بخش اعظم چاه‌های آب آشامیدنی در حوزه‌ی کلان‌شهر اراک با افت شدید سطح آب و برخی آلودگی‌ها مواجه شده و برای آشامیدن مناسب نیست.

جمعیت

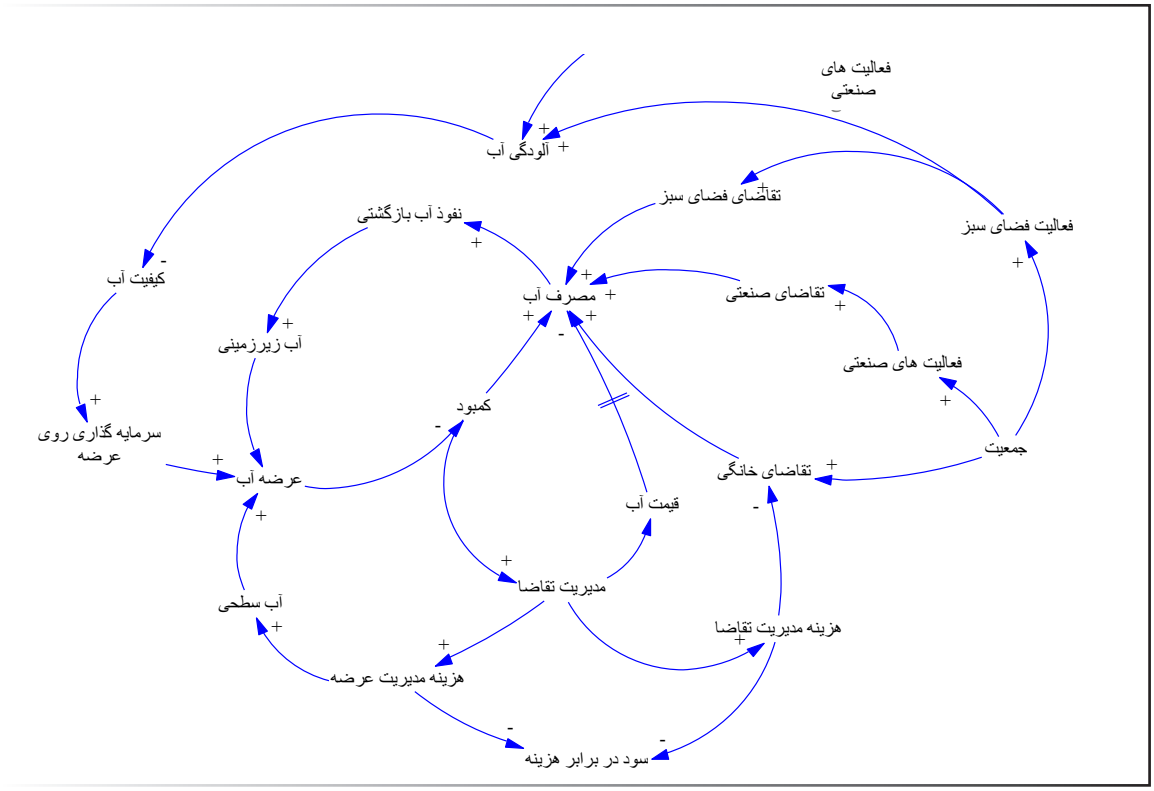
تغییرات جمعیت بر مصرف آب تأثیر دارد. جمعیت یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عواملی است که بر فرایند چرخه‌ی آب تأثیر می‌گذارد. متغیر جمعیت اشاره به تأثیر انسان در فرایند چرخه‌ی آب دارد. جمعیت به وسیله‌ی فرایندهای تولد، مهاجرت خارجی و مصیبت‌ها توصیف می‌شود. متغیر جمعیت، خود متأثر از عوامل مختلف اجتماعی، فرهنگی، آموزشی و غیره است که در این مقاله به حلقه‌ی تقاضای آب و جمعیت توجه شده است [۱۰].

قیمت آب

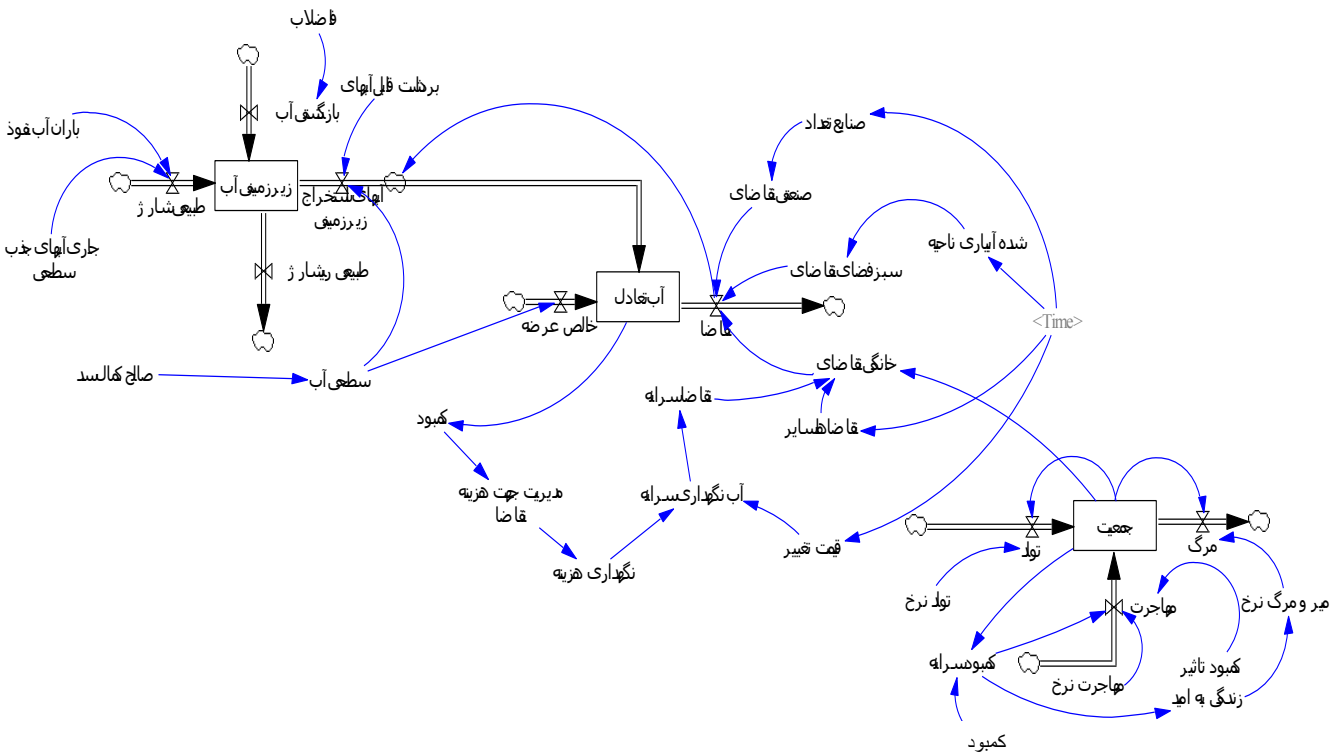
در بیشتر مطالعات، تقاضای آب بدون کشش برآورد شده است. این موضوع منطقی به نظر می‌رسد، چرا که آب کالایی ضروری و بدون جانشین است. از سوی دیگر، به علت پیچیده بودن ساختار قیمتی و عدم اطلاع از اینکه مصرف آب بر صورت‌حساب فاضلاب تأثیرگذار است، مصرف‌کنندگان قادر به درک صحیح قیمت‌ها نیستند، چرا که صورت‌حساب آب سهم کوچکی از هزینه‌ی خانوار را تشکیل می‌دهد. زمانی که یک شخص به فروشگاه می‌رود انتخابش گسسته است. او قیمت نهایی را می‌داند و می‌تواند در مورد میزان خرید تصمیم‌گیری کند و قبل از استفاده، قیمت آن را پرداخت می‌کند. برای آب واحدهای گسسته وجود ندارد چرا که آب به صورت عمده خریداری می‌شود. مشتری قیمت نهایی را برای هر مقدار که در هر زمان استفاده می‌کند، نمی‌داند و نهایتاً صورت‌حساب بعد از مصرف آب صادر می‌شود. دانستن مصرف در طول دوره‌ی صورت‌حساب نیز مشکل است، چرا که آن‌ها نمی‌توانند دائماً کنتور خود را کنترل نمایند. با این وجود، با توجه به تأثیر صورت‌حساب بر هزینه‌ی خانواده، مصرف‌کنندگان با افزایش قیمت آب، مصرف آب خود را تعدیل و به عبارتی کاهش می‌دهند.

جمع‌آوری فاضلاب

با توسعه‌ی شبکه‌ی فاضلاب و جمع‌آوری آن می‌توان آب زیادی را ذخیره و به مصارف غیرشرب اختصاص داد. از این رو با تصفیه‌ی فاضلاب شهری و استفاده‌ی آن در آبیاری فضای سبز و کشاورزی مقدار قابل توجهی از برداشت آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد.



تصویر ۲ : نمودار حلقه‌ی علی الگوی مصرف آب در شهر اراک



تصویر ۳ : نمودار جریان مدل حلقه‌ی علی الگوی مصرف آب در شهر اراک

نمودار حلقه‌ی علی

هدف اصلی نمودارهای حلقه‌ی علی نشان دادن فرضیه‌های علی در زمان ایجاد مدل است تا ارائه‌ی یک ساختار به شکل کامل و به هم پیوسته انجام شود. نمودارهای حلقه‌ی علی به مدل‌ساز کمک می‌کند تا به سرعت با ساختار بازخوری و پیش‌فرض‌های بنیادی ارتباط برقرار کند. این نمودارها تحت عنوان نمودارهای تأثیر شناخته می‌شوند. نمودار حلقه‌ی علی شیوه‌ای را که سیستم

طبق آن عمل می‌نماید، بازنمایی می‌کند. تصویر ۲ نمودار حلقه‌ی علی الگوی مصرف آب در شهر اراک را نشان می‌دهد [۹].

تدوین مدل

نمودار انباره- جریان مدل الگوی مصرف آب در شهر اراک

نمودار انباره - جریان، بازنمایی ساختار جریان دقیق سیستم در قالب ساختارها، سیاست‌های ظریف و جزئی آن به‌منظور تسهیل ایجاد مدل ریاضی برای شبیه‌سازی است. این مدل که شامل همه‌ی متغیرهای مطرح در نمودار علت و معلولی است، در محیط نرم‌افزار ون‌سیم در تصویر ۳ نشان داده شده است. نرم‌افزارهایی مانند ون‌سیم شبیه‌سازی مبتنی بر پویایی سیستم را انجام داده و تحلیل حساسیت نتایج را به صورت تصویری به همراه قابلیت‌های مختلف پشتیبانی تصمیم‌گیری ارائه می‌دهند.

تصدیق و واسنجی مدل با روش آزمون شرایط حدی

آزمون شرایط حدی در واقع عملکرد منطقی مدل را در شرایط حدی نشان می‌دهد. این آزمون با اعمال شرایط حدی و بررسی نتایج حاصل از مدل انجام می‌شود. انجام این ساختار روابط تعریف شده بین متغیرهای مدل را مورد ارزیابی قرار می‌دهد [۱۰].

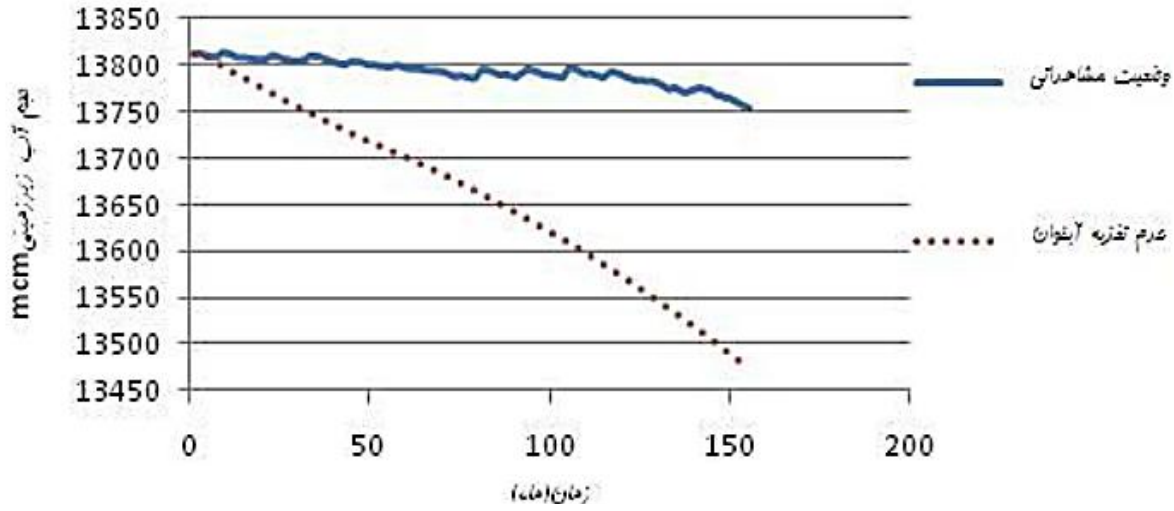
نتایج آزمون‌های حدی انجام‌شده در مدل

یکی از آزمون‌های حدی با صفر نمودن میزان تغذیه‌ی آبخوان از بارندگی و آب‌های سطحی اعمال شده است که رفتار خروجی از متغیر حالت Ground water در تصویر ۴ قابل مشاهده است. مطابق تصویر ۴ تراز آب به شدت در حالت افت است.

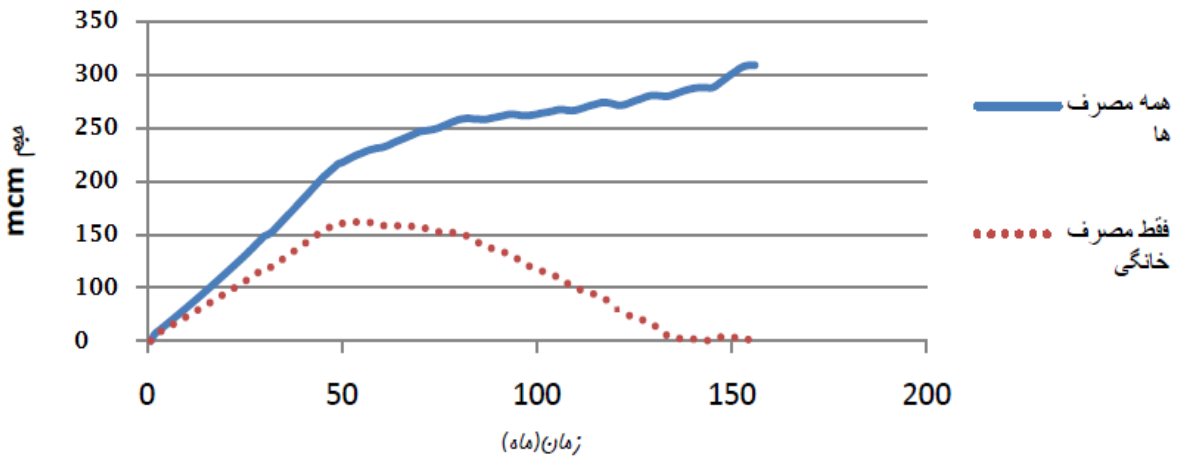
آزمون بعدی با صفر کردن سایر نیازها و تنها در نظر گرفتن مصرف خانگی اعمال شده است. رفتار خروجی از متغیر کمبود در تصویر ۵ قابل مشاهده است. مسلماً در این حالت مطابق تصویر ۵ کمبود آب کاهش می‌یابد و در نهایت به صفر می‌رسد.

شبیه‌سازی مدل برای سناریوهای مختلف

به دلیل تقاضای روزافزون آب، اگر الگوهای مدیریتی بهبود نیابد بحران آب در شهرستان اراک اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. سناریوهای مختلفی می‌تواند در رابطه با مدل پویایی سیستم



تصویر ۴: رفتار خروجی مشاهده شده از مدل برای آب زیرزمینی



تصویر ۵: رفتار خروجی مشاهده شده از مدل برای متغیر کمبود آب

اراک مورد بررسی قرار بگیرد. بررسی این سناریوها با استفاده از مدل می‌تواند تصمیم‌گیرندگان را در موقعیت بهتری برای درک پیچیدگی و پویایی سیستم و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بهتر رهنمون نماید. مدل شبیه‌سازی چندین سناریو تا سال ۱۴۲۰ در ادامه تشریح شده است.

سناریوی اصلاح شبکه‌ی تأمین آب

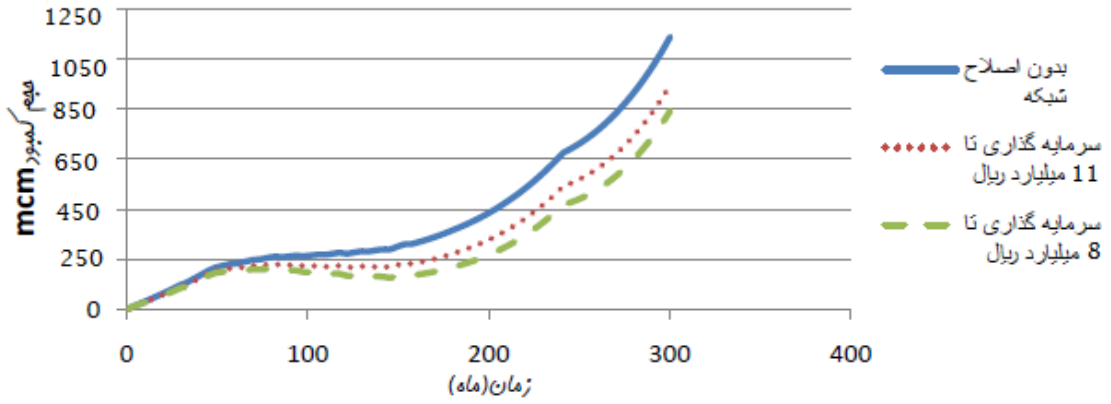
سالانه با اختصاص سرمایه‌ای می‌توان به اصلاح شبکه در بخش تولید و توزیع آب پرداخت. با این کار تفاوت بین آب تولیدشده و آب توزیع شده برای مصرف کمتر می‌شود که با اصلاح شبکه میزان درصد نشت کاهش می‌یابد و بدین ترتیب از مقدار متغیر کاسته می‌شود و مطابق تصویر ۶ میزان کمبود کاهش می‌یابد. با سرمایه‌گذاری بیشتر در این زمینه می‌توان آب بیشتری را برای رساندن به خط توزیع ذخیره کرد.

سناریوی مدیریت تقاضا: نصب لوازم کاهنده در منازل

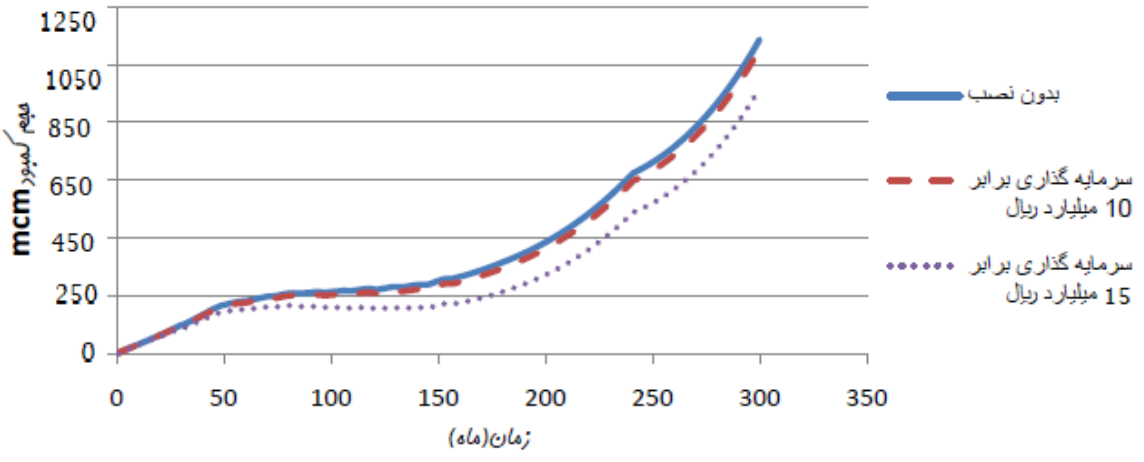
همان‌طور که قبلاً بحث شد لوازم کاهنده‌ی مصرف در آشپزخانه و حمام یکی از روش‌های مدیریت تقاضا است. تأثیر نصب این وسایل بر روی نمودار تجمعی کمبود آب در تصویر ۷ قابل مشاهده است. نصب این لوازم نمی‌تواند آبی را برای کاهش کمبود ذخیره کند، ولی با سرمایه‌گذاری بیشتر در این زمینه می‌توان روند صعودی شاخص کمبود را کنترل کرد.

نتیجه‌گیری

ایجاد نگرش سیستمی در تحلیل مسائل، منجر به شناخت همه‌جانبه و درک بهتر مسئله می‌شود. چنین رویکردی در شناخت مسئله‌ی آب به درک پویایی‌ها و پیچیدگی‌های نهفته در آن کمک می‌کند و با درک متغیرهای تأثیرگذار به تدوین سیاست‌های مؤثرتر در حل بحران‌های مربوط به آن منجر می‌شود. در این مقاله، علاوه بر مدل کردن چرخه‌ی آب، با اضافه نمودن عوامل اقتصادی و ساختارهای تصمیم ناشی از سناریوها و مدل‌های ذهنی بازیگران مسئله، با هدف مدل‌سازی کاربردی‌تر از یک مدل عینی، به مدل ترکیبی عینی - ذهنی نزدیک‌تر شده و در نتیجه قابلیت شناخت بهتری را از لایه‌های پنهان فراهم نموده که سرمنشأ مقاومت در برابر تصمیم‌ها هستند. این مقاله، محیط شبیه‌سازی شده‌ای از الگوی مصرف آب در شهر اراک با رویکرد پویایی‌های سیستم ارائه نمود که در آن می‌توان اثر سیاست‌های مختلف را بررسی نموده و پیش از آنکه این سیاست‌ها در عمل اجرا شوند، آثار آن‌ها را در مدل



تصویر ۶: تأثیر سرمایه‌گذاری جهت اصلاح شبکه بر روی نمودار تجمعی کمبود آب



تصویر ۷: تأثیر نصب لوازم کاهنده در منازل بر روی نمودار تجمعی کمبود آب

پیش‌بینی کرد. در نهایت با پیشنهاد دو سناریو نصب لوازم کاهنده در منازل و سرمایه‌گذاری برای اصلاح شبکه توفیق این دو سناریو در کاهش کمبود آب ثابت گردید.

با استفاده از مدل‌های پویا، نگرش اولیه به اثرات تصمیم‌های مدیریت آب شهری بهبود یافته و اندرکنش اثرات پارامترهای مختلف این پروژه‌ها واقعی‌تر می‌شود. استفاده از پویایی‌های سیستم امکان بررسی و شبیه‌سازی اثرات پروژه‌ها و سناریوهای مختلف را در تصمیم‌گیری به سهولت و با بیانی تصویری نشان می‌دهد. نتیجه‌ی کلی این تحقیق نشان می‌دهد با توجه به افزایش جمعیت و مصرف آب شهری اراک، مدیریت منابع آب اراک با مدیریت عوامل مختلف و پارامترهای تأثیرگذار در مصرف و تولید آب امکان‌پذیر است [۹].

منابع

۱. کارآموز، محمد؛ احمدی، آزاده؛ نظیف، سارا (۱۳۸۵). چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری مدل‌های بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب. *اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود (فرصت‌ها و چالش‌ها)*، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.

2. Yeh, W.G. (1985). Reservoir management and operation models: A State-of-the-art review. *Water Resources Research*, 21: 12. 1797-1818.

3. Palmer DJ, Helms JB, Beckers CJ , Orci L and Rothaman JE (1993). Binding of coatomer to Golgi membranes requires ADP- ribosylation factor. *Journal of Biological Chemistry*, 268, 12083-12089.

4. Simonovic, P. S., Fahmy, H., and Ei-Shorbaghy, A., (1997). The Use of Object-Oriented Modeling for Water Resources Planing in Egypt. *Journal of Water Resources Manage*. Vol. 11, 243-261

5. Simonovic SP, Rajasekaram V. (2013), "Integrated Analyses of Canada's Water Resources: A System Dynamics Approach. *Canadian Water Resources Journal*, 223-250.

6. Ruth, M., and Pieper, F. (1994). Modeling spatial dynamics of sea level rise in a coastal area. *System Dynamics Review* ,10 (4), 375-389

7. Ahmad S, Simonovic SP. (2004). Spatial system dynamics: new approach for simulation of water resources systems. *J Comput Civil Eng*, 18(4), 331–40.

۸. همتا، نیما؛ جعفرزاده، احسان؛ یونس، بهلکه؛ یلمه، عبدالمجید (۱۳۸۹). به‌کارگیری متدولوژی پویایی‌های سیستم در بررسی عوامل مؤثر بر قیمت مسکن شهر تهران، *هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع*.

9. Zarghami M, Akbariyeh (2012). System dynamics modeling for complex urban water systems:Application to the city of Tabriz, Iran. *Resources, Conservation and Recycling,* 60, 99–106.

۱۰. صلوی تبار، ع.؛ ضرغامی، م.؛ ابریشم چی، الف. (۱۳۸۵). مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران. *مجله‌ی آب و فاضلاب*، شماره‌ی ۵۹، ۱۲-۲۸.

۱۱. مجتهدزاده، م.م. (۱۳۷۱). یک مدل دینامیک برای برنامه‌ریزی توسعه‌ی مناطق کم آب. *مجله برنامه و توسعه، مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه*، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴.

۱۲. رحیمی،ح. (۱۳۸۲). بحران آب: مشکل ناشناخته جهانی. *پیک نور*، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۲ .