

مدیریت بحران آب شهر اراک با استفاده از رویکرد پویایی های سیستم

محمد احسانی فر*؛ 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 مهم ترین چالش های حیاتی برای اغلب کشورهای جهان است. حدود ۰.۵ میلیون نفر در شهر اراک، مرکز استان مرکزی، زندگی می کنند. به علت افزایش تقاضا و کمبود آب در سال های 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 به کارگیری مدل سازی پویا و روش تحلیل پویایی های سیستم، تلاش شد با دیدی جامع نسبت به سیستم آب اراک پرداخته شود و با استفاده از شبیه سازی رفتاری در محیط نرم افزار ون سیم (Vensim)، مدیریت یکپارچه ی منابع آب در متغیر اصلی و رفتار مرجع سیستم مورد بررسی قرار گیرد. مدل پویایی سیستم شهر اراک شامل منابع عرضه ی 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 شبیه سازی شده، از جمله نصب لوازم کاهنده ی مصرف و اصلاح شبکه ی تأمین، مورد بررسی قرار می گیرد. مدل برای شهر اراک مناسب ارزیابی شده و می تواند برای بقیه ی شهرها به ویژه شهرهایی که در مناطق خشک یا نیمه خشک قرار گرفته اند، کاربردی باشد.

واژه های کلیدی: مدیریت منابع آب، پویایی های سیستم، شبیه سازی، آب

Crisis Management of Water in Arak City Using System Dynamics

Mohamad Ehsanifar¹, Nima Hamta², Mehrangiz Abdollahian³

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

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 به‌کارگیری 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 آمریکا، آلودگی آب، مدیریت آب‌های شهری و کارهای زیربنایی 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 می‌کند. برای انجام مدل‌سازی، کشور کانادا به چند ناحیه‌ی آبی و هر ناحیه نیز به ۳۰ حوزه‌ی کوچک‌تر تقسیم شدند.

پی‌رو روت (۱۹۹۴)، [۶] مدلی مبتنی بر پویایی سیستم برای بررسی شکل ساحل و دماغه‌ی کاد در ایالت ماساچوست آمریکا 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

به نظر می‌رسد در میان کشورهای مختلف جهان، کشورهای منطقه‌ی خاورمیانه و شمال آفریقا بیش از همه جا آستن 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 در حدود 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

سیستم تغییر کند. تغییر در یک بخش سیستم می‌تواند تغییرات ناخواسته در دیگر قسمت‌های آن ایجاد کند. به منظور 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 [۸].

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 به وسیله‌ی 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 ون سیم 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

رودخانه‌ی آسینیون 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.

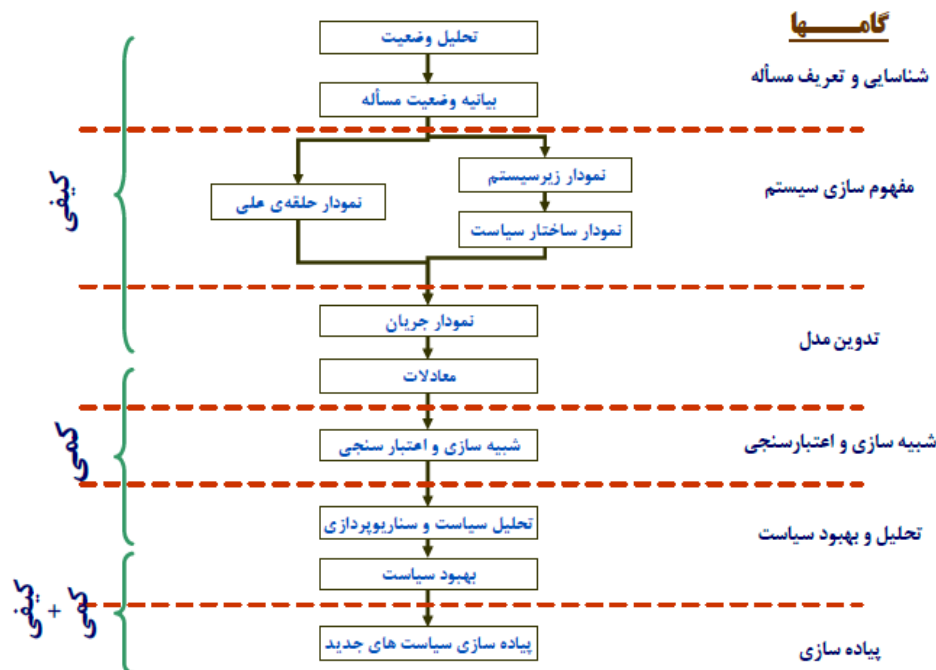
گام‌های حل مسئله در رویکرد پویایی‌های سیستم

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



تصویر ۱: مراحل مدل‌سازی با رویکرد پویایی‌های سیستم [۸]

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 صورت حساب فاضلاب تأثیرگذار است، مصرف‌کنندگان قادر به درک صحیح قیمت‌ها نیستند، چرا که صورت حساب 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 صورت حساب بعد از مصرف آب صادر می‌شود. دانستن مصرف در طول دوره‌ی صورت حساب نیز مشکل است، چرا که آن‌ها نمی‌توانند دائماً کنتور خود را کنترل نمایند. با این وجود، با توجه به تأثیر صورت حساب 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.

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.

عرضه 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 ۲۴ 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 مگاوات 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

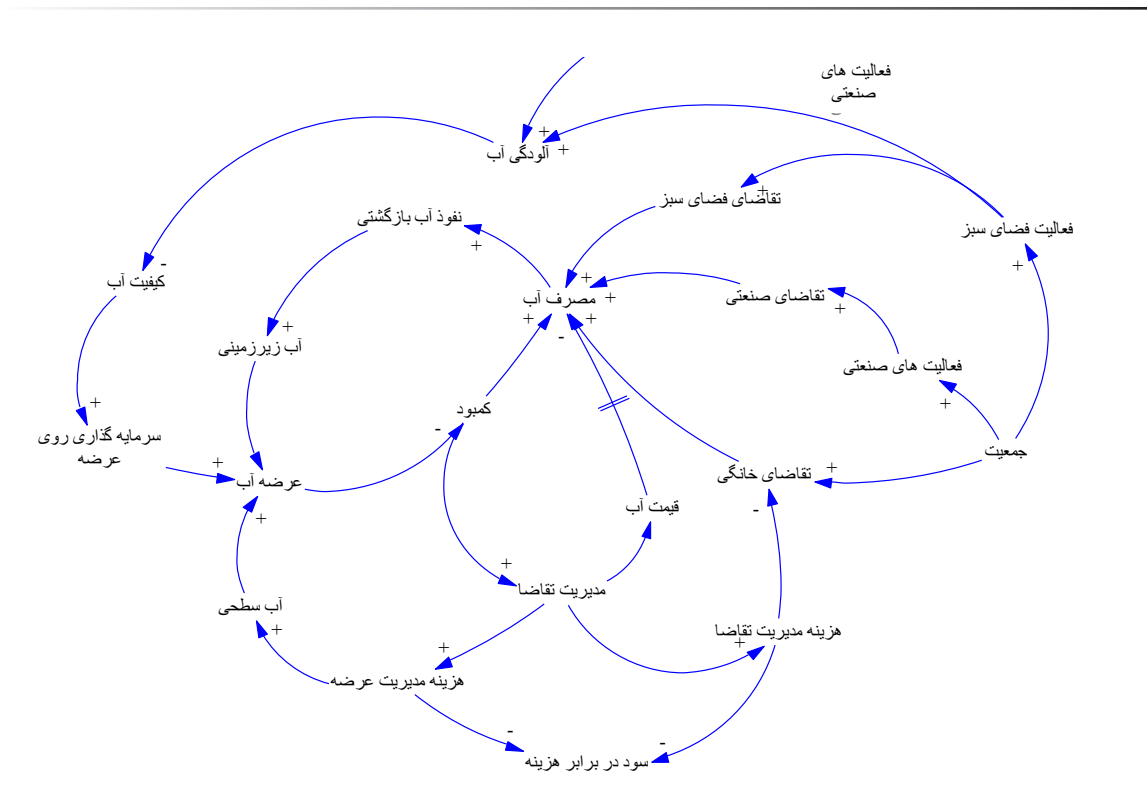


شماره سیزدهم
بهار و تابستان
۱۳۹۷

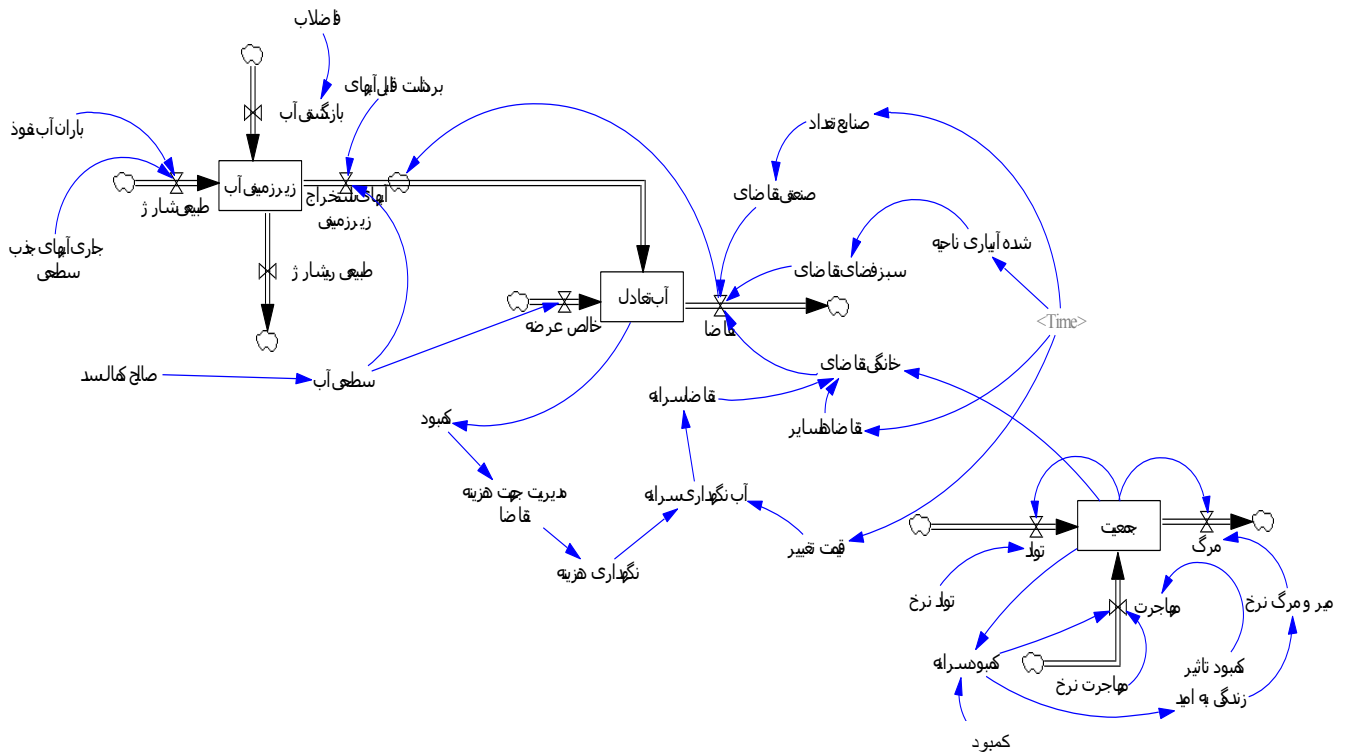
دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



مدیریت بحران آب
سیستم



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

نتایج حاصل از مدل انجام می‌شود. انجام این ساختار روابط تعریف شده بین متغیرهای مدل را مورد ارزیابی قرار می‌دهد [۱۰].

نتایج آزمون‌های حدی انجام شده در مدل

یکی از آزمون‌های حدی با صفر نمودن میزان تغذیه ی 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

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

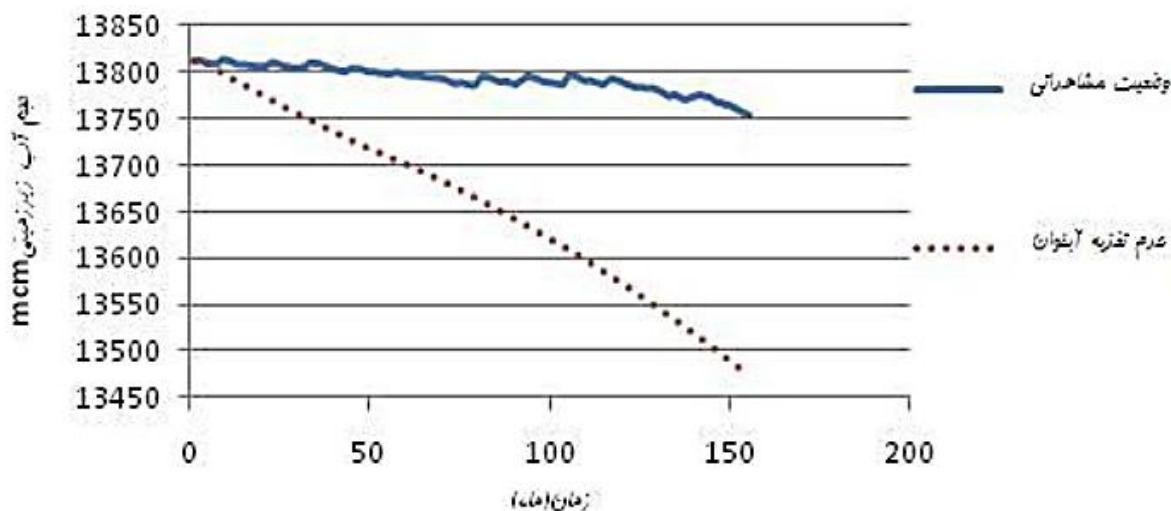
تدوین مدل

نمودار انباره- جریان مدل الگوی مصرف آب در شهر اراک

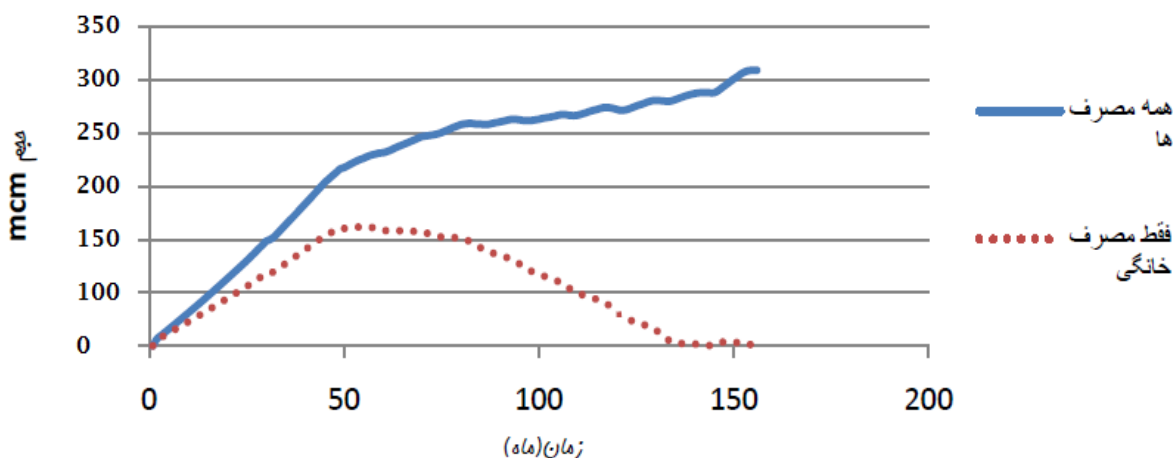
نمودار انباره - جریان، بازنمایی ساختار جریان دقیق سیستم در قالب ساختارها، سیاست‌های ظریف و جزئی آن به منظور تسهیل ایجاد مدل ریاضی برای شبیه‌سازی است. این مدل که شامل همه‌ی متغیرهای مطرح در نمودار علت و معلولی است، در محیط نرم‌افزار ون‌سیم در تصویر ۳ نشان داده شده است. نرم‌افزارهایی مانند ون‌سیم شبیه‌سازی 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



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



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

قابل مشاهده است. نصب این لوازم نمی تواند آبی را برای کاهش کمبود ذخیره کند، ولی با سرمایه گذاری بیشتر در این زمینه می توان روند صعودی شاخص کمبود را کنترل کرد.

نتیجه گیری

ایجاد نگرش سیستمی در تحلیل مسائل، منجر به شناخت همه جانبه و درک بهتر مسئله می شود. چنین رویکردی در شناخت مسئله ی آب به درک پویایی ها و پیچیدگی های نهفته در آن کمک می کند و با درک متغیرهای تأثیرگذار به تدوین سیاست های مؤثرتر در حل بحران های مربوط به آن منجر می شود. در این مقاله، علاوه بر مدل کردن چرخه ی آب، با اضافه نمودن عوامل اقتصادی و ساختارهای تصمیم ناشی از سناریوها و مدل های ذهنی بازیگران مسئله، با هدف مدل سازی کاربردی تر از یک مدل عینی، به مدل ترکیبی عینی - ذهنی نزدیک تر شده و در نتیجه قابلیت شناخت بهتری را از لایه های پنهان فراهم نموده که سرمنشأ مقاومت در برابر تصمیم ها هستند. این مقاله، محیط شبیه سازی شده ای از الگوی مصرف آب در شهر اراک با رویکرد پویایی های سیستم ارائه نمود که در آن می توان اثر سیاست های مختلف را بررسی نموده و پیش از آنکه این سیاست ها در عمل اجرا شوند، آثار آن ها را در مدل

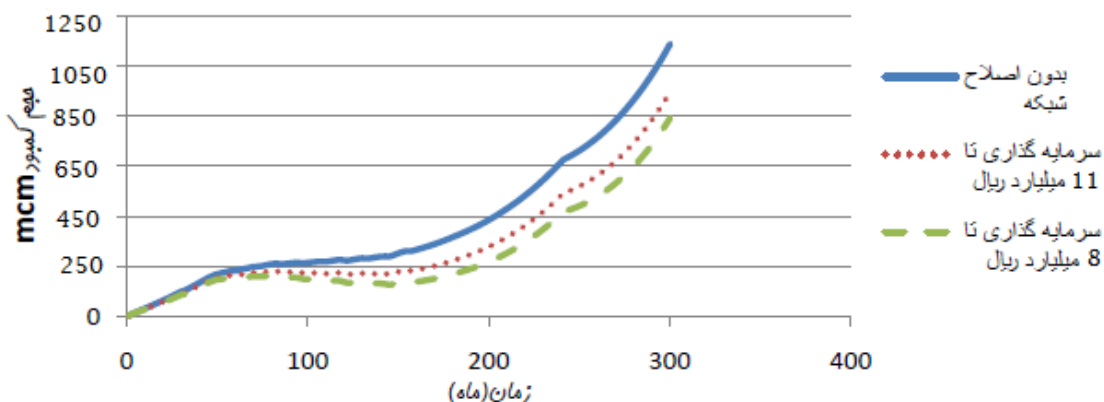
اراک مورد بررسی قرار بگیرد. بررسی این سناریوها با استفاده از مدل می تواند تصمیم گیرندگان را در موقعیت بهتری برای درک پیچیدگی و پویایی سیستم و تصمیم گیری های مدیریتی بهتر رهنمون نماید. مدل شبیه سازی چندین سناریو تا سال ۱۴۲۰ در ادامه تشریح شده است.

سناریوی اصلاح شبکه ی تأمین آب

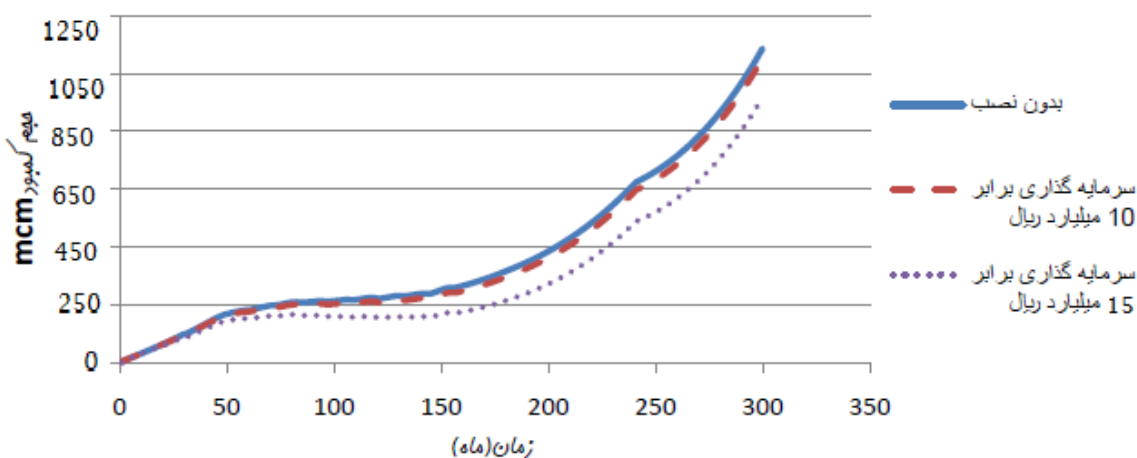
سالانه با اختصاص سرمایه ای می توان به اصلاح شبکه در بخش تولید و توزیع آب پرداخت. با این کار تفاوت بین آب تولید شده و آب توزیع شده برای مصرف کمتر می شود که با اصلاح شبکه میزان درصد نشت کاهش می یابد و بدین ترتیب از مقدار متغیر کاسته می شود و مطابق تصویر ۶ میزان کمبود کاهش می یابد. با سرمایه گذاری بیشتر در این زمینه می توان آب بیشتری را برای رساندن به خط توزیع ذخیره کرد.

سناریوی مدیریت تقاضا: نصب لوازم کاهنده در منازل

همان طور که قبلاً بحث شد لوازم کاهنده ی مصرف در آشپزخانه و حمام یکی از روش های مدیریت تقاضا است. تأثیر نصب این وسایل بر روی نمودار تجمعی کمبود آب در تصویر ۷



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



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

پیش بینی 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. نتیجه 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. کاراموز، محمد؛ احمدی، آزاده؛ نظیف، سارا (۱۳۸۵). چالش‌ها و فرصت‌های به‌کارگیری مدل‌های بهره‌برداري بهینه از سیستم‌های منابع آب. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداري 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 coatmer to Golgi membranes requires ADP-ribosylation factor. *Journal of Biological Chemistry*, 268, 12083-12089.
4. Simonovic, P. S., Fahmy, H., and Ei-Shorbaghly, 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 بین‌المللی 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*، شماره ۵۹، ۲۸-۱۲.
۱۱. مجتهدزاده، م.م. (۱۳۷۱). یک مدل دینامیک برای برنامه‌ریزی توسعه‌ی مناطق کم آب. *مجله برنامه و توسعه، مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و*