

طراحی الگوی پویای اقتصادی حوزه آبی کرمانشاه

شیما شجاع*

حسین رضائی**

محمدرضا آرمان مهر***

چکیده

در این پژوهش به یکپارچه‌سازی مدیریت و برنامه‌ریزی پویای منابع حوزه آب‌های سطحی و زیرزمینی شهرستان کرمانشاه در دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۷۵ با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها پرداخته شده و تا سال ۱۴۰۷ برای سیستم مورد نظر شبیه‌سازی به عمل آمده است. یافته‌های پژوهش بیان می‌دارند که جمعیت از جمله عوامل اصلی در افزایش تقاضا آب است. از نتایج اجرای مدل مشخص شد که سرمایه‌گذاری در نصب لوازم کاهنده مصرف در سه بخش خانوار، کشاورزی و صنعت می‌تواند موجب صرفه‌جویی و درنهایت کاهش میزان تقاضا و پایین آمدن شاخص کمبود آب باشد. از طرفی سناریوی مربوط به سمت عرضه بیانگر این است که سرمایه‌گذاری جهت اصلاح شبکه و کاهش نشت بیشترین تأثیر را در کاهش میزان کمبود آب داشته و افزایش نرخ آب‌بها نسبت به سایر متغیرها کمترین تأثیر را دارد. باتوجه به یافته‌های مدل، توسعه شبکه فاضلاب در آینده راهکاری سودمند جهت ذخیره آب و کاهش شاخص کمبود آب خواهد بود. با در نظر گرفتن سناریوی محیطی می‌توان در دوره‌های ترسالی از آب‌های سطحی بیشترین بهره‌برداری را انجام داد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی تقاضای آب، آب شهری، حوزه آبی کرمانشاه، پویایی

سیستم‌ها

طبقه‌بندی JEL: q25, c61, 195

مقاله حاضر از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شیما شجاع و به راهنمایی دکتر محمدرضا آرمان مهر و مشاوره دکتر حسین رضائی استخراج شده است.

shojaa.sh70@yahoo.com

h.rezaei@se.pnu.ac.ir

arman1212002@gmail.com

* کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه صنعتی شاهرود

** استادیار دانشگاه پیام نور (نویسنده مسئول)

*** استادیار اقتصاد دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۴

فصلنامه راهبرد اقتصادی، سال هفتم، شماره بیست و چهارم، بهار ۱۳۹۷، صص ۱۵۰-۱۲۱

مقدمه

کمبود آب شیرین و باکیفیت مناسب، به عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها و مسائل پیش‌روی تمدن بشری در قرن بیست و یکم مطرح است. البته توجه به مدیریت تقاضا در بعضی از کشورها شکاف بین تأمین و تقاضای آب را کاهش می‌دهد. کاهش دستیابی به آب در کشور آمریکا درستی بیانیه‌ی نشست سوم جهانی آب مبنی بر این‌که بحران آب در نحوه مدیریت آن است، نه در کمبود آب را تأیید می‌کند (گلیک^۱، ۲۰۰۰ و انجمن جهانی آب^۲، ۲۰۰۳).

کمبود آب در ایران یکی از عوامل محدودکننده اصلی گسترش فعالیت‌های اقتصادی در دهه‌های آینده به شمار می‌رود. درنگرش جدید جهانی، آب کالایی اقتصادی- اجتماعی و به عنوان نیاز اولیه و حیاتی انسان محسوب می‌شود، هرچند آب یکی از منابع تجدیدشونده به شمار می‌رود، اما سرانه منابع تجدیدشونده، رو به کاهش است (تجربشی و همکاران ۱۳۹۰). به همین دلیل امروزه توجه بیشتر به مسائل اقتصادی آب و بررسی دقیق‌تر تقاضای آب بیش از گذشته ضرورت دارد. لازمه موفقیت در این بررسی شناسایی عوامل مؤثر بر تقاضا و نیز میزان واکنش تقاضا به این عوامل است.

با توجه به اینکه سه بخش عمده کشاورزی، صنعت و مصرف خانوار، متقاضی و رقیب یکدیگر در استفاده از منابع محدود آب هستند، بررسی سیستمی منابع آب، یک چارچوب کلی برای شناخت، کنترل و بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر

1. Gleick.

2. WWF.

عرضه و تقاضا در بخش‌های مختلف به صورت یک سیستم به هم پیوسته فراهم می‌کند و به این طریق می‌توان به پیش‌بینی نتایج حاصل از اجرای سیاست‌های مختلف قیمتی بر متغیرهای مهم این سیستم از جمله عرضه، تقاضا و سرمایه‌گذاری در بخش‌های سه‌گانه رقیب دست یافت. با وجود تلاش‌های گسترده‌ای که توسط سازمان‌های جهانی و دولت‌ها در جهت استفاده پایدار از منابع آبی صورت گرفته است، به سبب گسترش بی‌رویه جمعیت شهری، گسترش صنعت، تغییر الگوی مصرف، بالا رفتن سطح بهداشت و رفاه عمومی، بیشتر شهرها با چالش بزرگی در این زمینه مواجه شده‌اند. هم‌اکنون جمعیت شهری دنیا به صورت قابل توجهی افزایش یافته و حتی در برخی کشورها این میزان به ۹۰ درصد می‌رسد. روشن است که این رشد جمعیت، اهمیت شهرها را به عنوان مصرف‌کننده عمده منابع آبی بیشتر کرده است. در بسیاری از این کشورها از جمله کشور ما، سیاست‌های اشتباه در قیمت‌گذاری منابع آبی طی دهه‌های اخیر، مانع از مدیریت مؤثر منابع محدود آب شده است.

شهرستان کرمانشاه با وجود اینکه بارش‌های کافی و مناسبی داشته و کانون سراب‌ها و تالاب‌های متعددی است، مانند بسیاری از کلان‌شهرهای دنیا با افزایش تقاضا برای آب شیرین و محدودیت منابع موجود مواجه است. موقعیت جغرافیایی شهرستان کرمانشاه و رشد بی‌رویه تقاضای آب برای مصارف جدید، باوجود استفاده از منابع آب سطحی و سفره‌های زیرزمینی، تأمین آب بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری را با شرایطی دشوار مواجه کرده است. همچنین، تغییرات اجتماعی، زیربنایی، ساختار شهری و توسعه ممتد شهرستان کرمانشاه لزوم توجه متناسب در زمینه آب را ایجاب می‌کند. در این رابطه یکی از نیازهای اصلی بررسی و برنامه‌ریزی اقتصادی دقیق حوضه آبی شهرستان کرمانشاه، پیش‌بینی در مورد مقدار تقاضای بخش‌های رقیب آب شهری و نحوه تخصیص بهینه منابع آبی بین این سه بخش مهم اقتصادی است.

در ادامه ابتدا در بخش مبانی نظری، تقاضا و عرضه‌ی حوضه آب شهرستان کرمانشاه تحلیل و بررسی می‌شود. در بخش بعدی مقاله، پیشینه تحقیق به تفصیل

توضیح داده می‌شود. همچنین در روش انجام پژوهش به مدلسازی تقاضای حوضه آبی شهرستان کرمانشاه با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها پرداخته می‌شود. در نهایت پس از شبیه‌سازی مدل سیستم دینامیکی با استفاده از نرم افزار ونسیم، سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهادات کاربردی ارائه می‌شود.

۱. مبانی نظری

۱-۱. بررسی و تحلیل تقاضای آب

مهم‌ترین مصارف آب مربوط به بخش‌های کشاورزی، سپس صنعتی و در نهایت شهری است. براساس اطلاعات دریافتی از دفتر مطالعات پایه‌ای منابع آب ایران، در کشورهایی با درآمد بالا، ۳۰ درصد آب در بخش صنعتی، ۱۱ درصد بخش شهری و ۵۹ درصد در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. این در حالی است که سهم مصرف آب کشاورزی، شهری و صنعتی در ایران به ترتیب حدود ۹۰، ۷ و ۳ درصد است. تقاضا برای آب در بخش‌های کشاورزی و صنعتی، درواقع تقاضا برای نهاده تولیدی است.

همچنین تقاضای آب شهری نیز شامل انواع تقاضای آب برای کاربردهای خانگی، عمومی و تجاری است. به‌طورکلی تقاضای آب خانگی، تقاضا برای یک کالای نهایی مصرفی است. تقاضای عمومی آب نیز، شامل آب عرضه‌شده به پارک‌ها، بیمارستان‌ها، مدارس و دیگر مکان‌های عمومی است و تقاضای تجاری آب، شامل آب مصرفی انبارها، فروشگاه‌ها، رستوران‌ها، هتل‌ها و دیگر موارد مشابه می‌شود (عبدلی، ۱۳۸۸).

۲-۱. عوامل مؤثر بر تقاضا

همان‌طور که گفته شد عوامل مؤثر بر سازوکار تقاضا شامل تقاضای خانگی، تقاضای مراکز صنعتی، تقاضای کشاورزی و فضای سبز است که در مدل، تقاضای فضای سبز در قالب تقاضای کشاورزی بیان شده است. با توجه به اینکه قیمت آب بسیار پایین است، تقاضای آب خانگی تأثیر اندکی از آن می‌پذیرد و جمعیت و رشد آن یکی از عوامل کلیدی مؤثر بر آن است. میزان سرانه‌ی تقاضا به‌طورمتوسط ۱۷۰ لیتر

در روز برآورد شده است. با توجه به جدول ۱ و ۲ جمعیت هرساله به طور فزاینده در حال افزایش است. بنابراین هر سال میزان مصرف یا تقاضا به صورت حاصل ضرب جمعیت در سرانه‌ی مصرف افزایش می‌یابد.

جدول ۱. روند افزایش جمعیت شهرستان کرمانشاه طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵

سال	۱۳۷۵	۱۳۸۰	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
جمعیت (نفر)	۶۹۵۸۴۲	۷۴۰۳۰۲	۷۸۴۶۰۲	۸۵۱۴۰۵	۹۴۶۶۵۱

منبع: درگاه ملی آمار

جدول ۲. پیش‌بینی روند رشد جمعیت شهر شهرستان کرمانشاه طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۱۰

سال	۱۳۹۵	۱۳۹۸	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰
جمعیت (هزار نفر)	۹۴۶۶۵۱	۹۸۹۲۵۰	۱۰۱۹۸۱۱	۱۰۹۸۶۲۶	۱۱۸۳۵۳۲

منبع: یافته‌های پژوهش

علاوه بر این طبق جداول ۳ و ۴ تعداد مراکز صنعتی و فضای سبز سالانه روندی روبه‌رشد داشته‌اند. با توجه به این موضوع در نهایت با روندی صعودی در تقاضای آب مواجه خواهیم بود.

جدول ۳. افزایش تعداد واحدهای صنعتی

سال	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰	۹۵
تعداد واحدها	۷۹	۱۰۵	۱۴۵	۳۲۱	۴۹۸

منبع: درگاه ملی آمار

۱-۳. بررسی و تحلیل عرضه آب

منطقه مورد مطالعه: شهر کرمانشاه

شهر کرمانشاه از شمال به کوه فرخ‌شاد، از شمال غربی به کوه طاق بستان و از جنوب به سفیدکوه منتهی می‌شود که در قسمت مرکزی استان کرمانشاه با موقعیت ۴۷ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۱۹ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی قرار دارد. همچنین دارای مساحت ۲۴۵۰۰ کیلومتر مربع است و ۱۲۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. کرمانشاه یکی از شاهراه‌های ارتباطی شرق و غرب و دروازه زاگرس به شمار می‌رود. مهم‌ترین آب‌های کرمانشاه؛ رودخانه قره سو، رودخانه آبشوران، رودخانه چم بشیر، دریاچه طاق بستان، سراب خضر الیاس و سراب نیلوفر می‌باشند (ویکی پدیا^(۱)).

سه رودخانه در دشت کرمانشاه جریان دارند و از درون شهر کرمانشاه می‌گذرند، در سال‌های قبل رودخانه‌ی قره‌سو، محل زندگی بیش از ۱۵ نوع ماهی بوده است، به طوری‌که شغل برخی از بومیان منطقه از راه صید و فروش ماهی تأمین شده است اما امروزه این زیستگاه به کلی تخریب شده و با مشکلات زیست محیطی بسیاری مواجه شده است. رودخانه آبشوران نیز مدت‌هاست که به کانال عبور فاضلاب شهر کرمانشاه تبدیل شده و زاینده‌گی خود را از دست داده است. همچنین رودخانه چم بشیر نیز که از سه چشمه طاق‌بستان در سراب طاق‌بستان سرچشمه می‌گیرد با مشکل خشک شدن و کم‌آبی مواجه است. شکل ۱ موقعیت شهر کرمانشاه را در کشور ایران و در استان کرمانشاه نمایش می‌دهد.

شکل ۱. موقعیت شهر کرمانشاه در استان و کشور



وضعیت منابع آب شهر کرمانشاه

در حال حاضر منابع تأمین آب شرب موردنیاز شهرستان کرمانشاه از دو بخش

عرضه می‌شود که عبارتند از:

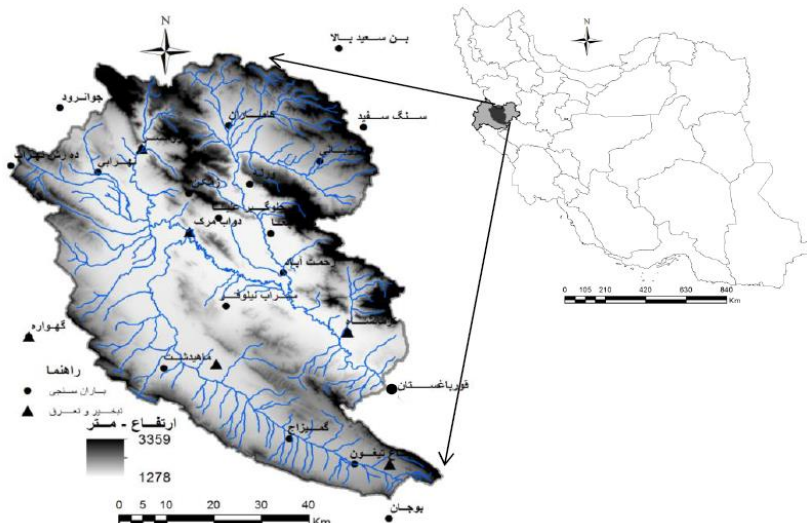
الف- منابع آب زیرزمینی: چاه‌های عمیق با دبی کل ۲۰۰۰ لیتر در هر ثانیه، قنات‌ها با دبی کل ۲۳۹ لیتر در هر ثانیه.

ب- منابع آب سطحی: سد گاوشان با دبی ۷۰۰ لیتر در هر ثانیه.

در سال‌های قبل تأمین آب شرب شهرستان کرمانشاه از طریق چشمه‌های سطح شهر و چاه‌های حفرشده حاشیه رودخانه قره‌سو انجام گرفته است و پیش از دهه اخیر به علت آلودگی آب رودخانه مذکور، برداشت از آن ممنوع و در سال ۱۳۷۰ تعداد ۲۲ حلقه چاه در دشت ده پهن حفر و تجهیز شد و حدود یک مترمکعب آب به ظرفیت تأمین آب شرب شهرستان کرمانشاه اضافه شده است. بنابراین جهت تأمین آب مستمر و مطمئن نیاز به مطالعات آبیاری و انتقال و توزیع آن ضروری و اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. براساس مطالعات انجام‌شده پیش‌بینی می‌شود که با توجه به محدود بودن منابع استحصالی در سطح شهر، تأمین آب در میان‌مدت از دشت میان‌دربند و در درازمدت از سد گاوشان مد نظر قرار گرفته است. لازم به یادآوری است که در سال ۱۳۷۱ در راستای اهداف تأمین آب شهر تعداد ۶۰ حلقه چاه حفر و ۳۵ کیلومتر جاده دسترسی در دشت میان‌دربند احداث شده است.

به علت خشکسالی‌های پی در پی از مجموع ۱۴۵ چاه و قنات شهر کرمانشاه تعداد ۱۳۹ چاه و قنات قابل بهره‌برداری هستند. همچنین عمق قنات استان حداکثر ۳۰ متر است که حفر چاه‌های غیرمجاز با عمق زیاد باعث شده که سطح آب آنها پایین برود و همین امر موجب از کار افتادن تعداد زیادی از قنات‌های این شهر شده است. در کنار این مسائل کاهش نزولات جوی، مدیریت مصرف آب توسط مشترکان برای پیشگیری از بروز بحران را ضروری می‌سازد. همچنین در سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌ها و نیز برداشت‌های بی‌رویه آب با حفر چاه‌های غیرمجاز در اطراف منابع آبی، بیشتر چاه‌ها و قنات‌ها خشک شده‌اند (خبرگزاری ایلنا، ۱۳۹۵). همچنین شکل ۲ نشان‌دهنده آب‌های این حوضه است.

شکل ۲. آب‌های حوضه شهرستان کرمانشاه

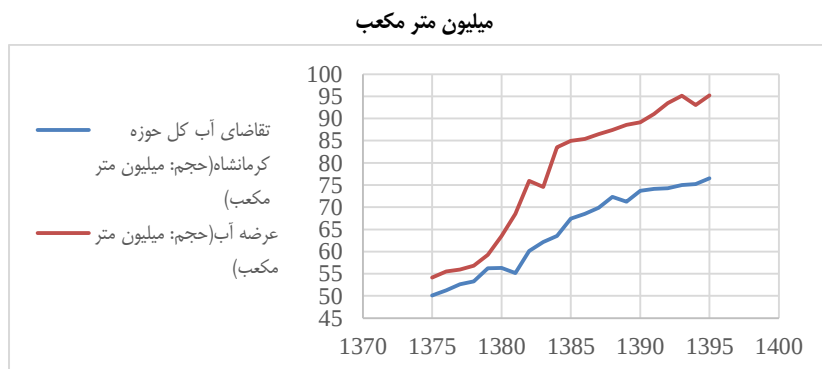


چندین سال است که میزان بارش‌ها در کرمانشاه از متوسط و متعارف سالانه آن که ۴۶۰ میلیمتر بوده تا سقف ۳۳۰ میلیمتر کاهش یافته، به‌علاوه پدیده ورود ریزگردها از کشور عراق و گرمای زیاد نیز به کاهش سطح آب‌های سطحی و زیرزمینی استان منجر شده است. در کرمانشاه سراب‌هایی وجود دارند که در فصل تابستان در سال‌های اخیر خشک شده‌اند. با توجه به این شواهد، خشکسالی‌ها و بحران آب کرمانشاه در سال‌های آینده نیز ادامه دارد. در حال حاضر اکثر منابع آب‌های سطحی در شهر کرمانشاه به‌طورکلی از بین رفته‌اند و توجه بیشتر به منابع زیرزمینی است. با این وجود سد گاوشان در کنار چشمه و قنات، آب موردنیاز مشترکان شهر کرمانشاه را تأمین می‌کند. در حال حاضر برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخزن سد گاوشان با هدف تأمین آبیاری اراضی کشاورزی واقع در دشت‌های بیله‌ور و میان‌در بند در حدود ۳۱۰۰۰ هکتار حد فاصل کامیاران تا کرمانشاه و همچنین تأمین بخشی از نیاز آب شرب شهرستان کرمانشاه در حدود ۶۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

با توجه به اینکه آب حوضه شهرستان کرمانشاه از دو منبع آب‌های سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود، برداشت آب بیشتر از سطح نرمال این دو منبع موجب

کمبود فزاینده آب خواهد شد. نمودار ۱، بیانگر روند صعودی عرضه و تقاضای آب در حوزه آبی کرمانشاه است. همچنین باتوجه به ضرورت تأمین تقاضای آب، میزان عرضه آب در هر سال با توجه به افزایش تقاضا افزایش می‌یابد.

نمودار ۱. نمودار عرضه و تقاضای آب کل حوزه شهرستان کرمانشاه طی سالهای ۹۵-۱۳۷۵ بر حسب



منبع: شرکت آب و فاضلاب استان شهرستان کرمانشاه

آمار بیانگر تفاوت زیاد بین عرضه خالص و عرضه ناخالص آب (نشت بالا شبکه انتقال) است، همچنین افزایش جمعیت، توسعه اقتصادی و افزایش تعداد واحدهای صنعتی و بالا رفتن سرانه فضای سبز، موجب افزایش تقاضای آب و کاهش امنیت آبی منطقه مورد مطالعه می‌شود. نکته قابل تأمل دیگر این است که افزایش تقاضا و تلاش برای تقاضای ایجادشده از طریق افزایش عرضه آب، موجب بالا رفتن میزان برداشت از سفره‌های زیرزمینی و در نتیجه موجب عدم پاسخگویی به تقاضا و کمبود آب در درازمدت می‌شود.

۲. پیشینه موضوع

در ادبیات تجربی داخلی و خارجی، پژوهش‌هایی در این مورد انجام شده است که مهم‌ترین آن‌ها به شرح ذیل است:

مروری بر مطالعات خارجی

هولمز و همکاران^۱ (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان «استفاده از روش پویایی

1. Holmz

سیستمی برای بررسی وضعیت عرضه و تقاضای آب در یک شهر کوچک در آفریقای جنوبی» چالش‌هایی را که یک شهر کوچک با آن روبه‌رو است، بررسی می‌کند. پژوهشگر در این مطالعه به بررسی اثر خدمات کامل آب و بهداشت برای خانوارها و استفاده از جمع‌آوری آب باران به عنوان جایگزین تأمین آب و اثر احتمالی برنامه مدیریت تقاضای آب در سطح خانوار می‌پردازد. طبق این بررسی‌ها زمینه‌های تحقیقات برای آینده شناسایی شده است.

چانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۱) در پژوهش «رویکرد یکپارچه‌سازی برای برنامه‌ریزی استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی» از روش پویایی سیستمی استفاده کرده‌اند. نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در برنامه‌ریزی منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده از تغذیه مصنوعی، کمبود آب را کاملاً جبران می‌دهد. همچنین تغذیه مصنوعی برای حفظ و حفاظت از آب‌های زیرزمینی لازم است.

یانگ و همکاران^۲ (۲۰۰۸) در پژوهشی با عنوان «تأثیر برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در تایوان» با استفاده از روش پویایی سیستم به ارائه یک پیشنهاد مبنی بر در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت و عملیاتی و استفاده همزمان از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای توسعه منابع آبی می‌پردازند، که این روش پیشنهادی می‌تواند در کشف استراتژی برنده به تصمیم‌گیرندگان کمک کند. نتیجه این مطالعه بیان می‌کند که در صورت نادیده گرفتن توسعه منابع آب، خطر آسیب به علت خشکسالی در فصل خشک روبه افزایش خواهد بود.

شالک و همکاران^۳ (۲۰۰۵) به بررسی مدل پویایی سیستم برای حوضه آبریز بیر پرداخته‌اند که در سه ایالت واقع شده است. این مدل برای مدیریت تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی این حوضه با تلفیق اطلاعات هیدرولوژیکی با سایر اطلاعات (اجتماعی، اقتصادی و سیاسی) ساخته شده است. نتایج این مدل پشتیبانی لازم برای تصمیم‌گیری روی سناریوهای مدیریتی را ارائه کرد.

1. Chang

2. Yang

3. Shalk

استیو^۱ (۲۰۰۳) مقاله‌ای توصیفی در مورد روش ساخت مدل پویایی سیستمی استراتژیکی با استفاده از مدیریت آب در نوادا ارائه کرده است. در این پژوهش تأثیرات هریک از استراتژی‌های پیشنهادشده از طرف مدیران نشان داده شده است. در این مدل روش‌های مختلف مدیریت تقاضا از دید مردم و نتایج و اثرات آنها بر کاهش شکاف بین عرضه و تقاضا بررسی شده است. حسن این مدل، توانایی آن در ارائه نتایج یک تصمیم‌گیری قبل از اجرای تصمیم‌هاست.

سیمونوویچ^۲ (۲۰۰۲) در پژوهشی با عنوان «مدل‌سازی جهانی آب»، مدل‌سازی مستندی از منابع آب جهانی را به روش پویایی سیستمی ارائه داده است. مدل جهانی در این مقاله براساس آخرین مدل جهانی ۳، توسعه داده شده است. نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که یک رابطه قوی بین منابع آب جهان و آینده رشد صنعتی جهان وجود دارد. همچنین در این پژوهش نشان می‌دهد که آلودگی آب مهم‌ترین مسئله آب در آینده در سطح جهانی است.

در مورد مطالعات داخلی، پژوهشی با این موضوع یافت نشده است و تمام پژوهش‌های داخلی در زمینه تقاضای آب شهری انجام شده است و در زمینه مدیریت حوضه آبریز یک منطقه مانند آنچه در مطالعات خارجی که در سطرهای بالا بیان شده، مطالعه‌ای انجام نشده است. ترکیان و ترابی (۱۳۹۱)، صلوی‌تبار و همکاران (۱۳۸۵)، واعظی و همکاران (۱۳۹۴)، ادیب‌پور و شیرآشیانی (۱۳۹۳)، احسانی‌فر و همکارانش (۱۳۹۲)، ضرغامی و بهجت (۱۳۹۱) به شبیه‌سازی عرضه و تقاضای آب در شهرهای مختلف کشور پرداختند و تأثیر عوامل گوناگون بر تقاضای آب را مورد بررسی قرار داده‌اند.

با توجه به بحران کم‌آبی و شرایط دشوار تأمین آب در شهرستان کرمانشاه، در این پژوهش علاوه بر بررسی سیستم عرضه و تقاضای آب، برای کاهش تقاضای آب و بهبود بهره‌وری عرضه آب روش‌های مختلفی ارائه می‌شود و تأثیر هریک از این روش‌ها بر کمبود آب بررسی و راه‌حل مناسب برای مقابله با مشکل

1. Steve

2. Simonovich

ارائه می‌شود.

۳. روش انجام پژوهش

در این پژوهش با استفاده از روش پویایی سیستمی به مدل‌سازی تقاضای حوضه آبی شهرستان کرمانشاه با رویکرد پویایی سیستمی پرداخته می‌شود. در نهایت پس از شبیه‌سازی مدل دینامیک با استفاده از نرم‌افزار ونسیم، سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهادات کاربردی ارائه می‌شود. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از مرکز آمار و اطلاعات سازمان آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب استان شهرستان کرمانشاه و سایر منابع آماری معتبر در سری زمانی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ است.

پویایی سیستمی در واقع جنبه‌ای از تئوری سیستم‌هاست که تلاشش کمک به عنوان روشی برای فهمیدن هرچه بیشتر رفتار دینامیکی سیستم‌های پیچیده به وسیله مدل‌سازی و بررسی تغییرات ناشی از تعاملات متغیرها و شناسایی رفتار آنها در دوره‌های زمانی مختلف و در آینده است. پایه این روش بر این موضوع استوار است که ساختار هر سیستمی (که شامل حلقه‌های علت و معلولی دایره‌ای، بسیار درهم پیچیده و بعضاً دارای تأخیرات زمانی است) معمولاً اگر اهمیتش به اندازه تک تک اعضا نباشد، کمتر نیز نیست. همچنین گفته می‌شود از آنجایی که بسیاری مواقع ویژگی‌های سیستم به صورت یک کل در هر یک از اجزاء به تنهایی یافت نمی‌شود، به همین دلیل نمی‌توان رفتار کل سیستم را با شناخت رفتار جزء به جزء آن شناخت. این روش امکان شبیه‌سازی واقعی از سیستم را با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی متغیرهای مختلف آن ایجاد می‌کند و از این طریق دریچه‌ی جدیدی را در برنامه‌ریزی می‌گشاید (مورکروفت^۱، ۲۰۱۵).

پویایی سیستمی یک مدل شبیه‌سازی برای فهم رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده به کمک مفاهیمی نظیر متغیرهای جریان و حالت، حلقه‌های داخلی بازخورد و تأخیرات زمانی است. این دانش به ما روش و تکنیکی ریاضی برای چارچوب‌بندی، فهمیدن و بحث کردن درباره‌ی مباحث و مشکلات پیچیده

می‌دهد. امروزه کاربرد این روش گسترش یافته است و در مسائل مربوط به اقتصاد و برنامه‌ریزی آب نیز دارای کاربرد است. اما لازمی استفاده از رویکرد پویایی سیستمی در بررسی سیستم منابع آبی، داشتن تفکر سیستمی است. سیستم مجموعه‌ای از اجزای مرتبط است که در کلیت خویش برای ایفای وظیفه‌ای مشخص در کنش متقابل و هماهنگ با محیط است. تفکر سیستمی کمک می‌کند تا ساختار، الگوها و وقایع را در پیوند با یکدیگر مورد بررسی قرار داده و تنها به مشاهده اکتفا نشود.

۳-۱. مدل دینامیکی حوزه آبی شهرستان کرمانشاه

الف- نمودار علی- حلقوی

ابزار مورد استفاده برای نمایش مدل پویایی سیستم که مدلی مفهومی و متشکل از ترکیب ساختاری بازخوردهای بین انسان و محیط می‌باشد، نمودارهای علی- معلولی^۱ است. فرض برابری تقاضا با مصرف و برابری عرضه با تولید آب در این پژوهش از نکات مورد توجه است.

همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود عوامل مؤثر بر تغییرات بیلان آب، میزان تقاضا و عرضه آب است. با توجه به این‌که در بازار آب قیمت‌ها به صورت دستوری تعیین می‌شود و عوامل بنیادین مؤثر بر عرضه و تقاضا تعیین‌کننده قیمت نیست بنابراین عرضه و تقاضای آب تابع قیمت نیست به همین دلیل با وجود محدودیت‌های ذخایر سفره‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی در دسترس، روند صعودی تقاضای آب قابل کنترل نیست و عرضه نیز صرفاً در جهت تأمین تقاضا عمل می‌کند.

تقاضای کل از سه بخش تقاضای خانگی، صنعتی و کشاورزی تشکیل شده است. با توجه به تعیین قیمت دستوری آب و تثبیت آن و بدون توجه به نرخ تورم، تقاضا طبیعتاً افزایش می‌یابد و جمعیت عامل تعیین‌کننده حجم مصرف آب خانگی می‌شود. با افزایش تقاضا و محدودیت منابع تأمین‌کننده عرضه آب، نسبت

1. CLD



برای جبران کمبود آب در دسترس بخش‌های مختلف، از سفره‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی بیش از ظرفیت مجاز برداشت خواهد شد. با کاهش سطح سفره‌های زیرزمینی عرضه آب با مشکل مواجه شده و کمبود آب تشدید می‌شود (حلقه مازاد برداشت R_1).

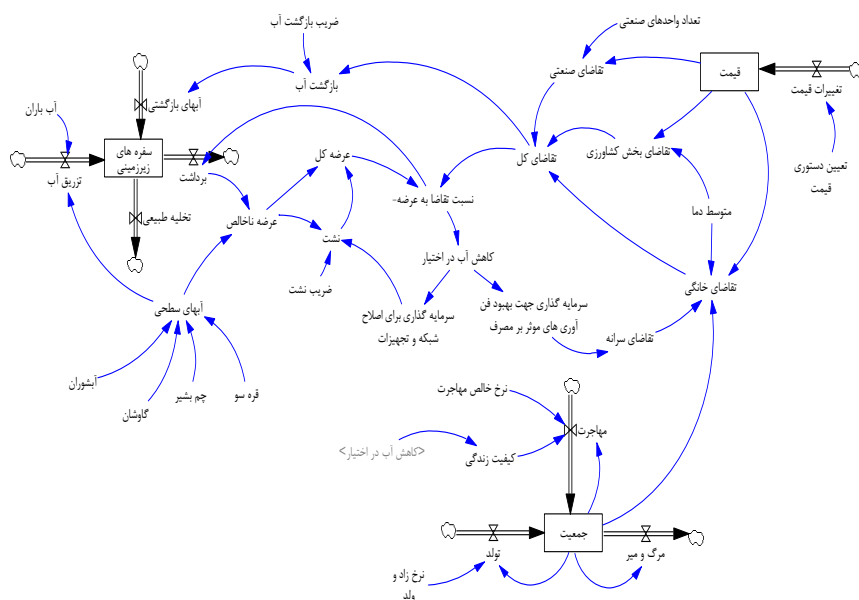
مطابق نمودار ۲ در سازو کار عرضه شاهد یک حلقه تقویتی بین افزایش میزان تقاضا، افزایش آب بازگشتی به سفره‌ها و پساب‌های تصفیه‌شده هستیم که موجب عرضه آب زیاد می‌شود. به این طریق نسبت تقاضا به عرضه بهبود یافته و در نهایت تقاضا زیاد می‌شود (حلقه تقویت کننده R_2 و R_3).

اضافه برداشت از سفره‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی تا زمانی که به سطح هشدار نرسیده‌اند، ادامه می‌یابد. فشارهای کارشناسی برای کنترل اضافه برداشت از منابع آب سبب اتخاذ راهکارهای مدیریتی می‌شود. در مرحله اول عرضه کنترل می‌شود (حلقه فشار کارشناسی B_2). همچنین تلاش می‌شود با به‌کارگیری فناوری‌های جدید در جانب عرضه، بهره‌وری استفاده از منابع مختلف آبی افزایش یابد. با تقاضای ثابت، عرضه نسبت به گذشته کم می‌شود (حلقه B_3) و در جانب تقاضا، با بهبود فناوری‌های جدید مانند شیوه‌های جدید آبیاری در بخش کشاورزی یا استفاده از شیوه‌های تولیدی جدید در بخش صنعت تقاضای آب کاهش می‌یابد (حلقه بهبود فناوری کاهش مصرف آب B_4).

ب- نمودار حالت-جریان

این نمودار روابط بین متغیرها را به صورت گسترده‌تر به نمایش می‌گذارد و به بیان جزئیات سازوکار بخش‌های مختلف می‌پردازد. سازوکار کلی تمامی بخش‌ها و ارتباط آنها با یکدیگر در قالب نمودار حالت-جریان در نمودار ۳ نمایش داده شده است.

نمودار ۳. نمودار کلی حالت - جریان



متغیرهای حالت و برخی از متغیرهای نرخ استفاده شده در مدل شامل متغیرهای زیر می باشند:

سفره‌های زیرزمینی: متغیرهای نرخ ورودی و خروجی به آن از طریق آمار و اطلاعات بخش بیلان آب زیرزمینی سازمان آب منطقه‌ای استان شهرستان کرمانشاه به‌دست آمده است. مقدار اولیه تراز آب زیرزمینی ۱۴۱۱/۷۲ متر در نظر گرفته شده که حجم آن با توجه به مساحت آبخوان (۴۴۵ کیلومتر مربع) و ضریب ذخیره سفره (۳٪)، برابر می‌شود با:

$$18846 = 0.3 * 445 * 1411 / 72 \text{ mcm}$$

آب‌های بازگشتی: میزان آب برگشت‌شده ناشی از مصرف آب‌خانگی و آبیاری فضای سبز است که متأثر از سیستم فاضلاب شهری است.

جمعیت: معرف مقدار جمعیت است که مقدار اولیه آن در سال ۷۵ برابر ۶۹۵۸۴۲ نفر در نظر گرفته شده است.

تولد: این متغیر معرف میزان تولد است که به صورت عدد ثابت برابر ۱۲ نفر به ازای هر ۱۰۰۰ نفر در سال تعریف شده است.

مرگ و میر: این متغیر تابعی از نرخ مرگ و میر و متغیر امید به زندگی است. سن امید به زندگی در استان شهرستان کرمانشاه ۷۲ سال در نظر گرفته شده است (آمار ایران^(۳)، ۱۳۹۶).

۳-۲. شبیه سازی مدل

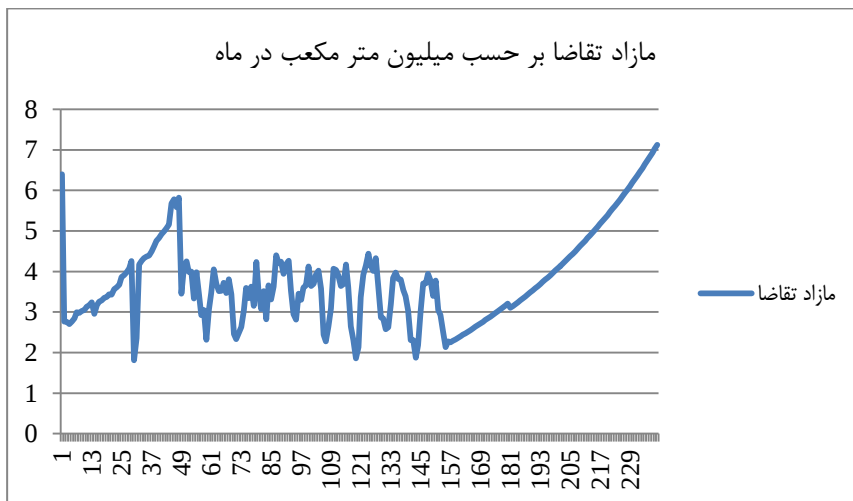
در این بخش روند شبیه سازی حوزه آبی شهرستان کرمانشاه طی فاصله زمانی (۱۳۷۵-۱۴۰۷) انجام شده است.

یکی از مهم ترین استفاده های پویایی شناسی سیستم ها در نظر گرفتن سناریوهای مختلف و مقایسه نتایج حاصل از آن است. در سناریوسازی با توجه به ماهیت مسئله، تصمیم های مختلفی اتخاذ می شود و طبق آن ها شبیه سازی صورت می گیرد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل شده می توان سیاست های مختلف را ارزیابی و نتایج هر کدام را نسبت به دیگری مقایسه کرد.

در ابتدا تعادل حوزه آبی را بررسی می کنیم. بر اساس نمودار ۴ حوزه آبی همواره با عدم تعادل مواجه است.

این عدم تعادل سبب برداشت های غیرمجاز از منابع آبی سطحی یا زیرزمینی می شود.

نمودار ۴. نمودار عدم تعادل حوزه آبی



برای برطرف شدن این عدم تعادل راه‌های متعددی وجود دارد. به دلیل اینکه قیمت آب عرضه شده برحسب سازوکار بازار تعیین نشده بلکه به صورت دستوری تعیین می‌شود و در برخی موارد مانند آب کشاورزی رایگان است. به همین دلیل نمی‌توان از ابزار تغییرات قیمت برای رفع عدم تعادل بازار آب استفاده کرد. در ادامه برای کاهش تقاضای آب و بهبود بهره‌وری عرضه آب روش‌های مختلفی ارائه و تأثیر هر یک از این روش‌ها بر کمبود آب بررسی می‌شود.

الف- در ابتدا سناریوهای مربوط به بخش تقاضای آب بررسی می‌شود.

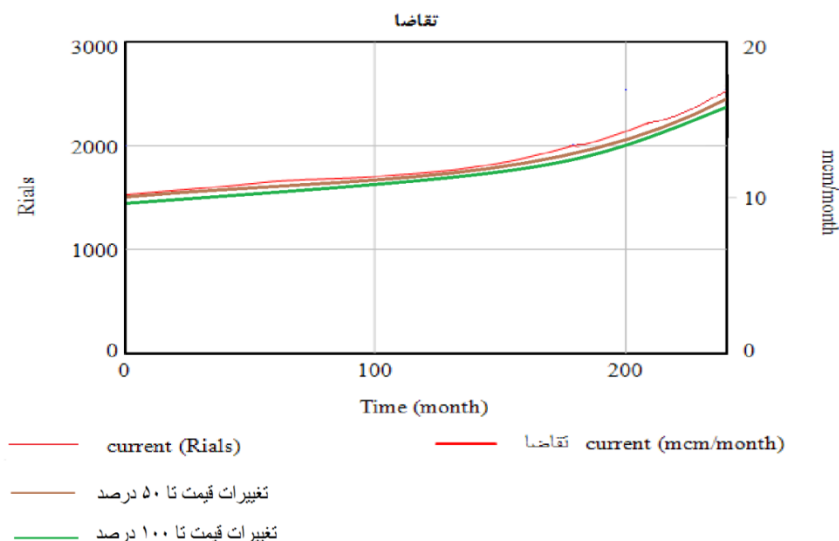
۱: بهبود فناوری‌های مؤثر بر مصرف آب در بخش خانگی و کشاورزی و صنعت مانند استفاده از لوازم کاهنده مصارف خانگی، استفاده از آبیاری‌های نوین و فناوری‌های جدید کم مصرف در بخش صنعت یکی از روش‌های اعمال برنامه‌ریزی اقتصادی در قسمت تقاضا است. اثر نصب این لوازم روی نمودار (۵) قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سرمایه‌گذاری بیشتر در استفاده از فناوری‌های نوین مصرف آب در بخش‌های مختلف، تقاضا را به میزان زیادی کاهش می‌دهد.

نمودار ۵. بررسی اثر سرمایه‌گذاری جهت بهبود فناوری‌های مؤثر بر مصرف آب



۲: در مدل حاضر، به دلیل اینکه یارانه زیادی به بخش مصرف خانوار، کشاورزی و فضای سبز و بخش صنعتی تخصیص داده شده، قیمت نقش مؤثری در مقدار تقاضا ایفا نمی‌کند همچنین با توجه به اینکه قیمت در بخش‌های مختلف تقاضا بسیار نازل تعیین می‌شود، کشش قیمتی تقاضای آب پایین است. همان‌طور که در نمودار ۶ مشاهده می‌شود با افزایش قیمت آب، میزان تقاضا برای آب تغییر اندکی می‌کند. باتوجه به اینکه آب کالایی ضروری و حیاتی است، تغییرات قیمتی در مصرف افراد هیچ تفاوتی ایجاد نمی‌کند بنابراین اعمال سیاست قیمتی در تغییرات تقاضا نقشی ندارد. از دلایل دیگر بی‌کشش بودن آب در ایران این است که قیمت آب به‌صورت دستوری در سطح بسیار پایینی تعیین می‌شود. بر اساس قواعد اقتصاد خرد، کشش قیمتی تقاضا در این حالت بزرگ‌تر از (۱-) است (کالا کم‌کشش) در نتیجه افزایش قیمت، تأثیر ناچیزی بر کاهش تقاضا دارد. در این سناریو متوسط قیمت آب به بخش‌های مختلف در حالت اول ۵۰ درصد و در حالت دوم ۱۰۰ افزایش داده شده و همان‌طور که مشاهده می‌شود تقاضا کاهش بسیار اندکی داشته است. در نهایت نتایج پایین بودن کشش قیمتی تقاضا را نشان می‌دهد.

نمودار ۶. بررسی اثر تغییرات قیمت بر میزان تقاضا



ب- قسمت بعدی بررسی سناریو مربوط به بخش عرضه آب است که شامل سرمایه‌گذاری جهت اصلاح شبکه‌ها و تجهیزات آبرسانی می‌باشد. با توجه به ماهیت این متغیر، سالانه می‌توان با اختصاص بودجه مناسب به اصلاح شبکه در بخش عرضه و توزیع آب پرداخت. با این کار تفاوت بین آب استحصال شده و آب توزیع شده برای مصرف کمتر می‌شود. که با اصلاح شبکه و تجهیزات مربوط به آن، میزان درصد نشت کاهش یافته و بدین ترتیب از میزان متغیر نشت کاسته می‌شود و مطابق نمودار ۷ میزان کمبود آب در اختیار و عدم تعادل شبکه آبرسانی کاهش می‌یابد.

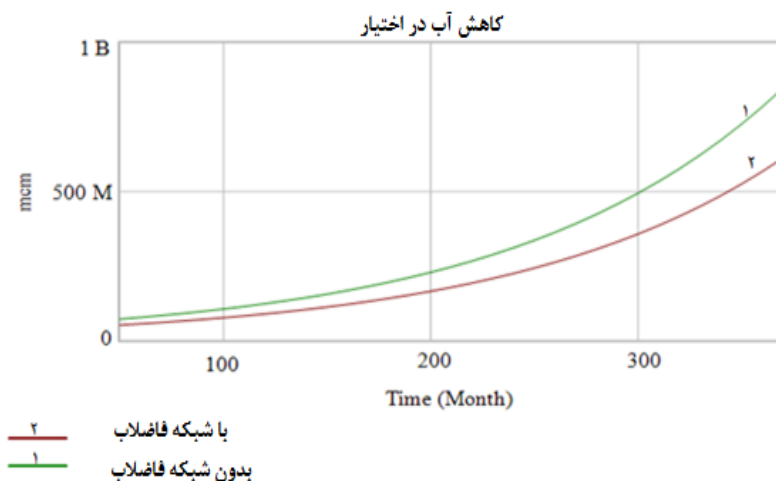
نمودار ۷. بررسی اثر سرمایه‌گذاری جهت اصلاح شبکه و تجهیزات



پ- در ادامه به بررسی سناریوی حذف سیستم فاضلاب ناشی از آب بازگشتی و تأثیر آن بر سیستم آب پرداخته می‌شود. با توجه به گسترش روزافزون شهرنشینی، سیستم فاضلاب شهری نیز در حال توسعه است. مدل پویایی سیستمی حوضه آب شهرستان کرمانشاه اثر وجود یا عدم وجود این سیستم را روی تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهد. همچنین گسترش سیستم فاضلاب موجب کاهش جذب آب‌های بازگشتی توسط چاه‌های جذبی می‌شود. به همین دلیل میزان آب بازگشت شده به

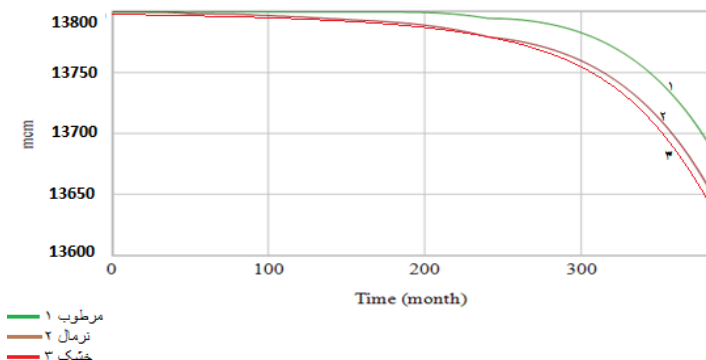
سفره آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. از طرفی آب جمع‌آوری شده به مصارف فضای سبز و کشاورزی اختصاص می‌یابد که کمبود آب را کاهش می‌دهد و با توجه به این موضوع باید شبکه فاضلاب در آینده گسترش یابد. اما به‌طور کلی برای مقابله با کمبود آب زیرزمینی باید از میزان برداشت از سفره‌های زیرزمینی کاسته شود.

نمودار ۸. کاهش عدم تعادل شبکه آبرسانی به دلیل استفاده از آب جمع‌آوری شده توسط شبکه فاضلاب برای فضای سبز و کشاورزی



ت- در انتها به بررسی سناریوی محیطی پرداخته می‌شود. در این سناریو، سری داده‌ها براساس داده‌های بارش سالانه با توجه به متوسط دما برای سه دوره خشک، نرمال و مرطوب تکرار می‌شوند. با توجه به اجرای مدل می‌توان وضعیت منابع آب را در هریک از سه دوره با هم مقایسه کرد. در هر سه دوره کاهش منابع آب زیرزمینی همچنان ادامه دارد که شیب آن به‌ترتیب در دوره خشک و نرمال بیشتر است. با توجه به نمودار ۹، با ادامه روند کنونی ممانعت از کاهش شدید تراز آب زیرزمینی غیرممکن. همچنین با توجه به اینکه در دوره‌های مرطوب میزان بارندگی بیشتر است، پیشنهاد می‌شود که در این دوره بیشترین بهره‌برداری از آب‌های سطحی صورت گیرد و به این ترتیب می‌توان آب زیرزمینی را برای برداشت در دوره‌های خشکسالی ذخیره کرد.

نمودار ۹. کاهش تراز آب زیرزمینی با توجه به اجرای سه سناریوی محیطی متوسط دما



۳-۳. تست مدل و اعتبارسنجی

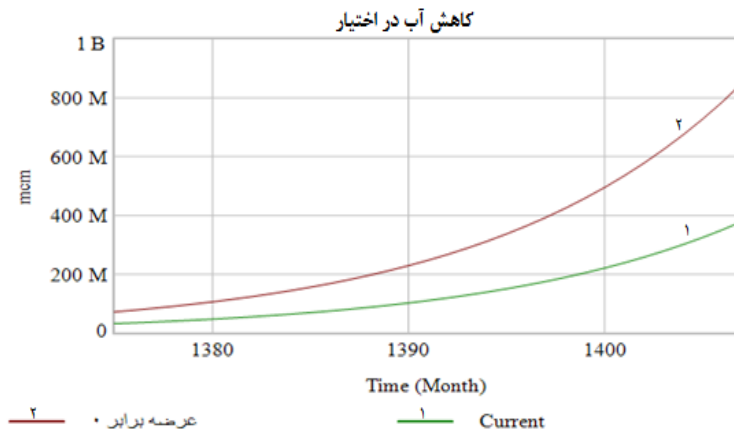
مدل‌های شبیه‌سازی برای بررسی مسائل دنیای واقعی ساخته می‌شوند. پس از ساخت مدل باید آزمون‌های اعتبارسنجی انجام شود تا از صحت مدل و تطابق با دنیای واقعی اطمینان حاصل کنیم. (رجائیان، ۱۳۸۸: ۱۶۷).

الف- آزمون شرایط حدی

یکی از آزمون‌های انجام‌شده، آزمون شرایط حدی است. شرایطی که ممکن است هرگز در جهان واقعی مشاهده نشود. این آزمون نشان می‌دهد که آیا سیستم، رفتار قابل انتظاری از خود نشان می‌دهد یا خیر. به عبارتی در سنجش اعتبار یک مدل می‌توان شرایط رفتاری را توصیف کرده و سپس بررسی کنیم که آیا ساختار مدل واکنش رفتاری مناسبی دارد یا خیر (رجائیان، ۱۳۸۸، ۱۶۷).

آزمون‌های حدی یکی از آزمون‌های اعتبارسنجی است. به این منظور ما عرضه آب را به صفر کاهش می‌دهیم و رفتار متغیر کمبود آب را بررسی می‌کنیم. با توجه به این موضوع که افزایش میزان تقاضا با در نظر داشتن عوامل مؤثر بر آن از جمله افزایش جمعیت، افزایش فعالیت‌های اقتصادی، تغییرات اقلیمی و... حتمی است، بنابراین با گذشت زمان متغیر کمبود آب روندی صعودی خواهد داشت. با توجه به نمودار ۱۰ مشاهده می‌شود این کمبود به صورتی محسوس‌تر و با شیبی بیشتری زمان دارای روند صعودی خواهد بود و درعین حال رفتار سیستم حفظ خواهد شد.

نمودار ۱۰. تأثیر آزمون حدی روی متغیر کاهش آب در اختیار (کمبود آب)



آزمون شرایط حدی بعدی با صفر در نظر گرفتن نرخ رشد جمعیت به بررسی تقاضا می‌پردازد. کاهش نرخ رشد جمعیت، تأثیر خود را مطابق نمودار ۱۱ بر متغیر تقاضا نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به اینکه تقاضای آب و جمعیت نسبت مستقیم دارند، در صورت کاهش نرخ رشد جمعیت منحنی که نشان‌دهنده میزان تقاضای کل است طی زمان دارای شیب ملایم‌تری شده و درحالی که نرخ رشد جمعیت به صفر نزدیک می‌شود شیب منحنی نیز کاهش می‌یابد.

نمودار ۱۱. تأثیر آزمون حدی روی متغیر تقاضا



باتوجه به آزمون انجام‌شده تطابق این تغییرات با مبانی مدل بررسی‌شده سازگاری دارد و به واقعیت نزدیک است، اما بیان این نکته ضروری است که موفقیت در

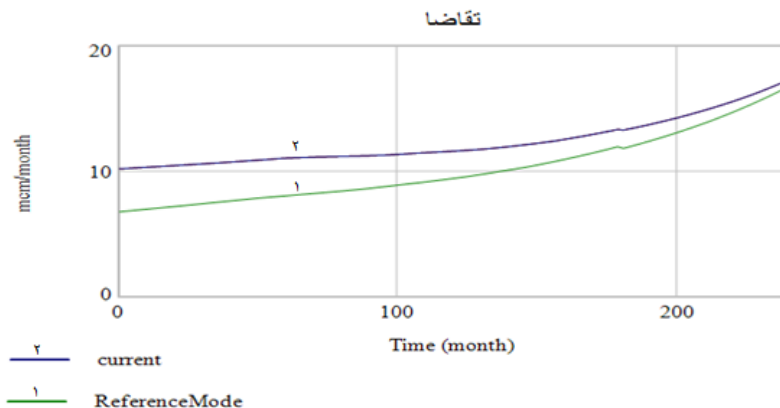
سنجش اعتبار یک مدل نشان‌دهنده تطابق کامل آن با واقعیت یا اعتبار کامل آن نیست، بلکه نشان‌دهنده مفید و کاربردی بودن مدل است.

۳-۴. آزمون رفتار مدل

این آزمون به رفتار نتایج مدل بستگی دارد و متغیرهای شبیه‌سازی شده را با واقعیت مقایسه می‌کند. در این آزمون بدون توجه به ساختار مدل فقط به نتایج خروجی مدل که چقدر با مقادیر واقعی همخوانی دارد، پرداخته می‌شود. در صورتی که رفتار مدل با رفتار دنیای واقعی همخوانی داشته باشد، مدل می‌تواند واقعیت را به خوبی به نمایش بگذارد، در غیر این صورت باید ساختار مدل و روابط بین اجزا و تمامی عوامل را مجدداً بررسی کنیم. در این پژوهش سه متغیر مرجع تقاضای کل، تقاضای خانگی و تراز آب زیرزمینی آزمون می‌شود. به این منظور متغیرهای تقاضای کل آب، تقاضای خانگی و میزان آب زیرزمینی که توسط مدل برای بازه زمانی ۱۳۷۵-۱۳۹۵ به صورت ماهیانه پیش‌بینی شده است با مقدار واقعی آنها در همین بازه مورد بررسی قرار داده شده‌اند. ابتدا متغیر تقاضای کل در محیط نرم افزار ونسیم و سپس متغیرهای تقاضای خانگی و میزان آب زیرزمینی در محیط نرم افزار اکسل آزمون شده‌اند.

نمودار ۱۲ نشان می‌دهد که رفتار پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۹۵ نشان می‌دهند که این دو مقدار کاملاً رفتاری شبیه به یکدیگر دارند و مدل قابل اعتماد است.

نمودار ۱۲. آزمون واقعیت سنجی متغیر تقاضای کل



برای ارزیابی رفتار مدل در شبیه‌سازی انجام شده، از دو معیار ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است. R^2 معیاری بدون واحد است که بهترین مقدار آن برابر ۱ می‌باشد. نحوه محاسبه R^2 در رابطه (۱) نشان داده شده است.

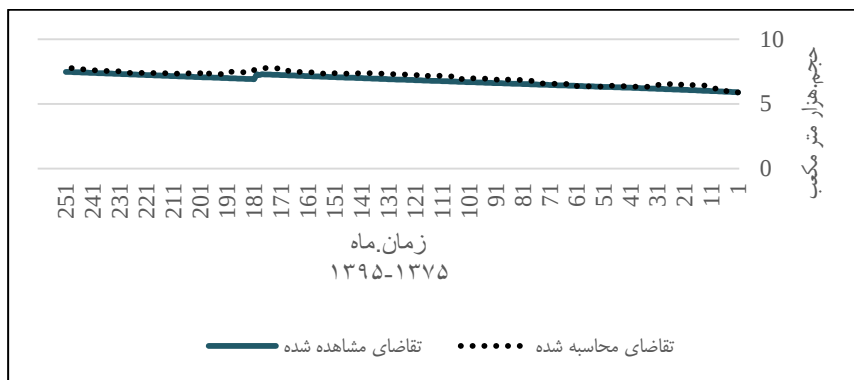
$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^K X_K - Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^K X_K^2 \sum Y_K^2}} \quad (1)$$

جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز نشان‌دهنده میزان خطای مدل است. بهترین مقدار برای آن برابر صفر است. نحوه محاسبه RMSE در رابطه (۲) نشان داده شده است. طبق رابطه X_K مقادیر مشاهده شده و Y_K مقادیر محاسبه‌شده هستند. همچنین k نیز تعداد داده‌ها را نشان می‌دهد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^K (X_K - Y_K)^2}{K}} \quad (2)$$

بازسازی رفتار مرجع متغیر تقاضای خانگی، با تطابق نمودارهای مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده در نمودار ۱۳ مشاهده می‌شود. مقادیر حاصل از شبیه‌سازی، روندی مشابه مقادیر واقعی داشته و تأییدکننده مدل شبیه‌سازی شده است.

نمودار ۱۳. آزمون واقعیت‌سنجی متغیر تقاضای خانگی



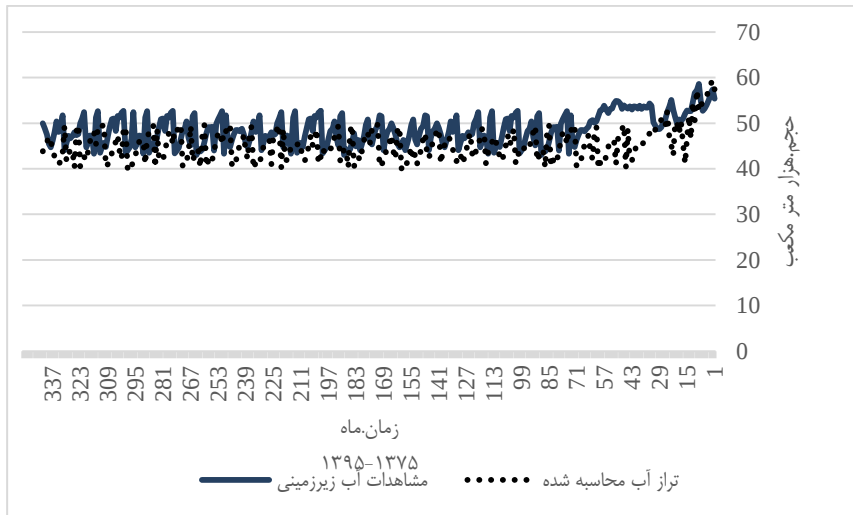
جدول ۵. مقادیر محاسبه شده RMSE و R^2 برای متغیر تقاضای خانگی

R^2	RMSE
۰/۹۶	۰/۹۹

منبع: یافته‌های پژوهش

همچنین بازسازی رفتار متغیر مرجع تراز آب زیرزمینی که از عوامل عرضه آب می‌باشد، با تطابق نمودارهای مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده در نمودار ۱۴ مشاهده می‌شود. مقادیر حاصل از شبیه‌سازی روندی مشابه مقادیر واقعی داشته و تأیید کننده مدل شبیه سازی شده است.

نمودار ۱۴. آزمون واقعیت سنجی متغیر سفره‌های آب زیرزمینی



جدول ۶. مقادیر محاسبه شده RMSE و R^2 برای متغیر تراز سفره‌های آب زیر زمینی

R^2	RMSE
۰/۷۵	۰/۹۹

منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت روزافزون منابع آبی، در این پژوهش به بررسی مدیریت و برنامه‌ریزی پویای منابع حوضه آب‌های سطحی و زیرزمینی شهرستان کرمانشاه پرداخته‌ایم. از مهم‌ترین مواردی که در این پژوهش موجب نگرانی است، افزایش تقاضا و تأمین آن از طریق افزایش برداشت از منابع آبی سطحی و زیرزمینی است. تست واقعیت‌سنجی و آزمون حساسیت متغیرها برای بررسی روند رفتار متغیرها انجام گرفت که در نتیجه آن مدل این پژوهش، رفتاری منطقی از خود نشان داد. همچنین پنج سناریو بررسی شد که نتایج کلی حاصل از آنها و بررسی کلی

سیستم آب شهری شهرستان کرمانشاه به شرح زیر است:

۱. روند صعودی جمعیت از جمله سازوکارهای اجتناب‌ناپذیر و اصلی در افزایش تقاضا است که میزان افزایش و کاهش در متغیر کمبود آب نیز بر تقاضا دارای اثر مثبت و منفی خواهد بود. بنابراین مدیریت و در نظر گرفتن تدابیر تقاضا جهت تعدیل نسبی میزان تقاضا و ذخایر آب امری ضروری است.

۲. از جمله سناریوها در بحث سرمایه‌گذاری در عوامل مؤثر بر تقاضا، سرمایه‌گذاری در نصب لوازم کاهنده مصرف در سه بخش خانگی، کشاورزی و صنعت است. این راهکار می‌تواند با صرفه‌جویی و درنهایت کاهش میزان تقاضا در پایین آمدن شاخص کمبود آب اثر مثبت داشته باشند. اما می‌توان گفت که یک استراتژی کافی جهت مقابله با کمبود آب نیست و جهت مؤثر واقع شدن، باید در کنار سایر سیاست‌ها به کار گرفته شود.

۱. بخش دیگر سرمایه‌گذاری می‌تواند بابت اصلاح شبکه و کاهش ضریب نشت باشد که از این طریق تفاوت بین آب تولید شده و آب توزیع شده برای مصرف کاهش می‌یابد و بازدهی تولید بالا می‌رود و کمبود آب را کاهش می‌دهد.

۲. سرمایه‌گذاری جهت اصلاح شبکه و کاهش نشت بیشترین تأثیر را در کاهش میزان کمبود آب داشته و افزایش نرخ آب بها نسبت به سایر متغیرها کمترین تأثیر را دارد و این می‌تواند به این علت باشد که آب ماده‌ای ضروری برای ادامه حیات است و این در حالی است که جایگزینی برای آن وجود ندارد، همچنین قیمت آب به صورت دستوری در سطح بسیار پایینی تعیین می‌شود در نتیجه افزایش قیمت تأثیر زیادی بر کاهش تقاضا ندارد.

۳. از جمله عوامل تأثیرگذار بر سیستم آب، شبکه فاضلاب شهری است که توسعه آب به دلیل کاهش جذب آب توسط چاه‌های جذبی موجب افزایش در کاهش تراز آب زیرزمینی می‌شود. همچنین آب جمع‌آوری شده از این طریق را می‌توان برای مصارف فضای سبز و کشاورزی استفاده کرد و به جبران میزان کمبود آب پرداخت. بنابراین توسعه شبکه فاضلاب راهکاری جهت ذخیره آب و

کاهش شاخص کمبود آب خواهد بود.

۴. با در نظر گرفتن سناریوی محیطی می‌توان در دوره‌های مرطوب سال بیشترین بهره‌برداری از آب‌های سطحی را انجام داد که آب زیرزمینی برای برداشت در دوره‌های خشکسالی ذخیره شود و از کاهش شدید آن جلوگیری به عمل آید.

۵. به‌طور کلی مدل سیستم دینامیکی حوضه آبی شهرستان کرمانشاه می‌تواند به عنوان عامل پشتیبانی در تصمیم‌گیری با ارائه چشم‌اندازی تا سال ۱۴۰۷ دیدی کلی برای اجرای تصمیمات و سیاست‌گذاری‌ها در عرصه آب را در اختیار سیاست‌گذاران و مدیران مربوطه قرار دهد تا بتوانند برنامه‌ها و تصمیمات آتی خود را جهت بهینه کردن هرچه بیشتر سوق دهند. همچنین نشان می‌دهد با تعیین قیمت دستوری و حذف مکانیسم بازار، ابزار قدرتمندی در جهت کنترل کمبود آب را از دست داده و همین عامل سبب شده است در هر کالایی که یارانه به آن تعلق گرفته است در جهت کنترل تقاضا با شکست مواجه شده و همچنین در فرهنگ‌سازی نیز موفقیت ناچیزی به دست آید. علاوه بر این، این مطالعه می‌تواند بینش‌های پویای دیگری ارائه دهد تا افراد درک بهتری از سیستم آب شهری کرمانشاه را داشته باشند. به عنوان مثال، اداره آب می‌تواند در مورد عواقب طولانی‌مدت مصرف زیاد آب، بینش دقیقی در اختیار مردم قرار دهد و به آنها نشان دهد که چگونه مصرف بی‌رویه در طولانی‌مدت منجر به پایین رفتن تراز آب زیرزمینی، هزینه‌های زیاد برای انتقال آب بین حوضه‌ای و درگیری با کشورهای همسایه می‌شود.

۶. توسعه شبکه فاضلاب در شهر از عوامل اثرگذار بر سیستم است، آب جمع‌آوری شده از این طریق می‌تواند برای مصارف فضای سبز و کشاورزی استفاده شود و میزان کمبود آب از این طریق کاهش یابد. بنابراین توسعه شبکه فاضلاب در آینده راهکاری سودمند جهت ذخیره آب و کاهش شاخص کمبود آب خواهد بود.

پی‌نوشت‌ها

1. <https://fa.wikipedia.org>

۲. سازمان پارکها و فضای سبز شهر شهرستان کرمانشاه

3. www.mojnews.com

منابع

احسانی‌فر، محمد. همتا، نیما عبدالهیان، مهرانگیز (۱۳۹۰). «مدل سازی الگوی مصرف آب در شهر اراک با استفاده از رویکرد پویایی سیستم». کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت، تهران.

ادیب‌پور، مهدی. شیرآشبانی، رحیمه (۱۳۹۳). «برآورد تابع تقاضای آب خانگی استان گلستان». فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۲؛ ۹۱-۱۰۶.

تجریشی، مسعود. ابریشم‌چی، احمد. عبدالغفوریان، عابده (۱۳۹۰). «مدیریت آب شهری با لحاظ پساب و رواناب به عنوان منابع جدید آب». مجله آب و فاضلاب، شماره ۴؛ ۲۹-۴۲.

ترکیان، علیرضا. ترابی، فاطمه (۱۳۹۱). «مدل پویایی سیستم در مدیریت درازمدت آب شهری تبریز». ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، https://www.civilica.com/Paper-CEE06-CEE06_733.html.

خلفی، علی‌اکبر. پوراشرف، یاسان‌الله. شیر، قاسمعلی (۱۳۹۴). «عوامل اقتصادی مؤثر بر الگوی مصرف آب در میان شهروندان شهر ایلام». اولین کنگره سالیانه جهان و بحران انرژی، مؤسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، شیراز، ایران.

خیابانی، ناصر. باقری، سروش. بشیری پور، امیر (۱۳۹۵). «الزامات اقتصادی مدیریت منابع آب. مجله آب و فاضلاب، ۱(۲۸)؛ ۴۲-۵۶.

صلوی‌تبار، عبدالرحیم. ابریشم‌چی، احمد. ضرغامی، مهدی (۱۳۸۵). «مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران». مجله آب و فاضلاب، ۳(۱۷)؛ ۱۲-۲۸.

بهجت، سعید. ضرغامی، مهدی (۱۳۹۱). «شبیه سازی عرضه و تقاضای آب شهری تبریز به روش پویایی سیستم». هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

https://www.civilica.com/Paper-IIEC08-IIEC08_169.html

- عبدلی، قهرمان. دیزجی فرجی، سجاد (۱۳۸۸). «برآورد تابع تقاضای آب شهرستان ارومیه». مجله دانش و توسعه، شماره ۲۸؛ ۱۷۵-۱۵۸.
- واعظی، علیرضا. بشیری، ابوالفضل. سارنگ، امین (۱۳۹۴). «کاربرد نگرش سیستم های پویا در سیاست گذاری برای مدیریت آب شهری». کنفرانس بین المللی علوم، مهندسی و فناوری های محیط زیست، دانشگاه تهران؛ ۲۱۲.
- Chang, H., Peters, L., (2011). Urban Water Demand Modeling: Review of Concepts, Methods, and Organizing Principles. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 47. 1-15.
- Chang, L.C., et al. (2011). An integrating approach for conjunctive-use planning of surface and subsurface water system, J. Water resour manage, 25:59-78.
- Gleick, P. H. (2000). The changing water paradigm a look at twenty-first century water resources development international. J. Water International, 25(1), 127-138.
- Sahlke, G., J. Jacobson, (2005), System Dynamics Modeling of Transboundary System: The Bear River Basin Model, Ground Water, 43(5), 722-730.
- Simonovic, P. S. (2002). World water dynamics: global modeling of water resources. J. Environmental Management 66, 249-267
- Stave, K.A., (2003), A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada, Journal of Environmental Management, 67, 303-313.
- Vani, G., (2017), A System Dynamics Modelling of Urban Water Demand Forecasting for Madurai City, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), Vol. 5, Issue II, pp. 2321-9653.
- Wei, T.G., et al. (2016). A sysrem dynamics urban water management model for Macau, China, J. Environ. Sci. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2016.06.034>.
- WWF. (2003). World water forum. Final report, Kyoto, Japan, 16-23.
- Yang, CC., Chang, LC. & Ho, CC. (2008). Water Resour Manage. 22: 1561. doi:10.1007/s11269-008-9243-y
- Zhang, X.H., Zhang, H.W., Chen, B., Chen, G.Q., Zhao, X.H., (2008), Water resources planning based on complex system dynamics: A case study of Tianjin city, Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 13, 2328-2336.