Archive of SID.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۹- شماره ۳ - سال ۱۴۰۳
www.ElitesJournal.ir

مدیریت بحران آب با استفاده از رویکرد پویایی های سیستم (مطالعه موردی شهر قم)

عرفان سامی[۱]، سعید خلیلی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، مرکز مهندسی سیستم‌ها، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران
۲- پژوهشگر مرکز مهندسی سیستم‌ها، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

*S.khalili1367@ihu.ac.ir

ارسال: خرداد ماه ۱۴۰۳ پذیرش: مرداد ماه ۱۴۰۳

چکیده

استان قم یکی از استان های صنعتی ایران بوده که در ناحیه مرکزی کشورمان قرار گرفته است. بدلیل آنکه از نظر جغرافیای طبیعی، این استان در قلمرو کویر مرکزی ایران واقع شده، لذا از حیث آب و هوایی، اقلیم نیمه بیابانی دارد. اما در نواحی دشتی این استان که عمدتا در مرکز و شمال شرق آن قرار داشته و با شیبی ملایم از غرب به شرق به سمت دریاچه نمک و حوض سلطان کشیده شده‌اند، وجود تشکیلات گچی و نمکی باعث شور شدن سفره های آب زیر زمینی این مناطق شده است . به طورکلی در استان قم هر چه از نواحی غربی و کوهستانی جنوب به سمت دریاچه نمک و دشت مسیله حرکت کنیم، از کیفیت خاک و آب کاسته شده و دشت ها تبدیل به بیابان های خشک و بی آب و علف خالی از سکنه می شوند. امروزه جمعیتی حدود یک میلیون و دویست هزار نفر در شهر قم، مرکز استان قم، زندگی می کنند. اما 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 تحقیق، سیستم آب شهری قم با استفاده از روش سیستم دینامیک مدل شده و با به‌کارگیری مدلسازی پویا تلاش شده است که با دیدی جامع نسبت به سیستم آب قم پرداخته شود و با استفاده از شبیه‌سازی رفتاری در محیط نرم افزار Vensim مدیریت یکپارچه منابع آب در متغیر اصلی و رفتار مرجع سیستم مورد بررسی قرار گیرد. ضمنا با فرض کم آبی در شهر قم و با مطالعه سیستم، متغیرهای تأثیرگذار بر سیستم آب شهری قم شناسایی می گردند.

واژگان کلیدی: بحران آب، شهر قم، پویایی های سیستم، نرم‌افزار Vensim.

۱- مقدمه

آب از دیرباز و از آغاز پیدایش حیات، نقش اساسی در تداوم زندگی ایفا نموده و در طول تاریخ، عامل مهمی در شکل دادن به روش زندگی بشر و توسعه فنّاوری، زبان و فرهنگ بوده است. به علاوه اینکه نقش آب در پیدایش و رشد حیات در نظریه های علمی نیز تا مدتها مورد توجه دانشمندان قرار داشت و امروزه همه اتفاق نظر دارند که آب در هر منطقه‌ای به‌عنوان یکی از سرمایه‌های ملی آن منطقه محسوب شده و جزء احتیاجات حیاتی بشر قلمداد می شود که قابل جایگزینی به وسیله هیچکدام از منابع طبیعی و مصنوعی دیگر نیست. متاسفانه منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهمترین منابع آب در دسترس، در سالهای اخیر با چالشهای زیادی مواجه شده است، لذا با توجه به مطالب فوق الذکر، آب ارتباط جدایی‌ناپذیری با جوانب مختلف زندگی انسان شامل امنیت

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

غذایی، سلامت، رشد اقتصادی و تعادل اکولوژیکی دارد ولی بهره برداری ناپایدار از منابع آب زیرمینی در جهان باعث شکل گیری تراژدی منابع مشترک و ادامه روند تخریب این منبع گردیده است. مدیریت و تصمیم‌گیری در مورد منابع آبی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و این اهمیت زمانی بیشتر میشود که بدانیم کمبود آب به‌عنوان یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل زیست‌محیطی در قرن ۱۱ معرفی شده است. ذکر این نکته ضروری‌ست که منابع آب گرچه تجدیدپذیر هستند، اما حجم آنها ثابت است و در مقابل تقاضای بشری برای آن رو به افزایش است؛ به بیان دیگر مقدار آب تجدیدشونده که سطح کره زمین هم‌اکنون و به‌طور سالانه دریافت می کند، برابر همان آبی است که شاید هزاران سال پیش و از ابتدای به وجود آمدن تمدنهای بشری دریافت نموده است. اما در قرن اخیر تقاضای جهانی برای آب بیش از شش برابر شده درصورتی که جمعیت سه برابر شده است. به این ترتیب سرانه‌ی آبی برای مردم جهان رو به کاهش است و از طرفی نیز آلاینده ها اعم از پساب های صنعتی، زه‌آبهای کشاورزی و فاضلاب های‌شهری و روستایی، منابع آبی را آلوده و از استانداردهای مصرف خارج می کنند. در مقابل افزایش روزافزون نیازهای آبی، محدودیت منابع آبی و اصل پایداری در مدیریت آن، تأمین آب کلیه نیازهای موجود را غیرممکن می سازد لذا به منظور تأمین و عرضه آب با اطمینان پذیری بالا و رعایت اولویت های تخصیص نیاز به برنامه های دقیق و کاملی داریم. مطابق گزارش روزنامه‌ی اطلاعات، در کشور ایران، سرانه 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. اما چنانچه این شاخص به ۲۰۰۰ متر مکعب در سال برای هر نفر برسد، کشور از نظر آبی بحران زده تلقی می گردد. لذا امروزه با افزایش تقاضا برای آب به عنوان حیاتی ترین عنصر زندگی و محدودیت منابع قابل استحصال آن، اهمیت ابزارهای مدیریتی بیش از پیش آشکار می شود.

۲- مرور بر ادبیات پیشین

از میان مدل های متعدد در مدیریت منابع آب، برخی از مدل ها دارای خصوصیت پویایی هستند. در این مدل ها درک مسائل و تغییرات به صورت حلقه ای و بازخورد است. به کمک این شیوه شبیه سازی، پیامدهای نامشخص و پیش بینی نشده تصمیم گیریها آشکار می شود. هدف عمده این روش، شبیه سازی رفتار سیستمها در شرایط فعلی و آینده برای تسریع و تسهیل یادگیری است. در ادبیات تحلیل پویایی سیستم ها مدل های زیر قابل توجه هستند[۱]. .مدل جهانی توسط فارستر، بنیانگذار روش تحلیل پویایی سیستم، در سال ۱۹۷۳ تهیه شده است .این مدل به بررسی تغییرات منابع کانی، آلی و انسانی بر اساس فعالیتهای بشر بر روی زمین می پردازد. این مدل بعدا توسط میدوز و همکاران در سالهای ۱۹۷۲ و ۱۹۹۲ در مؤسسه تکنولوژی ماساچوست تکمیل شد. مدل پویایی آب شهری توسط فارستر در سال ۱۹۹۹ در کتابی به همین نام ارائه شده است. این مدل به بررسی پویایی سیستم اجتماعی و اقتصادی یک شهر و اثر آن بر منابع مربوط می شود. مدل هدف توسط روترمنز و دووریه در سال ۱۹۹۷ در موسسه ملی بهداشتی عمومی و زیست محیطی هلند توسعه داده شده است. این مدل از چندین قسمت تشکیل شده که عبارت است از بهداشت، انرژی، زمین، غذا ، آب و گردش عناصر بیولوژیکی. بخش آب آن دارای توابعی مربوط به مسائل انسانی شامل تأمین آب برای مصارف شهری، کشاورزی صنعتی، نیروی برق و حفاظت سواحل می باشد. توابع محیطی شامل تأمین آب برای اکوسیستم خشکی و حفظ کیفیت اکوسیستم آبی است و بخشی نیز شامل تأثیر تنشهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی بر سیستم آب است. ساختار عملکرد این مدل عمدتا وابسته به تغییرات اقلیم است. مدل جهانی آب توسط سیمونویچ تهیه شده و ایشان از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ هر سال ویرایش جدیدی از آن را ارائه کرده است. این مدل، بیلان آب را در مقیاس جهانی در پنج بخش صنعت، جمعیت، کشاورزی، منابع تجدید ناپذیر و آلودگی تحلیل می نماید. اهداف اصلی این مدل عبارت اند از: ارتقای روش پویایی سیستم برای مدل کردن سیستم های پیچیده منابع آب[۲- ۳].در مقاله مربوط به صلوی‌تبار و ضرغامی مدل منابع و مصارف آب شهری با روش پویایی سیستم برای ارزیابی روند منابع و مصارف و عوامل اثرگذار بر آن تهیه و توسعه داده شده است سپس نتایج تحلیل پویایی سیستم آب شهری تهران مدیران را به یک ابزار قابل فهم و تصویری برای درک علل کاهش منابع رهنمون خواهد نمود. همچنین این مدل روند تغییرات بیلان آب در آینده و تأثیر سناریوهای مدیریتی همچون انتقال بین حوضه ای آب اجرای طرح جمع آوری و تصفیه فاضلاب و مدیریت تقاضا را

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ارائه میکند. بهره گیری از چارچوب مدل جهانی و توسعه یک مدل محلی؛ سعی در توانمندسازی تطابق سیستم منابع آب به صورت مدل ارزیابی منابع آب محلی نتیجه شبیه سازی مصارف آب دنیا در صد سال آینده با لحاظ رفتار مدل در صد سال گذشته نشان می دهد که کیفیت آب از مهم ترین چالشهای سالهای آتی خواهد بود[۴]. فرزانه و همکاران به بررسی تأثیرات بستر نهادی بر شکل گیری مشکلات این محدوده پرداختند و بدین منظور با استفاده از ابزار دیاگرامهای علی معلولی در رویکرد پویایی سیستم مؤلفه های مرتبط با بستر نهادی منابع آب زیرزمینی در دو مقیاس منطقه ای و کلان مورد واکاوی قرار گرفت [۵]. دوازده سناریو برای سیاستهای مختلف تغییرات آب در دسترس تسویه فاضلاب، رشد اقتصادی تولید انرژی و تولید غذا شبیه سازی شده است. نتایج این مدل نشانگر کمبود گاز برای تولید انرژی و نیز افت شدید کیفیت آب در سالهای آتی برای این کشور است . همتا و همکاران در پژوهشی که داشتند عوامل موثر بر قیمت مسکن شهر تهران را مورد بررسی قرارداده و با استفاده از متدلوژی پویایی سیستم مدلی ارائه داده اند که از آن بتوان جهت پیش بینی قیمت مسکن تهران استفاده نمود[۶]. رحیمی یکی از مصیبتهای ناشناخته جهانی یعنی بحران آب را مورد بررسی قرار داده و هدف آن بوده که با شناخت این بحران و با ارائه راه حل هایی جلوی فاجعه ای که ممکن است در آینده نسل بشر را تهدید کند گرفته شود. نتیجه تحقیق حاکی از آن است که قرن بیست و یکم قرن بحران آب خواهد بود[۷]. سودهیر و همکاران برای مدیریت پایدار مواد زائد جامد مدلی مبتنی بر پویایی سیشتم ساخته اند. این مدل برای شهرهای هند تنظیم شده و در آن پویایی چرخه های بهداشت، اقتصاد، محیط زیست و رفتارهای انسانی تنظیم شده است. این مدل می تواند نتایج و آثار برنامه های مدیریتی را شبیه سازی کند. مشایخی نیز در سال ۱۹۹۳ مدلی برای مدیریت مواد زائد جامد شهر نیویورک ساخته است[۹]. ارشدی و باقری در سال ۱۳۹۲ با بررسی روندها و علل آسیب پذیری حوضه آبریز کارون و بررسی کیفیت آب با استفاده از نگرش پویایی سیستم به این نتیجه رسیدند که خطرات و سناریو بیرونی در مقایسه با سیاست های حاکم بر کشاورزی، صنعت و خدمات تاثیر ناچیزی بر کیفیت آب رودخانه دارد[۱۰]. نهاوندی و احمدیان در سال ۱۳۹۷ با بررسی تقاضای دینامیک آب با روش پویایی سامانه ها و از طریق نرم افزار VENSIM به این نتیجه رسیدند که سیاست کنترل جمعیت، بیشترین تأثیر را بر تقاضای آب دارد و اثر قیمت بر میزان تقاضا ناچیز است[۱۱]. در مقاله یه و همکاران روشی برای تعیین سال های شکست از طریق مدل بازده به عنوان جایگزینی برای شبیه سازی ارائه شده است. مدل بازدهی که از این روش استفاده می کند زمانی مفید است که پایایی مصرف آب به عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته میشود. روش تعیین سال‌های شکست توسط مدل بازده برای تحلیل بیشتر و مقایسه با مدل شبیه‌سازی اتخاذ شده است، یکی از سال‌های شکست با مجموعه سال‌های شکست رایج در مدل شبیه‌سازی مطابقت ندارد[۱۲]. هاشمی و همکاران در پژوهش خود نقش محصولات زراعی غیر استراتژیک مختلف در افت سطح آبخوان و همچنین بر درآمد کشاورزان در دراز مدت با استفاده از مدل سیستم دینامیک را بررسی نموده اند [۱۳]. راس و پیپر مدلی مبتنی بر پویایی سیستم برای بررسی شکل ساحل و دماغه کار در ایالت ماساچوست آمریکا ساخته اند. این مدل با توجه به تغییر اقلیم در دنیا به نحوه پیشروی آب دریا در دماغه می پردازد. فرسایش دماغه و ساحل، مسئله ای پویاست و مدل مبتنی بر پویایی سیستم کمک شایانی در شبیه سازی تغییرات این فرایند در سالهای آینده می کند. این مطالعه در واقع تلفیق سیستم های اطلاعات جغرافیایی با پویایی سیستم است[۱۴]. اعلمی و همکاران در سال ۱۳۹۲ ، اثرات سد مخزنی گلک در جمع آوری جریان های سیلابی در زمان های بارندگی، تأمین نیازهای منطقه و همچنین تغذیه آبخوان آبرفتی دشت را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که با احداث سد تغذیه ای گلک و با تأمین صددرصد نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی از طریق منابع آب زیرزمینی، می توان بیلان منابع آب زیرزمینی منطقه را به ۰,۵۷ رساند. آنها متوجه شدند که پس از ایجاد مدل یک سد در محیط VENSIM به راحتی می توان اثر سیاستهای بهره برداری و مدیریتی مختلف را بر نحوه تخصیص منابع آب آن سد مشاهده کرده و بر اساس آن تصمیمات لازم را اتخاذ نمود [۱۵]. بنی فخر و همکاران در مقاله خود با هدف ارزیابی منابع آب دشت نیشابور، به بیان چگونگی مدلسازی در نتیجه اقدامات و سیاستهای با استفاده از نرم اتخاذ شده افزار VENSIM پرداخته اند. در طی فرایند مدلسازی با رویکرد پویایی سیستمها، با شناخت از سیستم و استفاده از شاخصهایی که بر نیاز آبی دشت تأثیرگذارند، به تبیین استراتژیهای دشت در راستای پایداری منطقه اقدام گردید. در ادامه بسته های سیاستی از جمله تغییر الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری، تصفیه فاضلاب، افزایش هزینه به همراه شرایط عادی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بارش، ترسالی و خشکسالی تدوین شده و تأثیر آنها بر شاخص انتخابی تراز آبخوان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل، تأثیر متفاوت کاهش یا افزایش فاکتورها، بر روی شاخص انتخابی مشاهده شد. در نتیجه مشاهده شد که با توجه به سطح عظیم زیر کشت در دشت نیشابور با الی ۱۱۱ هزار هکتار افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت به گیاهان با نیاز آبی کمتر به عنوان یک سیاست برتر می تواند گامی اثربخش در جهت بهبود وضعیت منابع آب دشت نیشابور بردارد[۱۶]. سلطانی و همکاران در پژوهش خود با استفاده از رویکرد پویایی سیستمها یک مدل جامع و پویا موسوم به IWMsim برای ارزیابی سیاستهای مدیریتی مختلف و کمک به تصمیم سازی در سطوح کلان مدیریت منابع آب توسعه داده شده است. در مدل IWMsim برای بررسی اثرات متقابل اقتصادی- زیست محیطی طرح های توسعه منابع آب دو شاخص کلان هزینه های ملی و درآمد ملی توسعه داده شده است [۱۷]. سیمونویچ ، از یک مدل سیستم تامین آب عمومی برای ارزیابی پایداری آب برای یک سیستم فرضی در منطقه نیمه خشک استفاده میکند. یک محیط برای مدل دینامیک سیستم شی گرا به تصمیم گیرنده اجازه می دهد تا مدلی را توسعه دهد که برای ذینفعان و غیر مدل ساز به راحتی قابل درک باشد. ساختار مدولار سیستم تامین آب عمومی همچنین امکان ادغام یک مدل خاص سایت را با ترکیب ماژول هایی که یک مدلساز ممکن است بخواهد در سیستم داشته باشد را فراهم می کند. آب‌های وارداتی و بازیابی شده برای حمایت از آب‌های زیرزمینی به عنوان منابع آب جایگزین در سیستم فرضی ارزیابی شده است و در نتیجه، منابع آب جایگزین نقش مهمی در حفظ پایداری آب سیستم زمانی که آب زیرزمینی منبع اصلی است، نشان می‌دهد علاوه بر این سیمنوویچ و احمد در سال ۲۰۰۰ با استفاده از این روش، بهره برداری از یک مخزن را برای سال پر آبی و چندین سیل رخ داده برای یک سد بررسی و رفتار مخزن را در برابر سیل شبیه سازی کردند سیمونویچ و همکاران در سال ۱۹۹۷ از روش فوق برای ارزیابی دراز مدت منابع آبی و تحلیل سیاستهای اقتصادی در حوضه رودخانه نیل در مصر بهره جستند[۱۸]. احسانی فر و همکاران سیستم آب شهری اراک را با استفاده از روش سیستم دینامیک مدل کره اند سپس با به کارگیری مدلسازی پویا و روش تحلیل پویایی های سیستم، تلاش شده با دیدی جامع نسبت به سیستم آب ارا ک پرداخته شود و با استفاده از شبیه سازی رفتاری در محیط نرم افزار ونسیم Vensim(مدیریت یکپارچه ی منابع آب در متغیر اصلی و رفتار مرجع سیستم مورد بررسی قرار گیرد[۱۹]. ارشدی و و همکاران هدف تحقیق خود را، بررسی روندها و علل آسیب پذیری حوضه آبریز کارون بزرگ و به خصوص کیفیت آب به عنوان مؤلفه نگرانی حوضه در بلندمدت عنوان کرده اند. ضمنا از نگرش پویایی سیستمها و نرم افزار Vensim به منظور ارزیابی وضعیت حوضه استفاده گردیده است. نتایج حاکی از آن است که خطرات و سناریو بیرونی در مقایسه با سیاستهای حاکم در کشاورزی، صنعت و خدمات تاثیر ناچیزی بر کیفیت آب رودخانه دارد. این مطلب گویای واقعیتی است که در راستای کاهش آسیب پذیری حوضه باید تمرکز بر نگرش حاکم و سیاستهای اعمالی برای تامین غذا و انرژی در حوضه داشت[۱۰]. نهاوندی و همکاران با هدف بررسی دینامیک تقاضای آب با روش پویایی سامانه ها در شهر قم، دینامیک متغیرهای مختلفی نظیر جمعیت، منابع آب سطحی، عرضه آب و تقاضای آب را اندازه گیری نموده اند. در مدل که با استفاده از نرم افزار VENSIM به کار رفته است حداکثر درصد اختلاف نسبی برای تخمین تقاضای آب ۷ درصد بوده است تغییر نرخ زاد و ولد از میزان ۴ درصد به ۲ درصد منجر به کاهش ۲۹ درصدی میزان تقاضای آب در سال ۱۴۰۵ در مقایسه با روند شده است. بر اساس این نتیجه سیاست کنترل جمعیت، بیشترین تأثیر را بر تقاضای آب دارد اثر قیمت بر میزان تقاضا ناچیز است به طوری که افزایش ۲۰ درصدی ،قیمت ۰۴/۲ درصد کاهش در میزان تقاضا در سال۱۴۰۵ در قیاس با روند فعلی ایجاد می کند [۱۱].

۳- تشریح مسئله و مدلسازی

برنامه ریزی، طراحی و مدیریت سامانه های منابع آب برای تحقق اهداف توسعه پایدار در یک منطقه، نیازمند مشارکت همگانی است. همه 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 می تواند تغییرات ناخواسته در دیگر قسمت های آن ایجاد کند. به‌منظور بررسی نیازهای آینده‌ی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

یک منطقه و پیش بینی های مرتبط با آن، باید دینامیک یک سیستم یا منطقه را بررسی نمود. مزیت استفاده از رویکرد پویایی های سیستم در تصمیم گیری ها، در نظر گرفتن مجانب های آن و بررسی تغییرات مورد انتظار آن است. اما آیا ماجرا به همین سادگی‌ست و می توان بوسیله یک نسخه و علاج کلی برای این مساله، راه حلی تعیین نمود؟ پاسخ قطعا خیر می‌باشد. چرا که طبق مطالب نگاشته شده مدیریت منابع آب درگرو چندین پارامتر متغیر می‌باشد که این متغیرها به طور مداوم در حال تغییر می‌باشند و در اغلب موارد نیز نمی‌توان نسبت به آنان پیش‌بینی متقنی بدست آورد. با توجه به این شرایط نمیتوان پیش‌بینی درستی نسبت به کاربردی بودن یک راه حل عمومی فارغ از شرایط مختص منطقه داشت. اما در سمت مقابل، تردیدی وجود دارد و آن این است که در صورت عدم پیش بینی و چاره‌اندیشی نسبت به این معضل، چه زمانی منطقه مورد مطالعه با بحران مواجه خواهد شد. مجموع این نکات ما را برآن داشت که این موضوع را مورد بحث و بررسی قرار دهیم.

۳-۱- متغیرهای اصلی

رویکرد پویایی های سیستم درک پیچیدگیهای سیستم را تسهیل نموده و در تجزیه و تحلیل رفتار اجزای سیستم مورد استفاده قرار می گیرد. توانایی این روش به حدی است که می توان با بهره گیری از آن مسائل ساده و پیچیده را مدل سازی کرد و تغییر ناشی از تعامل متغیرها و شناسایی رفتار آتی آن ها را در دوره های زمانی مختلف مورد بررسی قرار داد. این روش امکان شبیه سازی واقعی تر از سیستم را با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی مؤلفه های مختلف آن فراهم نموده و از این طریق دریچه جدیدی را در مسائل بهینه سازی منابع آب می گشاید. از میان مدل های متعدد در مدیریت منابع آب، برخی ازمدلها دارای خصوصیت پویایی هستند. در این مدلها درک مسائل و تغییرات به صورت حلقه ای و بازخورد است و به کمک این شیوه شبیه سازی، پیامدهای نامشخص و پیش بینی نشده تصمیم گیری ها آشکار می شود. هدف عمده این روش، شبیه سازی رفتار سیستم در شرایط فعلی و آینده برای تسریع و تسهیل یادگیری است. مدل پویایی سیستم شهر قم شامل منابع عرضه آب و منابع تقاضای آب (خانگی، آبیاری و صنعت) بوده و از ابزارهای مدیریت آب (تغییر قیمت و کاهش جمعیت) استفاده شده است. ضمنا سناریوهای مختلفی برای مدل شبیه‌سازی شده، از جمله نصب لوازم کاهنده مصرف و اصلاح شبکه تأمین، مورد بررسی قرار می گیرد.

جدول ۱- تعریف متغیرهای مساله

ردیف	نام متغیر	ردیف	نام متغیر
۱	تقاضای آب	۱۲	هزینه مدیریت تقاضا
۲	عرضه آب	۱۳	تقاضای کشاورزی
۳	جمعیت	۱۴	آبهای زیر زمینی
۴	قیمت آب	۱۵	تقاضای صنعتی
۵	جمع آوری فاضلاب	۱۶	فعالیت صنعتی
۶	سرمایه گذاری	۱۷	کمبود
۷	کیفیت	۱۸	سود
۸	آلودگی آب	۱۹	آب سطحی
۹	فعالیت های صنعتی	۲۰	مدیریت تقاضا
۱۰	فعالیت فضای سبز	۲۱	هزینه مدیریت عرضه
۱۱	نفوذ آب بازگشتی		

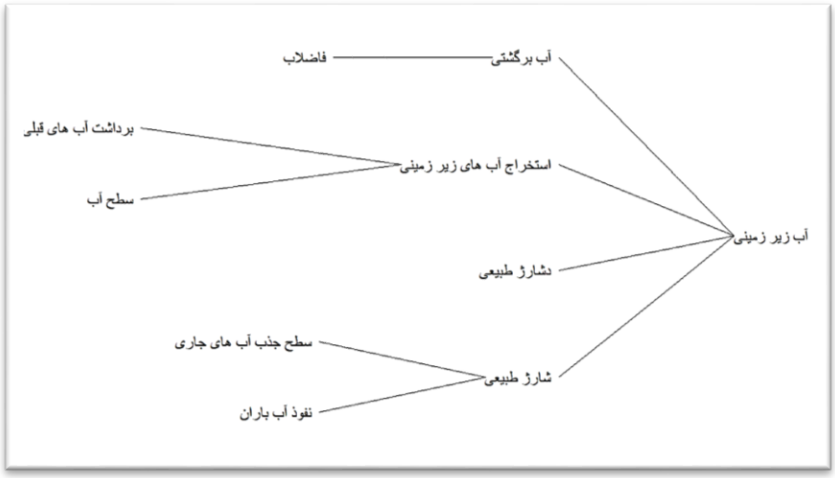
۳-۲- فرضیه دینامیکی

با توجه به مطالب بیان شده در فاز ۱ مساله می توان گفت که گرمایش جهانی بر عرضه آب اثر می‌گذارد و درنتیجه فشار تقاضای آب را افزایش می‌دهد تا مانع توسعه اجتماعی و اقتصادی و رشد جمعیت شود. افزایش میزان عرضه آب از طریق انتقال آب باید فقط به عنوان یکی از آخرین راه‌حل ها مطرح شود و مکمل سیاستهای مدیریت تقاضای آب باشد.

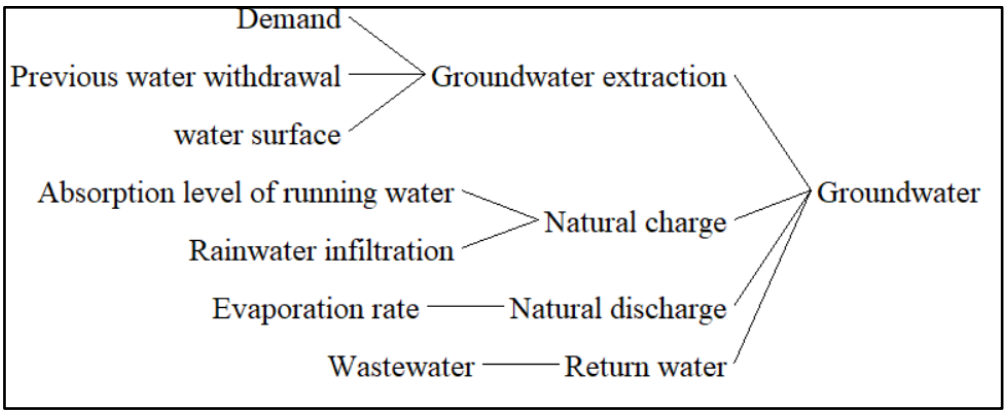
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با توجه به اینکه سیستم منابع آب و تقاضای مربوط به آن یک سیستم پیچیده و در ارتباط با عناصر مختلف است، به نظر می رسد تحلیل و مدیریت آن تنها از طریق روشهای بررسی جزیی ساختار و شبیه‌سازی آن امکان‌پذیر باشد. این امر محقق نمی شود مگر اینکه هر دو عامل عرضه و تقاضا و زیرسیستمهای مربوط به آنها درکنار هم بررسی گردد. سیستم مدیریت عرضه و تقاضای آب سیستمی متشکل از چندین متغیر مختلف می‌باشد که تنها برخی از این متغیرها قابل کنترل است. به عنوان مثال متغیر مربوط به میزان بارش، بیشتر مرتبط با عوامل محیطی‌ست و این بدان معناست که انسان دخالت چندانی در افزایش میزان بارش نمی‌تواند داشته باشد. اما در سمت مقابل متغیرهای موثر بسیاری هستند که با برنامه ریزی صحیح قابل کنترل و اثرگذاری بر سیستم هستند که ما طبق ساختار این فرضیه و با استفاده از بررسی ها و سناریوسازی های مختلف درصدد ارزیابی نتایج درقبال تغییرات بخشی از آن‌ها خواهیم بود. بناست که بررسی کنیم آیا تغییر در عرضه آب برای مصارف مختلف می تواند اتفاقی مثبت برای سیستم باشد و آیا مقرون به صرفه‌ست؟ سرمایه گذاری در این بخش می‌بایست به کدام‌سو هدایت شود؟ چطور می‌توان با تدوین یک برنامه‌ریزی میان مدت مانع از اتلاف منابع آبی در مصارف مربوط به کشاورزی، امور صنعتی و امور خانگی شد؟



شکل ۱- نمودار سیستم و زیر سیستم ها



شکل ۲- نقشه کلی سیستم و زیر سیستم ها در نرم‌افزار Vensim

گراف های بالا را به کمک نرم افزار ونسیم بدست آوردیم که حالتی از سیستم را به صورت شماتیک نشان می دهد. اما اگر بخواهیم سیستم را به چند زیر سیستم تقسیم بندی کنیم؛ سیستم ما از چند بخش اصلی تشکیل شده. در واقع کمبود آب، به دو فاکتور و یا دو زیر سیستم اصلی برمی گردد یعنی؛ جمعیت و سطح آب (تعادل آب، یا میزان بارندگی ها).

جمعیت: به طور کلی شامل نرخ تولد و مرگ و میر است که مرتبط با میزان مصرف، تقاضا و عرضه آب است و معیاری تعیین کننده برای مصرف آب به حساب می اید. (همچنین میتوان این عامل را مرتبط با فرهنگ استفاده از آب دانست.)

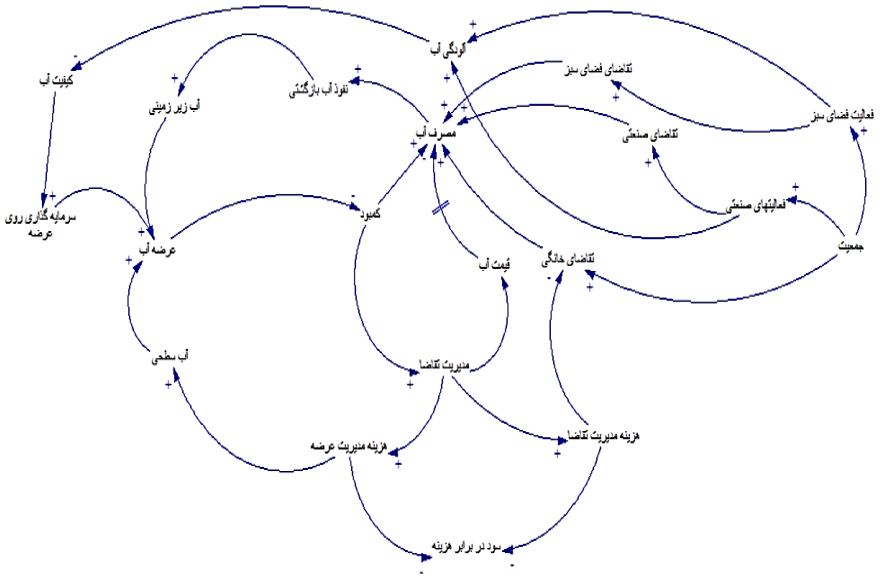
سطح آب: که به میزان بارندگی، نفوذ پذیری خاک، آب و هوای منطقه، میزان رطوبت، آب های زیر زمینی، ذخایر آبی و سدها، حفر چاه ها و قنات و... بستگی دارد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

این موارد را در طی تحقیق مورد بررسی و تحلیل قرار می دهیم.

۳-۳- نمودار علت و معلولی



شکل ۳- نمودار علی معلولی مسئله

با توجه به محدودیت فضا و کاهش کیفیت تصاویر نمودار، فایل ونسیم مربوط به این نمودار به پیوست تقدیم شده‌است.

۳-۴- تشریح حلقه های مهم در ساختار سیستم

در ابتدا لازم است تعریفی از حلقه های بازخوردی منفی و مثبت داشته باشیم:

۳-۴-۱- حلقه بازخوردی منفی: (حلقه تعادلی و هدفجو)

مشخصه رفتارهای هدفگرا است، اصطلاحاتی از قبیل خودگردان، خودتنظیم، خودتعادل و انطباق پذیر، عموما با توجیه در جهت هدفی مشخص، سیستم های بازخورد منفی را تعریف می کنند.

۳-۴-۲- حلقه بازخوردی مثبت: (حلقه تقویت کننده)

در فرآیند بازخورد مثبت، متغیر موجب تقویت رشد یا اضمحلال آن فرآیند می شود. این ساختار، فرآیند را به گونه ای سازماندهی کرده است که تغییری در یک عنصر آن در حلقه بسته، تغییری بیشتر در همان جهت به صورت مستمر به وجود می اورد. (رشد نمایی متداول ترین وضعیت رفتار نرخ و حالت است). با توجه به تعاریفی که بالا داشتیم، حال حلقه های سیستم خود را در نمودار تصویر شماره (۳) "علی معلولی" شرح می دهیم:

حلقه کمبود آب: یک حلقه تعادلی است، که در آن ارتباط بین آب های زیر زمینی، بارندگی، مصرف و کمبود را نشان می دهد، در حقیقت هرچه بارندگی بیشتر باشد سطح آب های زیر زمینی افزایش پیدا کرده و عرضه آب افزایش پیدا می کند و در نتیجه کمبود کاهش می یابد.

حلقه قیمت آب: یک حلقه تقویت کننده است، که ارتباط عناصر حلقه بالا با مدیریت تقاضا و قیمت آب را نشان می دهد که در صورت سیاست گزاری های صحیح، می توان از این طریق مصرف آب را کاهش داد و از کمبود آن جلوگیری کرد.

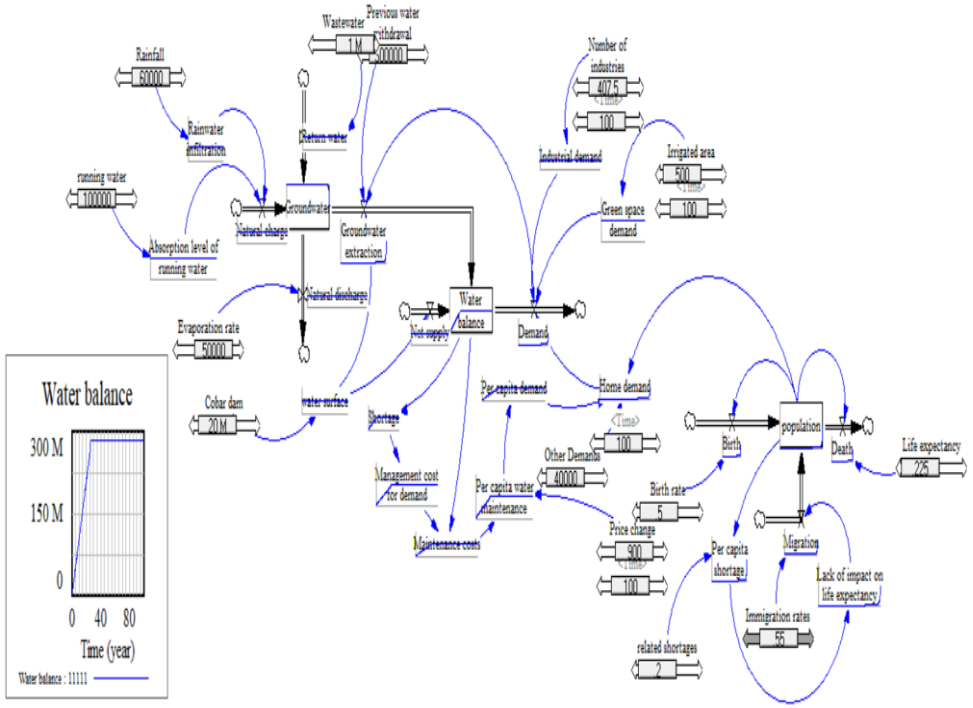
حلقه تقاضای خانگی: یک حلقه تقویت کننده است، که در آن ارتباط تقاضای خانگی آب و هزینه مدیریت تقاضا را با عناصر دو حلقه قبلی نشان می دهد. در حقیقت با مدیریت تقاضا، هزینه های ناشی از آن افزایش می یابد و منجر می شود که تقاضای خانگی آب و مصارف آن کاهش یابد در نتیجه منجر به کاهش کمبود خواهد شد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

حلقه عرضه آب: یک حلقه تعادلی است، که در آن عرضه آب را به سطح آب، هزینه مدیریت عرضه، مدیریت تقاضا و کمبود مرتبط می کند، در حقیقت با مدیریت تقاضا و عرضه، می توان سطح آب را در ناحیه مورد قبولی متعادل کرد و از کمبود جلوگیری نمود.

۳-۵- نمودار جریان



شکل٤- نمودار جریان

با توجه به محدودیت فضا و کاهش کیفیت تصاویر نمودار، فایل ونسیم مربوط به این نمودار به پیوست تقدیم شده‌است.

۳-۶- معادلات ریاضی مدل

برای اجرای مدل مورد مطالعه، نیاز به درنظرگرفتن ۲۴ رابطه بین متغیرها وجود دارد که این معادلات به شرح زیر می‌باشند:

۱. تغییر قیمت + هزینه نگهداری = سرانه نگهداری آب

۲. سرانه نگهداری= سرانه تقاضا

۳. <Time> + سرانه تقاضا + سایر تقاضا ها = تقاضای خانگی

۴. تقاضای خانگی + تقاضای فضای سبز + تقاضای صنعتی = تقاضای کل

۵. تعداد صنایع = تقاضای صنعتی

۶. <Time> = تعداد صنایع

۷. ناحیه آبیاری شده – تقاضای تقاضای فضای سبز

۸. <Time> = ناحیه آبیاری شده

۹. اولیه جمعیت + $\int \left(\left(\text{تولد} \right) + \left(\text{مهاجرت} \right) \right) - \left(\text{مرگ} \right)$ = جمعیت

۱۰. جمعیت * نرخ تولد = تولد

۱۱. کمبود مربوط به جمعیت + جمعیت = سرانه کمبود

۱۲. کمبود تاثیرات امید به زندگی + جمعیت * نرخ مهاجرت = مهاجرت

۱۳. سرانه کمبود = کمبود تاثیر امید به زندگی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

14. انباشت = $\int$ input − output + اولیه انباشت $\int$ (بازگشتی اب + طبیعی شارژ) − (طبیعی دشارژ + زمینی زیر آب) + ۰.۱۳۸

۱۵. سطح جذب آب های جاری + نفوذ آب باران = شارژ طبیعی

۱۶. حجم سد کبار (ابتدای شروع تحقیق) = ۰۰۰,۰۰۰,۲۰ m^3

۱۷. حجم آب زیر زمینی=۰۱۳,۰ m^3

۱۸. حجم سد کبار = سطح آب = ۰۰۰,۰۰۰,۲۰ m^3

۱۹. فاضلاب = آب برگشتی

۲۰. سطح اب = خالص عرضه

۲۱. تقاضا + سطح اب + برداشت آب های قبلی = استخراج اب های زیر زمینی

۲۲. آب اولیه تعادل + (تقاضا − عرضه خالص) $\int$ = آب تعادل

۲۳. کمبود + = هزینه های مدیریت و نقصان کمبود آب + = کمبود

۲۴. هزینه مدیریت جهت تقاضا = هزینه نگه داری

۴- اعتبارسنجی و شبیه سازی مدل

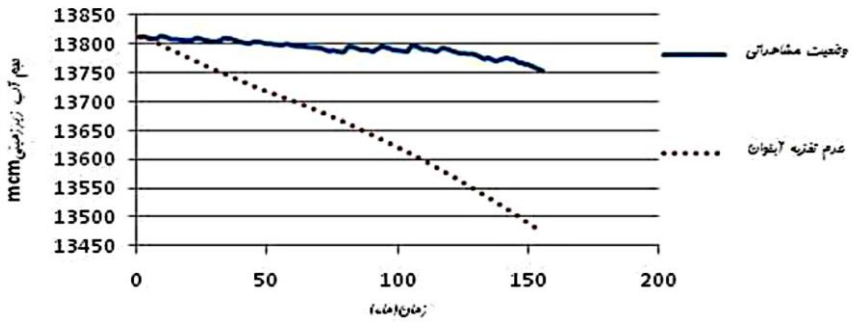
پس از توسعه مدل و قبل از سناریو سازی و تحلیل نتایج ، می بایست از اعتبار و صحت مدل تحت شرایط مختلف اطمینان حاصل گردد که این کار از طریق برخی از آزمون های اعتبارسنجی روی مدل انجام می شود. در این پژوهش، برای اعتبارسنجی مدل، از روش تست حالت های حدی استفاده می گردد.

تصدیق و اعتبارسنجی مدل با روش آزمون (تست) شرایط حدی:

آزمون شرایط حدی در واقع عملکرد منطقی مدل را در شرایط حدی نشان می دهد. این آزمون با اعمال شرایط حدی و بررسی نتایج حاصل از مدل انجام می شود. انجام این ساختار روابط تعریف شده بین متغیرهای مدل را مورد ارزیابی قرار می دهد. و یا به عبارت دیگر؛ در این آزمون با تعیین مقادیر اولیه متغیرها در حالت های حدی میزان پایداری رفتار سیستم مورد بررسی قرار می گیرد.

نتایج آزمون های حدی انجام شده در مدل به صورت زیر است:

۱. یکی از آزمون های حدی با صفر نمودن میزان تغذیه آبخوان از بارندگی و آب های سطحی اعمال شده است که رفتار خروجی از متغیر حالت water Ground در تصویر زیر قابل مشاهده است .مطابق تصویر، تراز آب به شدت در حالت افت است.



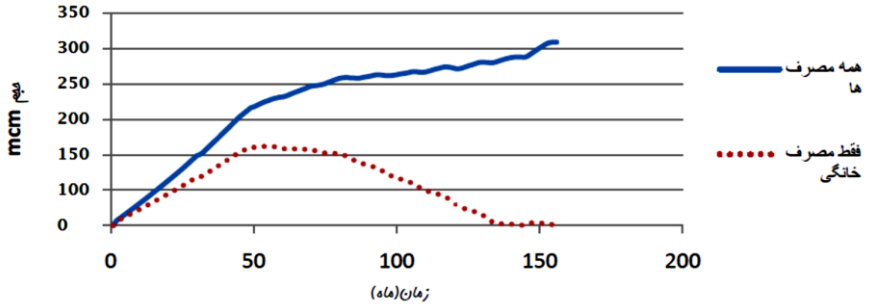
شکل ۵- نمودار حجم آب زیرزمینی زمان

در واقع در بازه زمانی ۲۰۰ ماهه در ابتدا حجم آب زیرزمینی در ماکزیمم مقدار خود یعنی (به طور تقریبی) ۱۳۸۱۰mcm قرار دارد و اگر آبخوان ها از بارندگی ها تغذیه نکنند، حجم آب زیر زمینی سیر نزولی را در پیش می گیرد و پس از سپری شدن ۱۵۰ ماه به ۱۳۴۸۰mcm می رسد، اما در حالت عادی با تغذیه کامل آبخوان ها، حجم آب در همین بازه زمانی به مقدار بسیار کمتری کاهش می یابد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

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



شکل ٦- نمودار حجم آب زیرزمینی زمان

در واقع در بازه زمانی مشابه با قبلی، اگر تمامی مصارف آب همچون؛ خانگی، صنعتی و کشاورزی را در نظر بگیریم، حجم کمبود آب از ابتدای دوره سیر صعودی داشته و پس از سپری شدن ۱۵۰ ماه به (به طور تقریبی) ۳۱۰mcm می رسد، اما اگر فقط مصارف خانگی را در نظر بگیریم تا ماه ۵۰ ام کمبود افزایش پیدا کرده و به مقدار ۱۵۵mcm می رسد و بعد از نزول پیدا کرده و در نهایت بعد گذشت تقریبا ۱۳۰ ماه دیگر کمبودی نخواهیم داشت و به صفر می رسد.

۴-۱- نقاط اهرمی، سناریو سازی و شبیه سازی سناریو

- **شناسایی نقاط اهرمی و سیاست ها**

در این بخش سناریو های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و پس از تکمیل مدل نتایج اعمال این سناریوها قابل تحلیل و بررسی است . برای طراحی این سناریوها ابتدا می‌بایست نقاط اهرمی مساله شناسایی گردد. این نقاط عبارتند از:

بارش: با افزایش میان بارندگی، مقادیر آبهای سطحی و زیرزمینی افزایش یافته و با ثابت درنظرگرفتن تقریبی میزان مصرف، میتوان ادعا نمود که کمبود کاهش می‌یابد.

مصرف: شاید بتوان یکی از اصلی ترین نقاط اهرمی این مساله را میزان مصرف نامید. چراکه نرخ مصرف در تعامل مستقیم با متغیرهای مهمی همچون: کمبود آب، میزان جمعیت، تقاضای بخش های خانگی، صنعتی و کشاورزی، نفوذ آب و.... می‌باشد.

جمعیت: با افزایش جمعیت تقاضای آب در همه بخش های صنعتی، کشاورزی و به ویژه خانگی افزایش می‌یابد و در صورت عدم بارندگی و عدم مدیریت منابع آبی سطح کمبود را افزایش می‌دهد.

سرمایه گذاری: تغییر مثبت در میزان سرمایه گذاری اثر مستقیم بر کیفیت آب و سطح عرضه آب خواهد داشت که این خود باعث کاهش کمبود در منابع آبی خواهد شد.

عرضه: میزان عرضه آب ارتباط مستقیمی با میزان آب در دسترس خواهد داشت. بدین معنا که عرضه آب به تعبیری همان مدیریت تخصیص منابع آبی برای مصارف مختلف اعم از مصارف صنعتی، خانگی و کشاورزی خواهد بود.

۴-۲- سناریوسازی و شبیه سازی سناریوها

- **سناریوی افزایش سرمایه گذاری در زیر ساختها:** سالانه با اختصاص سرمایه‌ای معین می توان به اصلاح شبکه در بخش تولید و توزیع آب پرداخت. با این کار اختلاف بین آب تولیدشده وآب توزیع شده برای مصرف کمتر می‌شود که با اصلاح شبکه میزان درصد نشت کاهش می‌یابد و بدین ترتیب از مقدار متغیر کاسته می شود و 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 محل مصرف کنندگان همان طور که قبلاً گفته شد، لوازم کاهنده مصرف در آشپزخانه و حمام یکی از روشهای مدیریت تقاضا 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.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- **سناریوی مدیریت مصرف آب در زمینه کشاورزی:** همانطور که پیش‌تر گفته شد یکی از نقاط مهم قابل مدیریت در مصرف آب و جلوگیری از کمبود، مصارف مربوط به بخش کشاورزی است. که با توجه به عدم استفاده از روش های نوین آبیاری در کشور ما، شاهد هدررفت و اتلاف فراوان در این زمینه هستیم. لذا با استفاده از روش های نوین آبیاری و توجه به کشت متناسب محصولات با جغرافیا و اقلیم مناطق، میتوان صرفه جویی چشمگیری را انجام داد و باعث هدایت منابع به سمت بخش های دیگر شد.
- **سناریوی مدیریت عرضه:** طبق مطالب بیان شده در بخش شناسایی نقاط اهرمی من باب اهمیت مدیریت عرضه، می توان با استفاده از سیاستگذاری های صحیح و متناسب، ابتدا عرضه آب به بخش های مختلف را مدیریت کرد سپس نتیجه این مدیریت، اصلاح الگوی مصرف در بخش های مختلف به ویژه مصارف خانگی و صنعتی خواهد شد و از این طریق می توان کمبود آب را کنترل نمود.
- **دخالت در میزان بارش:** اگرچه که میزان بارش، آنچنان قابل کنترل نبوده و بیشتر به شرایط اقلیمی و تغییرات آب و هوایی مثلا آلودگی هوا مربوط می‌شود، اما در سالیان اخیر روش هایی برای افزایش بارندگی مثل باردار نمودن ابرها مورد استفاده قرار می‌گیرد طبیعی‌ست که در صورت به کارگیری موفق این روش های علمی، میتوان میزان بارندگی را افزایش داد و بر سیستم تاثیر مثبت گذاشت. لازم به ذکراست که در صورت استفاده از این دسته اقدامات هم ، بعضا نمی‌توان تاثیر چشمگیری بر میزان بارش ها داشت.

۴-۳- تحلیل و مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی سناریوها

همانطورکه مشاهده شد، پس از بررسی نقاط اهرمی مساله، و با توجه به این نقاط، به سناریو سازی برمبنای افزایش یا کاهش در این گلوگاه ها اقدام نمودیم. بدیهی‌ست که یکی از مهترین عوامل موثر بر چرخه مربوط به مدل، میزان بارش خواهد بود. اما میزان بارش، متغیری ست که اصطلاحا خیلی قابل کنترل نبوده و مرتبط با عوامل جوی، اقلیمی، آلودگی ها و... می‌باشد. اما آیا با توجه به گزاره فوق می توان ادعا نمود که نقش ما در این چرخه، ناچیز است؟ قطعا پاسخ منفی‌ست. چرا که همانطور که از سناریوهای بخش قبل متوجه می‌شویم، نهاد های مسئول در یک برنامه ریزی میان مدت و حتی بلند مدت می توانند با مدیریت صحیح منابع آبی و تبیین لزوم اصلاح الگوی مصرف و همچنین حرکت به سمت استفاده از منابع آبی مطابق با تکنولوژی های جدید، اولا این کمبود را مدیریت کرده وثانیا این تهدید را تبدیل به فرصت نمایند. واضح است که با انجام سرمایه گذاری در زیر ساخت ها در یک برنامه میان مدت می‌شود بر میزان مصرف تاثیر قابل توجهی گذاشت. از سویی همانطور که پیش‌تر بیان شد یکی از مشکلات عمده ما در بحث کمبود آب مربوط به اتلاف منابع آبی در بخش کشاورزی می‌باشد که برای حل شدن این مشکل نیاز به هم‌افزایی در بخش های مختلف از جمله سرمایه گذاری، مدیریت عرضه، استفاده از روش های نوین و... خواهیم داشت. اما شاید بد نباشد که اشاره کنیم، علیرغم اینکه مصارف خانگی آب بخش کمتری از مصارف را شامل می شود، اما در همین محدوده هم اتلاف فراوانی را شاهد هستیم. به نحوی که با مدیریت مصرف آب در بخش خانگی هم می توان صرفه جویی قابل توجهی را پیاده سازی کرد. که این امر محقق نخواهد شد مگر با فرهنگسای در خصوص اصلاح الگوی مصرف و همینطور استفاده از تجهیزات مرتبط با صرفه جویی در مصرف، مانند لوارم کاهنده.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

استفاده از نگرش سیستمی در تحلیل موضوعات، منجر به شناخت همه جانبه و درک بهتر مسئله می شود. این رویکرد در شناخت مسئله آب به درک پویایی ها و پیچیدگی های موجود در آن کمک می کند. در این تحقیق، علاوه بر مدل سازی ، با اضافه نمودن عوامل اقتصادی و ساختارهای تصمیم ناشی از سناریوها و مدلهای ذهنی عوامل مسئله، با هدف مدل سازی کاربردی‌تر از یک مدل ملموس، به مدل

ترکیبی عینی - ذهنی نزدیکتر شده و در نتیجه قابلیت شناخت بهتری را از لایه های پنهان آن فراهم نمود که اینها عامل مقاومت در برابر تصمیم ها بودند. این تحقیق، محیط شبیه سازی شده‌ای از الگوی مصرف آب در شهر قم با رویکرد پویایی های سیستم را ارائه

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نمود که در آن اثر سیاستهای مختلف بررسی شده و پیش از آنکه این سیاست ها در عمل اجرا شوند، آثار آنها در مدل پیش بینی شد. در نهایت با پیشنهاد پنج سناریو(افزایش سرمایه گذاری در زیر ساختها، مدیریت تقاضا، مدیریت مصرف آب در زمینه کشاورزی، مدیریت عرضه و دخالت در میزان بارش) توفیق این سناریوها در کاهش کمبود آب ثابت گردید. با استفاده از مدلهای پویا، نگرش اولیه به اثرات تصمیم های مدیریت آب شهری بهبود یافت و کنش های اثرات پارامترهای مختلف این تحقیق واقعی‌تر شد. نتیجه کلی این تحقیق نشان می‌دهد با توجه به افزایش جمعیت و مصرف آب شهری قم، مدیریت منابع آب قم با مدیریت عوامل مختلف و پارامترهای تأثیرگذار در مصرف و تولیدآب امکان پذیر است .در همین جهت پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی به شرح ذیل اعلام می‌شود:

۱. لزوم توجه بیشتر به تحقیقات میدانی به منظور حصول اطمینان از صحت اطلاعات موجود و نزدیک‌سازی مدلسازی به واقعیت.

۲. باید توجه بیشتری به مصارف آب در زمینه کشاورزی شود چرا که عمده مصرف آب به این زمینه برمی گردد (۹۰ درصد) و درعین حال تحقیقات کمتری به نسبت مصرف خانگی در این زمینه انجام شده است، که می توان با انجام تحقیقات بیشتر و اجرایی کردن آن ها، به مدیریت و سیاست گذاری های صحیح دست پیدا کرده و در نتیجه مصرف آب در این زمینه را ابتدا کنترل نموده و سپس کاهش داد.

۳. در تحقیقی به حفاری ها، قنات ها، چاه ها و استفاده های غیر مجاز و تاثیرات آن در کمبود آب پرداخته شود.

۴. برای کاهش مصارف مختلف آب، می توان از تکنولوژی های روز دنیا بهره برد، که برای این امر می‌بایست؛ ابتدا تحقیقات لازم و برآورد هزینه در این زمینه انجام شود، سپس می توان آن را اجرائی نمود.

۵. برای جلوگیری از کمبود آب، می‌بایست مصارف مختلف آب را تفکیک نمود که عملی کردن آن مستلزم تحقیقاتی در این زمینه است (به عنوان مثال در مصارف خانگی آب آشامیدنی مجزا از دیگر مصارف آب باشد.)

۶. یکی از عوامل موثر در کمبود آب و استفاده های بی رویه از آن؛ پایین بودن سطح فرهنگ جامعه و عدم توجه مسئولین برای آموزش و اصلاح آن است، این زمینه نیز شرایط بکری برای تحقیقات آتی دارد.

۶- منابع

۱. محمد احسانی‌فر، ایمان همتا (۱۳۹۶)، مدیریت بحران آب شهر اراک با استفاده از رویکرد پویایی های سیستم،دوفصلنامه علمی، پژوهشی مدیریت بحران، شماره سیزدهم

2. Stave, K.A. (2003). “A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada.” J. Environmental Management, 67, 303-313.

3. Simonovic, S.P.(2003). “CanadaWater: A tool for modeling Canadian water resources.” Presentation at the Canadian Commission for UNESCO (CCU) Annual General Meeting, March 1-3, Ottawa.

۴. صلوی تبار، ع.؛ ضرغامی، م.؛ ابریشم چی، الف. (۱۳۸۵). مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران. مجله ی آب و فاضلاب، شماره ی ۵۹، ۱۲-۲۸.

۵. محمدرضا فرزانه و همکاران (۱۳۹۵)، تحلیل بستر نهادی سیستم منابع آب زیرزمینی محدوده رفسنجان با رویکرد پویایی سیستم، تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۲.

۶. همتا، نیما؛ جعفرزاده، احسان؛ یونس، بهلکه؛ یلمه، عبدالمجی (۱۳۸۹). به کارگیری متدولوژی پویایی ها سیستم در بررسی عوامل مؤثر بر قیمت مسکن شهر تهران، هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.

۷. رحیمی،ح. (۱۳۸۲). بحران آب: مشکل ناشناخته جهانی. پیک نور، دوره ی ۱، شماره ی ۲.

8. Ford, A. (1999). Modeling the environment, an introduction to system dynamics modeling of environmental systems, Island Press, Washington, D.C.

9. Mashayekhi, A.N. (1993). “Transition in the New York state solid waste system: A dynamic analysis.” System Dynamic Review, 9 (1), 23-47

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱۰. محمد ارشدی، علی باقری. (۱۳۹۲)، تحلیل سیستم منابع آب حوضه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سیستم ها، تحقیقات منابع آب ایران، سال نهم، شماره ۳.

۱۱. نسیم نهاوندی، علی احمدیان (۱۳۹۸)، تحلیل دینامیک تقاضای آب؛ مطالعه موردی شهر قم، تحقیقات منابع آب ایران، سال پانزدهم، شماره ۱

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

۱۳. معصومه هاشمی و همکاران. (۱۳۹۹)، ارزیابی سیاست های مدیریتی حفظ همزمان منابع آب زیرزمینی و معیشت کشاورزان با استفاده از پویایی سیستم و نظریه بازی ها، تحقیقات منابع آب ایران، سال شانزدهم، شماره ۳.

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

۱۵. محمدتقی اعلمی، و همکاران. (۱۳۹۳)، مدل سازی پویایی سیستم سد و آب های زیر زمینی به منظور مدیریت بهینه آب (مطالعه موردی: سد گلک)، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۴، شماره ۱.

۱۶. الهام بنی فخر، ابراهیم علامتیان. (۱۳۹۴)، استفاده از مدل سیستم در مدیریت آب شهری (مطالعه موردی: شهر نیشابور)، دهمین سمپوزیوم پیشرفت های علوم و تکنولوژی، کمیسیون سوم: مهندسی عمران و پژوهش های نیاز محور.

۱۷. مریم سلطانی و حمزه علی علیزاده. (۱۳۹۶)، مدیریت جامع کشاورزی در مقیاس حوضه آبریز با رویکرد پویایی سسیتم، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هفتم، شماره دوم

18. . Simonovic, S. P., Fahmy, H., and Elshorbagy, A. (1997). "The use of object oriented modeling for water resources planning in Egypt. " J. Water Resources Management, 11, 243-261.

۱۹. محمد احسانی فر، نیما همتا، مهرانگیز عبدالهیان، (۱۳۹۶) مدیریت بحران آب شهر ارا ک با استفاده از رویکرد پوياييهای سیستم

Archive of SID.ir