نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 4، جلد 10، مهر - آبان 1395، ص. 443-433

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 10, Sept.-Oct. 2016, p. 433-443

بررسی سیستمی مکانیزم‌های فعال بر سرانه‌ی آب شهری و منابع آب تخصیص‌یافته‌ی آن با اولویت توسعه‌ی پایدار (مطالعه موردی: شهر بیرجند)

فاطمه پورصالحی[1*]، ابوالفضل اکبرپور[2]، حدیقه محمدی[3]، سیدرضا هاشمی[4]

تاریخ دریافت: 1395/1/25 تاریخ پذیرش: 1395/7/7

چکیده

با توجه به گسترش روزافزون جمعیت و تقاضای آب و خشک‌سالی‌های پی‌درپی و کمبود بارش، بحران آب به ویژه در مناطق خشک ایران به یک معضل اساسی تبدیل شده است. یکی از راهکارهای مهم برای مقابله با این بحران در بخش شهری، مدیریت تقاضا و مصرف آب است که این امر مستلزم شناخت مکانیزم‌های مؤثر بر مصرف و تقاضای آب در بخش مصرفی در راستای تحقق اهداف مدیران و برنامه‌ریزان در زمینه‌ی مدیریت جامع و یکپارچه‌ی منابع آب می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی سیستمی الگوهای ساختاری حاکم بر سرانه‌ی آب شهری و منابع آب شهر بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی و با استفاده از نرم‌افزار Vensim، جهت دستیابی به توسعه‌ی پایدار در زمینه‌ی آب شهری طی سال‌های 1392-1387 انجام گرفته است. نتایج نشان داد که با ادامه‌ی الگوی مصرفی موجود در منطقه میزان سرانه‌ی آب مصرفی شهروندان رو به افزایش بوده و موجب افت سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند می‌گردد. همچنین می‌توان دریافت که بکارگیری سیاست‌های دولتی در بخش آب و نیز صرفه‌جویی در مصرف توسط شهروندان به صورت هم‌زمان، به طور میانگین با کاهش 30/03 درصد در سرانه‌ی آب شهری نسبت به الگوی مصرفی موجود، به عنوان روشی موثر در تغییر الگوی مصرف و به تبع آن کنترل مصرف آب شهری، می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای روند افزایشی افت سطح آب زیرزمینی منطقه را به طور میانگین به میزان 28/47 درصد تقلیل نماید.

واژه‌های کلیدی: الگوی مصرف، بحران آب، توسعه‌ی پایدار، سرانه‌ی آب شهری، مدیریت تقاضا

مقدمه

آب با توجه به اثر کلیدی در رفاه و سلامت جامعه و نقش تعیین کننده‌ای که در فعالیت‌ها و رشد جوامع داشته است، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی شناخته می‌شود. در سال‌های اخیر مشکل کمیابی منابع آب به صورت افزایش رقابت برای دستیابی به منابع آب که منجر به افزایش هزینه‌ی استفاده از آب می‌شود، وجود داشته است. با افزایش روز افزون جمعیت در جهان، کمبود آب بیش از پیش خودنمایی می‌کند. برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی، کاهش بارش و بروز خشک‌سالی در اکثر نقاط جهان و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، برشدت کمبود منابع آب افزوده‌اند. بنابراین استفاده از این منبع حیاتی مستلزم اعمال مدیریت صحیح می‌باشد. سیاست‌های مدیریت تقاضای آب اساساً شامل، به حداقل رساندن تلفات در سیستم‌های نگهداری و انتقال، استفاده‌ی دوباره از آب، کاهش مصرف آب از طریق اجتناب کردن از اسراف آب و استفاده‌ی صحیح و کارا از آب می‌باشد (صادقی و همکاران، 1390). یکی از نیازهای اصلی برنامه‌ریزی دقیق در مورد مسائل آب، پیش‌بینی در مورد تقاضا و آشنایی به عوامل و ابزارهای موثر بر تقاضا است. ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب از مهم‌ترین مسائل مدیریت آب می‌باشد. نیازهای روزافزون به آب بر اثر رشد جمعیت، محدودیت منابع قابل استحصال در کشور، هزینه‌ی سنگین طرح‌های جدید توسعه‌ی منابع آب و از طرف دیگر اثرات زیست محیطی و اجتماعی آن‌ها از جمله دلایلی هستند که مدیریت تقاضا و تولید آب را به عنوان دو راهکار موثر بر مدیریت جامع منابع آب مطرح و ضروری می‌نماید (World Water Assessment Programme., 2003؛ محمودی و سرلک، 1387). از میان مدل‌های متعدد در مدیریت منابع آب برخی از مدل‌ها دارای خصوصیت پویایی هستند. در این مدل‌ها درک مسائل و

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند
2- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند
3- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند
4- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email: Fatemehpursalehi@birjand.ac.ir)

تغییرات به صورت حلقه‌ای و بازخورد[1] است. به کمک این شیوه‌ی شبیه‌سازی پیامدهای نامشخص پیش‌بینی نشده تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده‌ی این روش شبیه‌سازی رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده برای تسریع و تسهیل یادگیری است. روش پویایی سیستم‌ها در مقایسه با دیگر روش‌های تحلیل سیستم‌ها ساده و موثر بوده و در شرح سیستم به ریاضیات پیچیده نیاز ندارد. این روش ابتدا توسط فورستر جهت درک بهتر مسائل استراتژی در سیستم‌های دینامیکی پیچیده ابداع گردید (Sterman, 2000; Forrester, 1961؛ شیخ‌خوزانی و همکاران، 1389).

تفکر سیستمی[2] روشی به منظور درک شهودی از اشیا، سیستم‌ها و نیز الگوهای رفتاری آن‌ها است. آنچه تفکر سیستمی به ما می‌آموزد، آگاهی دقیق از چهارچوب‌های فکری، کنار هم قرار دادن و همسو ساختن آن‌ها، به گونه‌ای است که در نهایت هدف سیستمی نگریستن به مسائل را فراهم می‌آورد. مهم‌ترین دلیل پیدایش نگرش و روش سیستمی که دانشمندان این رشته نسبت به آن توافق دارند پیچیدگی هرچه بیش‌تر مسائل اجتماعی عصر جدید، نارسایی و عدم کارایی برخوردهای تحلیلی و قطعی با این مسائل است. تفکر سیستمی، فرآیند شناخت مبتنی بر تجزیه و تحلیل و ترکیب آن در جهت دست‌یابی به درک کامل و جامع یک موضوع، در محیط پیرامون خویش است. این نوع تفکر درصدد فهم کل سیستم و اجزای آن، روابط بین اجزا و کل و روابط بین کل با محیط آن است. تفکر سیستمی که برخورد سیستمی با موضوع‌ها را در پی دارد، به دنبال تشخیص عناصر تشکیل‌دهنده موضوع و پیوندهای موجود میان این عناصر است و در جستجوی مجموعه‌ای از ویژگی‌های موضوع نمی‌باشد (مرعشی و همکاران، 1388). روش پویایی سیستم[3] سیستم‌ها یک تکنیک مدل‌سازی و شبیه‌سازی است که مخصوصاً برای مسائل مدیریتی طولانی مدت، مزمن و پویا طراحی می‌شود. این روش بر درک چگونگی اندرکنش فرآیندهای فیزیکی، جریان اطلاعات و سیاست‌های مدیریتی تمرکز می‌کند که به چه نحو این عوامل پویایی متغیرهای موردنظر را ایجاد می‌کنند. مجموعه روابط این ترکیبات بیان کننده‌ی ساختار سیستم است (Vlachos et al., 2007).

از جمله مطالعاتی که در زمینه‌ی روش پویایی سیستم‌ها در خارج از ایران انجام گرفته است می‌توان به مطالعات (Keyes and Palmer., 1993)، (Palmer et al., 1995)، (Fletcher., 1998)، (Teegavarapu And Simonovic., 2000) و هم‌چنین لی و سیمونوویک (Li and simonovic., 2002) اشاره نمود. در ایران نیز بهجت و ضرغامی (1390)، با استفاده از روش پویایی سیستم عرضه و تقاضای آب شهری تبریز را شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که افزایش قیمت آب و نزدیک کردن قیمت فروش به قیمت تمام شده و هم‌چنین سیاست‌های استفاده ار قطعات کاهنده‌ی مصرف و نیز فرهنگ‌سازی و جذب مشارکت مصرف‌کنندگان از عوامل موثر بر کاهش تقاضا می‌باشد. صلوی تبار و همکاران (1385)، مدل منابع و مصارف آب شهری تهران را با استفاده از روش پویایی سیستم توسعه بخشیدند. نتایج نشان داد که با توجه به ایجاد شکاف عمیق بین تقاضا و تامین آب در اثر روند فعلی مدیریت آب شهری تهران به علت افزایش جمعیت و افزایش سرانه‌ی مصرف، راهکارهای مدیریتی به تنهایی قادر به حل این معضل نمی‌باشند، بلکه باید مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی اعمال گردد. حسینی و باقری (1392)، به‌منظور تحلیل استراتژی‌های توسعه‌ی پایدار به مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد پرداختند. نتایج حاکی از آن است که تاثیر کاهش یا افزایش فاکتورهای در نظر گرفته شده در تحقیق، برابر با مجموع تاثیر کاهش یا افزایش آن‌ها به صورت مجزا بر پایداری منطقه نمی‌باشد. هم‌چنین تغییر الگوی کشت به کشت پیشنهاد شده به عنوان سیاست برتر اثر مثبتی بر بهبود وضعیت منابع آب دشت مشهد خواهد داشت. محمدی و همکاران (1392)، مکانیزم‌های فعال در فعالیت‌های اقتصادی و اثرات آن‌ها بر منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند را با استفاده از رویکرد پویایی سیستم تعیین نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که ادامه‌ی روند رشد موجود در بخش کشاورزی و تخصیص بیش‌تر آب به این بخش مصرفی سبب کاهش سطح آبخوان می‌گردد.

با توجه به این امر که تاکنون در ایران مطالعه‌ای در زمینه‌ی بررسی الگوهای ساختاری حاکم بر سرانه‌ی آب شهری و اثر آن بر منابع آب قابل دسترس آن انجام نشده است این مطالعه با هدف دست‌یابی به توسعه‌ی پایدار در زمینه‌ی آب شهری به تعیین مکانیزم‌های فعال بر سرانه‌ی آب شهری و منابع آبی تخصیص یافته به آن با استفاده از نگرش سیستمی و نرم‌افزار Vensim پرداخته و در نهایت پس از شبیه‌سازی سرانه‌ی آب شهری بیرجند تا سال 1420، راهکارهای موثر در زمینه‌ی کاهش سرانه‌ی آب شهری و کاهش افت تراز آبخوان دشت بیرجند ارائه گردید.

مواد و روش‌ها

شهر بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی و دارای مساحت 14265 کیلومتر مربع است و از لحاظ موقعیت جغرافیایی در مختصات ´۵۳ °32 عرض شمالی و ´۱۲ °59 طول شرقی قرار دارد. آب و هوای بیرجند، نیمه بیابانی بوده و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های خشک و گرم است. شهر بیرجند، اولین شهر در ایران است که دارای سازمان

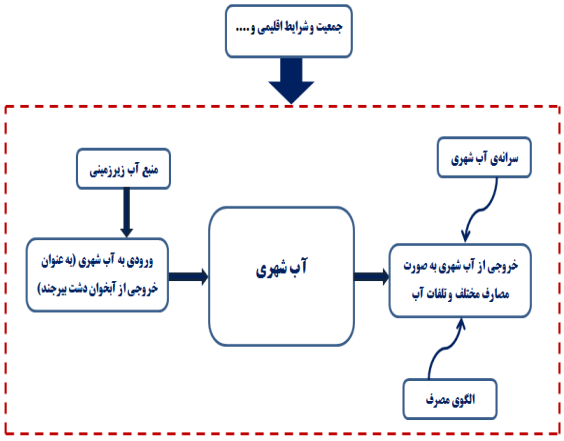
1- Feedback
2- System Thinking
3- System Dynamic

آب‌رسانی بوده و بنگاه آب‌لوله بیرجند به عنوان اولین سازمان آبرسانی ایران شناخته می‌شود. این شهر هم‌چنین اولین شهر در ایران است که در سال 1302 و پیش از تهران، از لوله‌کشی آب شهری برخوردار گردید. آبخوان دشت بیرجند به عنوان اصلی‌ترین منبع تامین کننده‌ی آب این شهر محسوب می‌گردد.

معرفی نرم‌افزار Vensim:

نرم‌افزار Vensim از سری نرم‌افزارهای مناسب برای ارزیابی دینامیکی سیستم‌ها طراحی شده است و برای مدل‌سازی یک یا چند کمیت که در طول زمان تغییر می‌یابند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار با حل تکراری معادلات دیفرانسیل موجود در سیستم به روش تفاضل محدود رفتار سیستم را در دوره‌ی شبیه‌سازی نشان می‌دهد. به طوری که بعد از اجرای مدل، رفتار تک تک متغیرهای موجود طی نمودارها و جداولی قابل ملاحظه خواهد بود. محیط نرم‌افزار شامل همه‌ی متغیرها و روابطشان می‌باشد که این روابط به صورت پیکان‌هایی مشخص می‌شوند (دریجانی، 1387؛ محمدی و همکاران، 1392).

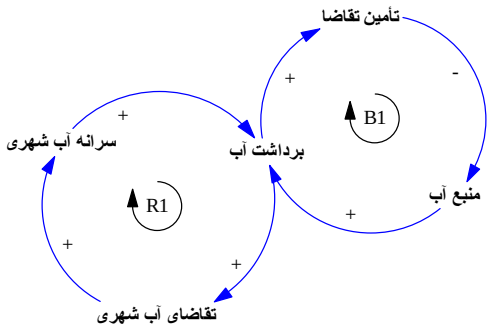
مکانیزم‌های فعال بر سرانه‌ی آب شهری بیرجند و منابع آبی تخصیص‌یافته‌ی آن:



شکل 1- مدل مفهومی آب شهری و منبع آب تخصیص‌یافته به آن

مکانیزم محدودیت رشد[1]

براساس این الگوی ساختاری یک فرآیند تقویت‌کننده‌ی رشد با یک فرآیند تعادلی مواجه و از سرعت آن کاسته می‌شود. در مبحث سرانه‌ی آب در شهر بیرجند، منبع آب به عنوان یک عامل محدودکننده‌ی رشد، سبب کاهش سرانه‌ی آب شهری و به تبع آن کاهش برداشت از منبع آب زیرزمینی می‌گردد (شکل 2).



شکل 2- الگوی محدودیت رشد

1- Limits to Growth

مکانیزم انتقال مسئولیت[2]

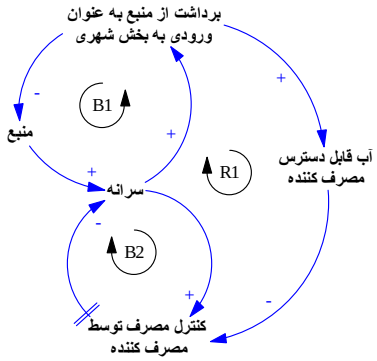
این الگو براساس استفاده از یکی از دو راه‌حل ساده (آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشد و به فهم کمتری نیاز دارد) و راه‌حل بنیادی برای حل مسئله‌ی موجود به کار می‌رود. به این صورت که راه‌حل ساده‌تر با وجود کاهش مشکل، سبب تخریب راه‌حل بنیادی می‌گردد. در مطالعه‌ی حاضر اگر برداشت آب به عنوان ورودی به بخش شهری به عنوان یک راه‌حل سهل‌تر مورد استفاده قرار گیرد به سبب افزایش آب قابل دسترس مصرف‌کنندگان، موجب کاهش راه‌حل اساسی (کنترل مصرف) می‌گردد (شکل 3).

مکانیزم فرسایش هدف[3]

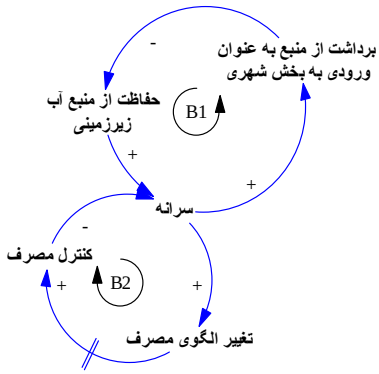
این الگو براساس شکافی که میان هدف و شرایط واقعی وجود دارد و براساس استفاده از دو راه‌حل 1- راه‌حل اصلاح‌کننده برای دست‌یابی به هدف 2-راه‌حل کاهنده‌ی هدف شکل گرفته است. در این مطالعه برداشت از منبع به عنوان ورودی به بخش شهری و تغییر

2- Shifting the Burden
3- Eroding Goals

در الگوی مصرفی به ترتیب سبب کاهش و حفاظت منبع آب زیرزمینی (هدف) می‌گردند (شکل 4).



شکل 3-الگوی انتقال مسئولیت



شکل 4- الگوی فرسایش هدف

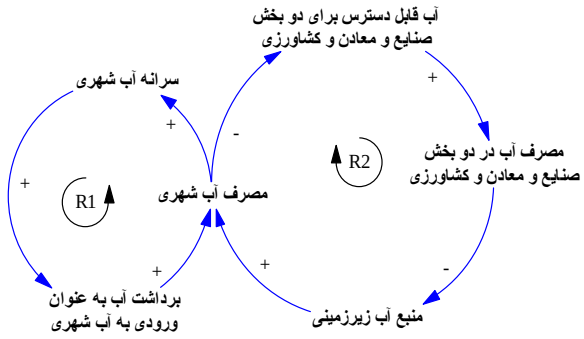
مکانیزم پیروزی در پی پیروزی[1]

با توجه به این ساختار اگر شخص یا گروهی نسبت به سایر اشخاص یا گروه‌ها به منبع مورد نظر دسترسی داشته باشند، احتمال موفقیت آن‌ها بیش‌تر می‌گردد. به عنوان مثال هنگامی که مصرف آب شهری نسبت به سایر مصارف افزایش می‌یابد، به دلیل کاهش مصرف در سایر بخش‌ها، منبع آب زیرزمینی افزایش یافته و این امر مجددا سبب افزایش مصرف آب شهری می‌گردد (شکل 5).

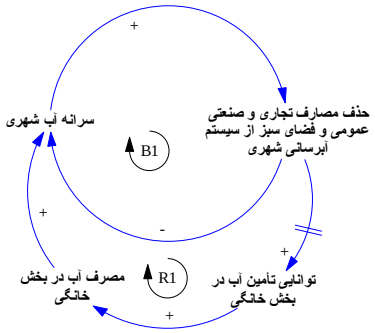
مکانیزم راه‌حل‌هایی که با شکست مواجه می‌گردند[2]

این الگو به بررسی راه‌حل‌هایی که در کوتاه‌مدت سبب کاهش مشکل شده در حالی‌که با گذشت زمان، مجددا مسئله‌ی اصلی پدیدار می‌گردد و یا سبب بدتر شدن مسئله‌ی اصلی خواهد شد، دلالت دارد.

به عنوان نمونه حذف مصارف تجاری و صنعتی، عمومی و فضای سبز از سیستم آب‌رسانی شهری به عنوان راه‌حلی برای حل مسئله‌ی سرانه‌ی آب شهری، به دلیل افزایش توانایی در تامین آب مصرفی در بخش خانگی، سبب افزایش مصرف در بخش خانگی و سرانه‌ی آب شهری و در واقع افزایش مشکل می‌گردد (شکل 6).



شکل 5- الگوی پیروزی در پی پیروزی



شکل 6- الگوی راه‌حل‌هایی که با شکست مواجه می‌گردند

حلقه‌های علی و معلولی

حلقه‌های علی و معلولی سرانه‌ی آب شهری بیرجند (شکل 7) و در نهایت مدل سیستمی سرانه‌ی آب شهری و ارتباط آن با منبع آب زیرزمینی مدل شده توسط (Mohammadi., 2013)، به صورت زیر ساخته شد (شکل 8):

پس از ساخت مدل، آزمون صحت‌سنجی مدل (بررسی سرانه‌ی آب شهری به ازای وارد کردن تلفات بسیار زیاد در مدل جهت ارزیابی پاسخ مدل به شرایط غیرمعقول و آزمون مقایسه‌ی سرانه‌ی آب شهری در دو حالت مشاهده‌ای و محاسباتی) و آنالیز حساسیت (آنالیز بر روی پارامترهای روزهای تعطیل، جمعیت شهر، درجه حرارت و بارندگی براساس رابطه 1 انجام گرفت) در سال‌های 1392-1387 انجام و سپس به بررسی اثر سیاست‌های کنترل مصرف و شرایط موجود بر منطقه از نظر مصرف آب بر سرانه‌ی آب شهری و منبع آب زیرزمینی دشت بیرجند تحت سناریوهای مختلف پرداخته شد.

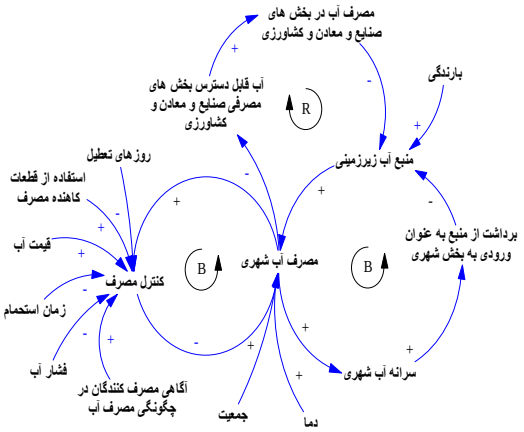
1- Success to the Successful
2- Fixes that Fail

(1)

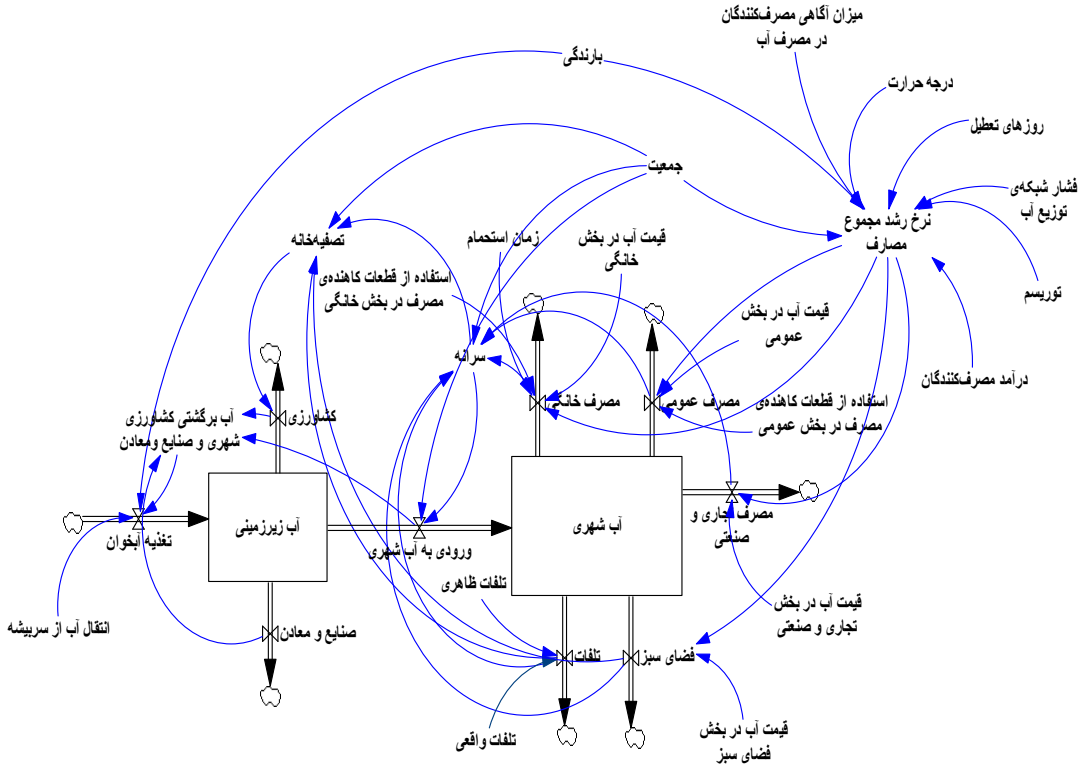
$$\text{ضریب الاستیسیته} = \frac{\{\{(\text{خروجی در اجرای صفر})/(\text{خروجی در اجرای صفر} - \text{خروجی در اجرای یک})\}\}}{\{\{(\text{پارامتر ورودی در اجرای صفر})/(\text{پارامتر ورودی در اجرای صفر} - \text{پارامتر ورودی در اجرای یک})\}\}}$$

در رابطه‌ی فوق منظور از اجرای صفر و اجرای یک به ترتیب اجرای مدل با داده‌های اصلی و اجرای مدل پس از اضافه و کم کردن یک مقدار ثابت مثلا 0/05 از هر یک از پارامترهای بیان شده می‌باشد.

سناریوهای در نظر گرفته شده در این مطالعه براساس شرایط اقلیمی (با استفاده از روش میانگین متحرک پنج ساله (ترسالی، خشکسالی و نرمال)) و نرخ رشد جمعیتی (نرخ رشد موجود (2/12428 درصد) و نرخ رشد پیش‌بینی شده (1/5 درصد)) تعریف گردید (جدول 1) :



شکل 7- حلقه‌های علی و معلولی



شکل 8- مدل سیستمی سرانه‌ی آب شهر بیرجند

با تغییر برخی از پارامترهای موجود در مدل (جدول 2) جهت کنترل مصرف در راستای دست‌یابی به توسعه‌ی پایدار دو سیاست زیر تعریف گردید:

1- کنترل میزان مصرف از طریق مشارکت دولت و مصرف‌کننده

2- شرایط موجود منطقه

(منظور از سیاست موجود در منطقه از نظر الگوی مصرف آب عبارت است از ثابت بودن شرایط حاکم بر منطقه از نظر پارامترهای ذکر شده در جدول (2)).

نتایج و بحث

نتایج آزمون صحت‌سنجی و آنالیز حساسیت:

آزمون شرایط حدی:

شرط حدی تلفات بسیار زیاد از شبکه‌ی توزیع:

این شرط با 100 برابر کردن داده‌های واقعی نشت از شبکه‌ی توزیع به مدل معرفی گردید. شکل 9 نشان می‌دهد که افزایش تلفات به‌صورت مستقیم سبب افزایش سرانه‌ی آب شهری می‌گردد.

جدول 1- سناریوهای تعریف‌شده در مدل

سناریو	وضعیت اقلیمی	جمعیت
سناریو 1	ترسالی	نرخ رشد موجود
سناریو 2	خشک‌سالی	نرخ رشد موجود
سناریو 3	شرایط نرمال	نرخ رشد موجود
سناریو 4	ترسالی	نرخ رشد پیش‌بینی شده
سناریو 5	خشک‌سالی	نرخ رشد پیش‌بینی شده
سناریو 6	شرایط نرمال	نرخ رشد پیش‌بینی شده

شکل 9ـ سرانه‌ی آب شهری به ازای تلفات بسیارزیاد

آزمون تکرار رفتار

مقایسه‌ی سرانه‌ی آب شهری در دو حالت محاسباتی و مشاهده‌ای:

مقایسه‌ی سرانه در دو حالت محاسباتی و واقعی نشان می‌دهد که مدل قابلیت شبیه‌سازی سرانه‌ی آب شهری را دارا می‌باشد، به‌گونه‌ای که افزایش و کاهش سرانه در هر دو حالت تحت مقایسه از یک روند مشابه‌ی پیروی می‌نماید (شکل 10). (اختلاف 2/5 درصدی سرانه‌ی آب شهری در دو حالت محاسباتی و مشاهده‌ای نیز به علت وجود پارامترهایی با مقادیر اعشاری در مدل و گرد شدن این اعداد توسط مدل، ایجاد شده است که این میزان تفاوت ایجاد شده توسط مدل قابل اغماض می‌باشد.)

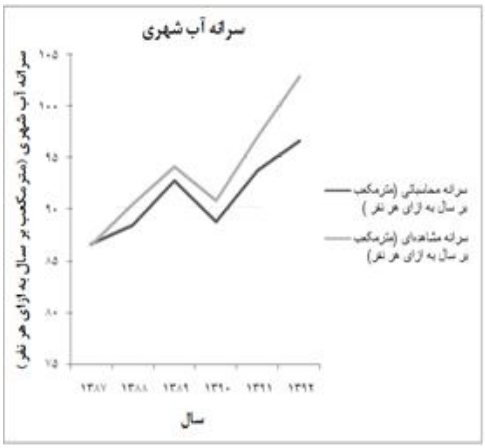
هم‌چنین با بررسی آزمون تکرار رفتار به صورت آماری و محاسبه‌ی ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطای پارامترهای افت آب زیرزمینی، جمعیت، حجم آب ورودی به بخش شهری و هم‌چنین سرانه می‌توان دریافت که مدل به صورت تقریبی بر شرایط واقعی منطبق می‌گردد (جدول 3).

آنالیز حساسیت:

بررسی‌ها در زمینه‌ی آنالیز حساسیت ضرایب موثر بر افزایش و یا کاهش تقاضا مانند بارندگی، درجه‌ی حرارت، روزهای تعطیل و جمعیت شهر نشان می‌دهد که با توجه به نزدیک بودن ضریب الاستیسیته‌ی محاسبه شده به صفر می‌توان نتیجه‌گرفت که این پارامترها نسبت به تغییر در پارامتر ورودی حساس نیستند (جدول 4).

جدول 2- سیاست‌های تعریف‌شده در مدل

پارامترهای قابل تغییر	سیاست کنترل مصرف از طریق مشارکت دولت و مصرف کننده	سیاست شرایط موجود در منطقه
هدررفت از طریق نشت از شبکه توزیع	20 درصد کاهش	-
هدررفت از طریق نشت از خطوط انتقال	20 درصد کاهش	-
استفاده از قطعات کاهنده مصرف در بخش خانگی	30 درصد افزایش	-
زمان استحمام	25 درصد از مصرف‌کنندگان 5 دقیقه زمان استحمام خود را کاهش دهند.	-
قیمت آب	تعرفه سال 92 اجرا گردد	-
روزهای تعطیل	به 60 روز کاهش یابد	-
جداسازی شبکه‌ی آبرسانی فضای سبز از شبکه‌ی آبرسانی شهری	اجرای طرح	-
استفاده از قطعات کاهنده مصرف در بخش مصرف عمومی	30 درصد افزایش	-
استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای بخش کشاورزی	20 درصد افزایش	-



شکل 10ـ مقایسه‌ی سرانه‌ی آب شهری در دو حالت محاسباتی و مشاهده‌ای

جدول 3ـ نتایج آزمون تکرار رفتار

متغیر	R^2	$RMSE_r$
افت آب زیرزمینی	0/96	0/32
جمعیت	1	۱/۷۷ * ۱۰$^{-۶}$
حجم آب ورودی به بخش شهری	1	۳/۵۴ * ۱۰$^{-۶}$
سرانه	0/97	0/03

جدول 4ـ نتایج آزمون آنالیز حساسیت

نام پارامتر تحت آنالیز	میانگین ضریب الاستیسیته
بارندگی	0
درجه حرارت	0/022
روزهای تعطیل	-0/007
جمعیت شهر	0/312

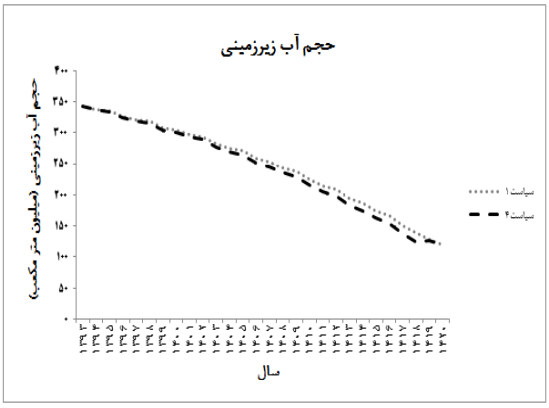
مقایسه‌ی دو سیاست کنترل مصرف و شرایط موجود در منطقه (از نظر الگوی مصرف) تحت سناریوهای مختلف

شکل 11 سرانه‌ی آب شهری را پس از اجرای سیاست‌های تعریف شده در این مطالعه تحت سناریو 1 نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که سرانه به دلیل افزایش مصارف طی سال‌های تحت پیش‌بینی افزایش یافته است با این تفاوت که رشد سرانه در سیاست کنترل مصرف به دلیل کنترل بیش‌تر بر مصارف مختلف آب در بخش شهری نسبت به سیاست دیگر، مدیریت شده است و در این سیاست سرانه‌ی آب شهر بیرجند به طور میانگین 29/29 درصد نسبت به سیاست موجود در منطقه کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل 12 می‌توان دریافت که حجم آبخوان دشت بیرجند در سیاست 1 به طور میانگین 30/57 درصد نسبت به سیاست 2 افزایش می‌یابد. شکل 13 نشان می‌دهد که سرانه در سیاست کنترل مصرف تحت سناریو 2 بهینه می‌گردد و به طور میانگین به میزان 29/11 درصد نسبت به سیاست شرایط موجود در منطقه کاهش می‌یابد و به دلیل کاهش سرانه، حجم آب خروجی از منبع به عنوان ورودی به آب شهری کاهش و حجم آب زیرزمینی در سیاست 1 نسبت به سیاست 2 به طور میانگین به میزان 27/22 درصد افزایش خواهد یافت (شکل 14). شکل 15 نشان می‌دهد که سرانه‌ی آب شهری تحت سناریو 3 از یک روند صعودی برخوردار می‌باشد. با این تفاوت که این روند افزایشی در سیاست کنترل مصرف به طور میانگین به میزان 29/11 درصد نسبت به سیاست موجود در شهر بیرجند از نظر مصرف آب کاهش می‌یابد و در شکل 16 حجم آب زیرزمینی در سیاست 1 نسبت به سیاست 2 به طور متوسط به میزان 28/67 درصد با افزایش مواجه می‌گردد. شکل 17 نشان می‌دهد که سرانه در سیاست کنترل مصرف تحت سناریو 4 به طور میانگین به میزان 31/02 درصد نسبت به سیاست الگوی مصرفی موجود کاهش می‌یابد. از طرفی با توجه به شکل 18 حجم آب زیرزمینی به طور میانگین به میزان 25/77 درصد در سیاست 1 نسبت به سیاست 2 افزایش یافته است. شکل 19 نشان می‌دهد که سرانه‌ی آب شهری با اعمال سیاست کنترل مصرف تحت سناریو 5 به طور میانگین 30/81 درصد نسبت به سیاست شرایط موجود در منطقه کاهش می‌یابد و سرانه‌ی آب شهری در این سیاست در وضعیت مطلوب‌تری قرار خواهد گرفت (البته روند رو به رشد سرانه در سال‌های 1402، 1411 و 1416 در سیاست موجود در منطقه کاهش می‌یابد که به علت ناچیز بودن، این مقدار خطا در مدل قابل اغماض است). شکل 20 نیز نشان می‌دهد که با اعمال سیاست کنترل مصرف مورد نظر (سیاست 1) می‌توان به طور متوسط به میزان 29/02 درصد روند افت آب زیرزمینی را نسبت به سیاست 2 کاهش داد. بررسی سرانه‌ی آب شهری تحت سناریوی 6 نشان می‌دهد که در هر دو سیاست تعریف شده در منطقه، سرانه به ازای هر نفر از شهروندان افزایش می‌یابد. اما این افزایش در سرانه در سیاست کنترل مصرف به طور میانگین به میزان 30/81 درصد نسبت به سیاست موجود کم‌تر است و این سیاست اثر بهتری بر کنترل سرانه‌ی آب شهری می‌گذارند (شکل 21). هم‌چنین با بررسی حجم آب زیرزمینی تحت سناریوی نام‌برده بر حسب سیاست‌های 1 و 2 (شکل 22) می‌توان نتیجه گرفت که حجم آبخوان در سیاست 1 به میزان 29/51 درصد نسبت به سیاست 2 افزایش یافته است.

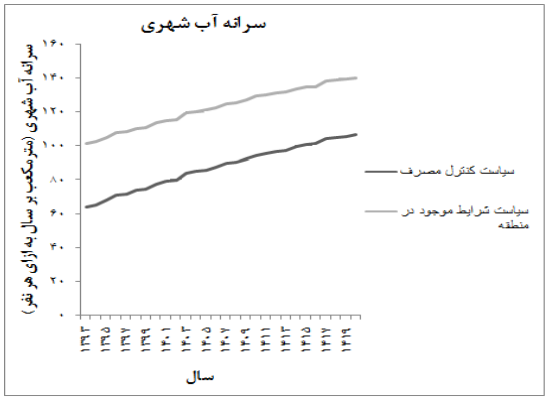
شکل‌های 23 و 24 به ترتیب سرانه‌ی آب شهری و حجم آب زیرزمینی را در سیاست کنترل مصرف تحت سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. با بررسی این دو شکل می‌توان نتیجه گرفت که سیاست کنترل مصرف با توجه به اثری که در کاهش سرانه و افزایش حجم

آب زیرزمینی نسبت به سیاست شرایط موجود در منطقه دارد در شرایط جمعیتی و اقلیمی مختلف، اثر متفاوتی بر سرانه و حجم آبخوان خواهد داشت. به گونه‌ای که در شکل 23 سرانه به ازای نرخ رشد بیش‌تر در سه سناریوی اول روند رو به رشد بیش‌تری نسبت به سه سناریوی دوم دارد. هم‌چنین حجم آب زیرزمینی (شکل 24) در هر دو سناریوی ترسالی نسبت به سناریوهای خشک‌سالی و شرایط نرمال منطقه افزایش حجم بیش‌تری را نشان می‌دهد.

شکل 11- سرانه‌ی آب شهری تحت سناریو 1



شکل 12- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو 1



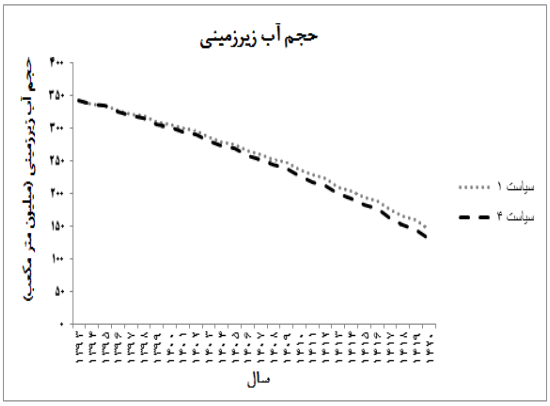
شکل 13- سرانه‌ی آب شهری تحت سناریو 2

شکل 14- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو 2

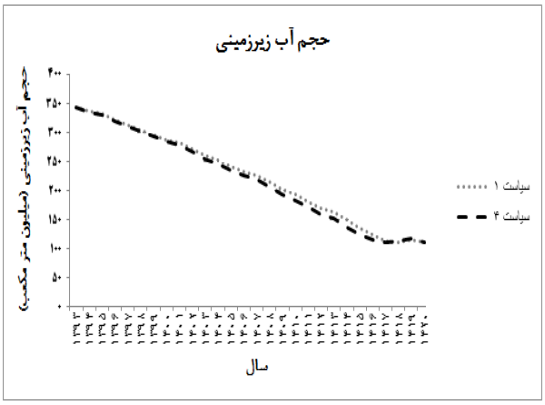
شکل 15- سرانه‌ی آب شهری تحت سناریو 3

شکل 16- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو 3

شکل 17- سرانه‌ی آب شهری تحت سناریو 4

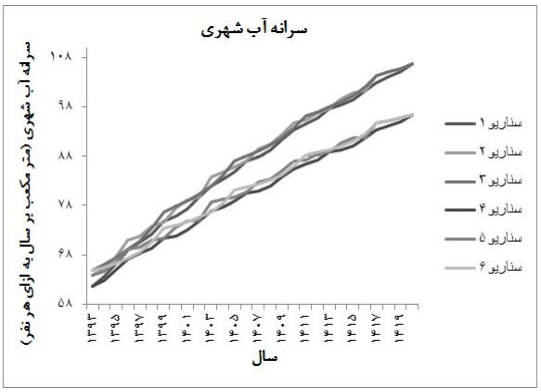


شکل 18- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو 4

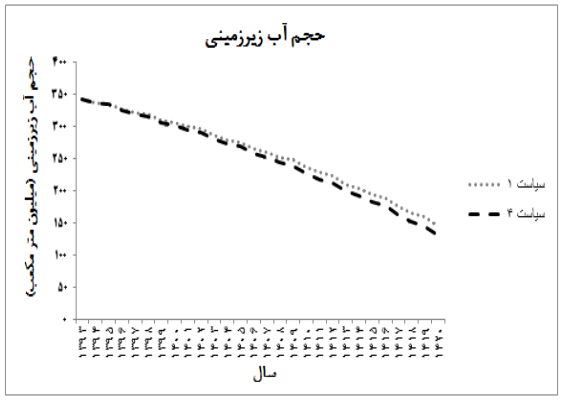


شکل 22- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو 6

شکل 19-سرانه‌ی آب شهری تحت سناریو 5

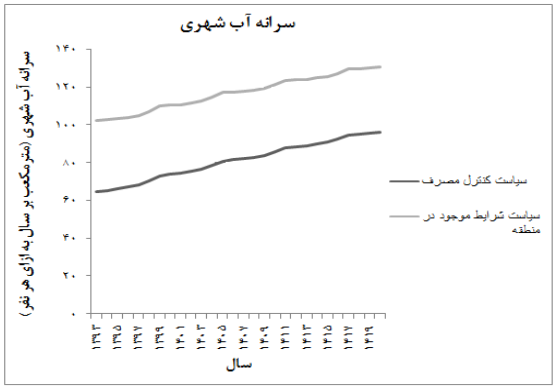


شکل 23- سرانه‌ی آب شهری در سیاست کنترل مصرف تحت سناریوهای مختلف



شکل 20-حجم آب زیرزمینی تحت سناریو 5

شکل 24- حجم آب زیرزمینی در سیاست کنترل مصرف تحت سناریوهای مختلف



شکل 21- سرانه‌ی آب شهری تحت سناریو 6

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی سرانه‌ی آب شهری بیرجند تا سال 1420 نشان می‌دهد که با ادامه‌ی شرایط موجود در منطقه از نظر مصرف آب در شهر بیرجند در تمامی سناریوها، سرانه در هر سال نسبت به سال قبل افزایش یافته که به تبع آن حجم آب برداشتی از منبع آب زیرزمینی به عنوان ورودی به آب شهری افزایش می‌یابد و

در سال‌های آینده سطح آب در آبخوان بیرجند با کاهش قابل ملاحظه‌ای بالغ بر 200 میلیون مترمکعب نسبت به سال 1392مواجه می‌گردد. هم‌چنین نتایج حاصل از سیاست کنترل مصرف حاکی از آن است که سیاست کنترل مصرف در تمامی سناریوهای تعریف شده و در کل سال‌های تحت پیش‌بینی (1420-1393) به‌طور میانگین به میزان 30/03 و 28/47 درصد، به ترتیب سبب کاهش سرانه‌ی آب شهری و هم‌چنین کاهش افت آبخوان نسبت به شرایط معمول منطقه خواهد شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده‌ی بهینه در مصرف آب زمانی اثر خود را بر منابع آبی کشور خواهد داشت که دولت و مصرف‌کننده پایاپای یکدیگر در کنترل مصرف آب نقش داشته باشند و سبب جلوگیری از برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور گردند.

منابع

بهجت،س و ضرغامی،م. 1390. شبیه‌سازی عرضه و تقاضای آب شهری تبریز به روش پویایی سیستم. هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

حسینی،س.ا و باقری،ع. 1392. مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار. مجله آب و فاضلاب. 4: 28-39.

دریجانی،م. 1387. استفاده از رویکرد مکانیزم سیستم‌ها در مدل‌سازی مدیریت سیستم آب شهری پس از بلایای طبیعی مبتنی بر توسعه پایدار، مطالعه موردی: شهر بم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

شیخ خوزانی،ز.، حسینی،خ و رحیمیان،م . 1389. مدل‌سازی بهره-برداری از مخازن چندمنظوره به روش پویایی سیستم، مجله مدل-سازی در مهندسی.8 21: 57-66.

صادقی،ح.، ذوالفقاری،م. و آرام،ر. 1390. مدل‌سازی و پیش‌بینی کوتاه مدت تقاضای آب شهری. مجله سیاست‌های اقتصادی، 87. 7 .2: 159-172.

صلوی تبار،ع.ر.، ضرغامی،م و ابریشم‌چی،ا. 1385. مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران. مجله آب و فاضلاب. 59: 12-28 .

محمدی،ح. 1392. رویکرد منطقه‌ای در تحلیل آسیب‌پذیری سیستم منابع آب دشت بیرجند به کمبود آب. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

محمدی،ح.، بابائیان،ف.، کاظمی،س.ح.، باقری،ع و اکبرپور،ا. 1392. تعیین مکانیزم‌های فعال مربوط به فعالیت‌های اقتصادی و اثرات آن‌ها بر منابع آب زیرزمینی با رویکرد پویایی با استفاده از نرم افزار Vensim به منظور پرداختن به مفهوم توسعه پایدار (مطالعه موردی: دشت بیرجند). دومین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست، 24 مرداد 1392.

محمودی،ب و سرلک،م. 1387. برآورد عوامل موثر بر عرضه و تقاضای آب و جایگاه ایران در منطقه از نظر توسعه پایدار. مرکز تحقیقات استراتژیک، معاونت پژوهش‌های اقتصادی، بهمن ماه 1387، کد گزارش: 50-87-2-04.

مرعشی،س.ج.، بلیغ،و.، غیاث‌آبادی،ع. 1388. تفکر سیستمی و ارزیابی کارآمدی آن در اداره جامعه و سازمان، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی، چاپ دوم، تهران.

Fletcher,E.J. 1998. The use of system dynamics as a decision support tool for the management of surface water resources. First International Conference on New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering Montreal, Canada: 909-920.

Forrester,J.W. 1961. Industrial dynamics. Massachusetts Institute of Technology Press.

Keyes,A.M., Palmer,P.N. 1993. The role of object-oriented simulation models in the drought preparedness studies. Proceeding of the20th Annual National conference Water Resources Planning and Management, Division of ASCE, Seattle, Washington, 479-482.

Li,L and simonovic,S.P. 2002. A System dynamics model for predicting floods from snowmelt in north American prairie watersheds. Hydrological Processes Jornal, vol. 16, Issue 13, pp.2645-2666.

Palmer,R., Hilton,K and Hahn,M. 1995. Willamette river basin reauthorization Feasibility study. http://www.ce.washington.edu

Sterman,J.D. 2000. Business Dynamics, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World with CD-ROM . McGraw-Hill, Boston.

Teegavarapu,R.S.V and Simonovic,S.P. 2000. System dynamics simulation model for operation of multiple reservoirs. 10th Word Water Congress, Melbourne, Australia.

Vlachos,D., Georgiadis,P and Iakovou,E. 2007. A System dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains Computers and Operations Research Jornal. 34 .2: 367-394.

World Water Assessment Programme, Water for People, Water for Life: The United Nations World Water Development Report, UNESCO Publishing, Berg Hahn Books. Paris, 2003.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 10, Sept.-Oct. 2016, p. 433-443

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 4، جلد 10، مهر - آبان 1395، ص. 443-433

The System Investigate of Active Mechanisms on the Urban Water Per Capita and Water Resources Allocated to it with Priority Sustainable Development (Case Study: City of Birjand)

F. Poursalehi[1*], A. Akbarpour[2], H. Mohammadi[3], S.R. Hashemi[4]
Recived: Apr.13, 2016 Accepted: Sep.28, 2016

Abstract

Considering the increasing development of population and water demand and continuous droughts and lack of rainfall, water crisis especially in the arid regions of Iran has become to a fundamental problem. One of important solutions to deal with this crisis in the urban sector, is the management of demand and water consumption that this requires to recognition of effective mechanisms on consumption and water demand in the consumable sector in order to the realization of managers and planners goals in the field of comprehensive and integrated management of water resources. This study has been done to systematic investigate structural patterns governing on the per capita of municipal water in the Birjand city situated in South Khorasan province and with using Vensim software to achieve the sustainable development of in the field of municipal water during the years 2008-2013. The results show that with existing continued consumption patterns in the region the citizens per capita water consumption is increasing and cause decline in groundwater level Birjand plan. Also can found that the use of government policies in the water sector and also savings in the consumption by citizens at the same time, on average With decreasing 30.03 percent In the per capita urban water compared to the existing consumption pattern, as an effective way in changing of consumption patterns and consequently the control of urban water consumption, significantly can decrease Increasing trend groundwater levels decline in to an average of 28.47 percent in the rigion.

Keywords: Consumption patterns, Management of demand, Per capita of municipal water, Sustainable development, Water crisis

1- Water Resources Engineering Graduate Student of Birjand University
2- Associate Professor, Department of Civil Engineering of Birjand University
3- Water Resources Engineering Graduate Student of Birjand University
4- Assistant Professor Department of Water Engineering of Birjand University
(*- Corresponding Author Email: Fatemehpursalehi@birjand.ac.ir)