Archive of SID

نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۵۲، شماره ۱ (بهار ۱۴۰۱)، مقاله پژوهشی، ۵۵-۶۶ پیاپی ۱۰۶

مدل‌سازی اثر الگوی مصرف بر سرانه آب شهری با استفاده از رویکرد سیستمی (مطالعه موردی: شهر بیرجند)

فاطمه پورصالحی[۱]، ابوالفضل اکبرپور[۲]، سیّدرضا هاشمی[۳]، حدیقه محمدی[۴]

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
[۲] استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند
[۳] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
[۴] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

(دریافت: ۹۷/۱۲/۲۳، پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۲، نشر آنلاین: ۹۸/۱۰/۲۲)

چکیده

امروزه با توجه به کمبود منابع آب و رشد روزافزون جمعیت و تقاضای آب، مدیریت این منابع امری ضروری تلقی می‌گردد. یکی از راه‌های مدیریتی برای مقابله با بحران کم‌آبی و حفظ منابع آبی موجود، مدیریت تقاضا و مصرف آب در بخش شهری می‌باشد. این مطالعه با هدف تعیین نقش الگوی مصرف بر کمیت منبع آب شهر بیرجند در استان خراسان جنوبی انجام گردید. در این مطالعه با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر تقاضای آب مانند جمعیت، درجه حرارت، بارندگی، روزهای تعطیل، قیمت آب، قطعات کاهنده مصرف و زمان استحمام و همچنین با استفاده از نگرش سیستمی و نرم‌افزار VENSIM، به بررسی اثر این پارامترها بر مصرف آب شهری و اثر آن‌ها بر منبع آب زیرزمینی شهر بیرجند تحت سناریوهایی با شرایط دمایی متفاوت ترسالی، خشک‌سالی و نرمال و نیز نرخ رشد موجود منطقه و نرخ رشد پیش‌بینی‌شده به‌ترتیب معادل ۲/۱۲ و ۱/۵ درصد و همچنین تعریف سیاست‌هایی بر اساس پارامترهای مؤثر بر تقاضا برای حفظ و صیانت از منبع تأمین‌کننده آب این شهر پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که با ادامه شرایط موجود در منطقه و بدون تغییر در الگوی مصرف آب شهری در شهر بیرجند، سرانه آب مصرفی شهروندان روند روبه‌رشدی خواهد داشت و همین امر سبب برداشت مقدار قابل‌توجهی از آبخوان می‌گردد به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود که این شهر در سال ۱۴۲۰ نسبت به سال ۱۳۹۲ در شش سناریوی تعریف شده به‌ترتیب به‌میزان ۲۳۱/۸۵، ۲۳۳/۳۳، ۲۳۳/۳۳، ۲۲۰/۲۷، ۲۳۹/۲۶ و ۲۳۹/۲۵ میلیون مترمکعب با کسری مخزن مواجه گردد. بنابراین لازم است که با اتخاذ سیاست‌های مختلف در دو بخش دولت و مصرف‌کننده و اعمال روش‌های مدیریتی صحیح و کارآمد، کاهش سالانه آب زیرزمینی این شهر را به حداقل ممکن رساند.

کلیدواژه‌ها: مدیریت تقاضا، نگرش سیستمی، نرم‌افزار VENSIM، آب‌های زیرزمینی.

۱- مقدمه

امروزه شهرها به‌عنوان کانون اصلی تمرکز جمعیت و فعالیت‌های صنعتی، تجاری و خدماتی، با توجه به رشد جمعیت، توسعه روزافزون، محدودیت منابع تأمین آب شرب و ملاحظات اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و زیست‌محیطی، به‌شدت نیازمند مدیریت جامع منابع آب می‌باشند. شرایط موجود در بسیاری از شهرهای ایران از نظر منابع و مصارف آب در حال و آینده، توجه به امر مدیریت تقاضا را در کنار برنامه‌ریزی و مدیریت تأمین آب اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در بیشتر شهرهای کشور عموماً منابع ارزان و محلی تأمین آب قبلاً مورد بهره‌برداری قرار گرفته و سایر منابع تأمین آب، از محل مصرف دور بوده و نیازمند صرف هزینه زیاد برای بهره‌برداری می‌باشند، با توجه به این‌که در اغلب موارد بازدهی طرح‌های مدیریت تقاضا بیشتر از طرح‌های افزایش ظرفیت تأمین خصوصاً در شرایط محدودیت منابع آب می‌باشد، تخصیص اعتبار و سرمایه‌گذاری در این بخش می‌تواند منافع بسیاری را به همراه داشته باشد (ملکی‌نسب و همکاران، ۱۳۸۹).

تفکر سیستمی، روشی به‌منظور درک شهودی از اشیاء، سیستم‌ها و نیز الگوهای رفتاری آن‌هاست. آنچه تفکر سیستمی به

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۵۱۶۰۷۴۹۰
آدرس ایمیل: fatemehpursalehi@birjand.ac.ir (ف. پورصالحی)، akbarpour@birjand.ac.ir (ا. اکبرپور)، srezahashemi@yahoo.com (س. ر. هاشمی)، hadigheh_mohammadi@yahoo.com (ح. محمدی).

www.SID.ir

Archive of SID

ما می‌آموزد، آگاهی دقیق از این چهارچوب‌های فکری، کنار هم قرار دادن و همسو ساختن آن‌ها، به‌گونه‌ای است که درنهایت هدف سیستمی نگریستن به مسائل را فراهم می‌آورد. پویایی سیستم[1] بخشی از تفکر سیستمی است که در مقابل تفکر خطی به‌کار برده می‌شود. این نگرش مبتنی بر مکانیزم بازخوردهای پویا در سیستم‌هاست که با تکیه بر حلقه‌های علت و معلولی به توضیح چگونگی رخداد وقایع می‌پردازد. این روش که یکی از قدرتمندترین کاربردهای تفکر سیستمی است، ابزاری توانمند برای به تصویر کشیدن پیچیدگی‌های مختلف سیستم‌ها و درنهایت تصمیم‌گیری و مدیریت بر آن‌ها می‌باشد. رویکرد شبیه‌سازی بر پایه پویایی سیستم یک رویکرد شبیه‌ساز شئ‌گرا بر پایه بازخورد می‌باشد که در زمینه‌های گوناگون و از جمله در زمینه بهره‌برداری از مخازن می‌توان از آن بهره گرفت (Sterman، ۲۰۰۰). همچنین این روش در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های منابع آب در حال پیشرفت است و به‌عنوان یک روش مدل‌سازی، تاریخچه طولانی داشته که منشأ آن در کار Forrester (۱۹۶۱) دیده می‌شود. به‌طورکلی مدل‌های مبتنی بر این روش با بینش فرآیندهای بازخور، درک بهتری از رفتار دینامیکی سیستم‌ها را برای کاربران آن فراهم می‌آورند (Fletcher، ۱۹۹۸).

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه مدیریت منابع آب به‌ویژه در بخش شهری و نیز عرضه و تقاضای آب با استفاده از روش پویایی سیستم صورت گرفته است. ناصری و همکاران (۱۳۹۰)، یک مدل شبیه‌سازی را با استفاده از روش پویایی سیستم و به کمک نرم‌افزار VENSIM PLE+ توسعه بخشیدند. بر اساس نتایج به دست آمده آبخوان دشت تبریز در حال حاضر دارای بیلان منفی ولی نزدیک به‌حالت تعادل است. محمدی (۱۳۹۲)، با استفاده از رویکرد سیستمی و نرم‌افزار VENSIM به بررسی آسیب‌پذیری منابع آب دشت بیرجند نسبت به کمبود آب پرداخت. نتایج نشان داد که به‌طورکلی به‌علت اقلیم حاکم بر منطقه و مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی، فعالیت‌های کشاورزی به‌صرفه نمی‌باشد. ناصری و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از روش پویایی سیستم مدیریت آب در مناطق نیمه‌خشک را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که ادامه سیاست کنونی مدیریت سبب ایجاد بحران در تأمین آب می‌گردد و سیاست‌هایی مانند افزایش بازدهی کشاورزی، کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و تغذیه مصنوعی در زمینه جلوگیری از وقوع این بحران باید موردتوجه قرار گیرد.

بهجت و ضرغامی (۱۳۹۰)، مدل عرضه و تقاضای آب شهر تبریز را با استفاده از روش پویایی سیستم ایجاد نمودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق از جمله عوامل مؤثر بر کاهش تقاضا می‌توان به افزایش قیمت آب و نزدیک نمودن فروش به قیمت تمام‌شده و نیز استفاده از قطعات کاهنده مصرف و فرهنگ-سازی و جذب مشارکت مصرف‌کنندگان اشاره نمود. صلوی‌تبار و همکاران (۱۳۸۵)، با استفاده از روش پویایی سیستم مدل منابع و مصارف آب شهر تهران را توسعه دادند. نتایج نشان داد که استفاده از مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی جهت حل جامع مسائل تأمین آب تهران لازم است.

فرتوک‌زاده و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم‌ها، الگوی رفتاری سیستم آب منطقه تهران را در راستای دستیابی به مدیریت یکپارچه منابع آب شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که هنگامی‌که سیاست‌های کنترل جمعیت و فناوری با سیاست‌هایی نظیر اعمال مالیات و تعرفه‌ها همراه گردند می‌توانند در جهت بهبود فاصله میان عرضه و تقاضای آب مؤثرتر واقع شوند. Chang و همکاران (۲۰۱۵)، امنیت منابع آب شهری تحت توسعه شهر ارومچی[2] کشور چین را با استفاده از مدل پویایی سیستم ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که اگر توسعه شهری از نظر جمعیت، رشد اقتصادی و کارایی مصرف آب بدون تغییر باقی بماند، منابع آب به‌طور فزاینده‌ای کاهش می‌یابند.

Qiang و همکاران (۲۰۱۶)، استفاده پایدار از منابع آب شهری جیاموزی[3] کشور چین و توسعه پایدار اجتماعی و اقتصادی آن را بر اساس روش پویایی سیستم شبیه‌سازی نمودند. نتایج حاکی از آن است که در آینده منابع آب این منطقه با عدم تعادل جدی در عرضه و تقاضای آب مواجه خواهد شد.

Wei و همکاران (۲۰۱۶) مدل سیستم پویای مدیریت آب شهر ماکائو[4] چین را ایجاد نمودند. نتایج نشان داد که تقاضای آب نسبت به تغییرات جمعیت، سرانه تقاضا و دما حساس می‌باشد. افزایش بارندگی باعث کاهش تقاضای آب شهری و افزایش رشد اقتصادی باعث افزایش تقاضای آب خواهد شد. با اجرای اقدامات یکپارچه حفاظت از آب و افزایش تمایل به حفظ آب، می‌توان تقاضای آب را ۱۷/۵ درصد کاهش داد.

Poh و Xi (۲۰۱۷) به بررسی مدیریت پایدار منابع آب سنگاپور با به‌کارگیری روش پویایی سیستم پرداختند. نتایج حاکی از نیاز به ایجاد زیرساخت‌های پیشرفته آب به‌منظور تأمین نیاز آب سنگاپور در آینده است.

بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر ایران و همچنین گسترش روزافزون جمعیت و تقاضا که از عوامل مؤثر بر ایجاد بحران کم‌آبی در کشور می‌باشند، می‌بایست روش‌های مختلف مدیریت تقاضا و مصرف آب را به‌ویژه در بخش شهری به‌کار بست تا بتوان از کاهش بی‌رویه مخازن آبی اعم از سطحی و زیرزمینی جلوگیری نمود. تاکنون در ایران مطالعه‌ای در زمینه برقراری ارتباط سیستمی بین پارامترهای مؤثر بر الگوی مصرف در بخش

1. System Dynamics
2. Urumqi
3. Jiamusi
4. Macau

www.SID.ir

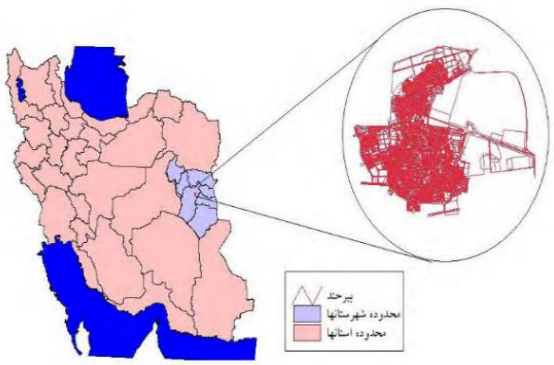
Archive of SID

شهری و مدل‌سازی اندرکنش الگوی مصرف و سرانه آب و نیز منابع تأمین‌کننده آب شهری با به‌کارگیری رویکرد پویایی سیستم صورت نگرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

استان خراسان جنوبی با وسعتی در حدود ۸۲۸۶۴ کیلومتر مربع، ۵/۷ درصد مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان در شرق ایران، در حاشیه شمال شرقی دشت لوت واقع شده است. مساحت بیرجند، مرکز استان دارای مساحت ۱۴۲۶۵ کیلومتر مربع است و از لحاظ موقعیت جغرافیایی در مختصات ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این شهر در شیب رشته کوه‌های باقران و تقریباً در مرکز دشت بیرجند قرار گرفته است و از اطراف توسط رشته کوه‌ها محصور شده است (حسین‌زاده، ۱۳۸۴). دشت بیرجند اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب این شهر است. شکل (۱) موقعیت شهر بیرجند در استان خراسان جنوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت شهر بیرجند در استان خراسان جنوبی (بدون مقیاس) (آقاحسینعلی‌شیرازی و اکبرپور، ۱۳۹۰)

۲-۲- پویایی سیستم

متدولوژی دینامیک سیستم‌ها یک روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی است که مخصوصاً برای حل مشکلات مدیریتی طولانی‌مدت، مزمن و پویا طراحی می‌شود. این روش بر درک چگونگی اندرکنش فرآیندهای فیزیکی، جریان اطلاعات و سیاست‌های مدیریتی تمرکز می‌کند که این عوامل چگونه پویایی متغیرهای موردنظر را ایجاد می‌کنند. مجموعه روابط بازخوردی میان این ترکیبات بیان‌کننده ساختار سیستم است (Vlachos و همکاران، ۲۰۰۷؛ واعظ تهرانی و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۳- معرفی نرم‌افزار VENSIM

نرم‌افزار VENSIM یک نرم‌افزار شبیه‌سازی و یک محیط مدل-سازی گرافیکی شیءگرا می‌باشد. در این نرم‌افزار نمودارها با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول (اغلب غیرخطی) که با روش اولر[5] یا رانگ کوتا[6] حل می‌شوند، ساخته می‌شود. روش مدل‌سازی در این نرم‌افزار به این صورت است که پیشرفت از کلیات به جزئیات صورت می‌گیرد به‌طوری‌که به‌صورت تدریجی توابع و اجزای متصل شده بیشتر می‌شود تا یک مدل کامل شده و برای اجرا آماده گردد (مؤمنی، ۱۳۸۳).

در این مطالعه ابتدا با مشخص نمودن عوامل مؤثر بر مصرف آب در بخش شهری و جمع‌آوری اطلاعات از سازمان‌های مربوطه، مدل‌سازی شرایط موجود در منطقه بیرجند مبتنی بر رویکرد سیستمی توسط نرم‌افزار VENSIM انجام و همچنین با تعریف سناریوها و سیاست‌های مختلف شرایط آینده این منطقه در زمینه مصرف آب و برداشت از منبع آب زیرزمینی آن پیش‌بینی گردیده است.

۲-۴- مدل آب شهری

۲-۴-۱- آب شهری[7]

به‌طورکلی آبی که به‌عنوان آب مصرفی بخش شهری از آبخوان بیرجند خارج می‌شود، در پنج بخش خانگی، تجاری و صنعتی، فضای سبز، عمومی و تلفات به مصرف می‌رسد. بر اساس نظر کارشناس اداره آب و فاضلاب شهری استان خراسان جنوبی حجم آب باقی‌مانده در مخزن شهری آن‌قدر ناچیز می‌باشد که عملاً می‌توان گفت که در انتهای سال، آبی در مخزن ذخیره نخواهد شد، بنابراین در این مدل حجم اولیه آب شهری برابر با صفر در نظر گرفته شد.

فرمول متغیر حالت آب شهری به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\begin{aligned} Urban\ water = IF\ THEN\ ELSE(&urban\ water \\ &> 0 : AND : Euw \\ &> dc + c\&i\ c + gc + pc \\ &+ l.Euw - dc - c\&i\ c - gc \\ &- pc - l.0) \end{aligned} \quad (۱)$$

در این فرمول با استفاده از رابطه شرطی *IF THEN ELSE* از مدل خواسته شد که اگر آب در مخزن شهری وجود داشته باشد و نیز میزان آبی که به مخزن وارد می‌گردد بیشتر از میزان خروجی (مجموع مصارف و تلفات آب) باشد، رابطه بیلان برقرار و مقدار آب شهری با تفاضل ورودی و خروجی برابر گردد، در غیر این صورت مقدار آب شهری برابر صفر در نظر گرفته شود. در رابطه فوق، Euw آب ورودی به بخش شهری، dc مصرف خانگی، $c\&i\ c$ مصرف

5. Euler

6. Runge-Kutta
7. Urban water

www.SID.ir

Archive of SID

تجاری و صنعتی، gc مصرف فضای سبز، pc مصرف عمومی و l میزان تلفات می‌باشد.

۲-۴-۲- نرخ رشد تقاضا[8]

این نرخ رشد بر اساس پارامترهایی مانند جمعیت شهر، درجه حرارت، بارندگی، روزهای تعطیل که بر افزایش و یا کاهش میزان تقاضا و یا مصرف اثر می‌گذارند، به‌دست آمده است.

$$\begin{aligned} growth\ rate\ in\ demand &= Gr\ population \\ &+ Gr\ temperature \\ &+ Gr\ rinfall \\ &+ Gr\ holidays \end{aligned} \quad (۲)$$

پارامترهای فوق بر اساس روابط زیر به مدل معرفی گردیدند:

۲-۴-۲-۱- نرخ رشد تقاضا نسبت به جمعیت شهر[9]

اثر جمعیت بر تغییرات تقاضا به‌صورت زیر به مدل معرفی گردید:

$$\begin{aligned} Gr\ population = ((&Population \\ &- (population\ threshold \\ &* TIME\ STEP)) \\ &* cd\ population) \end{aligned} \quad (۳)$$

پارامتر جمعیت شهر بیرجند[10] از رابطه زیر محاسبه گردید (محمدی، ۱۳۹۲):

$$\begin{aligned} &Population \\ &= \int population\ increase + pi \end{aligned} \quad (۴)$$

در رابطه فوق pi مقدار اولیه جمعیت شهر بیرجند در سال ۱۳۸۷ است که معادل ۱۷۳۲۷۱ نفر به مدل داده شد. همچنین پارامتر افزایش جمعیت[11] بر اساس رابطه (۵) برآورد گردید (محمدی، ۱۳۹۲):

$$\begin{aligned} \text{population increase} &= \text{growth rate} \\ &* \text{Population} \end{aligned} \quad (۵)$$

همچنین پارامتر نرخ رشد جمعیت[12] با استفاده از اطلاعات جمعیتی و سرشماری سال‌های ۸۵ و ۹۰ نرخ رشد جمعیت از رابطه زیر معادل ۲/۱۲ محاسبه گردید:

$$\text{نرخ رشد} = \left(\frac{\text{جمعیت سال ۹۰}}{\text{جمعیت سال ۸۵}}\right)^{\frac{۱}{۵}} - ۱ \quad (۶)$$

در این قسمت جمعیت سال ۱۳۹۲ به‌عنوان حد آستانه جمعیت شهر بیرجند[13] در نظر گرفته شد. بدین مفهوم که به‌ازای هر نفر افزایش و یا کاهش جمعیت نسبت به جمعیت سال ۹۲ معادل ۱۹۲۴۷۴ نفر، ضریب افزایشی تقاضا نسبت به جمعیت اعمال گردد. همچنین با ایجاد یک رابطه رگرسیونی ساده بین جمعیت و مصرف آب به‌صورت سالانه، ضریب ۰/۰۰۰۰۱۵ به‌عنوان ضریب افزایش تقاضا به‌ازای افزایش و یا کاهش جمعیت[14] در مدل قرار داده شد.

۲-۴-۲-۲- نرخ رشد تقاضا نسبت به درجه حرارت[15]

برای نشان دادن اثر درجه حرارت بر میزان مصرف آب از رابطه زیر استفاده شد:

$$\begin{aligned} &\text{Gr temperature} \\ &= (\text{IF THEN ELSE(Temperature} \\ &> \text{temperature threshold . (Temperature} \\ &- \text{temperature threshold)} \\ &* \text{cd temperature. ۰)} \end{aligned} \quad (۷)$$

در رابطه فوق داده‌های درجه حرارت[16] به‌صورت سری زمانی به مدل معرفی گردید. همچنین با توجه به مطالعه انجام‌شده توسط آقاحسینعلی‌شیرازی (۱۳۹۰)، آستانه درجه حرارت برای شهر بیرجند[17] معادل ۱۴/۵۲۷ درجه می‌باشد. به‌گونه‌ای که با افزایش درجه حرارت از این مقدار آستانه، مصرف آب روزانه شهر بیرجند افزایش می‌یابد، اما کاهش دما به زیر حد آستانه اثری در افزایش و یا کاهش مصرف آب ندارد. در این مطالعه فرض شده است که حد آستانه فوق، بر مصرف سالانه آب شهری نیز مؤثر باشد. بر اساس رابطه رگرسیونی پیشنهادشده آقاحسینعلی شیرازی (۱۳۹۰)، که از رابطه میان دو متغیر عکس مصرف روزانه آب و بیشینه درجه حرارت ایجاد شده است، مقدار افزایش مصرف آب به‌ازای یک درجه افزایش در دمای شهر (ضریب افزایش تقاضا نسبت به درجه حرارت[18]) معادل ۰/۰۲۳ محاسبه گردید:

$$y = 24690(x)^2 - 3050.6(x) + 96.996 \quad (۸)$$

۲-۴-۲-۳- نرخ رشد تقاضا نسبت به بارندگی[19]

تأثیر بارندگی بر میزان تغییرات تقاضای آب در بخش شهری به‌صورت زیر به مدل اضافه گردید:

8. Growth rate in demand
9. Gr population
10. Population increase
11. Population increase
12. Growth rate
13. Population threshold
14. Cd population
15. Gr temperature
16. Temperature
17. Temperature threshold
18. Cd temperature
19. Gr rainfall

www.SID.ir

Archive of SID

$$Gr\ rainfall = (IF\ THEN\ ELSE(Rainfall < rainfall\ threshold\ .(rainfall\ threshold - Rainfall) * cd\ rainfall.0)) \quad (۹)$$

در این بخش داده‌های مربوط به بارندگی سالانه[20] به‌صورت سری زمانی در مدل وارد گردید. مقدار حد آستانه بارندگی در شهر بیرجند[21] معادل ۳/۳۰۵ میلی‌متر (آقاحسینعلی‌شیرازی (۱۳۹۰)) در نظر گرفته شد. یعنی با کاهش بارندگی به زیر حد آستانه فوق، مصرف روزانه آب افزایش می‌یابد. البته باید توجه داشت که افزایش بارندگی نسبت به حد آستانه اثری در کاهش مصرف ندارد. در این تحقیق فرض شده است که این حد آستانه بر مصرف سالانه آب نیز مؤثر می‌باشد. همچنین با استفاده از رابطه رگرسیونی دو متغیر عکس مصرف روزانه و بارندگی ارائه‌شده توسط آقاحسینعلی شیرازی (۱۳۹۰)، ضریب افزایش تقاضا نسبت به بارندگی[22] معادل ۰/۲۸۳ محاسبه شد:

$$y = -928.47(x)^2 + 160.93(x) - 3.6684 \quad (۱۰)$$

۲-۴-۲-۴- نرخ رشد تقاضا نسبت به روزهای تعطیل[23]

با توجه به این نکته که مصرف آب در روزهای تعطیل نسبت به سایر روزهای هفته افزایش می‌یابد، پارامتر روزهای تعطیل به عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر تغییر میزان تقاضا به‌صورت زیر به مدل آب شهری وارد گردید:

$$Gr\ holidays = (holidays - holidays\ threshold) * cd\ holidays \quad (۱۱)$$

تعداد روزهای تعطیل در کشور (جدول (۱))، در مدل به‌صورت سری زمانی وارد گردیده است. مقدار متغیر حد آستانه روزهای تعطیل[24] در مدل برابر با میانگین تعداد روزهای تعطیل کشور طی سال‌های ۹۲-۸۷، معادل ۷۳ روز تعطیل در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- تعداد روزهای تعطیل کشور طی سال‌های ۹۲-۸۷

سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲
روزهای تعطیل	۷۵	۷۴	۷۲	۷۴	۷۳	۷۲

همچنین تحقیقات آقاحسینعلی شیرازی (۱۳۹۰)، نشان می‌دهد که در شهر بیرجند در روز جمعه نسبت به سایر روزهای هفته حجم بیشتری از آب مصرف می‌گردد. در این مطالعه با استناد به نتایج و داده‌های آقاحسینعلی‌شیرازی (۱۳۹۰)، ابتدا نسبت مصرف آب در هریک از روزهای هفته به مصرف کل محاسبه شد، سپس با محاسبه میانگین نسبت‌ها، مشخص گردید که روز جمعه نسبت به میانگین نسبت‌ها به مقدار ۰/۰۱۶۷ (بدون بعد)، افزایش مصرف را دارا می‌باشد و این عدد بدون بعد به‌عنوان ضریب افزایشی تقاضا به ازای روزهای تعطیل[25] به مدل اضافه شد.

۲-۴-۳- تلفات[26]

به‌طورکلی تلفات آب به دو بخش تلفات ظاهری[27] و تلفات واقعی[28] تقسیم می‌شوند.

$$losses = Actual\ losses + apparent\ losses \quad (۱۲)$$

۲-۴-۴- سرانه[29]

سرانه عبارت است از مجموع مصارف خانگی (dc)، تجاری و صنعتی ($c\ i\&c$)، فضای سبز (gc)، عمومی (pc) و تلفات (l) به ازای هر نفر از جمعیت شهر.

$$Total\ capita\ water = (dc + c\&i\ c + gc + pc + l)/Population \quad (۱۳)$$

بعد از ساخت مدل (شکل (۲))، مراحل صحت‌سنجی شامل آزمون ارزیابی ساختار، آزمون سازگاری واحدها، آزمون شرایط حدی و آزمون تکرار رفتار و همچنین آنالیز حساسیت مدل انجام گردید:

۲-۵- صحت‌سنجی مدل

۲-۵-۱- آزمون ارزیابی ساختار

این آزمون ساختار و قوانین حاکم بر مدل را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و بر سازگاری مدل با شرایط موجود در سیستم تمرکز می‌کند. در این بخش می‌توان با انتخاب گزینه Check Model از قسمت Model، ساختار تعریف شده برای مدل را موردبررسی قرار داد. در صورت موردپذیرش بودن مدل از نظر ساختاری نرم‌افزار پیغام Model is Ok را به کاربر نشان می‌دهد.

۲-۵-۲- آزمون سازگاری واحدها

در این آزمون واحدهای متناظر با پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل موردبررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله از صحت-سنجی مدل با انتخاب گزینه Unit Check از قسمت Model می‌توان مطابقت واحدهای اندازه‌گیری با هر متغیر در مدل را بررسی نمود.

20. Rainfall
21. Rainfall threshold
22. Dc rainfallcd
23. Gr holidays
24. Holidays threshold
25. Cd holidays
26. Losses
27. Apparent losses
28. Actual losses
29. Total capita water

www.SID.ir

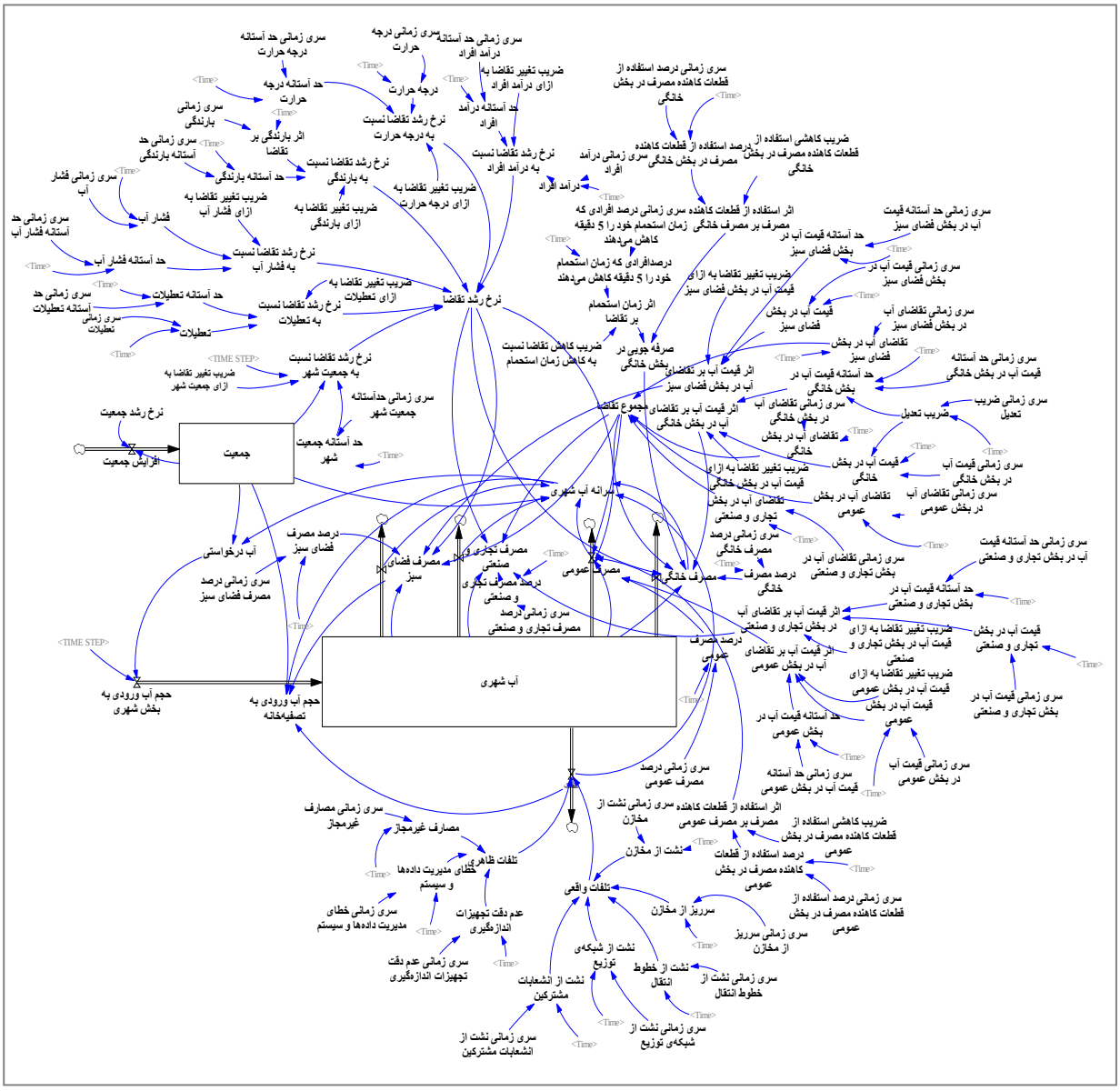
Archive of SID

۲-۵-۳- آزمون شرایط حدی

برای بررسی توانمندی مدل در پاسخگویی به شرایط غیرمنطقی و غیرواقعی از آزمون شرایط حدی استفاده می‌گردد. در این مدل نیز شروط حدی مانند تعطیل بودن تمام روزهای سال، جمعیت بسیار زیاد و نشت بسیار زیاد از شبکه در مدل اجرا گردید.

۲-۵-۴- آزمون تکرار رفتار

در این مرحله از صحت‌سنجی، پارامترهای محاسبه‌شده توسط مدل با داده‌های مشاهده‌ای (واقعی) مقایسه می‌گردند. در آزمون تکرار این مدل مقادیر تخمین زده توسط مدل در بخش‌های جمعیت، حجم آب زیرزمینی، سرانه آب شهری، حجم آب ورودی به بخش شهری و انواع مصارف به تفکیک خانگی، تجاری و صنعتی، فضای سبز و عمومی با داده‌های واقعی مقایسه گردید.



شکل ۲- زیر مدل آب شهری

همچنین با استفاده از روابط زیر مقادیر R^2 و $RMSE$ جهت مقایسه نتایج مدل و مقادیر واقعی سرانه آب شهری و حجم آب زیرزمینی محاسبه گردید.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i \hat{q}_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} {q_i}^2 \sum_{i=1}^{n} {\hat{q}_i}^2}} \qquad (۱۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{q_i - \hat{q}_i}{q_i}\right)^2\right)} \quad (۱۵)$$

در روابط فوق q_i مقادیر مشاهده‌ای، $\hat{q}_i$ مقادیر محاسبه‌شده توسط مدل و n تعداد داده‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۶- آنالیز حساسیت

به‌طورکلی آنالیز حساسیت تأثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی را در یک مدل آماری موردبررسی قرار می‌دهد. این آزمون بر روی پارامترهایی که به‌صورت حدسی و تقریبی در مدل مورداستفاده قرار گرفته‌اند و دارای عدم قطعیت می‌باشند، انجام می‌گیرد. در این مدل نیز آنالیز حساسیت بر روی برخی از ضرایب به‌کاررفته در مدل، انجام گرفته است. برای اجرای این آزمون به پارامترهای تقریبی تعریف شده برای مدل، یک مقدار ثابت اضافه و کم کرده و پس از اجرای مدل ضریب الاستیسیته برای بررسی حساسیت هر پارامتر از رابطه زیر به‌دست می‌آید. هرچقدر ضریب الاستیسیته به صفر نزدیک‌تر باشد، بدین مفهوم است که خروجی مدل نسبت به تغییر در پارامترهای ورودی حساس نمی‌باشد و همچنین اگر مقدار این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، خروجی از ورودی تأثیر می‌پذیرد و باید در آن به عدم قطعیت توجه گردد. پس از انجام صحت‌سنجی و آنالیز حساسیت سناریوها و سیاست‌های زیر تعریف گردید:

۲-۷- سناریوهای تعریف شده در تحقیق

به‌طورکلی سناریوها تغییرات مؤلفه‌های خارج از سیستم را که بر سیستم اثر می‌گذارند ولی از آن اثر نمی‌پذیرند، بیان می‌نمایند. درواقع سناریوها شرایطی هستند که از طریق مدل شبیه‌سازی سیستم نمی‌توانیم بر روی آن‌ها کنترلی داشته باشیم و وقوع آن‌ها در اختیار ما نمی‌باشد که در این میان شرایط مختلف اقلیمی و جمعیتی جهت تعریف سناریوهای پیش‌بینی سرانه آب شهروندان شهر بیرجند تا سال ۱۴۲۰ در نظر گرفته شد و به‌صورت زیر به مدل معرفی گردید (جدول (۲)):

جدول ۲- سناریوهای تعریف شده در مدل

سناریو	وضعیت اقلیمی	جمعیت
سناریو ۱	ترسالی	نرخ رشد موجود
سناریو ۲	خشک‌سالی	نرخ رشد موجود
سناریو ۳	شرایط نرمال	نرخ رشد موجود
سناریو ۴	ترسالی	نرخ رشد پیش‌بینی‌شده
سناریو ۵	خشک‌سالی	نرخ رشد پیش‌بینی‌شده
سناریو ۶	شرایط نرمال	نرخ رشد پیش‌بینی‌شده

وضعیت اقلیمی منطقه با استفاده از داده‌های بارندگی و دمای ایستگاه هواشناسی بیرجند طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۶۸ و با به‌کارگیری روش میانگین متحرک پنج‌ساله به‌دست آمده است. همچنین بر اساس داده‌های جمعیتی نرخ رشد موجود منطقه در مدل معادل ۲/۱۲ درصد و نرخ رشد پیش‌بینی‌شده ۱/۵ درصد در نظر گرفته شده است.

۲-۸- سیاست‌های تعریف شده در تحقیق

بعد از بیان ارتباط بین پارامترهای موردنظر با سرانه آب شهر بیرجند و پیش‌بینی شرایط منطقه بر اساس سناریوهای بیان‌شده باید بتوان میزان مصرف آب و کاهش آب زیرزمینی را با اتخاذ سیاست‌های متفاوت کنترل نمود. سیاست‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق در زیر تشریح گردیده است:

سیاست ۱) کنترل میزان مصرف تنها از طریق مصرف‌کننده
سیاست ۲) کنترل میزان مصرف تنها از طریق تمهیدات دولتی
سیاست ۳) کنترل میزان مصرف از طریق دولت و مصرف‌کننده
سیاست ۴) شرایط موجود منطقه

در این راستا پارامترهای قابل‌تغییر شامل نشت از شبکه توزیع، نشت از خطوط انتقال، استفاده از قطعات کاهنده مصرف در دو بخش خانگی و عمومی، مدت زمان استحمام، قیمت آب، تعداد روزهای تعطیل، جداسازی شبکه آب‌رسانی فضای سبز از شبکه آب‌رسانی شهری و نیز استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای بخش کشاورزی به‌صورت زیر به مدل معرفی گردید:

با توجه به اهمیت نشت در سیستم‌های آب‌رسانی فرض گردید که از طریق تمهیدات دولتی به میزان ۲۰ درصد از نشت از شبکه توزیع و خطوط انتقال کاسته شود. نظر به این‌که به علت ناچیز بودن تعداد قطعات کاهنده مورداستفاده در شهر بیرجند، تعداد کنونی این قطعات در هر دو بخش مصرف خانگی و مصرف عمومی (مدارس، دانشگاه‌ها، ادارات دولتی و مکان‌های عمومی) معادل صفر در نظر گرفته شده است، فرض گردید که ۳۰ درصد در بخش خانگی و ۳۰ درصد در مکان‌های عمومی (مصرف عمومی) از این قطعات در سطح شهر استفاده شود. همچنین بر اساس فرض اولیه مدل مبتنی بر صفر در نظر گرفتن صرفه‌جویی مشترکان شهر بیرجند از طریق کاهش زمان استحمام، در نظر گرفته شد که ۲۵ درصد از مشترکان زمان استحمام خود را به‌میزان ۵ دقیقه کاهش دهند. همچنین در خصوص قیمت آب با توجه به تاریخ ابلاغیه تعرفه جدید آب در کشور (مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱) و این نکته که اثر کاهشی افزایش قیمت آب بر میزان مصرف، به‌علت اجرای این تعرفه در انتهای سال۱۳۹۲، در سال ۱۳۹۳ مشهود می‌باشد، قیمت آب در بخش‌های مختلف آب شهری معادل آخرین تعرفه دولت به‌عنوان قیمت آب طی سال‌های تحت پیش‌بینی ۱۴۲۰-

www.SID.ir

Archive of SID

۱۳۹۳ به مدل معرفی گردید. در زمینه کاهش تعداد روزهای تعطیل فرض گردید که این پارامتر از میانگین روزهای تعطیل که معادل ۷۳ روز تعطیل برآورد گردیده است، به ۶۰ روز تعطیل تقلیل یابد. همچنین اثر جداسازی شبکه آب‌رسانی فضای سبز از شبکه آب‌رسانی شهری در سیاست ۲ به‌منظور کنترل مصرف از طریق دولت با صفر در نظر گرفتن مصرف فضای سبز به مدل معرفی گردید. در انتها با توجه به عدم استفاده از آب تصفیه‌شده از تصفیه‌خانه شهر بیرجند در شرایط کنونی، در این سیاست فرض گردید که ۲۰ درصد از آب ورودی به تصفیه‌خانه شهر بیرجند پس از تصفیه در اختیار بخش کشاورزی قرار گیرد) جدول (۳) پارامترهای قابل تغییر و مقادیر متناظر آن‌ها در هریک از سیاست‌های تعریف شده در مدل را نشان می‌دهد.

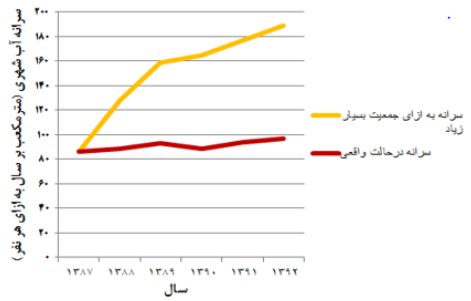
جدول ۳- سیاست‌های تعریف شده در مدل

پارامترهای قابل‌تغییر	سیاست ۱	سیاست ۲	سیاست ۳	سیاست ۴
هدررفت از طریق نشت از شبکه توزیع	-	۲۰٪ کاهش	۲۰٪ کاهش	-
هدررفت از طریق نشت از خطوط انتقال	-	۲۰٪ کاهش	۲۰٪ کاهش	-
زمان استحمام	۲۵٪ از مصرف کنندگان ۵ دقیقه زمان استحمام خود را کاهش دهند.	-	۲۵٪ از مصرف کنندگان ۵ دقیقه زمان استحمام خود را کاهش دهند.	-
قیمت آب	-	تعرفه سال ۹۲ اجرا گردد	تعرفه سال ۹۲ اجرا گردد	-
روزهای تعطیل	-	به ۶۰ روز کاهش یابد	به ۶۰ روز کاهش یابد	-
جداسازی شبکه‌ی آب‌رسانی فضای سبز از شبکه‌ی آب‌رسانی شهری	-	اجرای طرح	اجرای طرح	-
استفاده از قطعات کاهنده مصرف در بخش مصرف عمومی	-	۳۰ درصد افزایش	۳۰ درصد افزایش	-
استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای بخش کشاورزی	-	۲۰ درصد افزایش	۲۰ درصد افزایش	-

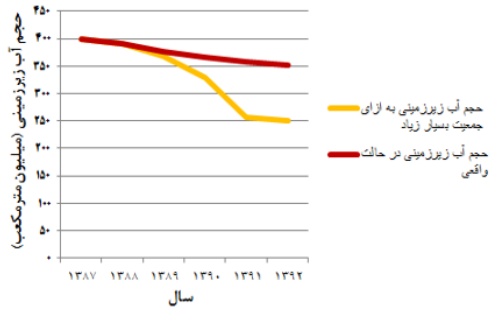
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمون شرایط حدی (شرط حدی جمعیت بسیار زیاد)

در این بخش جمعیت با نرخ رشد بسیار زیاد برابر با ۱ در نظر گرفته شد. درواقع فرض گردید که جمعیت در هر سال نسبت به سال قبل ۱۰۰ برابر می‌شود. با اعمال این شرایط نتایج این آزمون نشان می‌دهد که سرانه آب شهری به‌علت افزایش جمعیت افزایش‌یافته و حجم آب زیرزمینی به‌علت افزایش برداشت از آب زیرزمینی نسبت به شرایط طبیعی افت بیشتری نموده است (شکل‌های (۳) و (۴)).



شکل ۳- سرانه آب شهری به‌ازای جمعیت بسیار زیاد



شکل ۴- حجم آب زیرزمینی به‌ازای جمعیت بسیار زیاد

۳-۲- نتایج آزمون تکرار رفتار (مقایسه سرانه آب شهری در دو حالت محاسباتی و مشاهده‌ای)

مقایسه سرانه در دو حالت محاسباتی و واقعی نشان می‌دهد که مدل قابلیت شبیه‌سازی سرانه آب شهری را دارا می‌باشد، به‌گونه‌ای که افزایش و کاهش سرانه در هر دو حالت تحت مقایسه از یک روند مشابهی پیروی می‌نماید. (اختلاف سرانه 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). نتایج برآورد مقادیر معیارهای ارزیابی R^2 و RMSE جهت بررسی صحت مدل به‌ترتیب معادل ۰/۹۷ و ۰/۰۳ در سرانه آب شهری و به‌ترتیب معادل ۰/۹۶ و ۰/۳۲ در حجم آب زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

حاکی از تطابق نتایج مدل با شرایط موجود منطقه و نیز توانایی مدل ایجاد شده در پیش‌بینی سرانه آب شهر بیرجند در سال‌های آینده می‌باشد. شکل (۵)، سرانه آب شهری را در دو حالت محاسباتی و مشاهده‌ای نشان می‌دهد.

شکل ۵- سرانه آب شهری در دو حالت محاسباتی و مشاهده‌ای

۳-۳- نتایج آنالیز حساسیت

بررسی‌ها در زمینه‌ی آنالیز حساسیت ضرایب مؤثر بر افزایش و یا کاهش تقاضا مانند بارندگی، درجه حرارت، روزهای تعطیل و جمعیت شهر نشان می‌دهد که با توجه به نزدیک بودن ضریب الاستیسیته محاسبه‌شده به صفر می‌توان نتیجه گرفت که مدل ایجاد شده از حساسیت ناچیزی نسبت به تغییر در پارامتر ورودی برخوردار می‌باشد. البته باید توجه داشت که مدل از بین پارامترهای ورودی موردنظر نسبت به تغییر در جمعیت شهر حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها نشان می‌دهد و مقادیر این پارامتر باید با دقت بیشتری جهت مدل‌سازی تعیین گردد. همچنین به‌دلیل تغییرات اندک در میزان بارندگی در سال‌های اخیر، مدل نسبت به پارامتر بارندگی حساس نمی‌باشد. جدول (۴) نتایج آنالیز حساسیت مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج آنالیز حساسیت

نام پارامتر تحت آنالیز	میانگین ضریب الاستیسیته (اجرای ۱)	میانگین ضریب الاستیسیته (اجرای ۲)
بارندگی	۰	۰
درجه حرارت	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲
روزهای تعطیل	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷
جمعیت شهر	۰/۳۱۲	۰/۳۱۲

نتایج نشان می‌دهد که به‌طورکلی سرانه آب شهری در هر سال دارای افزایش می‌باشد با این تفاوت که با در نظر گرفتن سیاست‌های تعریف شده، از میزان این افزایش کاسته و شیب افزایشی آن کندتر می‌شود (شکل‌های (۶)، (۸)، (۱۰)، (۱۲)، (۱۴) و (۱۶)). جدول (۵) تغییرات سرانه آب شهری تحت سیاست‌های ۱، ۲ و ۳ را نسبت به سیاست ۴ که شرایط کنونی منطقه می‌باشد در هر یک از سناریوهای تعریف شده (جدول (۳)) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده در تمامی سناریوها، در سیاست ۳ که سیاست مدیریت مصرف از طریق دولت و مصرف‌کننده به‌صورت هم‌زمان می‌باشد، حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به سیاست ۴، با کاهش سرانه در هر سال مواجه می‌گردیم. همچنین سیاست کنترل مصرف از طریق تمهیدات دولتی از اثربخشی بیشتری بر کاهش سرانه آب نسبت کنترل از طریق مصرف‌کننده برخوردار می‌باشد. از طرفی از مقایسه سیاست‌ها تحت ۶ سناریوی تعریف شده می‌توان دریافت که برابری نتایج حاصل از دو سناریوی ۲ و ۳ و نیز دو سناریوی ۵ و ۶ در هر سه سیاست مدیریتی نشان‌دهنده این است شرایط اقلیمی موجود در منطقه به شرایط خشک‌سالی نزدیک بوده و نتایج در سناریوهای اقلیمی خشک‌سالی و نرمال برابر شده است.

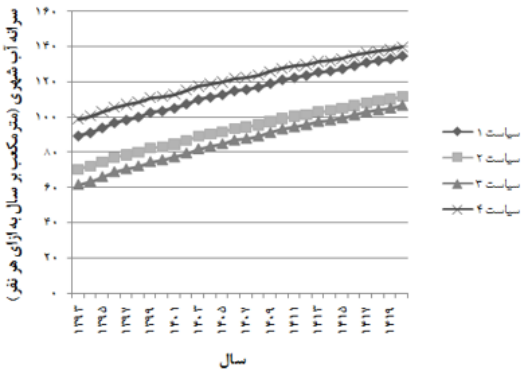
همچنین نتایج حاکی از آن است که حجم آب زیرزمینی دشت بیرجند که منبع اصلی تأمین‌کننده آب شهر بیرجند است، در سناریوهای مختلف دارای افت می‌باشد اما این روند کاهشی در سیاست ۴ که درواقع همان شرایط موجود منطقه موردمطالعه است، نسبت به سایر سیاست‌ها شیب تندتری را دارا می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌گردد که این میزان افت در مخزن آب زیرزمینی با اعمال سیاست‌های مدیریتی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد به‌طوری‌که به‌ترتیب در سیاست ۳، ۲ و ۱ افت کم‌تری در مخزن مشاهده می‌گردد (شکل‌های (۷)، (۹)، (۱۱)، (۱۳)، (۱۵) و (۱۷)). همچنین در تمامی سناریوها به‌جز سناریو ۴ که شرایط ترسالی و نرخ رشد ۱/۵ درصد می‌باشد، در سال‌های انتهایی مورد پیش‌بینی حجم آب زیرزمینی در سیاست ۴ نسبت به سیاست ۱ که کنترل مصرف از طریق مصرف‌کننده می‌باشد به‌جای کاهش، افزایش می‌یابد، زیرا در سیاست ۴ نسبت به سیاست ۱ آب بیشتری برای بخش شهری برداشت می‌گردد و این آب با ضریب برگشتی ۰/۷ دوباره به آب زیرزمینی ملحق و سبب تغذیه آبخوان می‌گردد و همچنین به این دلیل که اولویت استفاده از آب در مدل مطرح گردیده است به‌گونه‌ای که بعد از زهکشی و خروجی از مقطع خروجی، آب‌رسانی به بخش شهری در اولویت قرار دارد و بعد از آن آب ابتدا به بخش صنایع و معادن و سپس به بخش کشاورزی می‌رسد، در سیاست ۴ به‌علت برداشت بیشتر در بخش شهری آب کم‌تری در اختیار بخش کشاورزی قرار می‌گیرد و همین امر سبب کاهش مقدار آب قابل‌دسترس در بخش کشاورزی می‌شود و به‌ناچار و به‌علت نبود آب، برداشت آب برای کشاورزی کاهش می‌یابد. بنابراین با تغذیه آبخوان از آب برگشتی و کاهش خروج آب در بخش کشاورزی افت کم‌تری در آب زیرزمینی مشاهده می‌گردد.

www.SID.ir

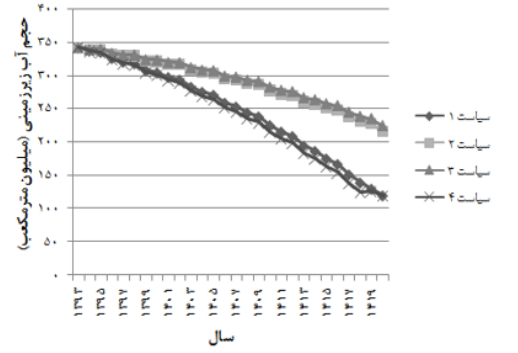
Archive of SID

جدول ۵- تغییرات سرانه آب شهری در سیاست‌های ۱، ۲ و ۳ نسبت به سیاست ۴ تحت سناریوهای اقلیمی و جمعیتی

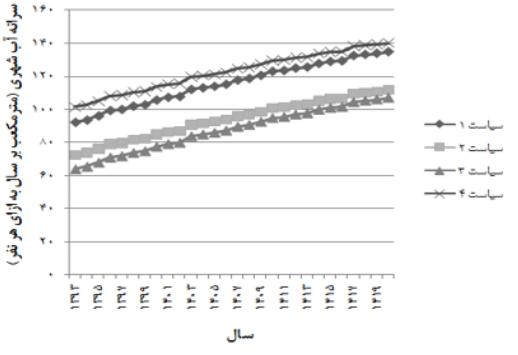
سناریو	کاهش روند افزایشی سرانه نسبت به سیاست ۴		
	سیاست ۱	سیاست ۲	سیاست ۳
۱	۶/۰۳	۲۳/۷۱	۲۹/۲۹
۲	۵/۹۶	۲۳/۶۰	۲۹/۱۱
۳	۵/۹۶	۲۳/۶۰	۲۹/۱۱
۴	۶/۷۴	۲۴/۷۹	۳۱/۰۲
۵	۶/۶۶	۲۴/۶۶	۳۰/۸۱
۶	۶/۶۶	۲۴/۶۶	۳۰/۸۱



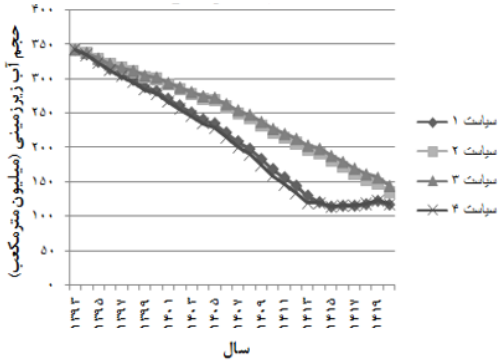
شکل ۶- سرانه آب شهری تحت سناریو ۱



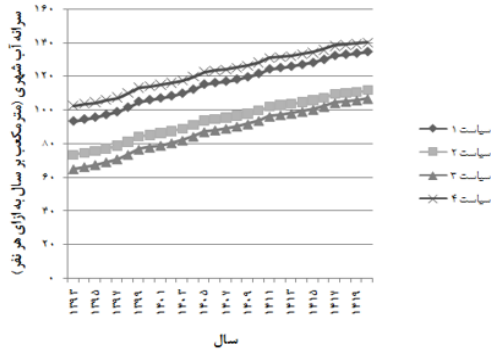
شکل ۷- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو ۱



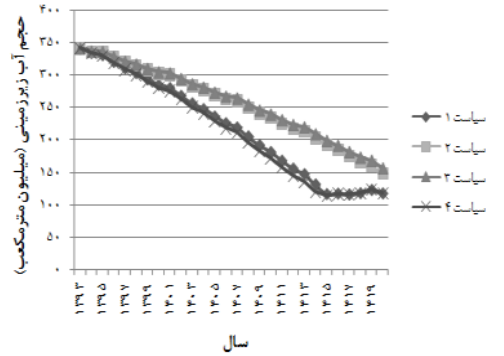
شکل ۸- سرانه آب شهری تحت سناریو ۲



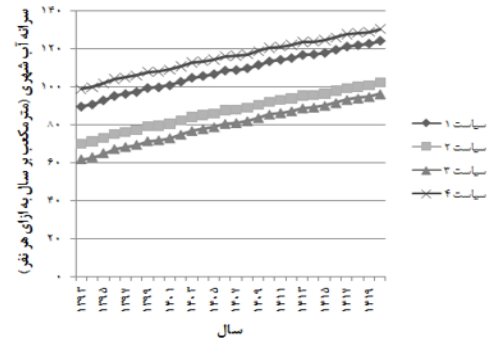
شکل ۹- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو ۲



شکل ۱۰- سرانه آب شهری تحت سناریو ۳



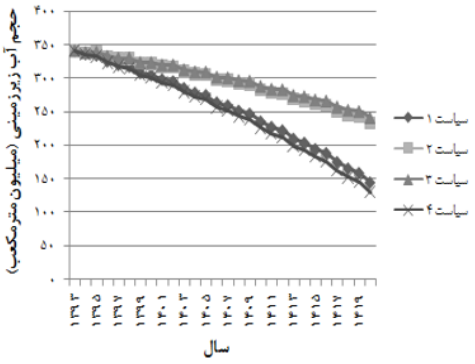
شکل ۱۱- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو ۳



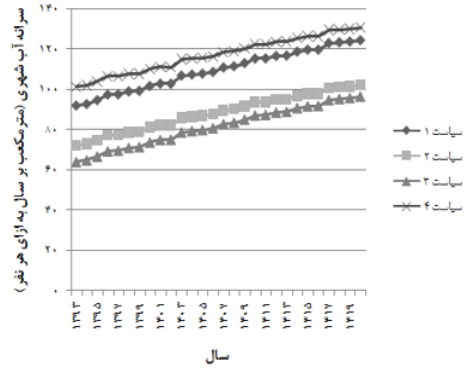
شکل ۱۲- سرانه آب شهری تحت سناریو ۴

www.SID.ir

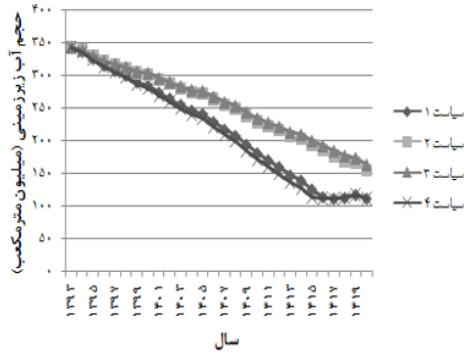
Archive of SID



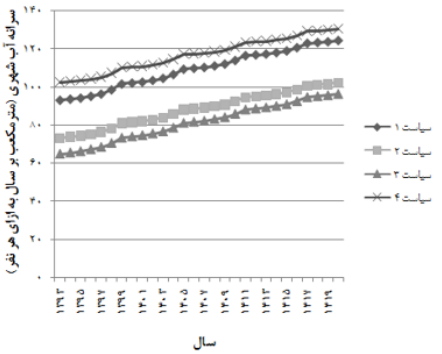
شکل ۱۳- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو ۴



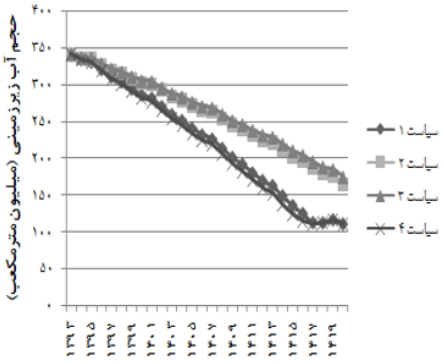
شکل ۱۴- سرانه آب شهری تحت سناریو ۵



شکل ۱۵- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو ۵



شکل ۱۶- سرانه آب شهری تحت سناریو ۶



شکل ۱۷- حجم آب زیرزمینی تحت سناریو ۶

۴- نتیجه‌گیری

امروزه به‌دلیل کاهش منابع آب در تمام مناطق دنیا به‌ویژه کشور ایران که در کمربند خشک جهان واقع شده است، مدیریت منابع آب و همچنین مدیریت تقاضای آب به‌عنوان یک راهکار اساسی در بخش آب مطرح می‌گردد. نتایج به‌دست آمده از مدل آب شهری نشان می‌دهد که در شهر بیرجند با داشتن اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی در این شهر، روش‌های مدیریتی در زمینه مصرف آب برای مقابله با مشکل کاهش منبع تأمین‌کننده آب این شهر امری ضروری تلقی می‌گردد. نتایج حاصل از سیاست‌های تعریف شده در این مطالعه حاکی از آن است که سیاست کنترل مصرف تنها از طریق مصرف‌کننده، سیاست کنترل مصرف تنها از طریق دولت و سیاست کنترل مصرف از طریق دولت و مصرف‌کننده در تمامی سناریوهای تعریف شده و درمجموع سال‌های تحت پیش‌بینی به‌طور میانگین به‌ترتیب به‌میزان ۲/۸۳، ۲۵/۷۸ و ۲۸/۴۷ درصد، سبب افزایش حجم آب زیرزمینی نسبت به شرایط معمول منطقه خواهد شد. همچنین سیاست‌های تعریف شده در این مطالعه نشان می‌دهد که سیاست‌های دولتی از قبیل کاهش تلفات شبکه توزیع و خطوط انتقال، کاهش روزهای تعطیل رسمی کشور، استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری در بخش کشاورزی، افزایش تعرفه آب، استفاده از قطعات کاهنده مصرف در بخش‌های عمومی مانند مدارس، دانشگاه‌ها و ادارات دولتی و .... و همچنین اجرای طرح جداسازی شبکه آب‌رسانی فضای سبز از بخش آب شهری و سیاست‌های شهروندان که شامل صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق کاهش زمان استحمام و استفاده از قطعات کاهنده مصرف می‌باشد، اگرچه هرکدام از دو سیاست دولت و مصرف‌کننده در کاهش مصرف آب و همچنین جلوگیری از کاهش حجم آب زیرزمینی دشت بیرجند مؤثر می‌باشند، اما با این حال این سیاست‌ها هنگامی اثر قابل‌توجهی در کاهش مصرف دارند که با یکدیگر تلفیق گردند و به سیاست کنترل مصرف از طریق کنترل توأمان دولت و مصرف‌کننده تبدیل شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تعامل

www.SID.ir

Archive of SID

دولت و مصرف‌کننده در زمینه کاهش مصرف بی‌رویه آب، یکی از روش‌های مدیریتی کارآمد در کنترل منابع آبی کشور می‌باشد.

۵- مراجع

آقاحسینعلی‌شیرازی م، اکبرپور ا، "برآورد تقاضای روزانه آب شهری با استفاده از آستانه‌های بارندگی و درجه حرارت برای تعیین مصرف پایه (مطالعه موردی: شهر بیرجند در استان خراسان جنوبی)"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

بهجت س، ضرغامی م، "شبیه‌سازی عرضه و تقاضای آب شهری تبریز به‌روش پویایی سیستم"، هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۰.

حسین‌زاده م، "توانایی‌های ژئومرفولوژیکی توسعه شهری بیرجند"، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیای طبیعی، ۱۳۸۴.

خبرگذاری ایمنا، "آب شرب، بحران امروز، فاجعه فردا/ ۲"، ۱۳۹۳ [برخط]. http://imna.ir/vdcc44qs02bq0x8 تاریخ آخرین دسترسی ۱۳۹۳/۶/۸.

صلوی‌تبار ع ر، ضرغامی م، ابریشم‌چی ا، "مدل پویایی سیستم در مدیریت آب شهری تهران"، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۸۵، ۵۹، ۱۲-۲۸.

فرتوک‌زاده ح ر، قجاوند س رجبی‌نهوجی م، "الگوسازی پویای سیستم آب منطقه تهران با هدف مدیریت مؤثر"، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۹۴، ۲۶ (۲)، ۲۳-۳۶.

محمدی ح، "رویکرد منطقه‌ای در تحلیل آسیب‌پذیری سیستم منابع آب دشت بیرجند به کمبود آب"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۲.

ملکی‌نسب ا، تابش م، قالیباف‌سرشوری م، "بررسی میدانی تأثیر نصب تجهیزات و شیرآلات کم‌مصرف در کاهش مصرف آب خانگی"، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳۸۹، ۶ (۲)، ۴۵-۳۶.

مومنی ا، "مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن چندمنظوره با استفاده از روش پویایی سیستم"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۳.

ناصری ح، آدینه‌وند ر، صلوی‌تبار ع، "مدل‌سازی پویای سیستم در مدیریت بهره‌برداری آبخوان دشت تبریز"، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، اسفند ۱۳۹۰.

واعظ‌تهرانی م، منعم م ج، باقری ع، "توسعه مدل به‌سازی شبکه-های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستم‌ها"، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۳۸۹، ۱۱ (۴)، ۵۶-۳۵.

Chang UT, Liu H L, Bao AM, Chen X, Wang L, "Evaluation of urban water resource security under urban expansion using a system dynamics model", Water Science & Technology: Water Supply, 2015, 15 (6), 1259-1274.

Fletcher EJ, ''The use of system dynamics as a decision support tool for the management of surface water resources", Proceedings of the 1st International Conference on New Information Technology for Decision-Making in Civil Engineering, University of Quebec, Montreal, Canada, 1998, 909-920.

Forrester JW, "Industrial dynamics, productivity press", Portland Oreg, 1961.

Nassery HR, Adinehvand R, Salavitabar A, Barati R, "Water management using system dynamics modeling in semi-arid regions", Civil Engineering Journal, 2017, 3 (9), 766-778.

Qiang F, Tianxiao L, Dong L, He D, "Simulation study of the sustainable utilization of urban water resources based on system dynamics: a case study of Jiamusi", Water Science & Technology: Water Supply, 2016, 16 (4), 980-991.

Sterman JD, "Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world", Boston: Irwin/McGraw-Hill Higher Education, published by Jeffrey J. Shelstad, 2000.

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

Wei T, Lou I, Yang Z, Li Y, "A system dynamics urban water management model for Macau, china", Journal of Environmental Sciences, 2016, 50, 117-126.

Xi X, Poh KL, "Using system dynamics for sustainable water resources management in singapore", Procedia Computer Science, 2017, 16, 157-166.

www.SID.ir

Archive of SID

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 52 (2022), Issue 1 (Spring), 55-66

EXTENDED ABSTRACT

Modeling the Effect of Consumption Pattern on Per Capita of Urban Water with System Thinking (Case Study: City of Birjand)

Fatemeh Poursalehi[a], Abolfazl Akbarpour[b*], Sayyed Reza Hashemi[c], Hadigheh Mohammadi[a]

[a] *Water Resource Engineering, University of Birjand, Iran*
[b] *Civil Engineering Department, University of Birjand, Iran*
[c] *Water Engineering Department, University of Birjand, Iran*

Received: 14 March 2019; **Accepted:** 12 January 2020

Keywords:
Fatigue, Stress concentration factor (SCF), Tubular KT-joint, Internal ring-stiffener, Parametric equation.

1. Introduction

Nowadays, considering the scarcity of water resources and the increasing growth of population and water demand, Water resource management be deemed to be essential. One way for managerial to deal with the crisis of water scarcity and protect existing water resources, is the management of the Demand and water use in the urban sector. Iran, with an average annual rainfall of 250 mm, is one of the dry countries in the world. The rapid growth of the population over the past few decades and the lack of attention to its control over the country's planning priorities and the inappropriate pattern of energy and water consumption have faced Iran with serious challenges in this regard. Considering the significant reduction in water resources available on a global scale and the importance of achieving sustainable development goals, the study of factors affecting water resource management has been considered more than ever. In order to compare the country's situation in the region, comprehensive information is needed on the amount of per capita consumption and the minimum amount of water needed to achieve a human development pattern.

So far in Iran, a study has not been conducted to establish a systemic relationship between the parameters affecting the consumption pattern in the urban sector and modeling the interaction between the pattern of consumption and per capita water as well as the sources of urban water supply using a dynamic system approach.

2. Methodology

2.1. *System dynamic*

The system dynamic method is a modeling and simulation methodology that is specially designed to solve long-term, chronic and dynamic management problems. This approach focuses on understanding how to interact with physical processes, information flows, and management policies how these factors create a dynamic variable. The set of feedback relationships between these compounds expresses the structure of the system.

2.2. *Vensim software*

Vensim software is a simulation software and a graphical object-oriented modeling environment. In this software, the graphs are constructed with a series of first-order pair differential (often nonlinear) equations,

* Corresponding Author
E-mail addresses: fatemehpursalehi@birjand.ac.ir (Fatemeh Poursalehi), akbarpour@birjand.ac.ir (Abolfazl Akbarpour), srezahashemi@yahoo.com (Sayyed Reza Hashemi), hadigheh_mohammadi@yahoo.com (Hadigheh Mohammadi).

www.SID.ir

Archive of SID

which are solved by the Euler or Rang-Kuta method. The modeling method in this software is to make the progress of the generalities to details so that the functions and connected components are gradually increased until a complete model gets ready to run.

This study aimed to determine the role of water consumption patterns on the quantity of urban water resources city of Birjand in South Khorasan province was performed. In this study, having regard to the parameters of affecting water demand, such as population, temperature, precipitation, holidays, water price, reducing consumption components and bath time and also with System Thinking and Vensim software, was examined the effect of these parameters on urban water use and their effect on groundwater resources city of Birjand under the different scenarios, and also-defined policies for the protection and preservation of the city water supplier sources.

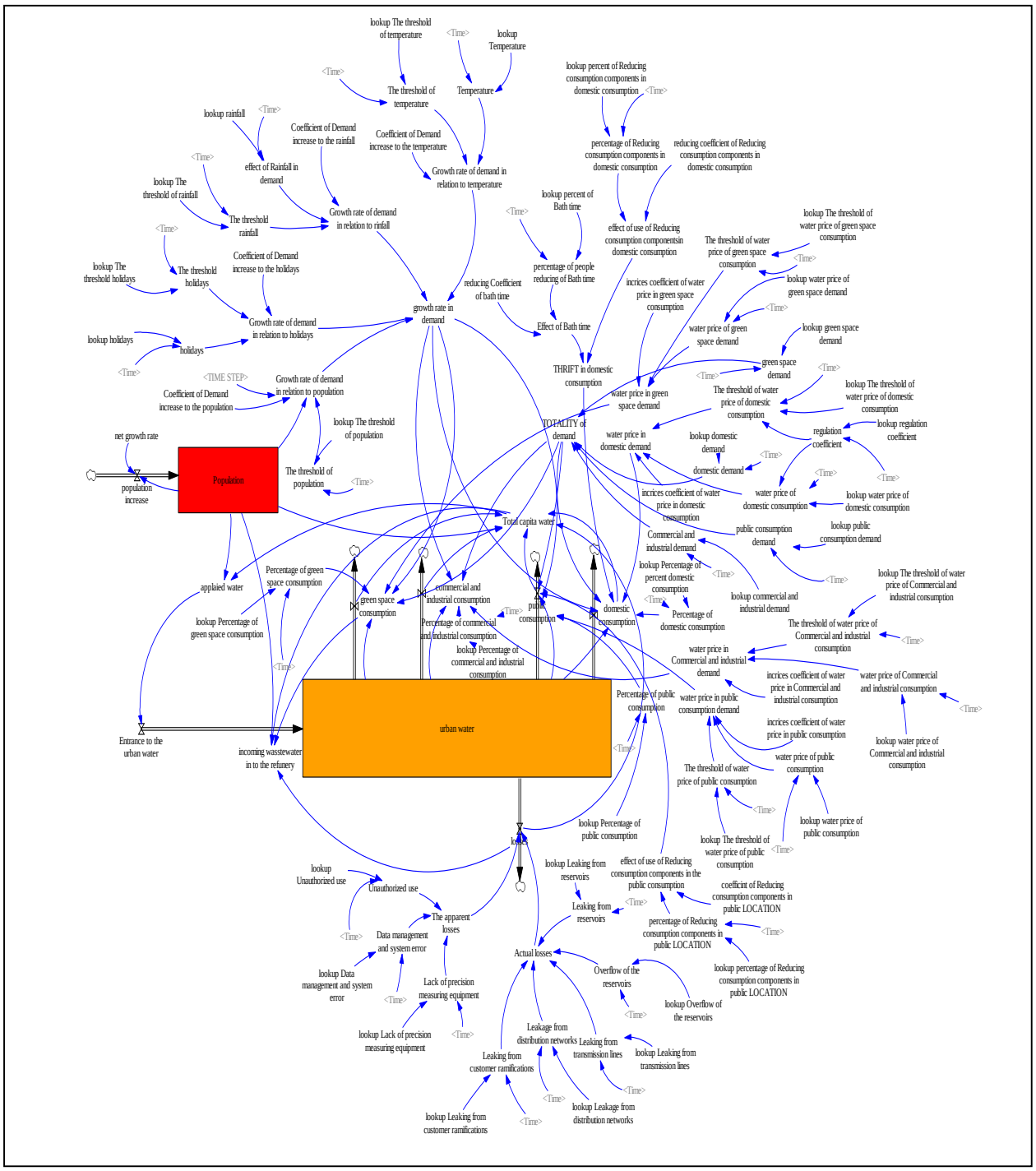


Fig. 1. Urban water model

www.SID.ir

Archive of SID

3. Results and discussion

The results show that, generally per capita urban water is increasing every year, with the difference that considering the upon defined policies reduce this increase, so that in all scenarios, in policy 3 that the consumption management policy is simultaneously through the government and consumer, about 20-30% relative to policy 4 which is the usual condition of the study area, we face a per capita decline each year. Of course, it should be noted that the annual of difference in water per capita in urban decreases in both policies 3 and 4 due to the decline of groundwater in the Birjand Plain.

The results also indicate that the volume of underground water in the Birjand plain, which is the main source of water supply in Birjand, has fallen in different scenarios, but this decline in policy 4, which is in fact the same as the current situation in the study area, compared to other policies, it has a steeper slope. It is also noticeable that this drop in the groundwater reservoir decreases dramatically by applying management policies, so that in the policy of 3, 2 and 1, there is a lower drop in the reservoir.

4. Conclusions

The results of these options show that with the continuation of existing conditions in the region and without change in the pattern of urban water consumption in the city of Birjand, will be a growing trend of per capita water consumption of citizens and this causes will be picked up a substantial amount of groundwater, so that be predicted the city in 1420 compared to 1392 in the six scenarios is defined respectively 231.85, 233.334, 233.335, 220.27, 239.26 and 239.25 million cubic meters be confronted with reservoir shortage. Therefore it is necessary that by adopting various policies in both sections of government and the consumer and applying the proper and efficient management techniques, to minimize annual groundwater decline in the city.

5. References

Sterman JD, “Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. Boston: Irwin/McGraw-Hill Higher Education”, Published by Jeffrey J. Shelstad, 2000.

Vlachos D, Georgiadis P, Iakovou E, “A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains”, Computers & Operations Research, 2007, 34 (2), 367-394.

www.SID.ir