کنگره استحصال آب و آبخیزداری
Water Harvesting and Watershed Management Congres
سومین همایش بین المللی سامانه های سطوح آبگیر باران
3rd International Conference on Rainwater Catchment Systems
February 18-19, 2015 Birjand, Iran ۲۹ و ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۳ بیرجند

بررسی سیستمی عوامل مؤثر بر سرانه‌ی آب شهری (مطالعه موردی : شهر بیرجند)

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

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه بیرجند

۳-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه بیرجند

۴- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند

چکیده

رشد روزافزون جمعیت، خشکسالی‌های پی در پی، کمبود بارش و برداشت بی رویه از منابع آبی سبب گردیده تا کشور ایران با بحران کم آبی مواجه گردد. یکی از راه‌های مقابله با این بحران مدیریت مصرف به ویژه در بخش آب شهری می‌باشد که این امر در ابتدا با شناخت عوامل مؤثر بر کاهش و یا افزایش مصرف محقق می‌گردد. در این مطالعه عوامل اثرگذار در تغییر میزان مصرف آب شهری در شهر بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی در نرم‌افزار Vensim و به صورت سیستمی بررسی و مدل گردید. نتایج نشان داد که افزایش پارامترهایی مانند جمعیت، درجه‌ی حرارت، روزهای تعطیل، فشار آب(فشار شبکه‌ی توزیع) و زمان استحمام و همچنین کاهش پارامترهایی مانند بارندگی، درآمد افراد، قیمت آب و همچنین کاهش استفاده از قطعات کاهنده‌ی مصرف سبب افزایش مصرف آب و افزایش سرانه‌ی آب شهری می‌گردد. به گونه‌ای که تغییرات هم زمان این پارامترها نسبت به حد آستانه‌ی آن‌ها و شرایط موجود در منطقه به میزان یک واحد افزایش در جمعیت، درجه حرارت، فشار آب، درآمد افراد، قیمت آب، استفاده از قطعات کاهنده‌ی مصرف آب در بخش‌های خانگی و عمومی و روزهای تعطیل و یک واحد کاهش در میزان بارندگی و زمان استحمام سبب افزایش ۲۴ درصدی سرانه‌ی آب شهری در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۹۲ گردید. بنابراین باید با استفاده از روش‌های صحیح مصرف مانند استفاده از قطعات کاهنده‌ی مصرف و کاهش زمان استحمام و همچنین کاهش نشت و تلفات آب و انتخاب یک تعرفه‌ی صحیح، مصرف آب به ویژه در سطح شهری و در مناطق خشک و نیمه خشک کشور را کنترل شود.

واژه‌های کلیدی: بحران کم آبی، حد آستانه، سرانه‌ی آب شهری، مدیریت مصرف، نرم‌افزار Vensim.

Factors Influencing on Per Capita Urban Water System (Case study: Birjand)

Fatemeh Porsalehi[1*], Abolfazl Akbarpor[2], Hadigheh Mohammadi[3], Seyed Reza Hashemi[4]

1- Water resources engineering graduate student, University of Birjand
2- Department of Civil Engineering, University of Birjand
3-Graduate Master of Water Resources Engineering, University of Birjand
4- Department of Water Engineering, University of Birjand

Abstract

Population growth, successive droughts, rain shortage and excessive harvesting of water resources have caused that Iran have faced water shortage crisis. One of the ways to deal with the crisis is management of consumption especially in urban water, this is obtained at first by identifying the influencing factors to reduce or increase in consumption. In this study, factors affecting on urban water consumption in the city of Birjand located in South Khorasan province is evaluated using Vensim software and in a systematic form. The results

* Corresponding Author's E-mail(poursalehi1990@gmail.com)

showed that the increase of parameters such as population, temperature, holidays, water pressure (the pressure distribution networks) and bath time and also reduction parameters such as rainfall, income, price, and reducing use of the reducing consumption components will increase the water consumption and per capita urban water. So that simultaneous changes in these parameters relative to their thresholds and existing conditions in the region led to the same population growth, temperature, water pressure, income, water cost, using the water consumption reducing components in domestic and public sectors and holidays and one unit decrease in rainfall, and the bath time has caused to 24 percent increase in per capita urban water in 2014 compared to 2013..

Keywords: Water shortage crisis, tthreshold, per capita urban water, consumption management, Vensim software.

الف-مقدمه

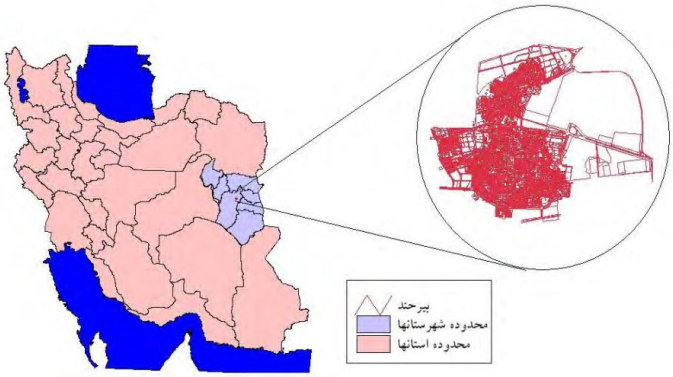
ایران در منطقه‌ی نیمه خشک قرار دارد و از آب و هوای نسبتاً متنوع برخوردار می‌باشد. بنابراین به منظور جلوگیری از اتلاف نزولات آسمانی و استفاده‌ی مناسب از آب‌های سطحی و زیرزمینی، لازم است دقت و برنامه‌ریزی کافی به عمل آید. برنامه‌ریزی دقیق به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب نیازمند کسب اطلاعاتی است که برخی از این اطلاعات از طریق برآورد تابع تقاضای آب شهری به دست می‌آید. تخمین تابع تقاضای آب این امکان را برای مسئولین و متصدیان فراهم می‌سازد تا با داشتن ذخایر آب، بتوانند به بهترین شکل، به نیازمندی‌های آب مصرفی شهروندان، با استفاده از حساسیت تقاضا نسبت به متغیرهای تأثیرگذار نظیر جمعیت یا هر متغیر دیگری پاسخ دهند (خوش اخلاق و شهرکی، ۱۳۸۷). مدیریت تقاضا به عنوان حلقه مکمل و متقابل مدیریت تولید برای ساماندهی و کمک به حل معضلاتی از جمله نبودن انگیزه برای کاهش مصرف، روش های نادرست مصرف و محدود بودن منابع آب تجدیدشونده و منابع ذخایر زیرزمینی، ضروری است و به نظر می‌رسد که راه حل مشکلات آب شهری تنها عرضه آب بیشتر نیست، بلکه بهترین روش اتخاذ سیاست‌ها و تدابیری مبتنی بر مدیریت تقاضا است که الگوی مصرف آب را تغییر دهد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۰). ملکی نسب و همکاران (۱۳۹۸)، با بررسی میدانی خود تأثیر نصب تجهیزات و شیرآلات کم مصرف آب خانگی در شهر شاندیز را بیان نمودند. براساس نتایج به دست آمده نصب شیرآلات جدید به طور متوسط ۲۶ درصد در کاهش کل مصرف آب خانگی اثرگذار است. اکبرپور و همکاران (۱۳۹۰)، با در نظر گرفتن سه مجتمع آبرسانی در استان خراسان جنوبی و فاکتورهایی از قبیل جمعیت، وضعیت اقلیمی، ابعاد فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و بعد مسافت، به بررسی عوامل مؤثر بر الگوی مصرف سرانه آب خانگی در جوامع روستایی پرداختند. نتایج نشان داد که شرایط فرهنگی و اقتصادی نسبت به بعد خانوار، شرایط اقلیمی و روزهای تعطیل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آقاحسینعلی شیرازی و اکبرپور (۱۳۹۰)، با استفاده از آستانه‌های بارندگی و درجه‌ی حرارت تقاضای روزانه‌ی آب شهری را برای تعیین مصرف پایه در شهر بیرجند برآورد نمودند. نتایج بیانگر این مطلب می‌باشد که مصرف پایه مستقل از اثرات اقلیمی بوده، درحالی‌که از روزهای هفته و روزهای تعطیل و غیر

تعطیل تأثیر می‌پذیرد. انصاری و صالح نیا (۱۳۹۱)، با به کارگیری تکنیک تست گاما به ارزیابی پارامترهای مؤثر بر مصرف آب شرب شهری در شهر نیشابور پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که متغیرهایی مانند متغیرهای مرتبط با عرصه و اعیان، وسایل و تجهیزات کم مصرف و پرمصرف، پارامترهای اقلیمی، خصوصیات سیستم توزیع و مشخصات مشترکان، پارامترهای اقتصادی و شرایط مصرف در دوره‌های قبل، بر مصرف دو ماهه، سالانه و مصرف بلند مدت مشترکان آب شرب مؤثر است. تا کنون در ایران مطالعه‌ای در زمینه‌ی بررسی سیستمی ارتباط الگوی مصرف آب و سرانه‌ی آب شهری انجام نشده است. در این مطالعه با استفاده از روش تفکر سیستمی و نرم‌افزار Vensim ارتباط سرانه‌ی آب شهری و عوامل مؤثر بر آن در شهر بیرجند به صورت سیستمی مدل گردیده است.

ب-مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی و دارای مساحت ۱۴۲۶۵ کیلومتر مربع است و از لحاظ موقعیت جغرافیایی در مختصات ´۵۳ ۳۲ عرض شمالی و ´۱۲ ۵۹ 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 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 ۱۳۰۲ و پیش از تهران، از لوله‌کشی آب شهری برخوردار گردید. آبخوان دشت بیرجند به عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین کننده‌ی آب این شهر محسوب می‌گردد.



شکل ۱ـ موقعیت شهر بیرجند در استان خراسان جنوبی (بدون مقیاس)- (آقا حسینعلی شیرازی و اکبرپور، ۱۳۹۰)

پویایی سیستم که یک روش شبیه سازی بازخور شیءگرا می‌باشد، در زمینه‌ی مدل‌سازی سیستم‌های منابع آب در حال پیشرفت است. این روش به عنوان یک روش مدل‌سازی، تاریخچه‌ی طولانی داشته که منشأ آن در کار فرستر[1] (۱۹۶۱) دیده می‌شود. وی این رویکرد را جهت درک مبانی استراتژیک در سیستم‌های پویای پیچیده ایجاد نمود. مدل‌های مبتنی بر پویایی سیستم با بینش فرآیندهای بازخور، درک بهتری از رفتار دینامیکی سیستم‌ها را برای کاربران این سیستم‌ها فراهم می‌آورند. این روش کاربردهای وسیعی به ویژه در زمینه‌ی مسائل اجتماعی و سیاسی دارد (فلچر[2]، ۱۹۹۸). نرم‌افزار VENSIM یک نرم‌افزار شبیه‌سازی و یک محیط مدل‌سازی گرافیکی شیءگرا می‌باشد. در این نرم افزار نمودارها با یک سری از زوج معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول (اغلب غیرخطی) که با روش اولر یا رانگ کوتا حل می شوند، ساخته می شود. روش مدل‌سازی در این نرم افزار به این صورت است که پیشرفت از کلیات به جزئیات صورت می‌گیرد به طوری که به صورت تدریجی توابع و اجزای متصل شده بیشتر می‌شود تا یک مدل کامل شده و برای اجرا آماده گردد (مؤمنی، ۱۳۸۳).

مدل آب شهری (urban water):

به طور کلی آبی که به عنوان آب مصرفی بخش شهری از آبخوان بیرجند خارج می‌شود، در پنج بخش خانگی، تجاری و صنعتی، فضای سبز، عمومی و تلفات به مصرف می‌رسد. برای نشان دادن میزان آب ورودی و خروجی به بخش شهری از متغیر حالت استفاده گردیده است. فرمول متغیر آب شهری به صورت زیر تعریف شده است:

(رابطه ۱)

$$\begin{aligned}\text{Urban water} = \text{IF THEN ELSE}(&\text{urban water} > 0\text{: AND: Entrance to the urban water}\\ &> \text{domestic consumption} + \text{commercial and industrial consumption}\\ &+ \text{green space consumption} + \text{public consumption}\\ &+\text{losses, Entrance to the urban water} - \text{domestic consumption}\\ &- \text{commercial and industrial consumption} - \text{green space consumption}\\ &-\text{public consumption} - \text{losses}, 0)\end{aligned}$$

Initial Value = 0

[1]Forrester
[2] Fletcher

Entrance to the urban water consumption، domestic consumption، commercial and industrial consumption ، green space consumption و public consumption به ترتیب ورودی به آب شهری یا حجم آب برداشت شده از آب زیرزمینی، مصرف خانگی، مصرف تجاری و صنعتی، مصرف فضای سبز و مصرف عمومی را نشان می‌دهد.

نرخ رشد تقاضا (growth rate in demand):

این نرخ رشد براساس پارامترهایی مانند جمعیت شهر، درجه حرارت، بارندگی، روزهای تعطیل، درآمد افراد و فشار آب (فشار شبکه‌ی توزیع) که بر افزایش و یا کاهش میزان تقاضا و یا مصرف اثر می‌گذارند، به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

(رابطه ۲)

$$\begin{aligned}\text{growth rate in demand} &= \text{Growth rate of demand in relation to population}\\ &+ \text{Growth rate of demand in relation to temperature}\\ &+ \text{Growth rate of demand in relation to rinfall}\\ &+ \text{Growth rate of demand in relation to holiday}\\ &- \text{Growth rate of demand in relation to income}\\ &+ \text{growth rate in water pressure}\end{aligned}$$

نرخ رشد تقاضا نسبت به جمعیت شهر (Growth rate of demand in relation to population):

رشد سریع جمعیت، مهم‌ترین عامل کاهش سرانه‌ی آب تجدید شونده‌ی کشور در طول هشتاد سال گذشته بوده است. جمعیت ایران در طی این هشت دهه، حدود ۶/۸ برابر شده و از کمتر از ۱۰ میلیون نفر در سال ۱۳۰۰ به بیش از ۷۰ میلیون نفر در حال حاضر رسیده است. میزان سرانه‌ی آب تجدید پذیر کشور از میزان حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۰۰ به حدود ۱۹۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۸۰ تقلیل یافته و در صورت ادامه‌ی این روند، وضعیت در آینده به مراتب بدتر خواهد شد (ببران و هنربخش، ۱۳۸۷).

ضریب تغییر تقاضا نسبت به جمعیت (Coefficient of change in Demand to the population):

با ایجاد یک رابطه‌ی رگرسیونی ساده بین جمعیت و مصرف آب به صورت سالانه، ضریب $۱/۵۰۳۱۷ * ۱۰^{-۵}$ به عنوان ضریب افزایش تقاضا به ازای افزایش و یا کاهش جمعیت در مدل قرار داده شد.

(رابطه ۳)

$$y = 105.22(x) - 7 * 10^6$$

نرخ رشد تقاضا نسبت به درجه حرارت (Growth rate of demand in relation to temperature):

به طور کلی درجه‌ی حرارت به طور مستقیم بر مقدار مصرف آب تأثیر می‌گذارد مگر در مناطق سردسیر که گاهی به دلیل کاهش دما نتیجه‌ی معکوس دارد. یعنی یخبندان و کاهش دما به زیر صفر موجب ترکیدگی و هدررفت آب می‌شود. میزان مصرف آب جهت مصارفی همچون شرب و شستشو (مصرف خانگی)، آبیاری چمن‌ها، استحمام، آبیاری زمین‌های کشاورزی، سرما، تهویه‌ی مطبوع و دیگر مصارف آب مستقیماً از درجه‌ی حرارت تأثیر می‌پذیرند (آقا حسینعلی شیرازی و اکبرپور، ۱۳۹۰). با توجه به مطالعه‌ی انجام شده توسط آقا حسینعلی شیرازی و اکبرپور(۱۳۹۰)، آستانه‌ی درجه‌ی حرارت برای شهر بیرجند معادل ۱۴/۵۲۷ درجه می‌باشد. به گونه‌ای که با افزایش درجه حرارت از این مقدار آستانه، مصرف آب روزانه‌ی شهر بیرجند افزایش می‌یابد، اما کاهش دما به زیر حد آستانه اثری در افزایش و یا کاهش مصرف آب ندارد.

ضریب تغییر تقاضا نسبت به درجه حرارت (Coefficient of change in Demand to the temperature):

براساس رابطه‌ی رگرسیونی پیشنهاد شده‌ی آقا حسینعلی شیرازی و اکبرپور (۱۳۹۰)، که از رابطه‌ی میان دو متغیر عکس مصرف روزانه‌ی آب و بیشینه‌ی درجه‌ی حرارت ایجاد شده است، مقدار افزایش مصرف آب به ازای یک درجه افزایش در دمای شهر معادل ۰/۰۲۳۰۹ محاسبه گردید:

(رابطه ۴)

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

نرخ رشد تقاضا نسبت به بارندگی (Growth rate of demand in relation to rinfall):

بارندگی بیشترین تأثیر را بر مصرف آب دارد اما تعیین این تأثیرات بدلیل پراکندگی طبیعی بارندگی دشوار است. با این حال گاهی افزایش بارش موجب کاهش مصرف آب می‌شود. مهم‌ترین تأثیر بارش کاهش مصرف مربوط به آبیاری فضای سبز و شستشوی خیابان‌ها می‌باشد. البته گاهی به دلیل افزایش شستشوی ماشین‌ها، حیاط منازل و ..... که ناشی از بارندگی در شهرهایی با آلودگی هوا می‌باشد میزان مصرف را در روزهای بعد از بارندگی افزایش چشمگیری می‌دهد (آقا حسینعلی شیرازی و اکبرپور ۱۳۹۰). حد آستانه‌ی بارندگی توسط این محقق معادل ۳/۳۰۵ میلی‌متر برآورد گردید. یعنی با کاهش بارندگی به زیر حد آستانه‌ی فوق، مصرف روزانه‌ی 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 سالانه‌ی آب نیز مؤثر می‌باشد.

ضریب تغییر تقاضا نسبت به بارندگی (Coefficient of change in Demand to the rainfall):

با استفاده از رابطه‌ی رگرسیونی دو متغیر عکس مصرف روزانه و بارندگی (آقا حسینعلی شیرازی و اکبرپور (۱۳۹۰))، ضریب افزایش تغییر نسبت به بارندگی معادل ۰/۲۸۲۵۴۹محاسبه شد:

(رابطه ۵)

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

نرخ رشد تقاضا نسبت به روزهای تعطیل (Growth rate of demand in relation to holidays):

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 به مدل آب شهری وارد گردید.

ضریب تغییر تقاضا نسبت به روزهای تعطیل (Coefficient of change in Demand to the holidays):

تحقیقات آقا حسینعلی 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 آقاحسینعلی شیرازی (۱۳۹۰)، ابتدا نسبت مصرف آب در هریک از روزهای هفته به مصرف کل محاسبه شد، سپس با محاسبه‌ی 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 به عنوان ضریب افزایشی تقاضا به ازای روزهای تعطیل به مدل اضافه گردید.

نرخ رشد تقاضا نسبت به درآمد افراد (Growth rate of demand in relation to income):

درآمد افراد با توجه به اینکه ارتباط مستقیمی با توانایی آن‌ها در تأمین هزینه‌های ناشی از مصرف آب دارد، به عنوان یکی از پارامترهای اثرگذار بر مصرف آب مطرح می‌گردد. اما بررسی داده‌های مربوط به درآمد افراد (درآمد خانوار)، بعد خانوار و مصرف آن‌ها در شهر بیرجند نشان داد که درآمد و مصرف با یکدیگر ارتباط مستقیمی ندارند، به این مفهوم که با افزایش درآمد، مصرف آب کاهش می‌یابد. علت این رابطه‌ی معکوس را می‌توان با پارامتر دیگری مانند شاغل بودن سایر افراد خانواده علاوه بر سرپرست خانوار که بر افزایش درآمد خانوار و همچنین کاهش زمان حضور افراد خانواده در منزل و بالتبع آن کاهش مصرف اثر می‌گذارد، مرتبط دانست.

ضریب تغییر تقاضا نسبت به درآمد افراد (Coefficient of change in Demand to the income) :

بر اساس رابطه‌ی رگرسیونی میان دو متغیر درآمد خانوار و مصرف آب، ضریب کاهش مصرف به ازای یک ریال افزایش در درآمد خانوار معادل $۱/۷۱۵۵۶ * ۱۰^{-۸}$ برآورد شده است.

(رابطه ۶)

$$y = -2 * 10^{-6}(x) + 116.58$$

نرخ رشد تقاضا نسبت به فشار آب (Growth rate of demand in relation to water pressure):

با توجه به اینکه اضافه شدن فشار در شبکه‌ی توزیع موجب ازدیاد مصرف و به خصوص تلفات آب می‌گردد، باید دیدگاه کلی در طراحی شبکه‌های توزیع به صورتی باشد که با در نظر داشتن جنبه‌های فنی و اقتصادی، فشار در سطوح عمده‌ی تحت پوشش، با رعایت مقادیر حداقل لازم، کمترین مقدار ممکن باشد (مبانی و ضوابط طراحی طرح‌های آبرسانی شهری، ۱۳۷۱).

ضریب تغییر تقاضا نسبت به فشار آب (Coefficient of change in Demand to the water pressure):

با افزایش فشار آب در شبکه‌ی توزیع، میزان مصرف آب افزایش می‌یابد. علت این امر بخشی مربوط به افزایش آهنگ نشت آب در شیرآلات و نقاط شکستگی و ترک خوردگی در لوله‌ها و اتصالات بوده و بخش دیگر مربوط به خروج حجم بیشتر آب از واحدهای مصرف (ظرفشویی، دستشویی و غیره) در واحد زمان است. به طور مثال، مشاهده شده که با ۱۴ متر افزایش در هد فشار آب در شبکه، میزان مصرف آن ۳۰ درصد افزایش یافته است (تائبی و چمنی، ۱۳۸۴). با استناد به این شواهد میزان ضریب افزایش تقاضا و یا مصرف به ازای افزایش ۱ متر در فشار شبکه، معادل ۰/۰۲۱۴۲۹ برآورد گردید. (البته با توجه به مشخص نبودن حد آستانه‌ی فشار (فشاری که با اضافه شدن ۱۴ متر به آن، ۳۰ درصد افزایش در مصرف ایجاد گردد) فرض گردید که این شرایط در حد آستانه‌ی فشار معادل حداقل فشار موجود در شبکه‌ی توزیع برقرار است.)

صرفه‌جویی در بخش خانگی (thrift in domestic consumption):

صرفه‌جویی در دو حالت کاهش زمان استحمام و استفاده از قطعات کاهنده‌ی به مدل معرفی گردید:

اثر زمان استحمام (Effect of Bath time):

با توجه به اینکه حدود ۳۰ درصد مصارف آب خانگی به استحمام تعلق دارد اگر ۵ دقیقه زمان استحمام را کاهش دهیم، ۲۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی خواهیم کرد (خبرگذاری ایمنا، ۱۳۹۳).

اثر استفاده از قطعات کاهنده مصرف در بخش خانگی (effect of use of Reducing consumption components in domestic consumption):

یکی از روش‌های مؤثر کاهش مصرف آب شرب، استفاده از تجهیزاتی است که بدین منظور طراحی شده‌اند و به کارگیری این تجهیزات موجب کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصد مصرف آب در بخش‌های مختلف می‌شود. با استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف آب، فشار خروجی و قطر آب هیچ تفاوت ظاهری با حالت قبل ندارد و از آنجا که حدود ۵۰ درصد هوا با آب مخلوط می‌شود، از نظر روانی کمبود فشار آب احساس نمی‌شود. این اقدام افزون‌بر کاهش مصرف آب، کاهش هزینه را نیز به دنبال دارد (فلاح، ۱۳۹۳).

قیمت آب (water price):

یکی از روش‌های مؤثر در مدیریت آبرسانی شهری، به منظور مهار کردن مصرف آب و حفاظت و حراست از این منابع گرانقدر مدیریت تقاضاست. مدیریت تقاضا دارای دو بخش مدیریت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. مدیریت نرم‌افزاری از این جهت که کارایی بیشتری دارد و با هزینه‌های اجرایی کمتری قابل اجراست، معمولاً ترجیح داده می‌شود. قیمت‌گذاری صحیح آب از جمله روش‌های نرم‌افزاری مدیریت تقاضای آبرسانی شهری است (جوادیان‌زاده، ۱۳۸۱).

ضریب افزایشی و یا کاهشی اثر قیمت آب بر مصرف آب در بخش خانگی (coefficient of water price in domestic demand):

ضریب تغییرات مصرف آب به سبب تغییر در قیمت آب براساس رابطه‌ی رگرسیونی زیر معادل $۱/۸۴۸۴۶ * ۱۰^{-۵}$ برآورد گردید.

(رابطه ۷)

$$y = -1 * 10^{-6}(x) + 0.0541$$

ضریب افزایشی و یا کاهشی اثر قیمت آب بر مصرف آب در بخش تجاری و صنعتی (coefficient of water price in Commercial and industrial demand):

ضریب افزایشی و یا کاهشی اثر قیمت آب بر مصرف تجاری و صنعتی براساس رابطه‌ی رگرسیونی زیر معادل $۶/۶۱۲۰۱ * ۱۰^{-۵}$ در نظر گرفته شد.

(رابطه ۸)

$$y = -4 * 10^{-6}(x) + 0.0605$$

ضریب افزایشی و یا کاهشی اثر قیمت آب بر مصرف آب در بخش فضای سبز(coefficient of water price in green space demand):

ضریب افزایشی و یا کاهشی اثر قیمت آب بر مصرف آب در بخش فضای سبز با استفاده از رابطه‌ی رگرسیونی زیر معادل $۳/۳۵۵۲۱ * ۱۰^{-۵}$ در نظر گرفته شد.

(رابطه ۹)

$$y = -33.551(x) + 1 * 10^{6}$$

ضریب افزایشی و یا کاهشی اثر قیمت آب بر مصرف آب در بخش عمومی (coefficient of water price in Public demand):

متغیر ضریب افزایشی و یا کاهشی اثر قیمت آب در بخش مصرف عمومی با استفاده از رابطه‌ی رگرسیونی زیر معادل $۴/۰۸۱۸ * ۱۰^{-۵}$ برآورد گردید.

(رابطه ۱۰)

$$y = -4 * 10^{-6}(x) + 0.098$$

ضریب کاهشی استفاده از قطعات کاهنده مصرف در مکان‌های عمومی (coefficient of reducing consumption components in the public location):

در این قسمت نیز ضریب کاهشی مصرف آب به دلیل استفاده از قطعات کم‌مصرف، معادل ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است.

تلفات (losses):

به طور کلی تلفات آب به دو بخش تلفات ظاهری و تلفات واقعی تقسیم می‌شوند.

(رابطه ۱۱)

$$\text{losses} = \text{Actual losses} + \text{The apparent losses}$$

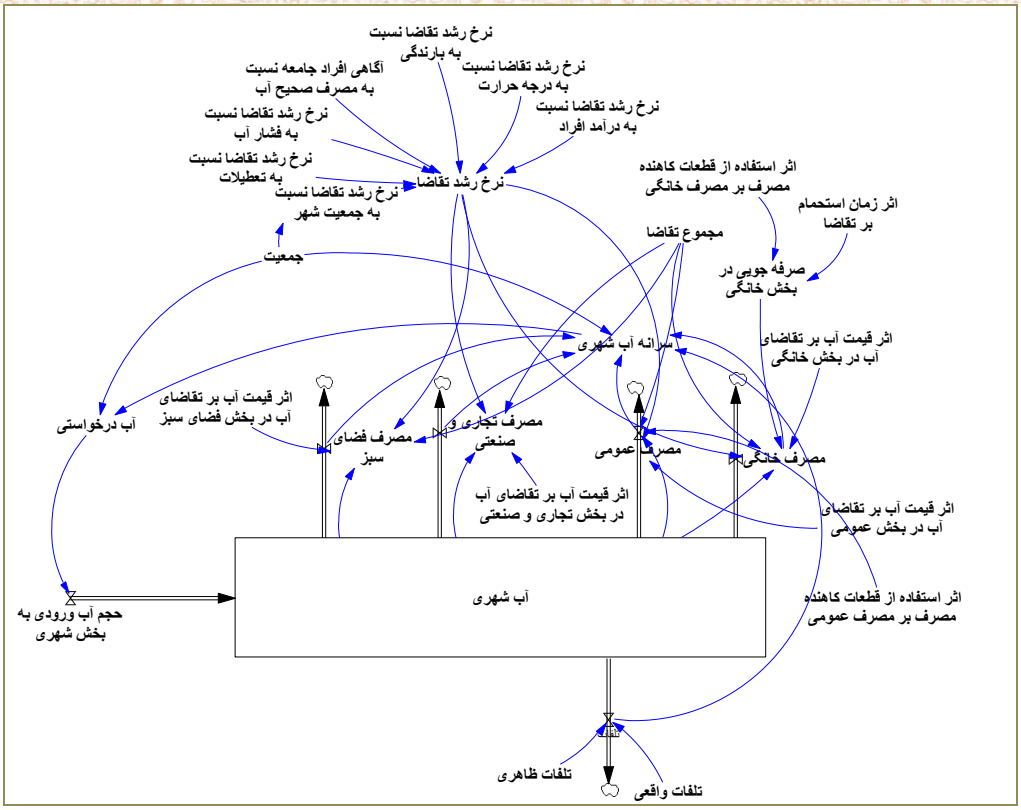
تلفات ظاهری (The apparent losses) یا همان تلفات غیر فیزیکی به مجموع تلفات ناشی از مصارف غیرمجاز، خطای مدیریت داده‌ها و سیستم و عدم دقت تجهیزات اندازه‌گیری اطلاق می‌شود. همچنین مجموع تلفات ناشی از نشت از شبکه‌ی توزیع، نشت از خطوط انتقال، سرریز از مخازن، نشت از مخازن و نشت از انشعابات مشترکین، تلفات واقعی یا تلفات فیزیکی (Actual losses) را ایجاد می‌نماید.

سرانه (Total capita water) :

سرانه عبارت است از مجموع مصارف خانگی، تجاری و صعتی، فضای سبز، عمومی و تلفات به ازای هر نفر از جمعیت شهر.

(رابطه ۱۲)

$$\begin{aligned}\text{Total capita water} &= (\text{commercial and industrial consumption} + \text{domestic consumption} \\ &+ \text{green space consumption} + \text{losses} + \text{public consumption})/\text{Population}\end{aligned}$$

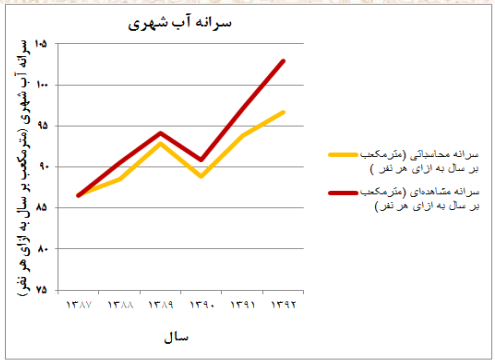


شکل ۲ـ مدل آب شهری

پس از ساخت مدل سیستمی مراحل صحت سنجی مدل شامل آزمون ارزیابی ساختار، آزمون سازگاری واحدها، آزمون شرایط حدی و آزمون تکرار رفتار و همچنین آنالیز حساسیت انجام گردید.

ج-نتایج و بحث

نتیجه آزمون تکرار رفتار که تطابق شبیه‌سازی مدل با شرایط واقعی را مورد بررسی قرار می‌دهد، به صورت زیر حاصل گردید:



شکل ۳ـ 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. (اختلاف سرانه‌ی آب شهری در دو حالت محاسباتی و مشاهده‌ای نیز به علت وجود پارامترهایی با مقادیر اعشاری در مدل و رند شدن این اعداد توسط مدل، ایجاد شده است که این میزان تفاوت ایجاد شده توسط مدل قابل اغماض می‌باشد.)

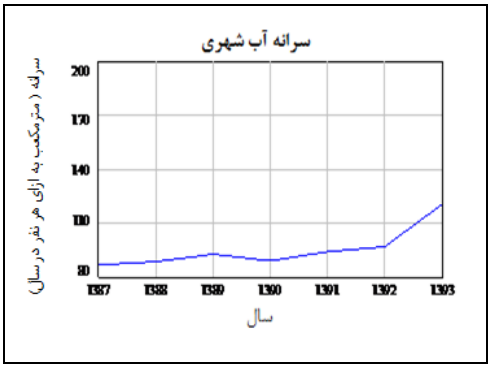
بررسی‌ها در زمینه‌ی آنالیز حساسیت ضرایب مؤثر بر افزایش و یا کاهش تقاضا مانند بارندگی، درجه‌ی حرارت، روزهای تعطیل و جمعیت شهر نشان می‌دهد که با توجه به نزدیک بودن ضریب الاستیسیته‌ی محاسبه شده به صفر می‌توان نتیجه‌گرفت که این پارامترها نسبت به تغییر در پارامتر ورودی حساس نیستند. بنابراین مبحث عدم قطعیت در آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار نمی‌باشد.

جدول ۱ـ 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 مدل نشان می‌دهد که به طور کلی سرانه‌ی آب شهری در شهر بیرحند رو به افزایش می‌باشد. همچنین سرانه‌ی آب شهری از ۹۶/۶۲ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۹۲ به ۱۲۰/۵۸ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۹۳ افزایش می‌یابد (شکل ۴) که این افزایش ۲۴ درصدی سرانه به ازای افزایش یک واحد در پارامترهای جمعیت، درجه حرارت، فشار آب، درآمد افراد، قیمت آب، استفاده از قطعات کاهنده‌ی مصرف آب در بخش‌های خانگی و عمومی و روزهای تعطیل و یک واحد

کاهش در میزان بارندگی و زمان استحمام نسبت به حد آستانه و شرایط معمول منطقه مورد مطالعه ایجاد گردیده است. این تغییر در سرانه‌ی آب شهری به ازای یک واحد تغییر در الگوی مصرف شهروندان شهر بیرجند حکایت از اثرپذیری شدید سرانه نسبت به این عوامل دارد.



شکل ۴ـ سرانه‌ی آب شهری

در این مطالعه عوامل مؤثر در کاهش و یا افزایش مصرف آب شهری در شهر بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی در نرم‌افزار Vensim و به صورت سیستمی بررسی و مدل گردید. نتایج مدل نشان می‌دهد که به طور کلی سرانه‌ی آب شهری در شهر بیرحند رو به افزایش می‌باشد. همچنین سرانه‌ی آب شهری از ۹۶/۶۲ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۹۲ به ۱۲۰/۵۸ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۹۳ افزایش می‌یابد. بنابراین برای حفاظت از منابع آبی لازم است که با اتخاذ سیاست‌های مناسب در زمینه‌ی کنترل مصرف مانند بالابردن آگاهی شهروندان نسبت به مصرف صحیح آب، استفاده از قطعات کاهنده‌ی مصرف در بخش وسیعی از شهر، کاهش نشت و تلفات آب، جداسازی سامانه‌ی آبیاری فضای سبز از سیستم آبرسانی شهری و انتخاب تعرفه‌ی مناسب به مدیریت بهینه‌ی مصرف آب شهری پرداخته شود.

۵-منابع

اکبرپور، ا.، عزیزی، م.، و نصیری خراسانی، ن.، ۱۳۹۰. بررسی عوامل مؤثر بر الگوی مصرف سرانه آب خانگی در جوامع روستایی (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

انصاری، ح. و صالح نیا، ن.، ۱۳۹۱. ارزیابی پارامترهای موثر بر مصرف آب شرب شهری با استفاده از تکنیک تست گاما. مجله‌ی آب و فاضلاب، شماره۱، ۲-۱۳.

آقا حسینعلی شیرازی، م.، ۱۳۹۰. مدل‌سازی تقاضای آب شهری با استفاده از سری فوریه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

آقا حسینعلی شیرازی، م.، و اکبرپور، ا.، ۱۳۹۰. 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.

ببران، ص. و هنربخش، ن.، ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در جهان و ایران، فصنامه راهبرد، شماره ۴۸.

خوش اخلاق، ر. و شهرکی، ج.، ۱۳۸۷. برآورد تابع تقاضای آب خانگی در شهر زاهدان. پژوهش‌های اقتصادی زمستان ۱۳۸۷; ۸(۴):۱۲۹-۱۴۵.

تائبی، ا و چمنی، م ر.، ۱۳۸۴. شبکه‌های توزیع آب شهری. چاپ اول. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

خوش اخلاق، ر.، صمدی، س.، عمادزاده، م. و هادی زاده خیرخواه، ح.، ۱۳۸۰. برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران، فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران، شماره ۹،۱۲۸-۱۰۹،تهران، ۱۳۸۰.

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

فلاح، م.ع.، ۱۳۹۳. کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصدی مصرف آب با تجهیزات کاهنده مصرف. [برخط] . http://news.moe.gov.ir/News/PicNewsDetails.aspx?ANWID=10787. تاریخ آخرین دسترسی ۱۳۹۳/۶/۸.

ملکی نسب، ا.، تابش، م.، و قالیباف سرشوری، م.، ۱۳۸۹. بررسی میدانی تأثیر نصب تجهیزات و شیرآلات کم مصرف در کاهش مصرف آب خانگی. تحقیقات منابع آب ایران، سال ششم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، ۴۵-۳۶.

مومنی، ا.، ۱۳۸۳."مدل سازی بهره برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش پویایی سیستم ".پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

نشریه شماره ۳-۱۱۷ وزارت نیرو، ۱۳۷۱. مبانی و ضوابط طراحی طرح‌های آبرسانی شهری. صفحه ۵.

Fletcher, E. J. (1998). ‘‘The use of system dynamics as a decision support tool for the management of surface water resources." Proc., 1st Int. Conf. on New Information Technology for Decision-Making in Civil Eng., University of Quebec, Montreal, Canada, 909–920.

Forrester, J. W. (1961). Industrial dynamics, Productivity Press, Portland Oreg.