استخراج سیاست‌های پایدار آب شرب شهری با رویکرد پویایی سیستم
(مطالعه موردی: شهرقم)

چکیده

قم به دلیل موقعیت جغرافیائی خود (واقع شدن در کویر مرکزی ایران) همواره با مشکل کمبود آب روبرو بوده است و در سالهای اخیر به دلایل مختلف از جمله: گسترش شهرنشینی، افزایش مهاجرت و رونق گردشگری، این مشکل جدّی تر شده و تبدیل به بحران خواهد شد. با وجود اقدامات انجام شده به منظوری پایداری آب شرب (از جمله انتقال آب سر شاخه های دز به قمرود) پیش بینی ها نشان می دهد در صورت ادامه وضعیت موجود، در سال ۱۴۰۱ هـش. این شهر در شرایط ناپایداری آبی قرار خواهد گرفت. برای رفع این معضل، این مقاله با بکار گیری پویایی سیستم و استفاده از نرم افزار "ون سیم[1]" قصد دارد تا سیاست‌های پایداری آب شرب شهری را در یک افق سی ساله، شناسایی و ارائه نماید. در چنین پژوهش هایی، این سیاست‌ها اصولا در دو بخش ارائه شده است: بخش عرضه که عبارتند از: ۱-جداسازی آب شرب از غیر شرب ۲- استفاده از پساب یا آب جدید ۳-مدیریت تلفات شبکه آبرسانی؛ بخش تقاضا که عبارتند از: ۱-کنترل جمعیت ۲- کنترل الگوی مصارف خانگی ۳-کنترل مصارف معاف از قیمت؛ امّا سیاست تازه و متناسب با این مشکل که در این پژوهش بررسی و پیشنهاد شده است، عبارتند از جداسازی آب شرب از آب بهداشتی و کنترل مصارف کاربری‌های معاف از قیمت در طول زمان و تاثیر آن ها بر پایداری آب شرب شهری می باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری آب شرب، پویایی سیستم، بحران، شهری قم

Extracting Sustainable Urban Water Policies with Dynamic System Approach (Case Study: Qom City)

Due to its geographic location (located in the central desert of Iran), Qom has always faced the problem of water shortage and in recent years, due to various reasons, such as urbanization, increased immigration and tourism prosperity, this problem has become more serious and has become a crisis. In spite of the steps taken to maintain the sustainability of potable water (including the transfer of water from Des to Qomrud), predictions indicate that if the existing situation persists, in 2022 it will be in a state of unstable water. To overcome this dilemma, this paper aims to identify and present sustainable urban Potable water policies on a thirty year horizons through system dynamics and the use of Vensim software. In such research, these policies are generally presented in two parts: Supply segments that are: 1. Separation of potable water from non potable water 2. Use of fresh water or wastewater 3. Management of water supply losses; Demand segments that are: 1. Control of population 2. Control of the pattern of domestic demand 3. Control of Exempt Demand; But the new policy that is appropriate to the problem that has been investigated and proposed in this study is the separation of potable water from non potable water and control of exempt demand over time and their impact on the sustainability of urban potable water.

Key words: Sustainability of potable water, System dynamics, Crisis, Qom city

[1] Vensim

۱ مقدمه

آب همواره از مولفه‌های اساسی در پایداری زیست محیطی بوده و مدیریت آن به منظور دستیابی به توسعه پایدار، ضروری است(UN-Water, 2009). بنابراین، برنامه‌ریزی و مدیریت خردمندانه به منظور بهره‌برداری از منابع آب، لازم و توسعه اقتصادی، اجتماعی، کاهش فقر و افزایش عدالت را به دنبال دارد (World Water Assesment Programme, 2009). در حیطه مدیریت عرضه منابع آب تلاش مسئولان به استحصال بیشتر منابع آب با احداث زیرساخت‌های مختلف معطوف شده، در صورتی که در نقطه مقابل و در مدیریت تقاضا، سعی می‌شود، الگوهای مصرف به گونه‌ای تغییر پیدا کند که با منابع موجود تقاضاهای مختلف تامین گردد. مدیریت سیستم‌های منابع آب و تخصیص آن به بخش‌های مصرف همواره چالش و تضادهایی را به همراه داشته است (Madani and Mariño, 2009).

"کی[۲]" و" چانگ[۳]" با استفاده از پویایی سیستم‌ها اقدام به ارزیابی تقاضای آب خانگی در سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ م. شهر "فلوریدا[۴]" نمودند. این مطالعه نشان داد که بین نرخ بیکاری و درآمد متوسط سالیانه (به عنوان دو شاخص اصلی اقتصاد کلان) و دیگر عوامل اقتصادی-اجتماعی تعاملاتی وجود دارد که در نهایت باعث تاثیر بر تقاضای آب خانگی می شود(Qi and Chang, 2011).

مطالعه ای دیگر با رویکرد پویایی سیستم نشان داده شده است که استفاده از آب شیرین کن های صنعتی و پساب فاضلاب به عنوان یک آب جدید، مولفه های موثر تامین پایدارآب شرب شهری سنگاپور، می باشد (Xi and Poh, 2013).

"وی[۵]" و همکارانش مدل پویایی سامانه مدیریت آب شهری را برای شبیه سازی تعاملات تقاضای آب شهری، جامعه، اقتصاد، آب و هوا و اقدامات حفاظت از آب پیشنهاد دادند. تمایلات حفاظت از آب در این مدل در نظر گرفته و اثر آن بر ذخیره آب اندازه گیری شده است. نتایج مدل سازی شهر "ماکائو[۶]" نشان می دهد که جمعیت، اصلی ترین نیروی محرکه تقاضای آب است وتغییرات دما و بارندگی اثر محسوسی بر تقاضای آب دارند. خروجی تقاضای آب به تغییر جمعیت، تغییر سرانه آب و تغییر درجه حرارت وابسته است. افزایش بارش باعث کاهش تقاضای آب و افزایش رشد اقتصادی باعث افزایش تقاضای آب می شود. این مدل نشان می دهد با اجرای برنامه یکپارچـه حفاظت از آب و افزایش فرهنگ حفاظت از آن می تواند تقاضای آب تا ۱۷/۵ درصد کاهش پیدا کند(Wei et al. 2016).

" سان[۷]" و همکارانش یک مدل پویا برای استفاده از منابع آب در چین ارائه نمودند و نتایج تحقیق نشان داد استفاده حداکثری از پساب فاضلاب و بکارگیری مجدد از آب، عامل مهمی در پایداری آب می باشد(Sun et

[2] Qi
[3] Chang
[4] Florida
[5] Wei
[6] Macau
[7] Sun

al. 2017). در جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده درباره مدیریت آب شهری با رویکرد پویایی سیستم ارائه شده است.

جدول ۱ مطالعات تاریخی مدیریت آب شهری با رویکرد پویایی سیستم

Table1. Historical studies of urban water management with the dynamical system approach

منطقه مطالعاتی	زمینه کار	مرجع
شهر تهران	شناسایی شاخص های توسعه پایدار در سیستم آب شهری	(Bagheri and Hjorth, 2007)
شهر تبریز	مدل سازی آب شهری تبریز	(Zarghami and Akbariyeh, 2012)
شهر بم	مدلسازی مدیریت سیستم آب شهری پس از بلایای طبیعی مبتنی بر توسعه پایدار	(Bagheri et al. 2010)
لاس وگاس آمریکا	مدل شبیه سازی تامین آب شرب شهری	(Stave et al.2003)
نیوزلند	مدیریت رواناب های سطحی در آب شهری	(Winz,2009)
جهان	بررسی تغییرات منابع کانی، آلی و انسانی بر اساس فعالیت های بشر در روی زمین	(Forrester, 1997)
آمریکا	تجزیه و تحلیل دینامیک سیستم صنعت آب بسته بندی	(System and Moloney, 2013)
سنگاپور	بررسی پایداری سیستم های آب شرب	(Xi and Poh, 2013)
افریقای جنوبی- شهری کوچک	استفاده پویایی سیستم برای یافتن دشواری های عرضه و تقاضای آب	(Clifford Holmes et al. 2014)
کره جنوبی	مدل سیستم دینامیک برای شبیه سازی مدیریت سیستم تامین آب	(Suwan Park,2015)
در شهر تیلینگ چین	بررسی ظرفیت قابل دسترس منابع آب برای توسعه پایدار بر اساس یک مدل پویایی سیستم	(Yang et al. 2015)
غنا	پایداری سیستم آب شهری با تحول در اصلاح مدیریت	(Acheampong et al. 2016)
والا –حومه پاریس	ارزیابی چرخه حیات از سناریوهای پیش بینی برای مدیریت آب شهری	(Loubet et al. 2016)
جزایر ریو اندونزی منطقه ساحلی گلد کاست استرالیا	مدلسازی پویایی سیستم مدیریت پایدار منابع آب رویکرد سیستمی برای ارزیابی پتانسل محافظت آب از طریق قیمت گذاری آب	(Suhardjono, 2016) (Sahin et al. 2017)

بررسی مطالعات انجام شده در جدول شماره ۱ نشان می دهد اثرات جداسازی آب شرب و بهداشتی و کنترل الگوی مصارف معاف از قیمت در طول زمان، در هیچ یک از مطالعات بررسی نشده است. باتوجه به ویژگی خاص اقلیمی و اجتماعی شهر قم و بخصوص فراوانی مشترکین معاف از قیمت (از جمله حسینیه ها، مساجد، حوزه های علمیه و ...)، کنترل مصارف این مشترکین در پایداری آب شرب شهری موثر خواهد بود.

۱.۱ وضعیت سیستم آب شرب شهری قم

استان قم به دلیل موقعیت جغرافیائی خود و واقع شدن در کویر مرکزی ایران با اقلیم خشک و بارندگی ۱٦۳.۲ میلیمتر (معادل ٦٤.۷ درصد بارش متوسط کشور) همواره، مشکل کمبود آب مواجه و جدی ترین مشکل شهرقم، کم آبی و نبود آب مناسب شرب بوده است. این در حالی است که در سال های اخیر به دلایل مختلف از جمله افزایش مهاجرت، نیاز تامین آب به شدت ضرورت پیدا کرده است. منابع تامین آب شهر قم تاکنون از سد پانزده خرداد در فاصله ۷۵ کیلومتری شهر (با قابلیت هدایت الکتریکی[8] آب بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر) و چاه های آب پراکنده در سطح شهر و دشت علی آباد (هدایت الکتریکی بین ۱۳۵۰ تا ۷۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر) بوده است. در طول خشکسالی سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹ هـش. کیفیت آب سد پانزده خرداد و چاههای داخل شهر به پائین ترین حد خود رسید؛ بطوری که این آب طبق هیچ استانداردی قابل آشامیدن نبود و به دلیل شوری و تلخی آب، عملاً هیچ کدام از شهروندان قمی از آن برای آب شرب استفاده نکرده و آب شرب مصرفی را از راههای زیر تامین می کردند:

- خرید آب از تانکرهایی که آب آشامیدنی را، از اطراف قم به داخل حمل می‌کردند و به دلیل عدم نظارت بر نحوه تامین و سنجش کنترل کیفی، این آب مشکلات بهداشتی زیادی را برای شهروندان ایجاد می‌کرد.
- استفاده از آب معدنی بسته‌بندی که به دلیل هزینه بر بودن آن صرفاً تعداد کمی قادر به تأمین این نوع آب بودند.
- حمل آب با وسایل نقلیه شخصی از شهرها و روستاهای اطراف که روشی کارآمد و به صرفه نبود.

همانطور که ملاحظه می‌شود همواره تأمین آب قابل شرب، از دغدغه های اصلی مردم و مسئولین بوده است. به منظور رفع این مشکل راه حل های مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفت که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نمک زدایی آب انتقالی از سد پانزده خرداد و اختلاط آن با آب چاه های علی آباد
- ذخیره جداگانه آب با کیفیت مناسب و توزیع نوبتی آنها در ساعاتی مشخص
- اختلاط آب سد با آب چاه های شهر و چاه‌های علی آباد
- انتقال آب از مناطق همجوار شهری مانند سد کبار

[8] EC

- ایجاد شبکه توزیع دو گانه
- جداسازی شبکه آب شرب از آب بهداشتی و توزیع آب مناسب از این شبکه‌ها
- ایجاد ایستگاه هایی برای توزیع و فروش آب شرب
- انتقال آب از دوردست با استفاده از خطوط راه آهن
- انتقال آب به صورت حوضه به حوضه از طریق تونل ها و خطوط انتقال آب

پس از انجام مطالعات و بررسیهای لازم، درسال ۱۳۷۹ هـ.ش. ایستگاه هایی برای توزیع و فروش آب شرب دایر گردید و ظرفیت آن در سال ۱۳۸۵ هـ.ش. از طریق آب شیرین کن صنعتی به میزان ۶۰۰۰ لیتر در روز افزایش یافت که به عنوان یک تجربه عملی موفق در ایران اجرا شد و می توان آن را به عنوان یکی از مولفه های تامین پایدار آب شرب شهری مطرح کرد.

۲ رابطه آسیب پذیری و پایداری در آب شرب شهری

ارزیابی آسیب پذیری بر فهم زمینه های ذاتی و درونی تاثیرپذیری افراد، سیستم ها یا جوامع تمرکز دارد و می تواند ارزیابی عواملی را شامل شود که چنین تاثیراتی را ایجاد و تقویت، کم یا تثبیت می نمایند. در واقع در مقابل ارزیابی صرف آسیب پذیری، شناسایی و توصیف عوامل تاثیر گذار بر ایجاد یا افزایش آن بسیار مهم می باشد، چرا که تنها با توجه به علل و عوامل ریشه‌ای است که می توان فرایندهای ایجاد کننده آسیب پذیری را کنترل کرد (Ghadiri, 2007)؛

از طرفی پایداری وضعیت یک سیستم به عنوان یک هدف ثابت کمی نیست در نتیجه اندازه گیری پایداری از جهت اینکه یک سیستم به چه میزان از وضعیت پایداری به دور می باشد غیر ممکن است. بلکه پایداری یک فرایند درحال حرکت می باشد که توجه به آن به عنوان قسمتی از یک کار روزانه می باشد. از این رو در واقع پایش یک سیستم جهت پایداری، پایش این فرایند ها در مسیر حرکتی مناسب می باشد(Bagheri and Hjorth, 2007). بنابراین در آسیب پذیری سیستم آب شهری، مولفه های مصرف کل و میزان منابع قابل عرضه از اهمیت بالایی برخوردار است. می توان برای نشان دادن میزان آسیب پذیری رابطه شماره ۱ را ارائه کرد(Bagheri et al. 2010).

$$V = \frac{CW}{AW} \qquad (۱)$$

در این رابطه،V آسیب پذیری، CW بیانگر کل مصرف (شامل مصارف مفید و میزان هدررفت آب) و AW نشان دهنده میزان آب قابل عرضه در سیستم می باشد؛ امّا در نقطه مقابل آسیب پذیری، پایداری آب شرب شهری قراردارد که از رابطه شماره ۲ بدست می آید که در مدل از آن استفاده شده است (Xi and Poh, 2013).

$$S = \frac{1}{V} = \frac{AW}{CW} \qquad (۲)$$

۳ روش شناسی تحقیق

در این تحقیق به منظور شناسایی مکانیزم های فعال در تامین پایدار آب شرب شهری در راستای تشریح وضع موجود، از رویکرد پویایی سیستم‌ها استفاده شده است. در این رویکرد تمرکز بر الگوهای رفتاری سیستم در طول زمان می باشد که بر درک چگونگی اندرکنش فرایندهای فیزیکی، جریان اطلاعات و سیاست‌های مدیریتی استوار است (Bagheri et al.2010). این نگرش مبتنی بر مکانیزم های باز خور های پویا در سیستم‌هاست و با تکیه بر حلقه های علّی و معلولی به توضیح چگونگی وقوع وقایع می پردازد(Hosseini, 2009).پویایی یک سیستم با استفاده از ساختار های ذخیره و جریان، تاخیرات زمانی، پسخوران ها و رفتارهای غیر خطی بیان می شود(Sterman, 2000).

۱.۳ فرایند مدل سازی

گام های مدل سازی در روش تحلیل پویایی سیستم به ترتیب زیر است:

- بیان مسئله
- رسم منحنی های مرجع[9]: منحنی های مرجع به منحنی رفتارهای عمده سیستم گفته می شود. این نمودار لزوما با اعداد واقعی رسم نمی شوند، بلکه بیانگر رفتار کلی سیستم از دید متغیرها هستند
- تعریف متغیر های عمده مطرح در مسئله؛
- تعریف ارتباط بین متغیر ها؛
- ترسیم مدل علّی معلولی برای سیستم؛
- تعریف مرز های مدل؛
- ساختار نمودار جریان برای مدل
- اجرای مدل؛
- کالیبراسیون و صحت سنجی
- شبیه سازی رفتار سیستم در برابر سناریوهای مختلف مدیریتی

در مرحله آخر هم نتیجه و پیشنهادها ارائه می گردد(Sterman, 2000).

[9] Reference Modes

۱.۴ بررسی نمودارهای مرجع

شکل ۱، روند میزان برداشت از منابع مختلف در این مطالعه است. همانطوری که مشاهد می شود استان در طول سال های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ هـش. در شرایط خشکسالی شدیدی قرار گرفت؛ و اگر آب انتقالی در این سال ها به قم نمی رسید؛ استان دچار بحران شدید کم آبی می گردید.

شکل ۲، یکی دیگر از رفتار های مرجع می باشد. نشان می دهد سطح ایستایی در دشت قم از ۱۳۵۲ هـش. تا ۱۳۹۳ هـش. (۴۱ سال گذشته) ۳۴ متر افت داشته که بطور متوسط سالانه حدود ۰/۸۳ متر می باشد. این موضوع بیانگر افزایش میزان برداشت از آب سفره های زیرزمینی و تجاوز از میزان آبدهی مطمئن[10] منابع زیر زمینی می باشد.

با توجه به شکل ۳ که متغیر مرجع اصلی مطالعه می باشد و فاصله بین عرضه و تقاضا را نشان می دهد. در سال های آتی با توجه به افزایش جمعیت و برداشت های غیر مطمئن از منابع زیر زمینی دشت قم، در صورت بروز مشکل در آب انتقالی به لحاظ کمی و کیفی، استان دچار بحران خواهد شد. به دلیل بر داشت بی رویه و پایین آمدن سطح ایستایی آبخوان، مسیر جریان آب زیرزمینی از دریاچه نمک به سمت دشت قم تغییر یافته است. بر این اساس با توجه به نرخ رشد جمعیت جدول شماره ۱ و در نظر گرفتن تاثیرات مثبت انتقال آب از سرشاخه های دز به استان قم و ایجاد راه آهن سریع السیر که از استان قم عبور خواهد کرد و همچنین نگرش مثبت مسئولین محترم کشور جهت ارتقاء جایگاه علمی و فرهنگی شهرمقدس قم و با توجه به کلان شهر بودن قم و افزایش استانداردهای زندگی و بهداشت عمومی و سایر مولفه‌های تاثیر گذار پیش بینی تداوم افزایش جمعیت وجود دارد طبق پیش بینی به عمل آمده توسط مسئولین استانی نیاز بخش صنعت و کشاورزی استان در افق مطالعه در حال افزایش می باشد(QRWA, 2015). بنابراین ادامه این روند قطعاً به منابع آب شیرین آسیب های جدی وارد خواهد کرد.

[10] Safe Yield

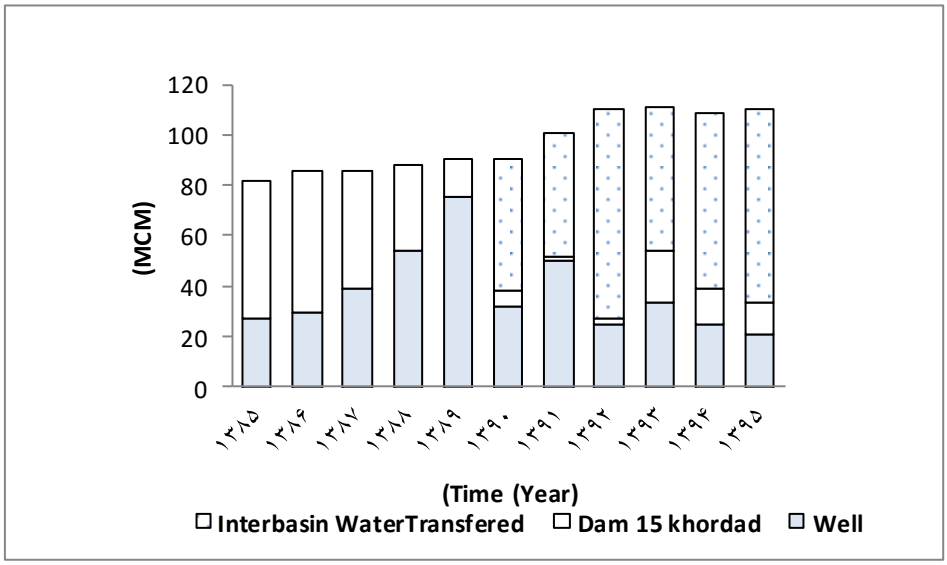

Figure 1 Urban Potable water supply Qom from 2006 to 2016 (WWCQ, 2016)

شکل ۱ تامین آب شرب شهری قم از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـش

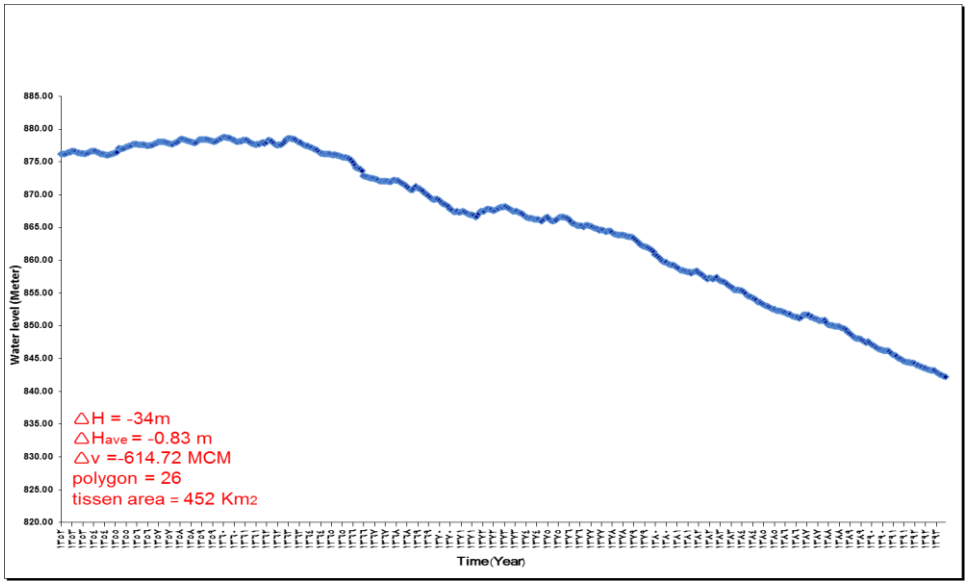

Figure 2 Qom Plain aquifer water table level changes from 1973 to 2014 (QRWA, 2014)

شکل ۲ تغییرات سطح ایستایی سفره آب زیر زمینی شهر قم ا زسال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۳ هـش.

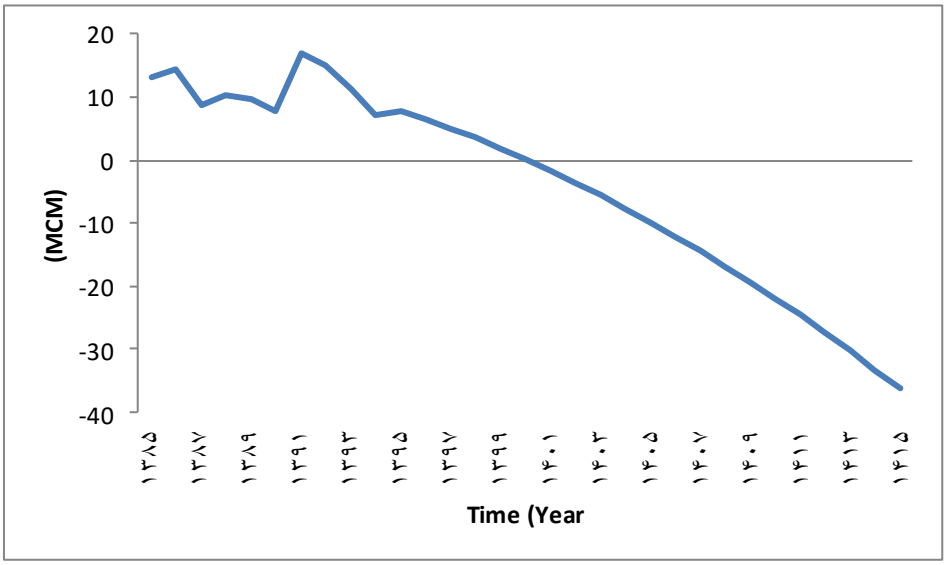

Figure 3 The behavior of the reference variable with respect to the distance between Supply and demand from 2006 to 2016

شکل ۳ رفتار متغیر مرجع کمبود آب شرب شهری قم از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

۲.۴ معرفی منطقه مطالعاتی

استان قم با مرکزیت شهر قم تقریباً در مرکز ایران قرار دارد و از شمال به استان تهران، از شرق به استان های سمنان و اصفهان، از جنوب به استانهای مرکزی و اصفهان و از غرب به استان مرکزی محدود می‌باشد و در غرب دریاچه نمک واقع شده است. مساحت استان قم برابر ۱۱۲۳۸ کیلومتر مربع است که این مقدار ۰/۶۸ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. در سال ۱۳۹۵ هـ.ش. حدود ۸۰٪ مصرف آب شرب از آب انتقالی سر شاخه های دز، واقع در استان لرستان تامین شده است.

۱.۲.۴ مر زهای مدل

مرزهای منابع آب

- منابع زیر زمینی دشت قم
- آب انتقالی از سد پانزده خرداد
- آب انتقالی ازخارج حوضه (سرشاخه‌های دز)

مرزهای سیستم مصارف آب شهری قم

ذی نفعان منابع آب در محدوده شهر قم شامل مصرف کنندگان شهری، فضای سبز وصنعت می باشد.

مرز زمانی، تغییرات عوامل طبیعی و انسانی از سال ۱۳۸۵ هـش. تا افق سال ۱٤۱۵ هـش. مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۳.۴ بررسی زیر مدل های پویایی آب شهری قم

۱.۳.۴ سیستم سفره آب زیر زمینی و سطحی شهر قم

سطح آب زیر زمینی دشت قم وابسته به میزان نفوذ بارش، نفوذ آب سطحی و آب برگشتی از مصارف خانگی و تغذیه طبیعی آبخوان می باشد.

$GW_{t+1} = GW_t + RW_t + NR_t - ND_t - GWE_t$ میزان ذخیره آب زیرزمینی در دشت قم در سال های $t+1$ و t می باشد. RW_t شامل میزان آب برگشتی از فاضلاب خانگی منازل (که بصورت سنتی از طریق چاه های جذبی دفع می گردد)، میزان نشت آب از لوله های شبکه آب رسانی و نفوذ آبیاری فضای سبز می باشد که در سال t وارد سفره های آب زیر زمینی می شود. NR_t میزان تغذیه طبیعی آب زیر زمینی در سال t است که ناشی از میزان نفوذ آب بارندگی و آب‌های سطحی، می باشد. با توجه به احداث سد پانزده خرداد سال۱۳۷۵ هـش. در ۷۵ کیلومتری دشت قم این میزان به حداقل خود رسیده است. (گزارش شرکت آب منطقه ای قم). ND_t میانگین تخلیه طبیعی آب زیر زمینی در سال t و GWE_t میزان استخراج آب توسط چاه های شهری در سال t می باشد که میزان برداشت می بایست از آبدهی مطمئن کمتر باشد.

۲.۳.۴ سیستم مخازن آب سطحی

این سیستم به صورت متغیر های برون زا، با یک الگوی مشخص آب را از مخازن موجود تامین می کند بدون اینکه مدل نسبت به شبیه سازی مخازن سدها اقدامی نماید.

۳.۳.۴ جمعیت

جمعیت از جمله عوامل تاثیر گذار بر افزایش مصرف خانگی و نیاز فضای سبز است. مصرف خانگی و نیاز آبی فضای سبز با رشد جمعیت افزایش می یابد و منجربه افزایش آب بازگشتی می شود. میزان جمعیت متاثر از عوامل تولد، مرگ ومیر و مهاجرت است که در رابطه زیر نشان داده و از منظور کردن جمعیت فصلی در مدل صرف نظر شده است.

$$p_{t+1} = p_t + B_t + M_t - D_t$$

p_{t+1} و p_t جمعیت شهر در سال های $t+1$ و t می باشد، B_t میزان تولد در سال t؛ D_t میزان مرگ و میر در سال t؛ M_t میزان خالص مهاجرت به این شهر است که باعث تاثیر گذاری بر منابع آبی می شود. در این مکانیزم جمعیت به عنوان متغیر انباره[11] در نظر گرفته شده است. تولید جمعیت در هر سال به جمعیت سال قبل

[11] Stock

اضافه می شود. دو متغیر نرخ تولد Birth و مهاجرت Migration به عنوان ورودی به جمعیت و متغیر نرخ مرگ Death به عنوان خروجی مد نظر قرار داده شده است(Zarghami and Akbariyeh, 2012).

۴.۳.۴ تقاضای آب شهری

شامل تقاضای آب شهری (خانگی و غیر خانگی)، فضای سبز و صنعتی می باشد. نیاز صنعت تابعی از تعداد واحد های صنعتی و نیاز متوسط هر واحد است. نیاز فضای سبز در حال حاضر از سفره های آب زیر زمینی و آب انتقالی از سد ۱۵ خرداد و سرشاخه های دز تامین می شود ولی با تکمیل و توسعه سیستم فاضلاب شهری به تدریج تخصیص آب فضای سبز از آب سطحی و زیرزمینی به پساب واحد های تصفیه فاضلاب تغییر خواهد کرد. با توجه به مرز علمی در این تحقیق، از مصارف کشاورزی خارج از مرز مکانی تحقیق صرف نظر شده است.

۵.۳.۴ سیستم فاضلاب شهری

با توجه به توسعه و تکمیل سیستم جمع آوری و تصفیه فاضلاب شهری قم به تدریج نفوذ آب برگشتی از مصارف شهری به سفره های زیر زمینی کاهش می یابد و از طرف دیگر فاضلاب تصفیه شده به آبیاری فضای سبز ومصارف صنعت اختصاص داده می شود. احداث سیستم جمع آوری و تصفیه فاضلاب شهر قم از سال ۱۳۷۳ هـ.ش. شروع شده و پیش بینی می شود با توجه به سیاست های استان مبنی کاهش جمع آوری فاضلاب و دفع از طریق چاه های جذبی شبکه جمع آوری فاضلاب تا سال ۱۴۱۵ هـ.ش. به میزان ۵۰٪ برسد.

۶.۳.۴ بیلان آب شهری قم

عامل اصلی در بیلان آب شهری، تفاوت تجمعی عوامل بین خالص عرضه و تقاضا است .شاخص کمبود آب یک نماد کلی از وضعیت یک سیستم آبی را فراهم می کند و آن را به عنوان یک ارزش منفی تعادل آب محاسبه می کند. پارامترهایی که بیلان آب تعیین می کنند عبارتند از: آب زیرزمینی، آب های سطحی، تلفات آب و تقاضای کل آب همانطور که در رابطه نشان داده شده است.

$$S_{t+1} = S_t + GWE_t + SW_t - l_t + LR_t - D_t$$

S_{t+1} و S_t تراز آب در سال های $t+1$ و t؛ GWE_t آب عرضه شده از تمام چاه در سال t؛ SW_t آب ارائه شده از تمام منابع آب سطحی؛ l_t مقدار آب تلف شده در سال t؛ LR_t مقدار آب ناشی از کاهش تلفات در سال t؛ D_t مقدار کل آب تخصیص داده شده به متقاضیان در نظر گرفته شده است. تمام متغیر ها به صورت متر مکعب در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است در مدل توسعه داده شده تقاضا به صورت دو بخش شرب و بهداشتی ارائه شده است که شرب شامل مصارف خانگی، معاف از قیمت و سایر (شامل تجاری و دولتی و.) و بهداشتی شامل مصارف صنعتی و فضای سبز می باشد. با توجه به گزارش بالانس شرکت آب و فاضلاب شهری قم نرخ نشت بطور متوسط ۱۳٪ در نظر گرفته شده است.

۷.۳.۴ مدل سازی مکانیزم سرانه مصرف

با فرض اینکه تمام گزینه مدیریت عرضه آب محقق شده و انتقال بین حوضه ای نیز انجام گرفته است؛ در سال های آتی چاره ای جز مدیریت تقاضا وجود ندارد و متناسب با همین امر یکی از پارامتر های بسیار موثر کنترل الگوی مصرف می باشد؛ و رابطه زیر بیانگر آن می باشد.

$$PC_{t+1} = PC_t - RPC_t$$

در این مدل PC_{t+1} و PC_t سرانه مصرف در سال های $t+1$ و t می باشد. RPC_t میزان کاهش سرانه الگوی مصرف در سال t می باشد. در این مکانیزم سرانه الگوی مصرف با متغیر انباره نشان داده شده است. کاهش سرانه الگوی مصرف تابع دو متغیر باور به کمبود آب و استفاده از کاهنده های مصرف می باشد. باور و یکی از مولفه های استفاده از کاهنده مصرف ناشی از آگاهی مردم از میزان کمبود منابع آبی است و می توان آگاهی مردم را با تخصیص بودجه مدیریت تقاضا افزایش داد. در نتیجه سه عامل آگاهی، دسترس بودن لوازم کاهنده و اثر قیمت آب در منازل؛ باعث افزایش استفاده از کاهنده های مصرف می شود. تخمین حداقل نیاز های سرانه آبی ۵۰ لیتر در روز به ازای هر نفر در نظر گرفته شده است و از این میزان حدود ۵ لیتر برای شرب اختصاص دارد. البته این میزان در کشورهای مختلف متفاوت می باشد(Gleick, 1996).

اگر هریک از افراد جامعه باور به کمبود آب داشته باشند می توان با استفاده از ابزار های کاهنده مصرف، ضمن حفظ بهداشت فردی و اجتماعی، سرانه مصرف را کاهش داد. در این پژوهش حداقل نیاز آبی در روز به ازای هر نفر ۹۹ لیتر می باشد.

۸.۳.۴ تخصیص بودجه برای مدیریت عرضه پایدارآب

در مدیریت تامین آب، بهره برداری بهینه از مخازن آبی و همچنین پرداخت هزینه انتقال آب از حوضه های دیگر مورد ارزیابی قرار می گیرد این امر خارج از موضوع پژوهش است. دراین تحقیق موضوع میزان کاهش نشت یکی از عوامل موثر در مدیریت عرضه می باشد مدل ریاضی آن در رابطه زیر ارائه شده است.

$$LR_{t+1} = LR_t + LI_t - LD_t$$

در این فرمول LR_{t+1} و LR_t نرخ نشت در سالهای $t+1$ و t است. LI_t میزان افزایش نشت به دلیل عدم تخصیص بودجه برای کاهش نشت می باشد. نرخ کاهش نشت با تخصیص بودجه مدیریت عرضه، عملیاتی می شود. در صورتیکه تخصیص لازم صورت نپذیرد میزان هدررفت آب افزایش می یابد و با کنترل هدررفت، بخشی از تقاضای آب، مدیریت و نیاز به سرمایه گذاری بیشتر برای انتقال بین حوضه ای آب کاهش می یابد.

۹.۳.۴ شاخص منفعت به هزینه

این شاخص نسبت درآمد فروش آب به قیمت تمام شده عرضه آب را بر اساس صورت های مالی شرکت های آب و فاضلاب محاسبه می نماید.

$$\frac{B_t}{C_t} = \frac{DP*DD_t + IP*ID_t + EP*ED_t + LP*LD_t + OP*OD_t + DEP*DED_t}{PT*TS_t + DP*DS_t + GT*GS_t}$$

در این معادله B_t درآمد شرکت آب و فاضلاب از بابت فروش آب به انواع مشتریان خود و C_t قیمت تمام شده آب تامین شده بر ای آب و فاضلاب شهری در سال t است که از روش های مختلف از جمله سد پانزده خرداد، آب انتقالی از سرشاخه های دز و چاه های شهری محاسبه می گردد.

DD_t، ID_t، ED_t، LD_t، OD_t، DED_t میزان مصرف کاربری‌های خانگی، صنعتی، معاف از قیمت، فضای سبز و سایر کاربری ها و آب شرین کن صنعتی در سال t می باشد که با ضرب هریک از کاربری ها در قیمت فروش آنها، میزان درآمد فروش کل محاسبه می شود. TS_t، DS_t و GS_t میزان عرضه آب از منابع مختلف از جمله آب انتقالی از سر شاخه های دز، سد پانزده خرداد و آب چاه های شهری در سال t می باشد. پس از شبیه سازی مدل، شکل شماره ۴ نشان می دهد که در صورت کنترل الگوی مصارف، نسبت منفعت به هزینه کاهش خواهد یافت.

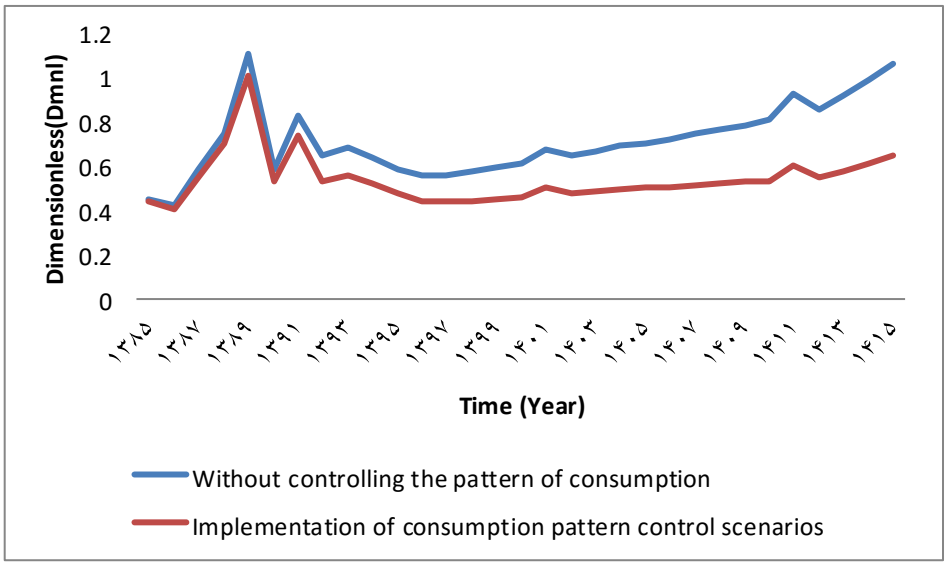

Figure 4 benefit-cost trend from 2006 to 2016

شکل ٤ روند منفعت به هزینه از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

بنابراین لازم است راهکار مناسبی برای کاهش زیان ناشی از کنترل الگو ارائه گردد؛ و پیشنهاد مناسب بدین منظور، اخذ بهای آب به قیمت واقعی از مصرف کنندگان است.

۵ مدل مفهومی

شکل های (۵) و (۶) مدل مفهومی وضعیت سیستم آب شهری قم را در شرایط عادی و توسعه یافته ارائه می دهد که در شرایط توسعه یافته گزینه های جداسازی آب شرب از بهداشتی و کنترل الگوی مصرف خانگی

درج گردیده است. در هر دومدل ابتدا حلقه رشد Ra افزایش تقاضا فعال شده است؛ لذا با فعال شدن حلقه های تعادلی Ba1، Bb1 و Bb2 می توان از رشد بی رویه تقاضا جلوگیری کرد.

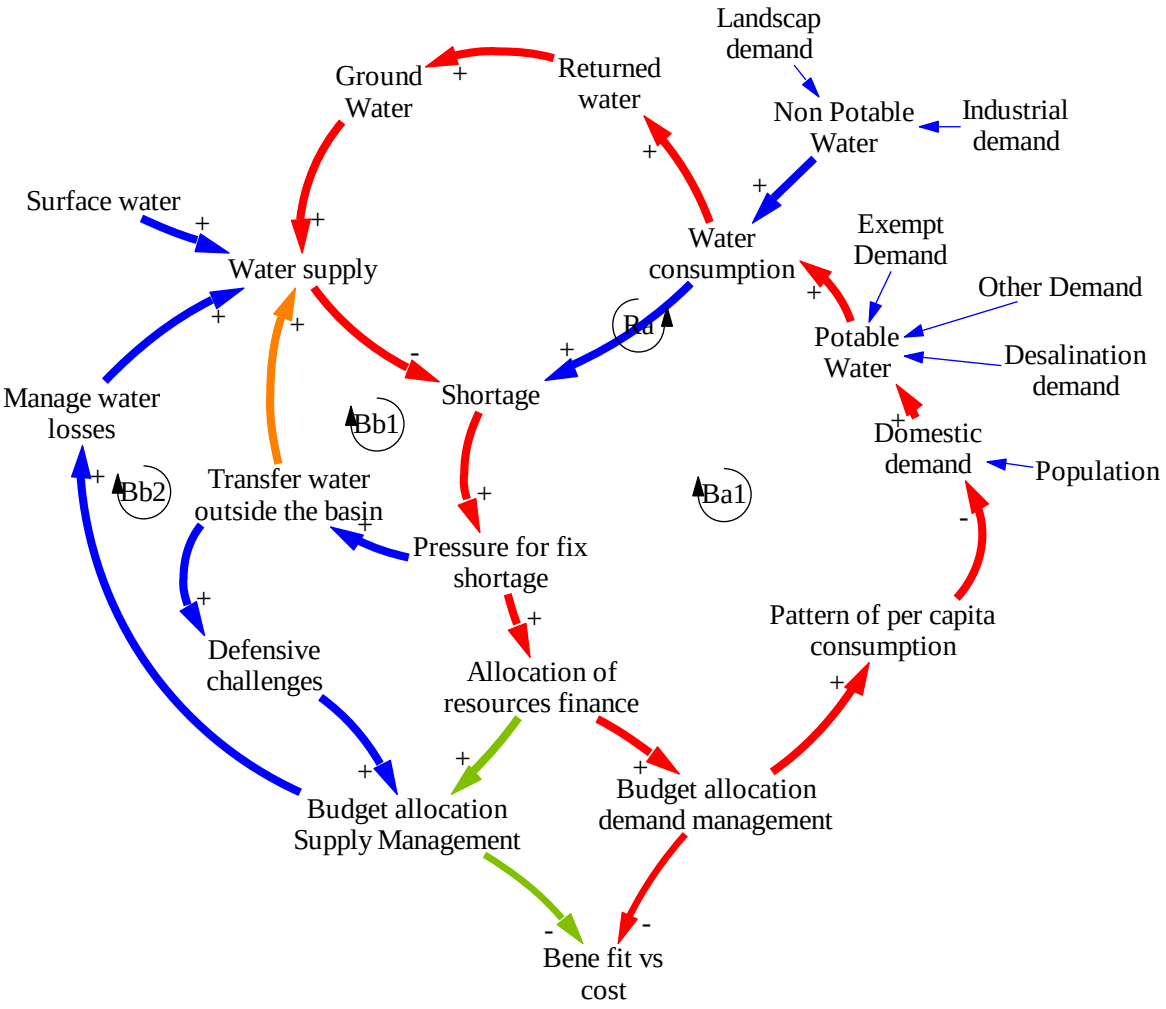

Figure 5 Causal diagram for Qom SD model

شکل ۵ نمودار علی معلولی مدل پویایی شهر قم

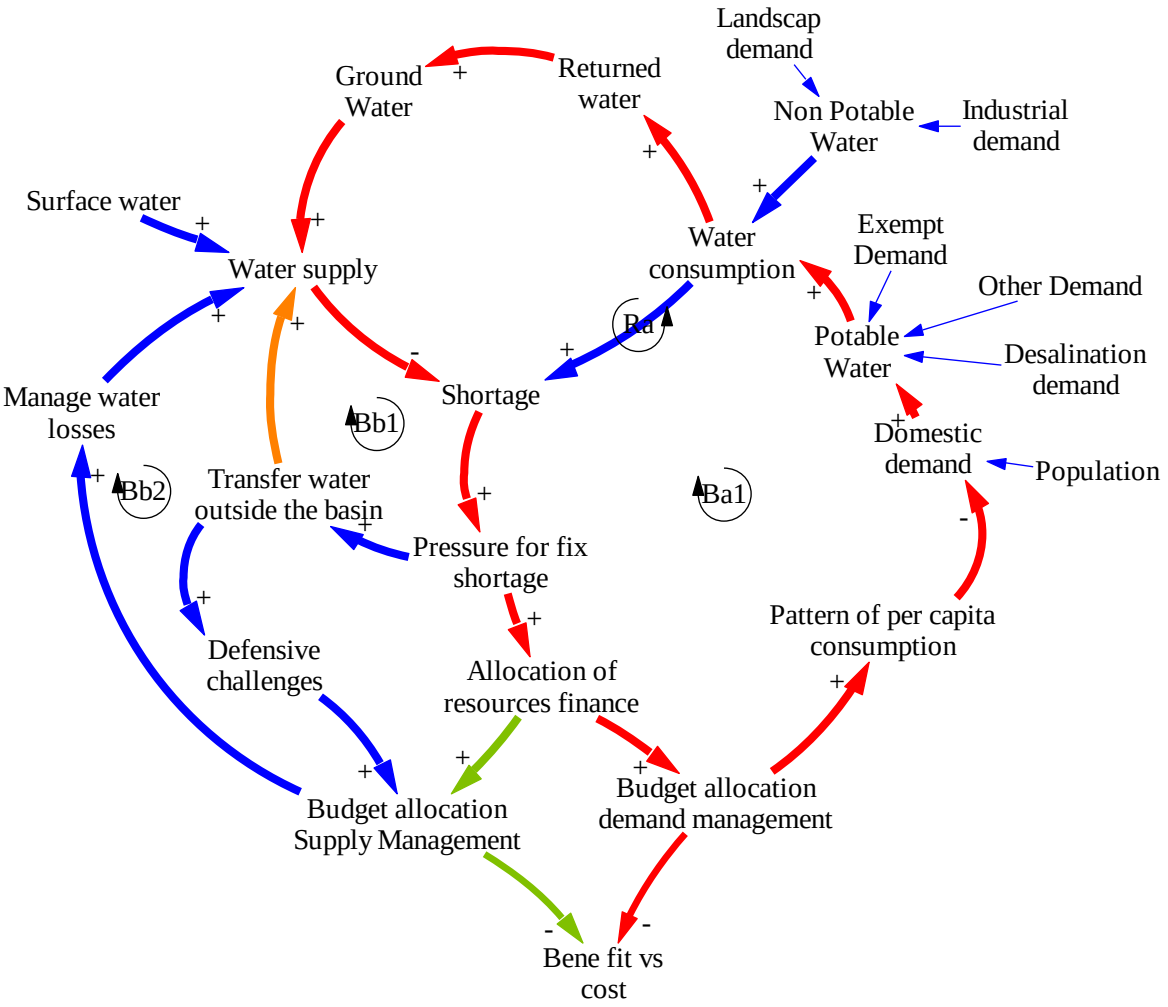

Figure 6 Causal diagram for the Qom SD improvement model

شکل ٦ نمودار علی و معلولی توسعه یافته پویایی شهر قم

۱.۵ نمودار انباره‌ها و جریان مدل آب شهری قم

نمودار انباره ها و جریان در واقع تبدیل مدل مفهومی به سیستمی مرکب از انباره‌ها ، متغیر های نرخ و روابط بین آنها می باشد. نمودار انبارهٔ جریان مدل شهر قم که شامل همه متغیر های مطرح در نمودار علّی و معلولی است، در محیط نرم افزار "ون سیم" در شکل شماره ۷ رسم شده است. نرم افزار های مانند "ون سیم" شبیه سازی مبتنی بر پویایی سیستم را انجام داده و تحلیل حساسیت نتایج را به صورت تصویری به همراه قابلیت‌های مختلف پشتیبانی تصمیم گیری، ارائه می دهند(Salavitabar et al. 2006).

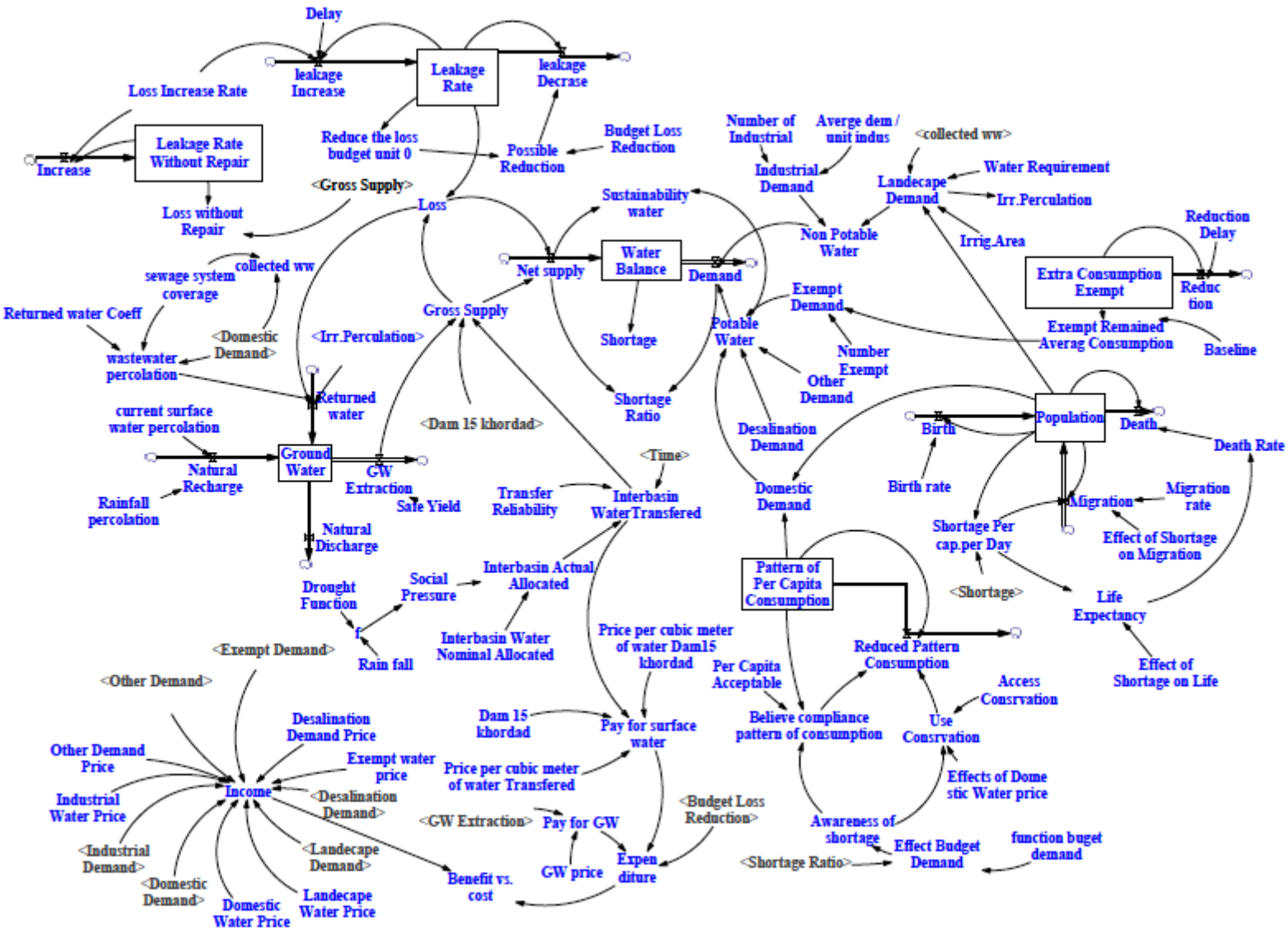

Figure 7 The stock and flow diagram of the Qom SD model

شکل ۷ دیاگرام انباره و جریان مدل پویایی شهر قم

۲.۵ اعتبار سنجی[۱۲] و تصدیق[۱۳] مدل

در مدل‌های پویایی، اعتبار ساختار براعتبار رفتاری آنها اولویت دارد و درصورت معتبر بودن مدل می توان رفتار الگو را بررسی کرد. سنجش اعتبار ساختار مدل، با برگزاری جلسات و تحلیل متغیر های درونی مدل و ساختار روابط عملی شده است. در سنجش اعتبار رفتاری الگو نیز از چندین روش استفاده شده است که به چند مورد اشاره می شود.

۱.۲.۵ شبیه سازی رفتار حدی

در شبیه سازی های انجام شده، اعتبار رفتاری مدل براساس آزمون شبیه سازی رفتار حدی به دست آمده است. فاصله عرضه و تقاضا، اختلاف آب تقاضا شده و آب تامین شده را بصورت بیلان آب شرب شهری نشان می دهد. با تامین تمامی آب تقاضا شده همان طوری که در شکل شماره ۸ نشان داده شده فاصله عرضه و تقاضا صفر می شود و این همان رفتاری است که در صورت برابر شدن تقاضا و عرضه مورد انتظار است.

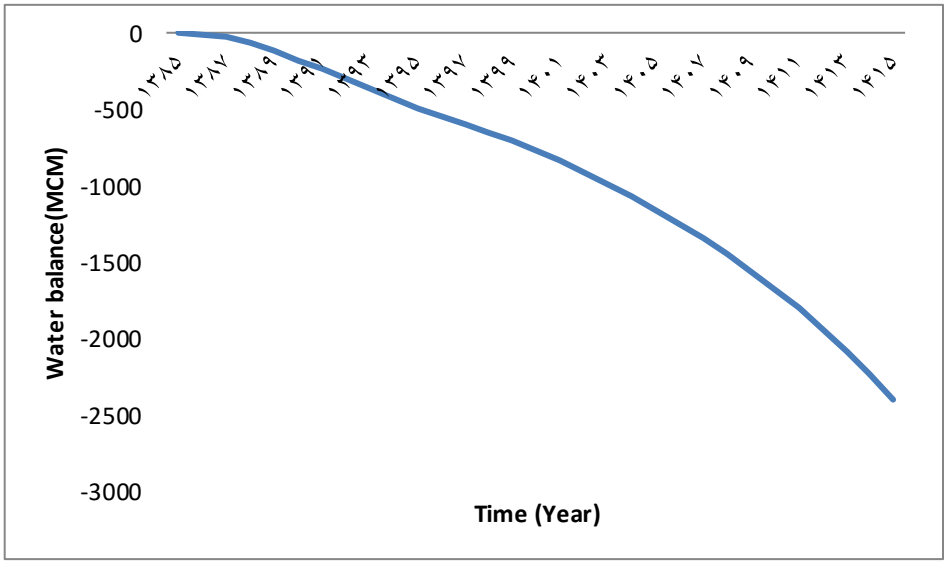

Figure 8 Qom city water balance from 2006 to 2016

شکل ۸ بیلان آب شهری قم از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

[12] Calibration
[13] Verification

۲.۲.۵ بازسازی رفتار مرجع

پس از شبیه سازی مدل، یکی از مواردی که لازم است مورد توجه قرار گیرد، این است که آیا مدل طراحی شده، رفتاری مشابه با روند گذشته و موجود به دست می دهد. با توجه به شکل های ۹ و ۱۰ می توان گفت رفتار مرجع در محیط شبیه سازی شده در این پژوهش، طبق رفتار پیش بینی شده بوده است.

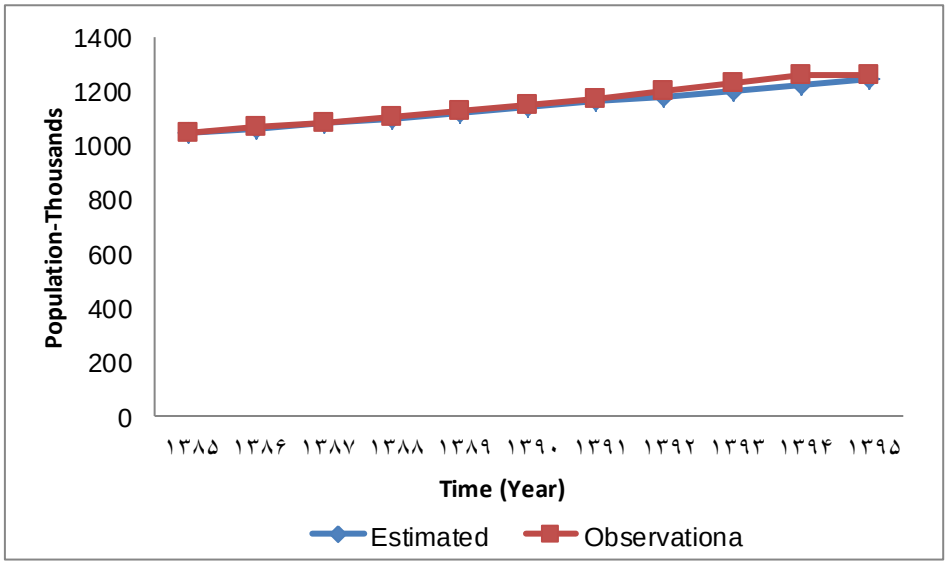

Figure ۹ Population estimates and historical population data from 2006 to 2016

شکل ۹ تخمین جمعیت و اطلاعات تاریخی جمعیت از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

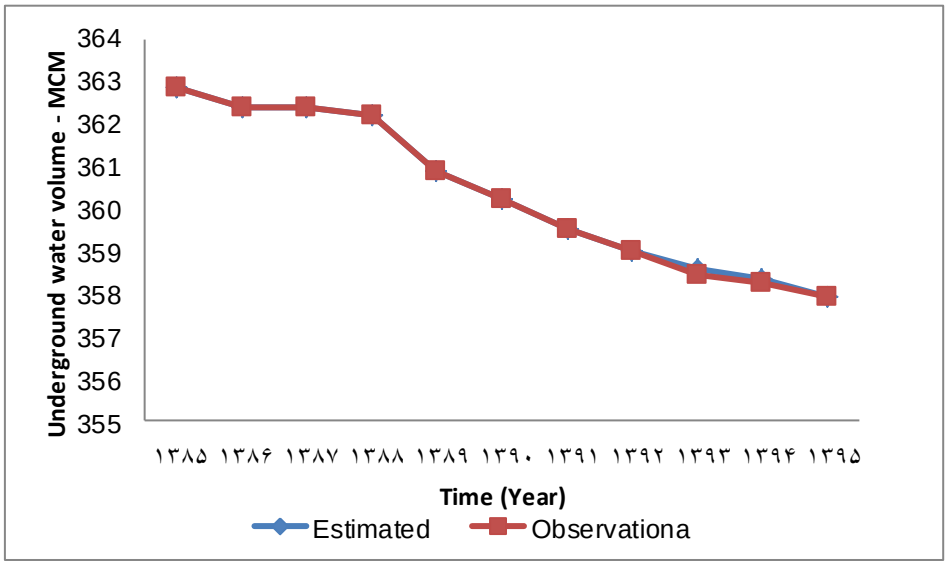

Figure ۱۰ Estimated storage volume and historical groundwater information from 2006 to 2016

شکل ۱۰ تخمین حجم ذخیره و اطلاعات تاریخی اب زیر زمینی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

۳.۲.۵ آزمون حساسیت

یکی از روش‌های سنجش اعتبار، آزمون حساسیت است. بر اساس این آزمون، تغییرات کوچک و قابل پیش بینی در پارامترهای مدل، در حالت عادی، نباید تغییرات شدید و غیر قابل پیش بینی در رفتار مدل ایجاد کند(fartookzadeh et al. 2015). در مدل تحقیق با ۲٪ افزایش تقاضا، تغییر چشمگیری در فاصله عرضه و تقاضا (بیلان آب) که در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است دیده نشد.

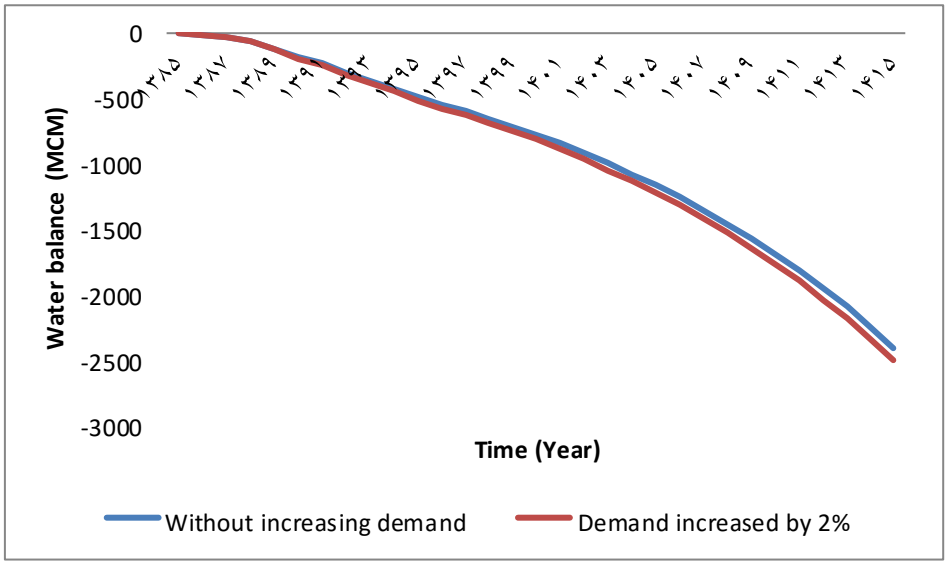

Figure 11 The effect of 2% increasing demand on water balance from 2006 to 2016

شکل ۱۱ اثر **۲٪ افزاش تقاضا بر بیلان آب از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.**

۶ نتایج شبیه سازی سیاست های مختلف مدیریتی

بعد از واسنجی مدل، پنج سیاست در مدل پویایی سیستم آب شهری قم شبیه سازی شد. آثار این پنج سیاست مدیریتی و نتایج، اعمال آنها در مدل بهینه، در ادامه ارائه شده است.

۱.۶ اعمال سناریوهای مرتبط با جمعیت

Table 1 The population of Qom province during different years

جدول ۱ تعداد جمعیت استان قم طی سالهای مختلف

سال	۱۳۳۵	۱۳۴۵	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۰	۱۳۷۵	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
جمعیت	۱۶۰۹۸۱	۱۷۹۸۶۲	۲۹۳۶۲۰	۶۱۶۹۶۳	۷۵۷۱۴۷	۸۵۳۰۴۴	۱۰۴۶۷۳۷	۱۱۴۹۰۹۹	۱۲۶۲۶۹۸

(Statistical Center of Iran, 2016)

مرکز آمار ایران ۱۳۹۵)

بررسی آماری سرشماری‌های انجام شده مطابق جدول شماره ۱ (مرکز آمار ایران)، نشان می‌دهد که نرخ رشد سالیانه جمعیت استان قم در دهه های مختلف چنین بوده است: ۱۳۳۵ تا ۱۳۴۵ هـش. معادل ۱/۱٪ و ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۵ هـش. معادل ۵٪، دوره ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵ هـش. معادل ۷/۷٪، دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ معادل ۳/۳٪ و برای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ معادل ۲/۱٪ می‌باشد؛ و بطور میانگین در طول دوره ۳۰ ساله ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۷ هـش.، جمعیت قم بیش از ۳/۵ برابر شده است. از سال ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۰ هـش. جمعیت ۱/۹۳ درصد رشد داشته و ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۵ ۲/۳۳ درصد رشد داشته است؛ اطلاعات جمعیتی مرکز آمار ایران نشان می دهد، قم از شهرهای با نرخ بالای مهاجرت می باشد. از طرفی کنترل جمعیت، یکی از فاکتور های مهم در پایداری آب شرب شهری می باشد و با ازدیاد جمعیت، میزان تقاضای آب شرب شهری نیز بطور فزاینده ای افزایش می یابد. در نتیجه با اعمال سیاست های کنترل جمعیت و با توجه به شکل شماره ۱۲ می توان فاصله عرضه و تقاضا (میزان کمبود) را کاهش داد.

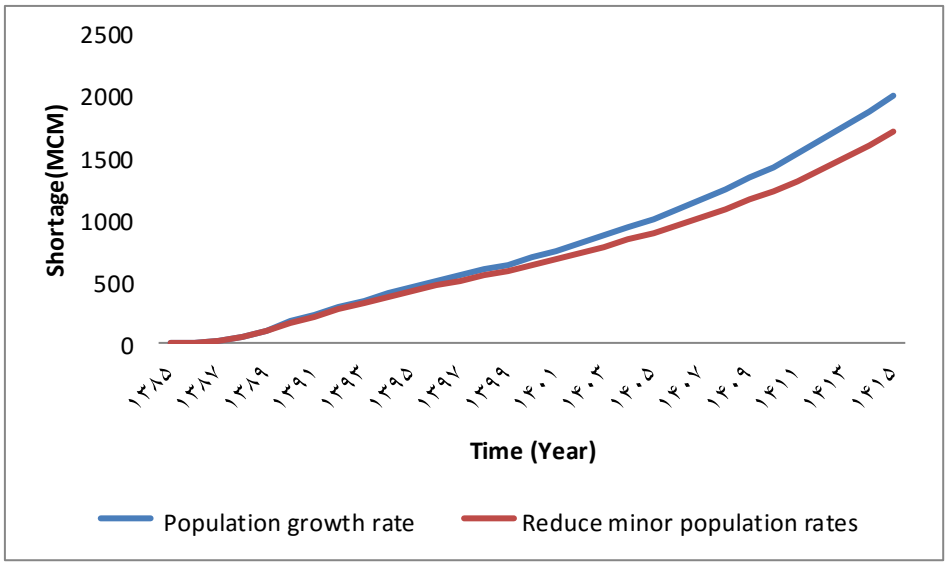

Figure12 The effect of population growth rate on shortage from 2006 to 2016

شکل ۱۲ اثر نرخ رشد جمعیت بر میزان کمبود از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـش

۲.۶ اعمال سناریوی اجرایی شبکه جمع آوری و تصفیه فاضلاب

۱.۲.۶ فقدان شبکه جمع آوری فاضلاب

در صورت فقدان شبکه جمع آوری، فاضلاب خروجی مشترکین مجدداً وارد منابع زیر زمینی می گردد و از افت ایستایی سطح آبخوان جلوگیری می نماید و مانع پیشروی آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین می شود. این اقدام امّا از سوی دیگر باعث افزایش آلودگی و میزان نیترات موجود در منابع آبی می گردد.

۲.۲.۶ تکمیل شبکه جمع آوری فاضلاب به صورت کامل یا تا ۵۰٪

در صورت تکمیل شبکه جمع آوری فاضلاب از پساب فاضلاب جمع آوری شده می توان به عنوان یک منبع جدید آبی برای آبیاری فضای سبز و صنعت استفاده کرد یا بطور مصنوعی پساب را به منابع زیر زمینی تزریق نمود؛ تا بخشی از افت سطح ایستایی آبخوان برطرف گردد. ولی با توجه به هزینه بر بودن جمع آوری، انتقال، تصفیه فاضلاب و پمپاژ آن به محل مصرف با وجود مزایای قابل توجه این طرح، اجرای آن در یک دوره از نظر اقتصادی به صرفه نیست. براساس صورت های مالی شرکت آب و فاضلاب قم در سال ۱۳۹۵ هـش. قیمت تمام شده در نقطه سربه سر ۱۰۴۴۶ ریال و متوسط قیمت جمع آوری هر مترمکعب فاضلاب ۳۱۱۳ ریال می باشد؛ بنابراین در هر متر مکعب ۷۳۳۳ ریال به زیان شرکت افزوده می شود. درنتیجه علیرغم مناسب بودن شبکه جمع آوری فاضلاب شهری، با توجه به شرایط موجود شهر قم و کمبود شدید آب، افت سطح ایستایی منابع زیر زمینی، حرکت آبهای شور به سمت شیرین و همچنین تامین بیش از ۸۰٪ منابع آب از خارج استان به نظر می رسد، درباره اجرای شبکه های فاضلاب می بایست تجدید نظر گردد. باید در نقاطی که امکان جذب فاضلاب وجود ندارد و در حریم رودخانه به دلیل وجود چاه های آب شرب شهری با رعایت استاندارد های لازم، اجرای شبکه جمع آوری فاضلاب در اولویت قرار گیرد. تاکنون حدود ۳۵٪ درصد شهر قم از امکان سیستم جمع آوری فاضلاب بهره مند شده است. پیش بینی می شود تا افق زمانی تحقیق برای ۵۰٪ مشترکین امکان جمع آوری فاضلاب فراهم گردد؛ بنابراین در شکل شماره ۱۳ اثر هریک از سناریو ها بر میزان کمبود نشان داده شده است.

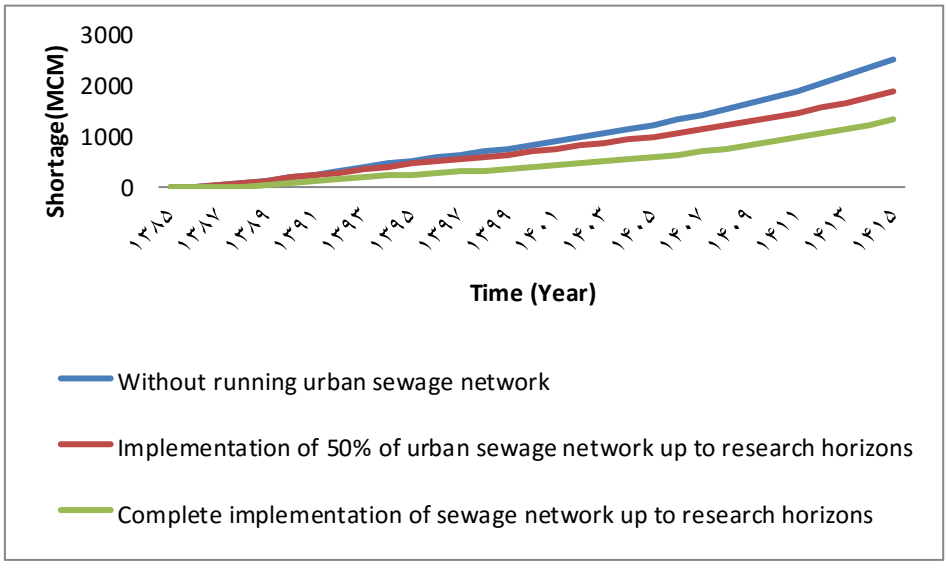

Figure13 Effect of different scenarios of wastewater system in shortage from 2006 to 2016

شکل ۱۳ اثر سناریوهای مختلف شبکه فاضلاب در میزان کمبود از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـش.

۳.۶ اعمال سناریوهای مدیریت تامین

بر اساس گزارش بالانس شرکت آب و فاضلاب قم بطور متوسط ۱۳٪ هدررفت در شبکه های توزیع و انتقال وجود دارد که در صورت نفوذ هدررفت به آبخوان علاوه بر هزینه بهره برداری مجدد هدایت الکتریکی از ۵۰۰ به بالای۲۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر خواهد رسید و اگر بودجه لازم برای کنترل این هدررفت وجود نداشته باشد، میزان آن در سالهای آتی افزایش خواهد داشت. بطوری که با افزایش تقاضا و میزان هدررفت، حتی در صورت تداوم انتقال آب از سرشاخه ها ی دز، در سال ۱۴۰۱ هـ.ش.شهر دچار بحران کمبود آب خواهد شد. در شکل شماره ۱۴ وضعیت هدررفت آب با اعمال مدیریت تلفات و بدون آن ارائه شده است.

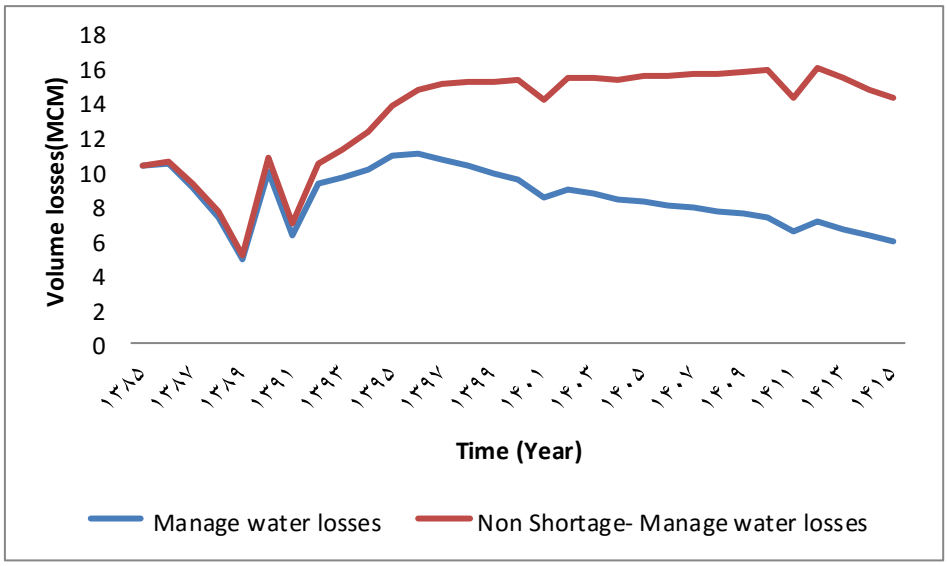

Figure14 The effect of casualty management on reducing water shortage from 2006 to 2016

شکل ۱۴ اثر مدیریت تلفات بر کاهش میزان کمبود آب از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

۴.۶ اعمال سناریوهای مدیریت مصرف

در این بخش دو سناریو ارائه شده است که می تواند در مدیریت تقاضا موثر باشد. با توجه به محقق شدن کلیه گزینه‌های تامین آب، چاره ای جز کنترل مصرف وجود ندارد. بر همین اساس رسیدن به سرانه های مصرف قابل قبول و فرهنگ سازی می تواند عامل موثری در کنترل تقاضا باشد.

۱.۴.۶ سناریوی مدیریت مصارف کاربری های معاف از قیمت

در سال ۱۳۸۹ هـ.ش. برخی از کاربری ها از جمله مساجد، حسینیه ها و بقاع متبرکه و همچنین ۵۰ درصد مصارف مدارس تا ظرفیت قراردادی مشخص بر اساس مصوبه مجلس از پرداخت قبوض آب بهاء معاف شدند. همین موضوع باعث شد این کاربری ها انگیزه لازم برای کنترل مصارف خود نداشته باشند. گزارش‌های اعلامی شرکت آب و فاضلاب قم موید این موضوع می باشد. متاسفانه در سال ۱۳۹۴ هـ.ش. سقف مصرف بر اساس

ظرفیت قراردادی برداشته شده و این گونه کاربری ها هیچ محدودیتی در مصرف آب ندارند. همین موضوع باعث افزایش مصرف گردید که در شکل شماره ۱۵ نشان داده شده است، بنابر این پیشنهاد می گردد برای کاربری های فوق ظرفیت قراردادی براساس نیاز حقیقی تعیین شود تا شاهد مصرف بی رویه آب و به تبع آن کمبود منابع آبی نشویم.

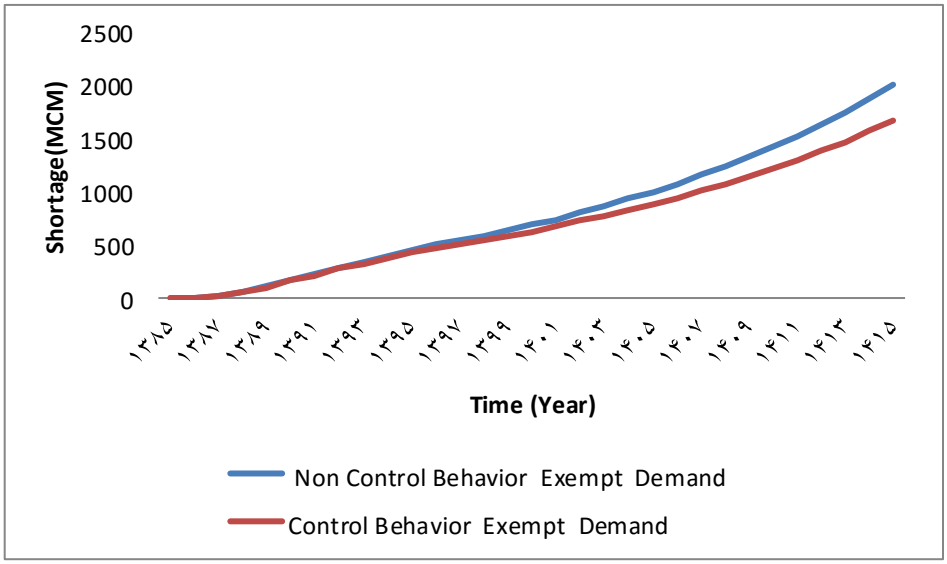

Figure15 Impact of consumer behavior exempt on the amount of shortage from 2006 to 2016

شکل ۱۵ اثر رفتار مصرف کننده معاف بر میزان کمبود از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

۲.۴.۶ سناریوی مدیریت مصارف کاربری خانگی

با توجه به اینکه بیش از ۹۰٪ تقاضا در بخش خانگی می باشد، بنابراین کنترل مصارف این بخش می تواند مدیریت آب شهری را به موفقیت برساند و شرایط تامین پایدار آب شرب شهری محقق گردد. درحقیقت کنترل رفتار مصرف کننده در این بخش در سایر کاربریها نیز موثر است از جمله کاربری های معاف ازقیمت. در شکل شماره ۱۶ میزان تقاضا بدون کنترل الگوی مصرف خانگی و با کنترل الگوی مصرف و اثرات آن برروی میزان کمبود آب نشان داده شده است. با توجه به رفتار مرجع شماره ۳ در سال ۱۴۰۱ هـ.ش. مصرف شهر در شرایط کمبود آب قرار می گیرد که با اجرای سناریوی کنترل الگوی مصرف خانگی می توان مشکل کمبود آب را تا حدی بر طرف نمود.

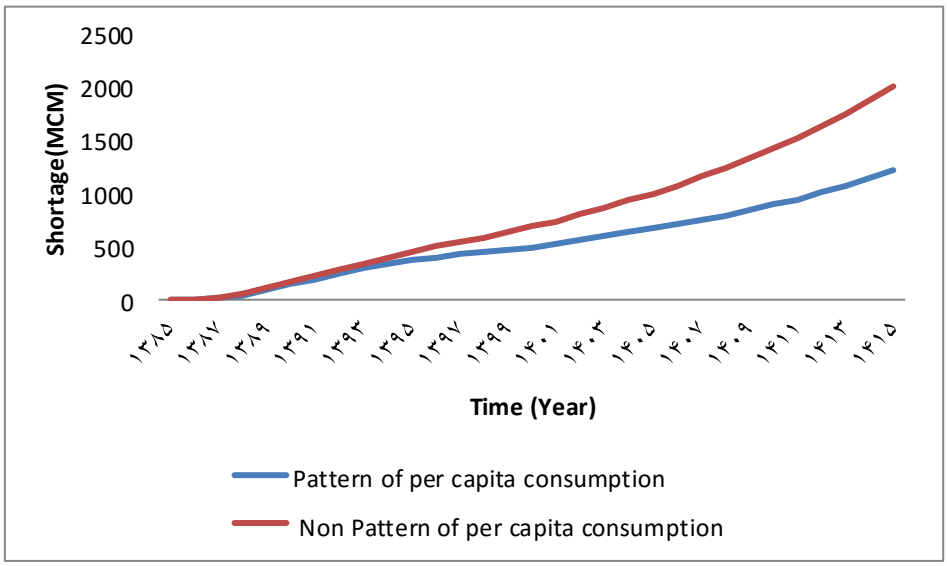

Figure 16 The effect of controlling the pattern of domestic consumption on water shortage from 2006 to 2016

شکل ۱۶ اثر کنترل الگوی مصرف خانگی بر میزان کمبود آب از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

۵.۶ سناریوی جداسازی آب شرب از بهداشتی

با توجه به اینکه منابع آب شیرین شهر قم بسیار محدود و در حال کم شدن می باشد جداسازی آب شرب و بهداشتی همیشه مطرح بوده و در این پژوهش اثرات جداسازی آب شرب و بهداشتی برای تامین پایدار آب بررسی شده است. با توجه به شاخص آسیب پذیری و تامین پایدارآب شرب شهری علاوه بر سناریوهای مطرح شده، سناریو جدا سازی در مدل ارائه شده، می تواند یکی از گزینه های موثر در پایداری آب شرب شهری باشد. در شکل شماره ۱۷ با کنترل الگوهای مصرف و جدا سازی آب شرب از بهداشتی پایداری آب شرب شهری تا افق زمانی پروژه حفظ می شود.

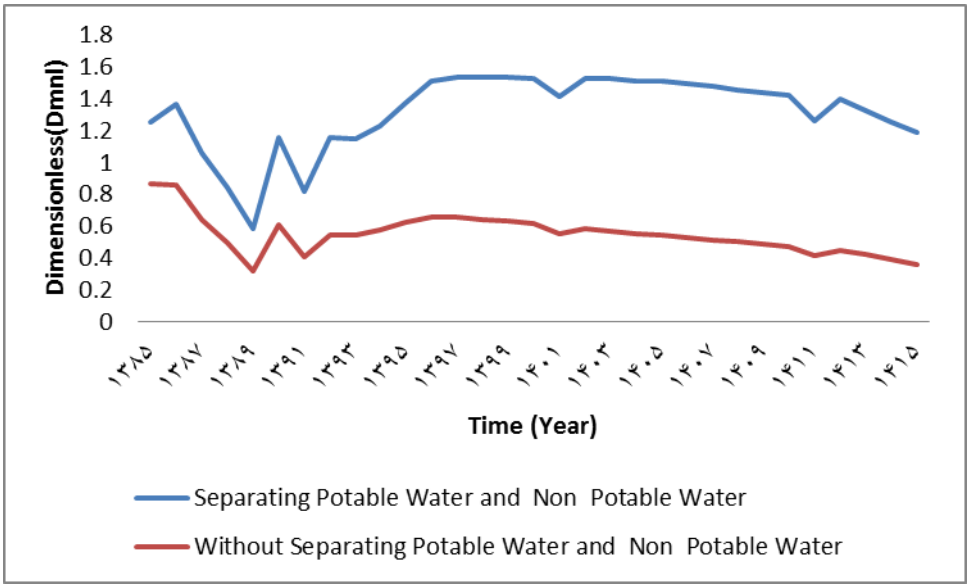

Figure 17 The effect of separating Potable water and non Potable Water on the Sustainability of urban Potable water from 2006 to 2016

شکل ۱۷ اثر جدا سازی آب شرب و غیر شرب بر پایداری آب شرب شهری از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هـ.ش.

Table 2 The effects of different scenarios on the reduction of Potable water shortage city Qom

جدول ۲ آثار سناریوهای مختلف در کاهش میزان کمبود آب شرب شهری قم

Scenario	*shortage reduction (%)*	*Method*	*Description*
۱.۶	٪۹	کنترل مهاجرت و. رشد جمعیت	با کاهش نیم درصد رشد جمعیت
۱.۲.۶	٪۰	عدم اجرای شبکه فاضلاب	مشکلات زیست محیطی
۲.۲.۶	٪۴۷	اجرای کامل شبکه فاضلاب	با توجه به قیمت پایین آب اقتصادی نیست
۲.۲.۶	٪۱۷	اجرای ۵۰٪ شبکه فاضلاب	مناسب شرایط قم می باشد
۳.۶	٪۲۵	اصلاح شبکه های فرسوده	استفاده از لوله های با کیفیت مناسب
۱.۴.۶	٪۹	ایجاد ظرفیت قراردادی برای کاربری‌های معاف	با توجه به تعدد کاربری‌های معاف ضرورت زیادی وجود دارد
۲.۴.۶	٪۲۶	افزایش باور مردم و در دسترس بودن لوازم کاهنده	استفاده از لوازم کاهنده مصرف منوط به ارزش اقتصادی آب، آگاهی و در دسترس بودن می باشد
۵.۶	٪۰	جدا سازی آب شرب و بهداشتی	با اعمال سناریوهای بالا و جدا سازی آب شرب پایداری آب شرب شهری تصمین می گردد

۷ نتیجه گیری

ایجاد نگرش سیستمی در تحلیل مسائل، منجربه شناخت همه جانبه و درک بهتر مسئله می شود. چنین رویکردی در شناخت مسائل آب شهری نیز به درک پویایی و پیچید گی‌های پنهان در آن کمک می کند و با شناخت متغیر های تاثیر گذار به تدوین سیاست‌های موثر برای حل معضلات و مشکلات می انجامد.

در این تحقیق، علاوه بر مدل کردن بیلان آب شهر قم با اضافه نمودن مولفه‌ی مدیریت عرضه و تقاضا، مدل های مفهومی را به مدلی عینی و کاربردی تبدیل کرده است. در نتیجه قابلیت شناخت بهتری از لایه‌های پنهان فراهم شده که سر منشاء مقاومت در مقابل تصمیم‌ها می باشند.

کنترل الگوی مصارف خانگی (با افزایش باور مردم به کمبود منابع آبی، استفاده از لوازم کاهنده‌های مصرف و واقعی شدن قیمت آب)، کاهش مصارف کاربری‌های معاف از قیمت، کنترل جمعیت به ویژه مهاجرت، مدیریت هدررفت آب، استفاده از پساب به عنوان آب جدید با رویکرد حفظ محیط زیست و جداسازی آب شرب و بهداشتی، مولفه‌های تامین پایدار آب شرب شهری می باشند. نتایج بررسی های انجام شده نشان می دهد، مولفه‌های جدا سازی آب شرب از غیر شرب و کنترل الگوی مصارف کاربری‌های معاف از قیمت، در طول زمان سیاست‌های جدیدی است که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. این مولفه‌ها می توانند نقش موثری در تامین پایدار آب شرب شهری ایفا کنند.

نتیجه کلی این تحقیق مبین این واقعیت است که به دلایل افزایش جمعیت و افزایش سرانه الگوی مصرف خانگی فاصله بین عرضه و تقاضا بسیار زیاد شده است؛ بنابراین هیچ یک از راهکارهای مدیریتی به تنهایی قادر به ارائه برنامه جامع تامین پایدار آب شرب شهری نیست؛ بلکه برای رسیدن به راه حل یکپارچه به مجموعه ای از اقدامات مدیریتی نیاز می باشد. پژوهش حاضر، محیط شبیه سازی شده‌ای را ارائه نموده است که در آن می توان آثار سیاست‌ها را پیش از عمل کردن به آن بررسی و مشخص نمود. مدل ارائه شده برای سیستم آب شرب شهری قم، می تواند یک دید کلی برای مدیران و تصمیم گیران ارایه و در برنامه ریزی و تصمیم گیری موفق، آنها را یاری کند. با توجه به اینکه هیچ مدلی بصورت مطلق کامل نیست، با افزودن متغیر های تاثیر گذار دیگر، دقت نتایج حاصل از مدل بالاتر، خواهد رفت. لذا پیشنهاد می شود با توجه به کمبود منابع آب شرب، رفتار کاربری‌های مختلف برای ارتقا مدل بررسی گردد.

۸ مراجع

ACHEAMPONG, E. N., SWILLING, M. & URAMA, K. 2016. Sustainable Urban Water System Transitions Through Management Reforms in Ghana. *Water Resources Management,* 30**,** 1835-1849.

BAGHERI, A., DARIJANI, M., ASGARY, A. & MORID, S. 2010. Crisis in Urban Water Systems during the Reconstruction Period: A System Dynamics Analysis of Alternative Policies after the 2003 Earthquake in Bam-Iran. *Water Resources Management,* 24**,** 2567-2596.

BAGHERI, A. & HJORTH, P. 2007. a framework for process indicators to monitor for sustainable development: practice to an urban water system. *Environment, Development and Sustainability,* 9**,** 143-161.

CLIFFORD HOLMES, J. K., SLINGER, J. H., MUSANGO, J. K., BRENT, A. C. & PALMER, C. G. Using System Dynamics to Explore the Water Supply and Demand Dilemmas of a Small South African Municipality. 32nd International Conference of the System Dynamics Society, Delft, The Netherlands, 20-24 July 2014; Authors version, 2014. System Dynamics Society.

FARTOOKZADEH, H. R., GHOJAVAND, S. & NOHOOJI, M. R. 2015. Dynamic Modeling of Tehran's Water System for Effective Management. *Bimonthly Journal of Water and Wastewater,* 26**,** 23-36.

FORRESTER, J. W. 1997. Industrial Dynamics. *Journal of the Operational Research Society,* 48**,** 1037-1041.

GHADIRI, M. 2007. Vulnerability to crisis, the problem of the community or to society? Case Study Tehran Metropolis.

GLEICK, P. H. 1996. Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. *Water International,* 21**,** 83-92.

HOSSEINI, S. A. 2009. *\Using System Dynamics Approach in the extraction of water resources sustainable development strategies Case study: development of water resources Mashhad.* MA, University of Tehran.

LOUBET, P., ROUX, P., GUERIN-SCHNEIDER, L. & BELLON-MAUREL, V. 2016. Life cycle assessment of forecasting scenarios for urban water management: A first implementation of the WaLA model on Paris suburban area. *Water Res,* 90**,** 128-40.

MADANI, K. & MARIñO, M. A. 2009. System Dynamics Analysis for Managing Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Water Resources Management,* 23**,** 2163-2187.

QI, C. & CHANG, N. B. 2011. System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. *J Environ Manage,* 92**,** 1628-41.

QRWA. 2015. *Report Qom Regional water Authority* [Online]. Available: http://www.qmrw.i/.

SAHIN, O., BERTONE, E. & BEAL, C. D. 2017. A systems approach for assessing water conservation potential through demand-based water tariffs. *Journal of Cleaner Production,* 148**,** 773-784.

SALAVITABAR, ZARGHAMI, M. & ABRISHAMCHI, A. 2006. System dynamics model in Urban Water Management Tehran. *Journal of Water & Wastewater,* 17**,** 12-28.
STATISTICAL CENTER OF IRAN 2016. Population. https://www.amar.org.ir.
STERMAN, J. D. 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World.
SUHARDJONO, A. R. A. 2016. Dynamics System Modelling of Sustainable Water Resources Management
Due to the Regional Spatial
(Case Study on Batam Island of Riau Islands, Indonesia).
SUN, Y., LIU, N., SHANG, J. & ZHANG, J. 2017. Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics model. *Journal of Cleaner Production,* 142**,** 613-625.
SYSTEM, T. E. W. D. B. U. & MOLONEY, D. C. S. 2013. A System Dynamics analysis of the Bottled Water Industry
in the United States. *System Dynamics Society*

UN-WATER 2009. Water In A Changing World. The United Nations Educational, Scientifc and Cultural
Organization (UNESCO).
WEI, T., LOU, I., YANG, Z. & LI, Y. 2016. A system dynamics urban water management model for Macau, China. *Journal of Environmental Sciences,* 50**,** 117-126.
WWCQ 2016. Water and Wastewater Company in Qom.
XI, X. & POH, K. L. 2013. Using System Dynamics for Sustainable Water Resources Management in Singapore. *Procedia Computer Science,* 16**,** 157-166.
YANG, J., LEI, K., KHU, S. & MENG, W. 2015. Assessment of Water Resources Carrying Capacity for Sustainable Development Based on a System Dynamics Model: A Case Study of Tieling City, China. *Water Resources Management,* 29**,** 885-899.
ZARGHAMI, M. & AKBARIYEH, S. 2012. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resources, Conservation and Recycling,* 60**,** 99-106.