



Simulation of Rural Drinking Water Pricing With Systems Dynamics Case Study: Yazd, Akramabad

M.A. Arasteh¹ and Y. Farjami^{2*}

Abstract

One of the long-term goals of nation-wide strategic management at the country is the balance between water supply and demand at the lowest cost. Water supply and demand management is one of the tools to achieve the efficient allocation of water resources and in this regard dynamic water pricing is a very effective tool for managing demand. Since environmental conditions (economic, cultural, social, and political) are sometimes contradictory and complex, water pricing is a complex issue. In the current study, the issue of dynamic water pricing is investigated with the aim of balancing supply and demand in villages using the dynamics of the simulation system. The simulation accuracy is examined using validation tests for a case study. In different scenarios in ten years from 2020 to 2029, the future status of water resources and balance between supply and demand are examined. The use of dynamic pricing and revenue from it, culture building and infrastructure reform was the prevailing scenario. Based on this scenario, no additional resources or rationing would be required until 2029 in the village of Akramabad.

Keywords: Sustainable Water Resources, System Dynamics, Supply And Demand Balance, Simulation, Dynamic Pricing, Water Resources Management.

Received: February 4, 2018

Accepted: July 14, 2018

شبیه‌سازی قیمت‌گذاری آب آشامیدنی روستایی با پویایی سیستم‌ها- مطالعه موردی: اکرم‌آباد یزد

محمدعلی آراسته^۱ و یعقوب فرجامی^{۲*}

چکیده

برقراری تعادل میان توزیع و تقاضای منابع آب با کمترین هزینه ممکن یکی از اهداف بلندمدت مدیریت راهبردی کشور است. یکی از ابزارهای توسعه پایدار منابع آب مدیریت تقاضای آب است و قیمت‌گذاری پویای منابع آب ابزار بسیار مؤثری برای مدیریت میزان مصرف به جای مدیریت عرضه است. از آنجا که شرایط محیطی متفاوت (اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و سیاسی) گاهی با یکدیگر در تضاد بوده و از پیچیدگی زیادی برخوردار است، مسأله قیمت‌گذاری آب جزو مسائل پیچیده محسوب می‌شود. در این مقاله، قیمت‌گذاری پویای منابع آب آشامیدنی با هدف مدیریت مصرف و تعادل میان عرضه و تقاضا با استفاده از پویایی سیستم شبیه‌سازی و درستی مدل در بررسی موردی (روستای اکرم‌آباد شهرستان یزد) با استفاده از آزمون‌های صحت‌سنجی ارزیابی شد. طی سناریوهای مختلف در ده سال (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۹)، وضعیت آینده منابع آبی و همچنین تعادل میان عرضه و تقاضا بررسی گردید. سناریو برتر استفاده از قیمت‌گذاری پویا به همراه فرهنگ‌سازی و اصلاح زیرساخت‌ها است.

کلمات کلیدی: پایداری منابع آب، پویایی سیستم، تعادل عرضه و تقاضا، شبیه‌سازی، قیمت‌گذاری پویا، مدیریت منابع آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۶/۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۷/۱۹

1- Ph.D. Candidate of Information Technology, GIS Expert in Charge in Yazd Province Rural Water and Wastewater Company.

2- Associate Professor of Information Technology, Faculty of Engineering, Qom University, Email: farjami@qom.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری فناوری اطلاعات، مسئول سیستم اطلاعات جغرافیایی شرکت آب و فاضلاب روستایی استان یزد.

۲- دانشیار گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

ساعاتی غیر از اوج مصرف منتقل کنند. در این صورت این امکان از نظر فنی فراهم می‌شود که با اعمال قیمت‌گذاری آب به صورت پویا، بهینه‌سازی در مصرف منابع صورت پذیرد. پیشنهاد او قیمت‌گذاری روزانه منابع آبی بر مبنای اندازه‌گیری هوشمند و پیش‌بینی میزان تقاضا است. او سیستم خود را به سه بخش تقسیم کرده است. بخشی که اطلاعات را جمع‌آوری و در خود ذخیره‌سازی می‌کند. بخش ارتباطی که با خانه‌ها ارتباط دارد و بخش قیمت‌گذاری که از طریق اطلاعات جمع‌آوری شده قیمت‌گذاری می‌کند (Vašak et al., 2014). سلسله کارهای ساهین و همکارانش در خصوص قیمت‌گذاری آب در شرایط بحران و کم‌آبی انجام شده منتشر گردیده و در زمینه برنامه‌ریزی منابع آبی از طریق قیمت‌گذاری، توسعه شبکه و تولید آب منتشر شده است (Sahin et al., 2015). رینادو سیاست‌های قیمت‌گذاری تقاضای آب شرب را شبیه‌سازی می‌کند. به نظر او باید بین جستجو برای اثربخشی محیط‌زیست، بهبود درآمد و عدالت تعادل برقرار نمود. او قیمت‌گذاری فصلی را در یک فرآیند قیمت‌گذاری چندمرحله‌ای پیاده‌سازی می‌کند (Rinaudo et al., 2012). لهنم قیمت‌گذاری را ریشه حل مشکلات کیفی و کمی آب در کشورهای در حال توسعه می‌داند و یک چارچوب تحلیلی برای درک چالش‌های مربوط به قیمت‌گذاری تأمین آب و فاضلاب پیشنهاد می‌کند (Lehmann, 2010). مهیدین در یک بررسی جامع روی تمام تئوری و راه‌حل‌های مرتبط با قیمت‌گذاری آب، هیچ‌کدام از راه‌حل‌ها را کامل نمی‌داند. به نظر او تمام معیارهایی که در مقالات آورده شده‌اند صحیح هستند ولی باید به صورت جامع و کل‌نگر به موضوع نگاه کرد (Mohayidin et al., 2009). دونوسو قیمت‌گذاری آب شهری در شیلی را با هدف بازگشت هزینه، بهینگی مصرف و حفاظت از منابع آب بررسی کرده است (Donoso, 2017) و همچنین رگو از اندازه‌گیری هوشمند مصرف آب برای قیمت‌گذاری پویای آب استفاده می‌کند (Rougé et al., 2016).

پژوهش جاری قیمت‌گذاری روزانه آب را با هدف پایداری تقاضا و حفظ منابع آبی مورد بررسی قرار داده و آن را راه‌حل اجتناب‌ناپذیری در مدیریت مصرف می‌داند. در قیمت‌گذاری باید عوامل زیادی در نظر گرفته شود. میزان آب سطحی و زیرزمینی منطقه، میزان بارندگی، خودکفایی مالی، مجاری مصرف، میزان بهینگی مصرف، فرهنگ جامعه، میزان مصرف، ساعات مصرف در روز از این عوامل هستند. قیمت‌گذاری باید به نحوی انجام شود تا هم باعث بهینگی مصرف آب شود و هم فشار بر خانواده و کشاورزان ایجاد نکند. برای این منظور باید بتوان وضعیت عوامل مختلف را بررسی و آن‌ها را در آینده پیش‌بینی نمود. لذا استفاده از سیستمی که آینده را با تعیین وضعیت موجود به صورت صحیح شبیه‌سازی نماید، ناگزیر به نظر می‌رسد. قیمت‌گذاری آب شرب روستایی با استفاده از پویایی سیستم در ایران

افزایش تقاضای سالیانه منابع آب و خشک‌سالی‌های متوالی، باعث ایجاد مشکلاتی در تعادل عرضه و تقاضای آب شده است (Fani et al., 2016). تاکنون تحقیقات فراوانی در خصوص مدیریت منابع آب حوزه آبخیز به کمک فناوری اطلاعات انجام شده است. این تحقیقات با اهداف مختلف از جمله مدیریت یکپارچه آب و انرژی، تصمیم‌گیری، مدیریت منابع آب شهری یا کشاورزی، مدیریت منابع آبی حوضه دریاچه، رودخانه یا زیرزمینی، آلودگی و بازیافت آب و فرهنگ‌سازی در جهت مصرف بهینه منابع آبی انجام شده است. در این پژوهش‌ها از روش‌های پویایی سیستم، مدل‌های چندعامله، مدل‌های مبتنی بر نظریه بازی، شبکه‌های عصبی، نظریه ماشین‌ها، استفاده از ابزارهای مالتی مدیا و ترکیب روش‌های فوق استفاده کرده‌اند (Langsdale et al., 2007; Dai et al., 2013; Hoekema & Sridhar, 2013; Hosseini & Bagheri, 2013; Koushali et al., 2015; Mirchi, 2013; Ouyang et al., 2016). مهمترین راه کارهای پیشنهادی این پژوهش‌ها بهره‌برداری بهینه از منابع آبی باقی‌مانده، استفاده مجدد از فاضلاب، شیرین کردن آب‌های شور و افزایش ظرفیت تولید منابع موجود، در نظر گرفتن راهبردهای صرفه‌جویی آب در بخش‌های مختلف (کشاورزی، شهری، صنعتی، اقتصادی) و توسعه روش‌های مدیریت کارآمد و توسعه پایدار منابع آبی می‌باشد (Fani et al., 2016; Horlemann & Berenji, 2014; Madani, 2014; Samimi & Samimi, 2014). یکی از روش‌های کمی مدیریت تقاضا و خودکفایی مالی این صنعت استفاده از راه‌کارهای قیمت‌گذاری متغیر آب است (Renzetti, 2017; Reznik et al., 2016). رشید ریحان در پایان‌نامه دکتری خود در دانشگاه واترلو کانادا به موضوع پایداری منابع آب و فاضلاب با استفاده از سیاست خودکفایی مالی می‌پردازد. به همین منظور او سیستم‌های مختلف آب و فاضلاب از جمله سیستم توزیع آب، سیستم منابع آب شرب، سیستم فاضلاب را به صورت جداگانه بررسی و بر اساس پویایی سیستم‌ها آن‌ها را به نحوی شبیه‌سازی می‌کند که با گرفتن مالیات و عوارض مختلف موجب خودکفایی سیستم گردد. در بخش مدیریت منابع آب نیز سیستم را به نحوی تقسیم می‌کند که بتواند چرخه‌های مصرف‌کننده، مالی، زیرساخت و غیره را جداگانه بررسی کرده و در نهایت آن‌ها را با هم ترکیب می‌کند (Rehan et al., 2011; Rehan et al., 2013). رساک در پایان‌نامه دکتری خود در رشته کامپیوتر از هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی میزان مصرف استفاده کرده است. او معتقد است در قیمت‌گذاری آب باید اصل بهبود هزینه کامل پوشش داده شود. به نظر او مهم است که مصرف‌کنندگان از آب عاقلانه‌تر استفاده کنند یا استفاده از آب را به

تأمین آب سالم و بهداشتی برای روستاییان در ایران را بر عهده دارد. یکی از مهم‌ترین چالش‌های این شرکت تأمین آب در شرایط خشک‌سالی و بحران است. فرضیه مسئله این است که قیمت‌گذاری به کمک پویایی سیستم‌ها می‌تواند در صرفه‌جویی در مصرف آب و همچنین برقراری تعادل میان تأمین و تقاضا نقش مؤثری داشته باشد.

۲- شبیه‌سازی مدل: در شکل یک دو نمودار مفهومی (علی و معلولی) تأمین آب شرب روستاییان رسم گردیده است. این عوامل را می‌توان به چهار دسته عوامل تأمین‌کننده آب (چشمه، چاه، آب پشت سد، رودخانه، قنات و آب انتقالی از استان‌های دیگر و آب تأمینی از شرکت آب منطقه‌ای)، عوامل مصرف‌کننده آب آشامیدنی (آب‌هایی که توسط مشترکین آب آشامیدنی مصرف شده است، تبخیر آب‌های سطحی، آب‌هایی که به هر دلیلی از آن درآمدزایی نشده مانند آب‌های هدررفته، دزدی از شبکه، آبیاری نقاط عمومی مانند پارک‌ها و غیره است)، عوامل مؤثر در بهینگی مصرف (فرهنگ‌سازی، قیمت آب، شبکه توزیع، جمعیت روستایی) و عوامل مؤثر در بهبود شبکه (بودجه عمرانی، درآمد شرکت و توسعه روستا) تقسیم‌بندی کرد.

۳- آزمون مدل: برای اطمینان از عملکرد صحیح یکی از روستاهای استان یزد به‌عنوان بررسی موردی انتخاب گردید. برای آزمون عملکرد صحیح روند قیمت‌گذاری، تأثیر قیمت طی دو مرحله افزایش قیمت گذشته مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس تأثیر قیمت اصلاح گردید. در نهایت برای طراحی و ارزیابی راه کارهای بهبود سیاست‌های مختلف در سال‌های آینده بررسی و سیاست‌های (های) بهینه انتخاب گردید.

۲-۲- ناحیه مورد مطالعه

استان یزد با قرار گرفتن در بخش مرکزی فلات ایران دارای شرایط آب‌وهوایی ویژه از جمله بارش اندک همراه با تبخیر شدید، دور بودن از دریا، نزدیکی با کویر خشک و پهناور نمک و رطوبت نسبی کم همراه با گرمای بسیار می‌باشد و خشک‌ترین استان ایران است.

نوآوری اصلی مسأله جاری می‌باشد همچنین پیاده‌سازی مدل در بررسی موردی (روستای اکرم آباد یزد) مقاله را از مقالات دیگر متمایز می‌سازد.

بخش‌بندی مسأله به این صورت است که در بخش دوم مدل قیمت‌گذاری و زیرسیستم‌های اصلی سیستم بررسی شده است. در بخش سوم پیاده‌سازی بررسی موردی در روستای اکرم آباد ارائه گردیده است. همچنین شبیه‌سازی در شرایط مختلف مورد آزمون قرار گرفته، سناریوهای مختلف ارائه شده، نتایج پیاده‌سازی عرضه و نتایج تحقیق با کارهای دیگران مقایسه می‌گردد. در نهایت در بخش چهارم جمع‌بندی کار و پیشنهادهایی جهت تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- پویایی سیستم

پویایی سیستم در سال ۱۹۵۰ در دانشگاه MIT آمریکا و توسط فارستر پایه‌گذاری شد (Forrester, 1994). این روش با در نظر گرفتن روابط بین اجزای سیستم رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کند. روش پویایی سیستم در بسیاری از زمینه‌ها از جمله بازاریابی، مدیریت انرژی، آب و هوا، مدیریت محصول، سیاست و غیره استفاده شده است (Martinez- Moyano & Richardson, 2013; Sauer et al., 2017). پویایی سیستم روشی برای فهمیدن و درک رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان است (Langroodi & Amiri, 2016). عاملی که این روش را از روش‌های دیگر متمایز می‌سازد استفاده از حلقه‌های بازخورد برای اصلاح مقادیر متغیرها و به کارگیری متغیرهای جریان و حالت برای نمایش وضعیت سیستم در هر لحظه است. در پویایی سیستم شناختن ساختار سیستم در مشخص کردن رفتار سیستم به اندازه شناختن تک‌تک اجزا اهمیت دارد (Karnopp et al., 2012). برای مدل‌سازی سیستم قیمت‌گذاری آب آشامیدنی روستاها مراحل ذیل انجام گردید:

۱- مشخص کردن مسأله: شرکت آب و فاضلاب روستایی وظیفه

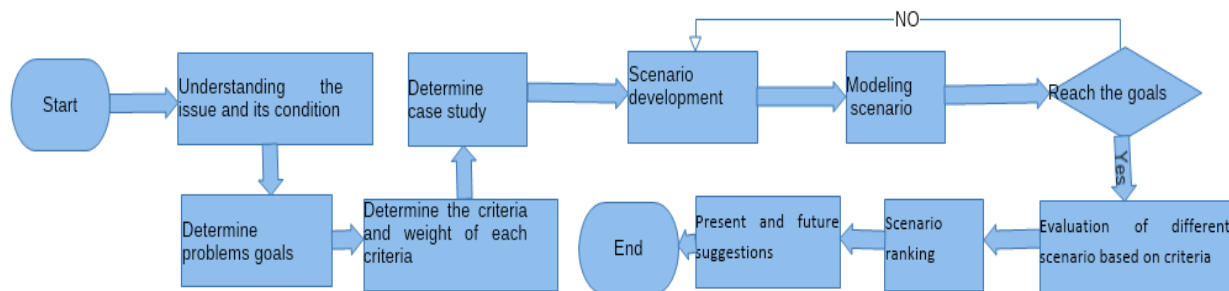


Fig. 1- Water pricing modeling using system dynamics
شکل ۱- مراحل مدل‌سازی پویایی سیستم در قیمت‌گذاری منابع آب آشامیدنی

۲-۳- شرح مدل

هدف مدل به صورت کلی توجه به مدیریت تقاضا به جای مدیریت عرضه است و به صورت خاص استفاده از راهکارهای قیمت گذاری، فرهنگ سازی و مدیریت هدررفت آب در جهت برقراری میان عرضه و تقاضا می باشد. در همین راستا و به صورت ساده کاهش منابع آب آشامیدنی و عدم تعادل میان عرضه و تقاضا باعث افزایش قیمت نهایی آب بها می شود، تغییر قیمت باعث اصلاح الگوی مصرف خانوارها می شود، کاهش مصرف (کاهش تقاضا) موجب کاهش برداشت و در نتیجه حفظ منابع آبی می شود. گرچه این افزایش قیمت باید هوشمندانه باشد و نمی توان بیش از آستانه تحمل کاربران آن را گران نمود. همچنین قیمت گذاری هوشمند باعث بهبود فرهنگ سازی می شود به نحوی که در شرایط کم آبی و خشک سالی مشترکین آب از مصارف بیپهوده کاسته و از وسایل کاهنده مصرف به نحو مناسب تری استفاده نمایند.

۲-۳-۱- حلقه های اصلی مدل

۱- حلقه درآمد-هزینه: هدف این حلقه کسب درآمد از افزایش قیمت ها و سرمایه گذاری در جهت بهبود شبکه و فرهنگ سازی برای بهینه سازی مصرف است. افزایش قیمت نهایی باعث افزایش سودآوری شرکت می شود و برخی از هزینه های شرکت جبران می شود. شرکتی از درآمدها را صرف فرهنگ سازی کاربران می کند که خود در بلندمدت باعث بهینگی در مصرف منابع آبی و تعادل عرضه و تقاضا می شود.

بیشتر آب آشامیدنی این استان از آب های زیرزمینی (قنات، چشمه، چاه) و آب انتقالی کوهرنگ تأمین می گردد.

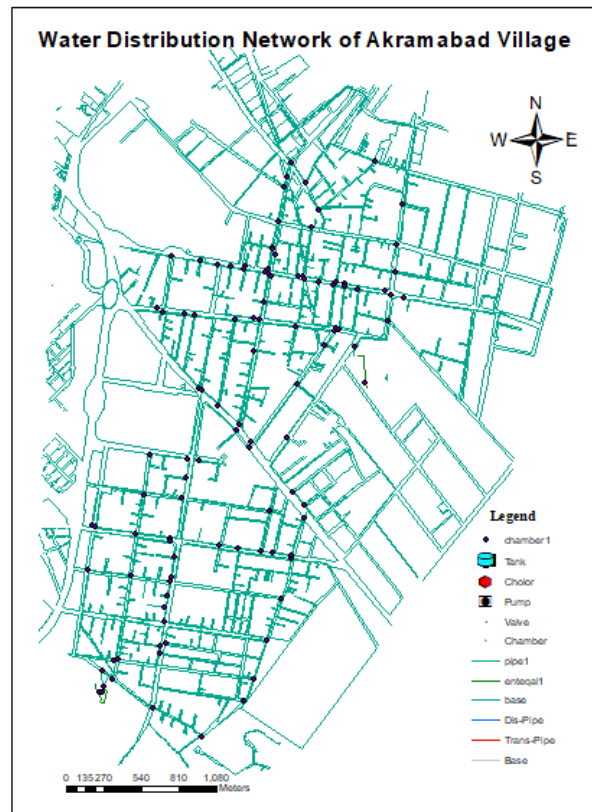


Fig. 2- Water supply network in Akramabad village
شکل ۲- شبکه و منابع آبرسانی روستای اکرم آباد

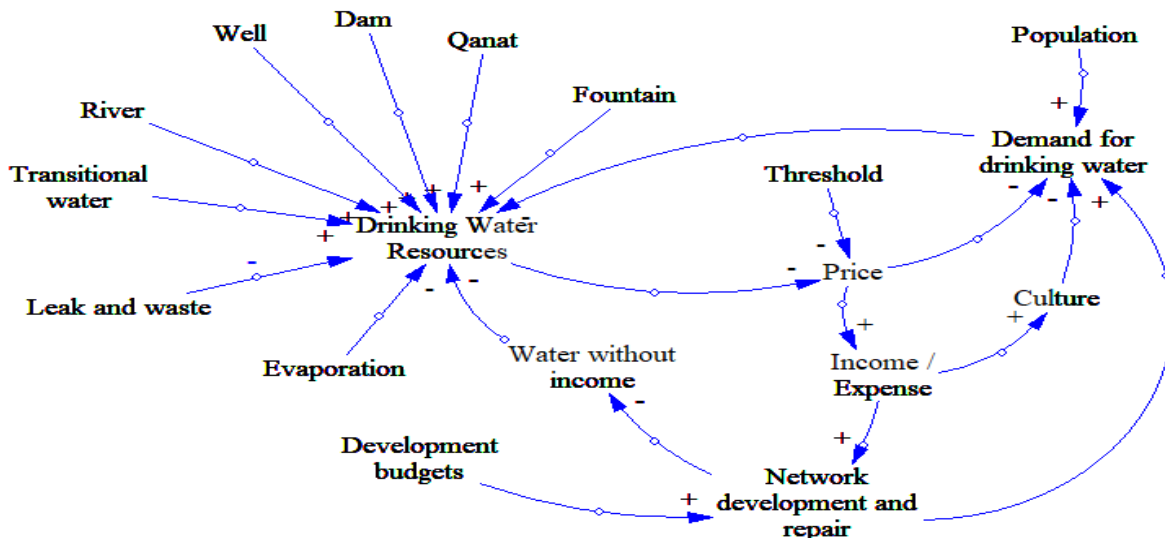


Fig. 3- The causal diagram of the dynamic pricing in rural drinking water
شکل ۳- نمودار علی و معلولی قیمت گذاری پویای منابع آب آشامیدنی روستایی

۲-۳-۳- نمودار ذخیره و جریان

نمودار ذخیره و جریان قیمت گذاری آب آشامیدنی روستایی در شکل ۴ آمده است. در این نمودار قیمت به عنوان یکی از معیارهای سیستم تعادل عرضه/تقاضا عمل می کند و تغییر قیمت آب آشامیدنی باعث تغییر رفتار کاربران در مصرف آب می گردد (McNabb, 2017).

۲-۳-۴- مفروضات مسأله

از آنجا که در نظر گرفتن همه پارامترها به صورتی که در جهان واقعی وجود دارند، در هیچ مدلی امکان پذیر نیست، در مدل حاضر نیز برای سادگی از یک سری مفروضات استفاده شد که در ادامه به آن ها اشاره می شود:

- مدل ارائه شده تنها به بررسی شبکه آب آشامیدنی می پردازد و لذا مصرف آب در حوزه های دیگر را بررسی نمی کند.
- از آنجا که چاه های حفر شده برای منابع آب آشامیدنی تنها به همین منظور استفاده می شود و همچنین عمق این چاه ها بسیار بیشتر از چاه های دیگر است، مصرف آب در چاه های کم عمق تأثیر زیادی بر روی میزان آب چاه آشامیدنی نمی گذارد و لذا از در نظر گرفتن این معیار صرف نظر شده است.
- بودجه های عمرانی هر ساله از طرف دولت تأمین می گردد و بهینگی مصرف و عملکرد شرکت بر روی میزان این بودجه تأثیر گذار است، لذا نمی توان آن را فرموله کرد و تنها به وارد کردن این معیار (به صورت سالیانه) بسنده شده است.
- در مطالعه موردی فرض شده است که شبکه توزیع در تمام روستا وجود دارد.

۲- حلقه فرهنگ سازی: افزایش فرهنگ سازی باعث بهینگی مصرف و در نتیجه حفظ منابع آبی می شود. در نتیجه کاهش قیمت آب و در ادامه نیاز به سرمایه گذاری برای فرهنگ سازی کم می شود.

۳- حلقه توسعه و اصلاح شبکه: اصلاح شبکه آب رسانی از طرفی باعث کاهش آب های به هدر رفته (آب به حساب نیامده) و در نتیجه حفظ منابع آبی می شود. حلقه توسعه شبکه از طرف دیگر باعث افزایش خطوط توزیع و در نتیجه افزایش مشترکین می شود. این موضوع اگرچه دارای اثرات مثبتی است اما با افزایش مشترکین میزان مصرف آب افزایش می یابد. در نتیجه توسعه شبکه باید با احتیاط و با در نظر گرفتن ظرفیت منابع صورت گیرد.

۲-۳-۲- زیرسیستم های اصلی

- زیرسیستم قیمت گذاری: وظیفه این زیرسیستم قیمت گذاری جهت برقراری تعادل میان تولید و تقاضا است.
- زیرسیستم اصلاح شبکه و زیرساخت ها: وظیفه این زیرسیستم اصلاح زیرساخت ها در جهت کاهش آب بدون درآمد درون شبکه است (آب بدون درآمد شامل موارد مختلفی از جمله استفاده غیر مجاز، خراب بودن کنتور، شکستگی پنهان و هدر رفت آب در شبکه، دادن آب مجانی به بخش های مختلف و غیره است)
- زیرسیستم فرهنگ سازی: وظیفه این زیرسیستم ایجاد فرهنگ مصرف آب است. آموزش بهینگی مصرف آب، مشخص نمودن میزان آب مجازی مصرفی، استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف و مدیریت زمان مصرف آب از جمله اقدامات در این حوزه است.

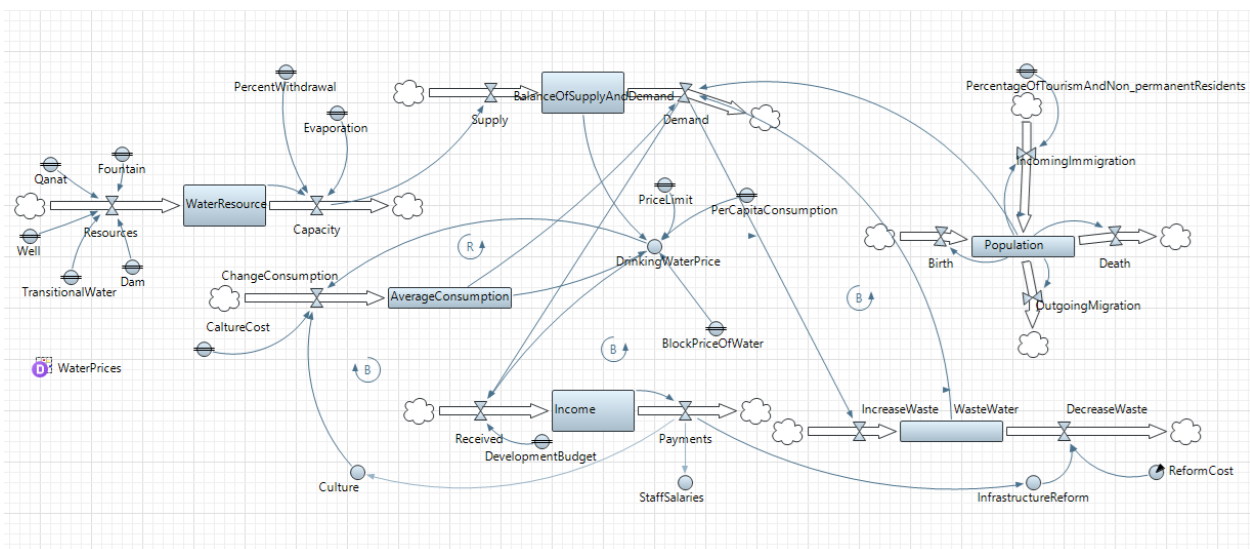


Fig. 4- Stock and flow diagram in village water resources pricing

شکل ۴- نمودار ذخیره و جریان قیمت گذاری منابع آب روستا

بگنجانند (Homer & Oliva, 2001). اعتبارسنجی پویایی سیستم برای ایجاد اطمینان در درستی و سودمندی مدل است. برای مقایسه رفتار شبیه‌سازی با رفتار واقعی سیستم روش‌های آزمون و صحت‌سنجی مختلفی وجود دارد (Barlas, 1996) که از آن جمله می‌توان به آزمون‌های معرفی‌شده توسط فورستر و روش‌های معرفی‌شده توسط بارلاس اشاره نمود (Legasto et al., 1980; Sweeney & Sterman, 2000). با توجه به محدودیت‌های اطلاعاتی مسأله جاری و نیز محدودیت‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی، آزمون‌های ذیل در نظر گرفته شده است:

آزمون ارزیابی ساختار: آزمون ارزیابی ساختار یکی از آزمون‌های سنجش اعتبار در مدل‌های ریاضی و مدل‌های پویایی سیستم است. این آزمون با مقایسه ساختار مدل با ساختار سیستم واقعی دقت و صحت مدل را بررسی می‌کند (Barlas, 1989). در شکل ۵ شرایط شبیه‌سازی با شرایط واقعی مقایسه شده است. همانطور که در شکل مشخص است سال به ۶ دوره تقسیم شده است. در شرایط فعلی مصرف در دوره سوم که در دو ماه انتهایی تابستان است حداکثر و مصرف در دوره‌های پایان سال به حداقل می‌رسد.

- از آنجاکه در بررسی موردی جریان سطحی یا مخزن روباز وجود ندارد می‌توان تبخیر را نادیده گرفت.
- از آنجا که اندازه‌گیری میزان مصرف دو ماه یک‌بار انجام می‌شود، بازه زمانی شبیه‌سازی نیز دوماهه در نظر گرفته شد. لذا در طول سال ۶ دوره مصرف وجود دارد که با نام‌های اول تا ششم در شکل‌ها و جدول‌ها ذکر شده است. بار دیگر برای مقایسه وضعیت منابع در طی ده سال بازه زمانی یک‌ساله در نظر گرفته شد.

۳-۳-۵- متغیرهای مسأله

متغیرهای مسأله به سه قسمت مقادیر ثابت، متغیرهای جریان (جدول ۱) و متغیرهای حالت (جدول ۲) تقسیم‌بندی شده‌اند. متغیرهای حالت وضعیت کلی سیستم را در هر لحظه نمایش می‌دهند و متغیرهای جریان تغییر دهنده وضعیت سیستم هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- صحت‌سنجی مدل

تنها در صورتی مدل توانایی شبیه‌سازی رفتار سیستم مورد نظر را دارد که طراح بتواند نیازهای خود در یک سیستم واقعی را در شبیه‌سازی

Table1- Problem flow variables

جدول ۱- متغیرهای مسأله از نوع جریان

CRITERIA	VALUE	DESCRIPTION
Price	Balance Of Supply And Demand *Price* Change Consumption	The price was calculated based on the research method of monitoring and evaluation. The determinants of price, supply and demand balance, and the rate of consumption change.
Infrastructure reform	0.05 × Payment	Structural reforms is equal to 5% of company revenues per month
IncreaseWaste	0.05 * Demand	The water pipes are about 20 years old and therefore about 5% of consumption is added annually to the wastewater.
DecreaseWaste	$\frac{\text{InfrastructureReform}}{\text{ReformCost}}$	Network modification investment divided by cost of network modification.
Supply	Capacity	Supply is equal to the resources capacity.
Demand	Population * AverageConsumption + WasteWater	Demand is equal to the population multiplied by the average consumption plus the wasted water.
Resource	TransitionalWater + Dam + Qanat + Well + Fountain	The amount of water obtained from various sources such as wells, qanats, springs, flowing waters, recumbent dam and wastewater
Capacity	WaterResource * PercentWithdrawal + Evaporation	Resource Capacity is the percentage of resource extraction plus evaporation from resources.
Recived	DevelopmentBudget + DrinkingWaterPrice * Demand	Income received is the state budget allocated by the government and the amount of income from sales of water (price multiplied by demand)
Payment	Income	The amount of payment is equal to the amount of income
Changeconsumption	(Culture)/CaltureCost * WaterPrice[last]/DrinkingWaterPrice[1ast-1]	The impact of culture (the division of capitalization capital on the cost of culture) multiplied by the percentage change in price

Table 2- Problem stock variables
جدول ۲- متغیرهای از نوع حالت

Criteria	Initial Value	Value	Description
Balance Of Supply And Demand	0.5	Demand/ supply	The supply and demand balance is equal to the demand divided by the supply.
Population	20000	Birth – Death + Incoming Migration – Outcoming Migration	The population is equal to the birth rate minus the number of deaths plus the immigration to the place minus the immigration from the place.
Waste Water	3000 m ³	Increase Waste – Decrease Waste	The amount of wasted water is equal to the amount of increase in waste minus the decreases of waste.
Income	1000 mRials	Recived – Payment	Income is equal to income minus the amount of payments.
Water Resource	30000 m ³	Resources-Capacity	The capacity of water resources is extracted water from different resources minus the consumption.
Average Consumption	200 m ³ /mounth	Change Consumption	Average consumption is equal to the average changes from on stage to the other.

پویاست. همچنین به علت سرمایه‌گذاری بهتر در اصلاح زیرساخت، میزان آب هدررفته کاهش محسوسی داشته است.

استفاده از قیمت‌گذاری پویا به تدریج باعث کنترل مصرف شده تا روستا دچار بحران‌های کم آبی نشود.

آزمون شرایط حدی: هدف از انجام این آزمون، کنترل مقادیر خروجی از مدل در شرایط حدی است. این آزمون صحت ساختار علت و معلولی مدل را بررسی می‌کند (Barlas, 1989). آزمون مذکور بر روی متغیرهای حالت پنج‌گانه انجام شده است. شرایط حدی وقتی است که منبع چاه فعلی خشک گردد یا میزان مصرف چند برابر میزان تقاضا گردد. در این صورت حد قیمت‌گذاری (دو برابر قیمت مبنا) اعمال می‌گردد و البته نیاز به جیره‌بندی وجود دارد. در جدول ۳ مشخص است که در دوره سه از آنجا که تقاضا بیش از دو برابر قیمت بوده از حد قیمت‌گذاری دو برابر استفاده شده است.

آزمون تکرار رفتار: این آزمون با هدف بررسی مطابقت رفتار مدل با رفتار سیستم واقعی در گذشته انجام می‌شود. برای انجام این آزمون داده‌های واقعی چند دوره گذشته از یک طرف و شبیه‌سازی از طرف دیگر مقایسه می‌شود (Barlas, 1989). متغیرهای بررسی‌شده سیستم جاری شامل پنج متغیر حالت است: ۱- قیمت به‌عنوان متغیر اصلی زیرسیستم قیمت‌گذاری، متغیر تعادل عرضه-تقاضا به‌عنوان متغیر اصلی زیرسیستم تعادل، ۲- متغیر منابع آب به‌عنوان متغیر اصلی عرضه آب، ۳- متغیر تقاضای آب به‌عنوان متغیر اصلی زیرسیستم تقاضای آب، ۴- متغیر آب بدون درآمد به‌عنوان متغیر اصلی سیستم آب هدر رفته، ۵- متغیر جمعیت به‌عنوان متغیر تأثیرگذار در میزان مصرف آب. در شکل‌های ۵، ۶، ۷ و جداول ۲ و ۳ میزان مصرف بر مبنای مترمکعب، قیمت بر مبنای ریال و درآمد بر مبنای میلیون ریال است. در شکل ۶ و ۷ عرضه و تقاضا، متوسط قیمت آب و درآمد آب در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۴۰۴ بررسی گردیده است. سال ۹۵ به‌عنوان سال شروع قیمت‌گذاری پویا و سال ۱۴۰۴ به‌عنوان سال وسط دوره شبیه‌سازی و البته سال انتهایی چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور انتخاب گردیده است. در هر دو سال تفاوت درآمد در صورت استفاده یا عدم استفاده از قیمت‌گذاری پویا مشخص گردیده است. همانطور که مشخص است در سال ۱۴۰۴ تأثیر قیمت‌گذاری پویا بیشتر از تأثیر آن در سال ۹۵ است که این از تأثیرات فرهنگ‌سازی همراه با قیمت‌گذاری

آزمون رفتار مدل در شرایط غیرمنطقی: این آزمون به رفتار منطقی مدل در شرایطی خارج از شرایط منطقی می‌پردازد. بدین معنا که با تغییر متغیرهایی، رفتار متغیرهای مرجع همچنان از قاعده منطقی تبعیت نماید (Barlas, 1989). لذا در مورد مدل پیشنهادی در این مقاله، این آزمون برای بررسی رفتار متغیرهای قیمت آب و میزان عرضه و تقاضا در شرایط خاص و غیرعادی می‌پردازد. در جدول ۴ به ترتیب ۱- شرایط خشک شدن ناگهانی منبع آب، ۲- قطع ناگهانی آب انتقالی، ۳- افزایش ناگهانی میزان عرضه با حفر چاه جدید، ۴- افزایش ناگهانی قیمت پایه آب، ۵- افزایش ناگهانی آب بدون درآمد، ۶- افزایش ناگهانی میزان مصرف با شرایط ثابت بقیه متغیرها می‌پردازد.

۳-۲- سناریوسازی

تبادل عرضه/تقاضا بدون قیمت‌گذاری متغیر (سناریوی ۱): در اولین سناریو وضعیت فعلی را بدون تغییر در قیمت‌گذاری ادامه می‌دهیم. بر اساس نتایج اگر این شرایط مصرف پیش رود از ۱۴۰۴ میزان تقاضا بیشتر از عرضه می‌گردد و در نتیجه در فصل‌های گرم سال با جیره‌بندی روبرو شده و بهره‌برداری از منابع جدید نیاز است.

در شکل ۸ نسبت عرضه و تقاضای سناریوهای ۱ الی ۴ مشخص شده است. محور افقی سال و محور عمودی تعادل میان عرضه و تقاضا است، هرچه محور به سمت بالا رود تقاضا بیشتر از عرضه می‌شود. عدد یک به معنای تعادل کامل عرضه و تقاضا است. همانطور که مشخص است در سناریو ۳ قیمت‌گذاری پویا همراه با فرهنگ‌سازی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت شبکه است راه حل ایده‌آل این مسأله برای مدیریت تقاضا می‌باشد. در شکل هرجا که نمودار بالای عدد یک رود تقاضا بیشتر از عرضه می‌شود و نیاز به جیره‌بندی یا راه‌حل‌های دیگر است.

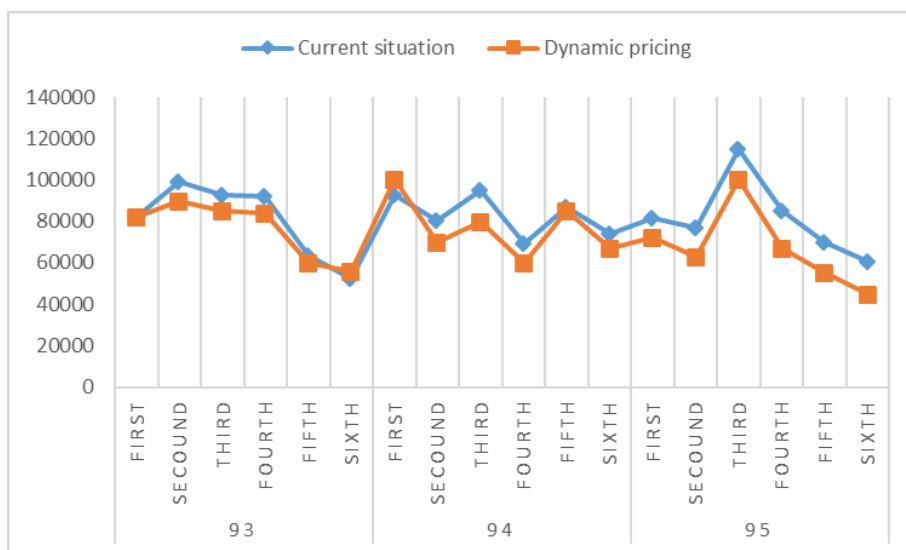


Fig. 5- Akramabad consumption in current situation and with dynamic pricing
شکل ۵- مقایسه مصرف اکرم‌آباد در وضعیت فعلی و در صورت استفاده از قیمت‌گذاری پویا

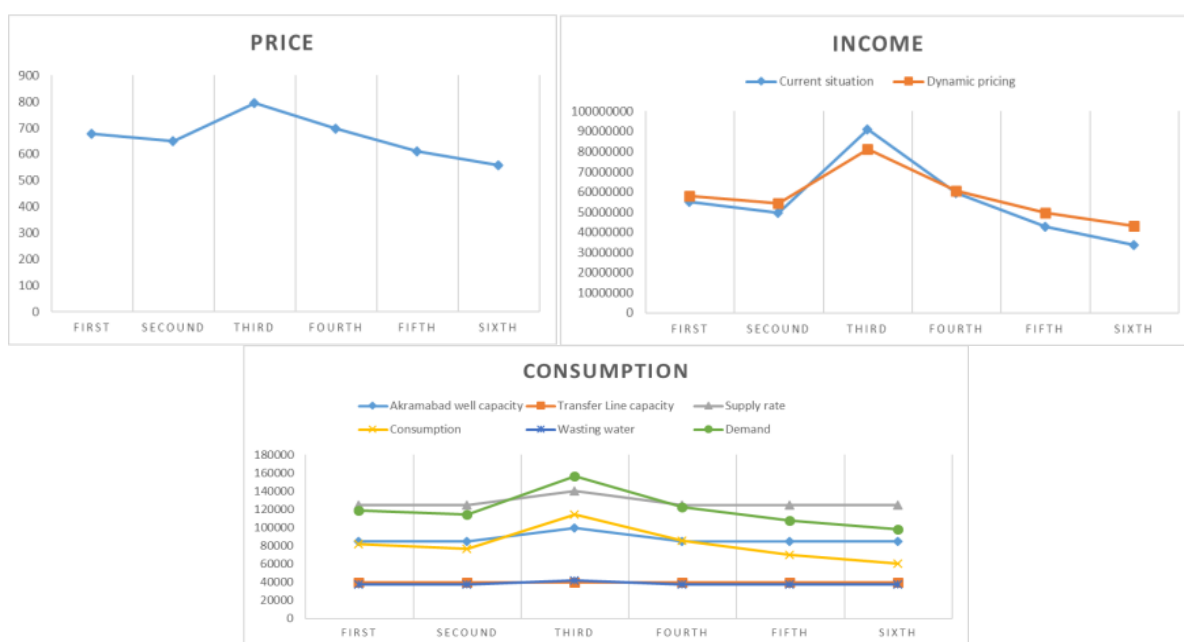


Fig. 6- Supply and demand and water income in the year 1395 in case of dynamic pricing
شکل ۶- عرضه و تقاضا و درآمد آب در سال ۹۵ در صورت قیمت‌گذاری پویا



Fig. 7- Supply and demand and water revenues forecasting for 1404

شکل ۷- پیش‌بینی عرضه و تقاضا و درآمد آب در ۱۴۰۴

Table 3- Model behavior in extreme conditions

جدول ۳- رفتار مدل در شرایط حدی

YEAR1404	AKRAMABAD WELL CAPACITY (M ³ /D)	TRANSFER LINE CAPACITY (M ³ /D)	SUPPLY RATE (M ³ /D)	CONSUMPTION (M ³ /D)	WATER WITHOUT INCOME (M ³ /D)	DEMAND (M ³ /D)	BALANCE SUPPLY AND DEMAND	PRICE COEFFICIENT
FIRST	80000	40000	120000	91628	30000	121628	1.01	1.01
SECOND	35000	40000	75000	86769	18750	105519	1.41	1.41
THIRD	25000	40000	65000	124716	16250	140966	2.17	2.00
FOURTH	30000	40000	70000	89364	17500	106864	1.53	1.53
FIFTH	45000	40000	85000	72018	21250	93268	1.10	1.10
SIXTH	65000	40000	105000	58733	26250	84983	0.81	0.81

Table 4- Model behavior in irregular conditions

جدول ۴- آزمون رفتار مدل در شرایط غیرمنطقی

IRRATIONAL CONDITIONS	AKRAMABAD WELL CAPACITY (M ³ /D)	TRANSFER LINE CAPACITY (M ³ /D)	SUPPLY RATE (M ³ /D)	CONSUMPTION (M ³ /D)	WATER WITHOUT INCOME (M ³ /D)	DEMAND (M ³ /D)	BALANCE SUPPLY AND DEMAND	PRICE COEFFICIENT	BASE PRICE (RIAL)
1	0	40000	40000	91628	30000	121628	3.4	2	954
2	80000	0	80000	91628	18750	110378	1.3	1.37	954
3	200000	40000	240000	91628	16250	107878	0.44	0.5	954
4	80000	40000	120000	91628	17500	109128	0.90	0.90	3123
5	80000	40000	120000	91628	51000	142628	1.18	1.18	954
6	80000	40000	120000	212323	26250	238573	1.98	1.98	954

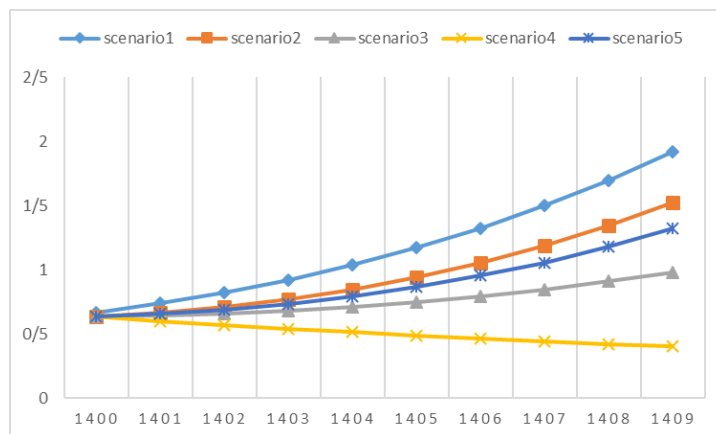


Fig. 8- Results of different scenarios

شکل ۸- نتایج سناریوهای مختلف

در مسأله جاری استفاده بی‌رویه از چاه اکرم‌آباد و هدر رفت آب به علت مشکلات موجود در شبکه توزیع آب می‌باشد. به شرط اصلاح زیرساخت‌ها و فرهنگ‌سازی تا سال ۱۴۰۴، در نظر گرفته شده است. همان‌طور که از شکل ۸ مشخص است، اگر خشک‌سالی و بحران بیش از ۷ سال طول بکشد نیاز به اخذ سیاست‌های کمکی از جمله جیره‌بندی است ولی بازم شرایط از شرایطی که بدون اعمال قیمت‌گذاری متغیر و در قبال درآمد آن بهینه‌سازی شبکه، کاهش هدر رفت در شبکه توزیع به علت فرسودگی شبکه یا اشکالات ساختاری در آن، جلوگیری از برداشت بدون کنترل، جلوگیری از دزدی شبکه و همچنین فرهنگ‌سازی در جهت بهینگی مصرف باشد بهتر است.

تعادل عرضه/تقاضا در شرایط ترسالی (سناریوی ۵): این سناریو شبیه‌سازی در شرایط ترسالی را نشان می‌دهد. ترسالی از منظر مدل پیشنهادی افزایش بارش دو یا چند سال متوالی بیش از متوسط سالیانه منطقه گفته می‌شود (Fani et al., 2016). مهم‌ترین نکته در شرایط ترسالی این است که اگر سطح منابع آب به حد قابل قبول برسد و همچنین تعادلی میان عرضه و تقاضا وجود داشته باشد، قیمت باید به قیمت پایه نزدیک گردد. نتایج آن قابل قبول است. ولی باید این نکته را در نظر گرفت که در صورتی که شرایط ترسالی ادامه‌دار باشد کمتر به اصلاح زیرساخت‌ها و فرهنگ‌سازی مصرف پرداخته می‌شود و باید راه‌حل‌های جایگزین (بازنگری در نحوه قیمت‌گذاری، فروش آب به بازارهای جدید، سیاست‌های تشویقی برای کشاورزی و غیره) دیده شود.

۳-۳- نتایج سناریوها

- با ادامه روند فعلی (با توجه به الگوی مصرف و درصد افزایش جمعیت) مشکلات فراوانی در برقراری تعادل میان تولید و

تعادل عرضه/تقاضا تنها با افزایش قیمت بدون فرهنگ‌سازی (سناریوی ۲): در این سناریو تنها سعی شده است با قیمت‌گذاری میان عرضه و تقاضا تعادل برقرار نمود. گرچه این روش نیز مؤثر است و توانسته عدم تعادل را دو سال عقب بیندازد ولی نیاز است درصدی از میزان درآمد ناشی از افزایش قیمت به اصلاح زیرساخت‌ها (جهت کاهش آب بدون درآمد) و فرهنگ‌سازی (جهت افزایش آگاهی عمومی و مدیریت تقاضای آب) تعلق گیرد.

تعادل عرضه/تقاضا با سیستم قیمت‌گذاری پیشنهادی (سناریوی ۳): بر اساس این سناریو قیمت‌گذاری همراه با فرهنگ‌سازی و اصلاح زیرساخت‌ها انجام شد و در برقراری تعادل عرضه/تقاضا بسیار مفید بود و نیاز به جیره‌بندی یا احداث منابع جدید وجود ندارد. گرچه احساس می‌شود پس از ۱۴۱۰ ظرفیت چاه به اندازه‌ای کاهش می‌یابد که نیاز به ایجاد و تأمین منابع جدید است ولی با این حال حجم آب مصرفی و همچنین میزان هدر رفت آب بسیار کاهش یافته است.

تعادل عرضه/تقاضا در شرایط بحران و خشک‌سالی (سناریوی ۴): بر اساس این سناریو شبیه‌سازی در شرایط بحران انجام می‌شود. خشک‌سالی نوعی پدیده اقلیمی برگشت‌پذیر و واقعییتی اجتناب‌ناپذیر در اقلیم‌های مختلف است که در اثر کمبود بارندگی طی یک دوره زمانی بروز کرده و تحت تأثیر پدیده‌های مختلف از جمله النینو، لانینا و گازهای گلخانه‌ای در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک در حال افزایش است (Keshavarz et al., 2013). در مسأله جاری در صورتی که بارندگی کمتر از متوسط بارش سالیانه اکرم‌آباد (۸۴ میلی‌متر در سال) باشد روی می‌دهد. بحران آب سلسله چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود آب و استفاده نادرست از منابع آب در کشور است. این شرایط

بیشتر به روش‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری هوشمند روی آورده شده است. در مسأله جاری به قیمت‌گذاری آب آشامیدنی منابع روستایی پرداخته شد و در یکی از روستاهای استان یزد پیاده‌سازی گردید. دلیل انتخاب استان یزد وضعیت بحرانی آب طی چند سال اخیر است تا جایی که منابع آبی بسیاری از روستاها قابل استفاده نیست. هم‌اکنون در بیش از ۸۵۰ روستای استان یزد شبکه آبرسانی ایجاد شده است ولی به علت خشک‌سالی چند سال اخیر و در قبال آن خشک شدن منابع آبی، به بیش از ۳۳۰ روستا از طریق تانکر سیار آبرسانی می‌شود. در مقاله جاری ابتدا اطلاعات اولیه لازم شامل اطلاعات بارش، داده‌های آبدی در محل، میزان تبخیر و سایر اطلاعات مربوط به مصارف مشترکین جمع‌آوری گردید. در گام بعدی اطلاعات به‌عنوان ورودی مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار ANYLOGIC مورد استفاده قرار گرفت. سپس ساختار مدل در نرم‌افزار مذکور تعیین شد و حلقه‌های علی-معلولی ترسیم شد. پس از صحت‌سنجی مدل ساخته‌شده از لحاظ ساختاری، شبیه‌سازی برای یک دوره ۱۰ ساله انجام گرفته و نتایج آن به‌صورت گراف‌های جداگانه ارائه گردید. از طریق این نتایج نحوه عملکرد قیمت‌گذاری پویا و تأثیر آن بر عرضه و تقاضا مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های ارزیابی اثر سناریوهای مختلف را بر نحوه عرضه و تقاضا مشاهده و بر اساس آن نتایج، اقدامات لازم را انجام شد. این سناریوها شامل خشک‌سالی، ترسالی، تغییر قیمت، فرهنگ‌سازی و اصلاح زیرساخت بود. نتایج نشان می‌دهد استفاده از قیمت‌گذاری پویا و در قبال درآمد حاصل از آن فرهنگ‌سازی و اصلاح زیرساخت‌های شبکه‌ای در جهت کاهش آب بدون درآمد در تعادل عرضه/تقاضا و حفظ منابع آبی مؤثر است.

۴-۱- پیشنهادهای تحقیقات آتی

- قیمت‌گذاری باید به‌صورت تدریجی تغییر کند. این تغییر می‌تواند روزانه یا ماهانه باشد تا از نارضایتی عمومی جلوگیری شود. البته لازمه تغییر روزانه اندازه‌گیری روزانه بر اساس کنتورهای هوشمند است.
- در مسأله جاری قیمت‌گذاری در یک روستا صورت گرفت، بسیاری از مواقع منابع آب چند روستا با هم مشترک است؛ بنابراین قیمت‌گذاری بهتر است به‌جای روستا برای مجتمع‌های آبرسانی اعمال گردد. همچنین مدل باید به نحوی بسط پیدا کند که اگر یک روستا از چند مجتمع آبرسانی آب دریافت کند بتوان قیمت‌گذاری یکتا در روستا یا شهرستان اعمال نمود.
- قیمت‌گذاری منابع آب صنعتی و کشاورزی نیز با هدف برقراری تعادل میان عرضه/تقاضا و حفظ منابع آبی صورت پذیرد.

تقاضای آب به وجود می‌آید. افتتاح منابع جدید خود منجر به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی می‌شود و تنها یک راه‌حل کوتاه‌مدت است. بنابراین توجه بیشتر به مدیریت تقاضا به جای مدیریت عرضه ضروری است.

- قیمت‌گذاری به‌تنهایی نمی‌تواند باعث تعادل میان عرضه و تقاضای منابع آب شود گرچه در صورتی که با فرهنگ‌سازی و اصلاح زیرساخت‌ها انجام گیرد قدم مؤثرتری در حفظ منابع آب آشامیدنی و تضمین تأمین آب آشامیدنی خواهد بود. قیمت‌گذاری باید کاملاً کنترل شده انجام شود. افزایش یا کاهش قیمت بیش از حد ممکن است نه تنها تعادل عرضه/تقاضا را هم بزند، باعث ایجاد آشوب‌های اجتماعی (بر اثر افزایش ناگهانی قیمت) یا قطعی طولانی مدت آب به علت مصرف زیاد برخی از مشترکین (به علت کاهش ناگهانی قیمت) شود. افزایش یا کاهش قیمت با شیب بسیار کم هم تأثیری در مصرف نخواهد داشت و فقط با افزایش شیب درآمدها باعث سرمایه‌گذاری بهتر در کمتر شدن هدر رفت آب می‌شود. افزایش یا کاهش قیمت باید طی زمان و مکان‌های مختلف متفاوت تغییر کند.
- قیمت‌گذاری پویا باعث ایجاد علاقه به ایجاد صنعت و کشاورزی در مناطقی که آب زیاد است می‌شود. در بلند مدت مسئولین می‌توانند بر اساس این اطلاعات تصمیم‌گیری بهتری بگیرند.

۴-۳- محدودیت‌های پژوهش

- در معیارهای قیمت‌گذاری باید شرایط فرامنطقه‌ای از جمله میزان منابع آب منطقه و سرانه مصرف منطقه نیز دیده شود تا ارزیابی‌ها به بهترین نحو انجام شود.
- بهتر است در تعیین حد قیمت‌گذاری شرایط گوناگونی از جمله شرایط اقلیمی، شرایط فرهنگی و نتایج قیمت‌گذاری نیز در نظر گرفته شود.
- روش قیمت‌گذاری همراه با فرهنگ‌سازی و اصلاح شبکه به‌عنوان سیاست برتر حل مسأله قیمت‌گذاری و مصرف آب آشامیدنی روستای اکرم‌آباد شناسایی گردید.
- در صورتی که وضعیت فعلی (ادامه دوره خشک‌سالی) ادامه پیدا کند باید از سال ۱۴۰۶ به بعد منبع جدید و کمکی به شبکه اضافه شود. ولی در صورتی که ترسالی گردد همین منبع کافی است.

۴-۴- خلاصه و جمع‌بندی

قیمت‌گذاری آب سال‌هاست مورد مطالعه قرار گرفته است. تحقیقات فراوانی طی سال‌های گذشته به این موضوع پرداخته‌اند. در سال‌های اخیر و با رشد فناوری اطلاعات روش‌های قیمت‌گذاری تغییر کرده و

- Langroodi R R P, Amiri M (2016) A system dynamics modeling approach for a multi-level multi-product multi-region supply chain under demand uncertainty. *Expert Systems with Applications* 51:231-244
- Langsdale S, Beall A, Carmichael J, Cohen S, Forster C (2007) An exploration of water resources futures under climate change using system dynamics modeling. *Integrated Assessment* 7(1):1389-5176
- Legasto A, Forrester J W, Lyneis J M (1980) *System dynamics*. North Holland, (Vol 14)
- Madani K (2014) Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *Journal of Environmental Studies and Sciences* 4(4):315-328
- Martinez-Moyano I J, Richardson G P (2013) Best practices in system dynamics modeling. *System Dynamics Review* 29(2):102-123
- McNabb D E (2017) *Integrated water resource management*. *Water Resource Management* (pp 329-349): Springer
- Mirchi A (2013) *System dynamics modeling as a quantitative-qualitative framework for sustainable water resources management: Insights for water quality policy in the great lakes region*. ProQuest Dissertations Publishin 3595413
- Mohayidin G, Attari J, Sadeghi A, Hussein M A (2009) Review of water pricing theories and related models. *African Journal of Agricultural Research* 4(11):1536-1544
- Ouyang Y, Xu D, Leininger T D, Zhang N (2016) A system dynamic model to estimate hydrological processes and water use in a eucalypt plantation. *Ecological Engineering* 86:290-299
- Rehan R, Knight M, Haas C, Unger A (2011) Application of system dynamics for developing financially self-sustaining management policies for water and wastewater systems. *Water Research* 45(16):4737-4750
- Rehan R, Knight M, Unger A, Haas C (2013) Development of a system dynamics model for financially sustainable management of municipal watermain networks. *Water Research* 47(20):7184-7205
- Renzetti S (2017) *Water pricing in Canada. Water Policy and Governance in Canada* (pp201-212): Springer
- Reznik A, Feinerman E, Finkelshtain I, Kan I, Fisher F, Huber-Lee A, Joyce B (2016) The cost of covering costs: A nationwide model for water pricing. *Water Economics and Policy* 2(04):1650024
- Rinaudo J-D, Neverre N, Montginoul M (2012) Simulating the impact of pricing policies on residential water demand: a Southern France case
- Barlas Y (1989) Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models. *European journal of Operational Research* 42(1):59-87
- Barlas Y (1996) Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review* 12(3):183-210
- Dai S, Li L, Xu H, Pan X, Li X (2013) A system dynamics approach for water resources policy analysis in arid land: a model for Manas River Basin. *Journal of Arid Land* 5(1):118-131
- Donoso G (2017) *Urban water pricing in Chile: cost recovery affordability and water conservation*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water
- Fani A, Ghazi I, Malekian A (2016) Challenges of water resource management in Iran. *American Journal of Environmental Engineering* 6(4):123-128
- Forrester J W (1994) System dynamics systems thinking and soft OR. *System Dynamics Review* 10(2-3):245-256
- Hoekema D J, Sridhar V (2013) A system dynamics model for conjunctive management of water resources in the Snake River Basin. *Journal of the American Water Resources Association* 49(6):1327-1350
- Homer J, Oliva R (2001) Maps and models in system dynamics: a response to Coyle. *System Dynamics Review* 17(4):347-355
- Horlemann L, Berenji P J (20) Participation in water management in Iran. *Reviving the Dying Giant* (pp 51-62): Springer
- Hosseini S A, Bagheri A (2013) Mashhad system dynamics modeling to analyze the strategies of sustainable development of water resources. *Journal of Water and Wastewater* 24(4):28-39
- Karnopp D C, Margolis D L, Rosenberg R C (2012) *System dynamics: modeling simulation and control of mechatronic systems*. John Wiley Sons
- Kejser A (2016) European attitudes to water pricing: Internalizing environmental and resource costs. *Journal of Environmental Management* 183:453-459
- Keshavarz M, Karami E, Vanclay F (2013) The social experience of drought in rural Iran. *Land Use Policy* 30(1):120-129
- Koushali H P, Moshtagh R, Mastoori R (2015) Water resources modelling using system dynamic in Vensim. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering* 4(3):251-256

- Sauer P W, Pai M A, Chow J H (2017) Power system dynamics and stability: with synchrophasor measurement and power system toolbox. John Wiley, Sons
- Sweeney L B, Sterman J D (2000) Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review* 16(4):249-286
- Vašák M, Banjac G, Baotić M, Matuško J (2014) Dynamic day-ahead water pricing based on smart metering and demand prediction. *Procedia Engineering* 89:1031-1036
- 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
- study. *Water Resources Management* 26(7):2057-2068
- Rougé C, Harou J, Garrone P, Pulido-Velazquez M, Marzano R, Giuliani M, Rizzoli A-E (2016) Smart meter enabled dynamic pricing of water. IEMSSCONFERENCE 13 may Toulous, France
- Sahin O, Siems R S, Stewart R A, Porter M G (2016) Paradigm shift to enhanced water supply planning through augmented grids scarcity pricing and adaptive factory water: a system dynamics approach. *Environmental Modelling and Software* 75:348-361
- Sahin O, Stewart R A, Porter M G (2015) Water security through scarcity pricing and reverse osmosis: a system dynamics approach. *Journal of Cleaner Production* 88:160-171
- Samimi M, Samimi A (2014) Exploitation of resources management in Iran. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324