ISSN: 2538-4384; Geographical Researches. 2019;34(3):403-411. DOI: 10.29252/geores.33.2.403

GEOGRAPHICAL RESEARCHES JOURNAL

# Projection of Water Supply and Demand in Yazd Province Using the General Regional Equilibrium Pattern

**ARTICLE INFO**

***Article Type***
Original Research

***Authors***
AKaberi Yazdi M.[1] *PhD,*
Fatemi M.*[2] *PhD,*
Dehghan Khavari S.[1] *PhD*

**How to cite this article**
AKaberi Yazdi M, Fatemi M, Dehghan Khavari S. Projection of Water Supply and Demand in Yazd Province Using the General Regional Equilibrium Pattern. Geographical Researches. 2019;34(3)-:403-411.

[1]Department of Economics, Faculty of Human Sciences, Meybod University, Meybod, Iran
[2]Department of Geography, Faculty of Human Sciences, Meybod University, Meybod, Iran

***Correspondence***
*Address*: Department of Geography, Faculty of Human Sciences, Yahya Zadeh Boulevard, Khorramshahr Boulevard, Meybod University, Meybod, Iran
*Phone*: +98 (35) 35220281
*Fax*: +98 (35) 32353004
yazdfatemi@meybod.ac.ir

***Article History***
Received: February 15, 2019
Accepted: August 6, 2019
ePublished: October 2, 2019

**ABSTRACT**

**Aims & Backgrounds** Water is considered as one of the main sources for development in Iran, especially in the margin of desert. The lack of water resources is one of the main limiting factors in the life of a society and the development of economic activities. Regarding the fundamental problems of urban water supply in Yazd province, combined management of water supply and demand in order to balance the future supply and demand of water is considered as one of the long-term solutions to manage the water crisis.

**Methodology** In this study, by developing a general equilibrium water status model, three scenarios on consumption and three scenarios in water supply at the horizon of 2018 to 2046 were investigated.

**Findings** Based on the predictions made in all cases of supply shortages in Yazd province, even taking into account the most optimistic rainfall situation, 265 million cubic meters of urban water and taking into account the realistic pattern and ongoing state of the art in providing water resources of 1.97 billion, there will be a lack of urban water resources cubic meters. Also, in the event of an increase in the drought wave in the province and the lack of optimal policies in the field of water demand, there will be 557.5 million cubic meters of water shortage in order to provide the water needed by the residents of Yazd province.

**Conclusion** In order to control the supply and demand of water in the province, in addition to the use of demand management policies such as optimal pricing, rationing and supply policies such as reforming the transmission system, the establishment of purification and separation of drinking water and sanitation, the need for water transfer methods from sustainable resources outside the province should also be taken seriously.

**Keywords** Projection; Economic Development; Water Supply; Water Demand; Yazd Province

**CITATION LINKS**

[Cardenete & Hewings; 2011] Water price and water sectoral reallocation in andalusia: A computable general equilibrium; [Downward & Taylor; 2007] An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería, Southeast Spain; [Edwards; 2006] Whose Values Count? Demand Management for Melbourne's Water; [Falahi, et al; 2012] Evaluating effective factors on household water consumption and forecasting its demand: Panel data approach; [Grafton & Horne; 2014] Water markets in the murray-darling basin; [Grafton, et al; 2007] Residential water consumption: A cross country analysis; [Henderson & Quandt; 1980] Microeconomic theory: A mathematical approach; [DeHaven; 1960] Water supply: Economics; [Hughes, et al; 2009] Urban water management: Optimal price and investment policy under climate variability; [Keramatzadeh, et al; 2014] Analysis the economic and social impacts of establishing water market in agricultural sector, a Case Study in Downstream Lands of Shirin Dareh Dam of Bojnoord, Iran; [Mahmoudi & Parhizkari; 2016] Economic modeling of agricultural water resource management in Tehran province with emphasis on the role of water market; [Mukhopadhyay, et al; 2001] Analysis of freshwater consumption patterns in the private residences of Kuwait; [Pejouyan & Hosseini; 2003] Estimating the residential Water Demand Function; [Perera & Codner; 1996] Reservoir targets for urban water supply systems; [Poursalehi, et al; 2016] Predicting the effects of water consumption control policy on the per capita of urban water using systems thinking; Case study: Birjand city; [Qin, et al; 2012] The Economic impact of water tax changes in china: A static computable general Equilibrium analysis; [Tabesh, et al; 2008] Estimation of Tehran daily water demand using time series analysis; [Tsur & Zemel ; 2017] Water policy guidelines: A comprehensive approach; [Water and Wastewater Company of Yazd Province; 2018] Annual Report on Resources and Water Consumption in Yazd Province; [Yousefi, et al; 2014] The welfare effect of water market allocation in Iranian economy;

*Copyright© 2018, ASP Ins. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.*

# پیش‌نگری عرضه و تقاضای آب شهری در استان یزد با استفاده از الگوی تعادل عمومی منطقه‌ای

**مهدی اکابری یزدی PhD**
گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران
**مهران فاطمی* PhD**
گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران
**سعید دهقان خاوری PhD**
گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران

**چکیده**
**اهداف و زمینه‌ها:** آب یکی از عمده‌ترین منبع برای توسعه به‌خصوص در حاشیه کویر محسوب می‌شود و کمبود آن یکی از عوامل محدودکننده اصلی حیات جامعه و توسعه فعالیت‌های اقتصادی به شمار می‌رود. با توجه به مشکلات بنیادی در زمینه تأمین آب شهری در استان یزد، مدیریت توأم عرضه و تقاضای آب به منظور دستیابی به تعادل در عرضه و تقاضای آتی آب، یکی از راه حل‌های بلندمدت برون‌رفت از بحران آبی است. بر این اساس هدف این پژوهش، پیش‌نگری عرضه و تقاضای آب در استان یزد طی افق ۳۰ساله با استفاده از الگوی تعادل عمومی منطقه‌ای بود.
**روش‌شناسی:** پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت و روش از نوع کیفی-کمی است. جامعه آماری این پژوهش شامل داده‌های مصرف و عرضه آب شرب خانوارهای شهری استان یزد بود. با تهیه یک مدل تعادل عمومی وضعیت آب شهری (عرضه و تقاضا) با استفاده از داده‌های سری زمانی، ۳ سناریو در زمینه مصرف و ۳ سناریو در عرضه آب در افق ۳۰ساله پیش رو (۱۳۹۷ الی ۱۴۲۵) تهیه و بررسی شد.
**یافته‌ها:** در تمام سناریوها، کمبود عرضه در استان یزد وجود داشت، به طوری که حتی با در نظرگرفتن خوش‌بینانه‌ترین وضعیت بارش، ۲۶۵ میلیون مترمکعب آب شهری و با در نظر گرفتن الگوی واقع‌بینانه و استمرار وضعیت کنونی در زمینه تأمین منابع آبی ۱/۹۷۱ میلیون مترمکعب کمبود منابع آبی شهری وجود خواهد داشت. همچنین در صورت افزایش موج خشکسالی در استان و عدم اعمال سیاست‌های بهینه در زمینه تقاضای آب، ۵/۵۵۷ میلیون مترمکعب کمبود آب به منظور تأمین آب مورد نیاز ساکنین در سطح استان یزد وجود خواهد داشت.
**نتیجه‌گیری:** به منظور کنترل عرضه و تقاضای آب در استان یزد، علاوه بر ضرورت بهره‌مندی از سیاست‌های مدیریت تقاضا مانند قیمت‌گذاری بهینه، سهمیه‌بندی و جیره‌بندی و سیاست‌های عرضه مانند اصلاح سیستم انتقال، ایجاد مراکز تصفیه و تفکیک آب شرب و بهداشتی، نیاز به روش‌های انتقال آب از منابع پایدار خارج از استان نیز باید مورد توجه جدی قرار بگیرد.
**کلیدواژه‌ها:** پیش‌نگری، توسعه اقتصادی، عرضه آب، تقاضای آب، استان یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵
*نویسنده مسئول: yazdfatemi@meybod.ac.ir

## مقدمه

در کشور ما هنوز استفاده مطلوب از آب به شکل يك فرهنگ جایگاه خاص خود را پیدا نکرده است، به همین جهت دستیابی به تعادل نسبی در زمینه عرضه و مصرف آب يك اصل اساسی و ضروری است که این مهم جز با ایجاد يك نظام جامع مدیریت آب میسر نیست. این مساله در استان یزد با متوسط نزولات جوی ۵۰ میلی‌متر در سال، دارای اهمیت بیشتری است. عواملی همچون رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و رفاه اجتماعی، توسعه صنعتی و حفاظت اکوسیستم‌ها، تقاضای آب را روز به روز بیشتر می‌کند. این در حالی است که علاوه بر محدودیت مقدار منابع آب، هزینه‌های استحصال آب و محدودیت منابع مالی نیز طرح‌های توسعه منابع آب جدید را با مشکل و محدودیت مواجه کرده است. *مکاپادیا* و همکاران [Mukhopadhyay *et al*, 2001] در يك بررسی بر روی تغییرات مصرف سرانه خانگی آب در کویت پرداختند. براساس نتایج تحقیق درآمد خانوار، بعد خانوار و قیمت آب عوامل تأثیرگذار است. *دانوارد و تیلور* [Downward & Taylor, 2007] به این نتیجه رسیدند که پیش‌بینی تقاضای شرب خانگی و تعیین عوامل مؤثر بر مصرف آب، در توسعه برنامه‌ریزی‌های مربوط به خانوارهای کشورهای اروپایی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. *کاردینیت و همینگز* [Cardenete & Hewings, 2011] در مطالعه خود به تجزیه و تحلیل اثرهای افزایش در قیمت آب تحویلی به بخش کشاورزی به منظور ترویج و حفظ منابع در راستای افزایش کارایی در مصرف و تخصیص دوباره آب به بخش‌های دیگر پرداختند و نتیجه‌گیری نمودند که کاربرد سیاست مالیاتی می‌تواند به حفظ منابع آب به منظور رسیدن به تخصیص دوباره از این منبع به افزایش کارایی و رفتار منطقی از دیدگاه تولیدکننده منجر شود. *کین* و همکاران [Qin *et al*, 2012] به بررسی اثرهای اقتصادی تغییرات مالیات آب در چین با استفاده از الگوی تعادل عمومی پرداختند و آب را به عنوان یک عامل صریح تولید مطرح کردند و چنین نتیجه‌گیری نمودند که مالیات‌های تحمیل شده بر آب می‌تواند باعث تخصیص مجدد منابع آب منطقه‌ای و جابه‌جایی تولید، مصرف، ارزش افزوده و الگوهای تجارت شود و همچنین مالیات‌های تحمیل شده بر آب بیشترین تأثیر را بر بخش کشاورزی دارد . *گرافتون و هورن* [Grafton & Horne, 2014] به ارزیابی بازار آب موری شامل تعویض مبادله حق آبه‌های دائمی و اجاره، محدودیت‌های مبادله آب، اطلاعات مورد نیاز بازار آب، واکنش‌ها به قیمت های بازاری و منافع زیست محیطی بازار آب در استرالیا پس از اصلاحات آب پرداختند. تابش و همکاران [Tabesh *et al*, 2008] نشان دادند که روش‌های نروزمانی و سری‌های زمانی در تخمین میزان تقاضا روش‌هایی بسیار کارآمد هستند. روش نروزمانی با الگو گرفتن از شبکه‌های پرسپترون عصبی و شبکه‌های چندلایه به برآورد میزان تقاضا می‌پردازد. بررسی مطالعات در نهایت نشان می‌دهد متغیرهای زیادی از جمله متغیرهای مرتبط با عرصه و اعیان، وسایل و تجهیزات مدیریت فشار و ذخیره آب، پارامترهای اقلیمی، خصوصیات سیستم توزیع و حتی مشخصه‌های فرهنگی اقتصادی و اجتماعی مشترکان، شرایط مصرف در دوره‌های قبل بر مصرف بلندمدت مشترکان آب شرب مؤثر است. *کرامت‌زاده* و همکاران [Keramatzadeh *et al*, 2014] به تحلیل اثرات اقتصادی و اجتماعی ایجاد توسعه بازار آب در بخش کشاورزی، ارزیابی بازار آب و تأثیرات اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن پرداختند. نتایج آنان نشان داد که ایجاد بازار آب رفاه کل مناطق را

افزایش خواهد داد. کرامت زاده و همکاران [Keramatzadeh *et al*, 2014] در تحلیل تأثیرات اقتصادی و اجتماعی ایجاد و توسعة بازار آب در بخش کشاورزی در اراضی پایین‌دست سد شیرین‌دره بجنورد به این نتیجه رسیدند که ایجاد بازار آب رفاه کل مناطق را به میزان ۲٦٤۰ و ۱۱۸۲ میلیون ریال، مجموع کل سود حاصل از کشت محصولات را به میزان ۱۲ و ۲۳ درصد و اشتغال ناشی از تغییر الگوی کشت را نیز به میزان ٦۲ و ۳۲% در شرایط نرمال و خشکسالی افزایش خواهد داد. *یوسفی* و همکاران [Yousefi *et al*, 2014] به ارزیابی آثار رفاهی تخصیص بازاری منابع آب با استفاده از الگوی تعادل عمومی پرداختند و جهت لحاظ ارزش حقیقت آب در حساب‌های ملی، آب به عنوان عامل اولیه تولید ماتریس حسابداری اجتماعی وارد شد. نتایج ایجاد بازار آب در شرایط کم آبی نشان داد که رفاه خانوارهای شهری و روستایی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. علاوه بر موارد فوق در صورتی که تلاش برای کنترل تقاضا موفق نباشد، مدیران منابع آب مجبورند فعالیت‌های شدیدتری انجام دهند و سیاست تخصیص مجدد منابع آب به مصرف‌کنندگان با کارآیی بیشتر را از طریق روش‌های مناسب قیمت‌گذاری و با درنظرگرفتن رفاه کل اجتماعی اجرا کنند. در حال حاضر در کشورهای عرب همسایه و خاورمیانه، اکثر کشورها برنامه‌هایی را برای هدفمندکردن تقاضا و اصلاح تعرفه‌ها انجام داده‌اند که برخی از این اقدامات شامل برنامه‌های هشداردهنده معرف عمومی و کمبود منابع، تعرفه‌های جدید مصرفی منابع آب زیرزمینی در جهت کاهش مصرف (برداشت)، خصوصی‌سازی در بخش منابع آب مصرفی شرب و آب آبیاری کشاورزی و اتخاذ استراتژی جامع مدیریت تقاضای آب مصرفی (تکیه بر سیستم‌ها و تبلیغات هشداردهنده مصرف آب، در دپارتمان‌ها و آژانس‌های منشعب از وزارت آب در بخش خصوصی) است. *پورصالحی* و همکاران [Poursalehi *et al*, 2016] در پیش‌بینی اثرات سیاست مصرف آب بر سرانه آب شهری با استفاده از تفکر سیستمی در شهر بیرجند نشان دادند که با کنترل مصرف، سرانه آب شهری به طور میانگین به میزان ۱۱/۲۹% نسبت به شرایط معمول منطقه کاهش می‌یابد که این امر سبب کاهش حجم آب برداشت شده از منبع آب زیرزمینی به علت کاهش حجم آب ورودی به بخش شهری می‌گردد. *محمودی و پرهیزکار* [Mahmoudi & Parhizkari, 2016] اثرات تشکیل بازارهای آب محلی و منطقه‌ای در استان تهران را مورد بررسی قرار دادند و پتانسیل انتقال آب تحت شرایط کم آبی مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور از یک سیستم مدل‌سازی اقتصادی مشتمل بر مدل برنامه سازی ریاضی مثبت و توابع تولید منطقه‌ای استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با برقراری بازارهای آب محلی و منطقه‌ای سود کشاورزان افزایش می‌یابد. *تسر* و زمل [Tsur & Zemel, 2017] در مقاله‌ای نقش مدیریت یکپارچه منابع آبی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که قیمت‌گذاری منابع آبی در کنار سیاست‌های طرف عرضه مانند استفاده از آب‌های خاکستری تقش مهمی در بهینه‌سازی منابع آب دارد.

بنابراین هدف از پژوهش حاضر، پیش‌نگری عرضه و تقاضای آب در استان یزد طی افق ۳۰ ساله آینده با استفاده از الگوی تعادل عمومی منطقه‌ای و در نتیجه اثبات ضرورت اعمال مجموعه سیاست‌های طرف عرضه و تقاضا برای حل مشکلات آب در حالات محتمل پیش رو استان یزد است.

## سیاست‌های کنترل تقاضای آب شهری

مدیریت تقاضا به معنی استفاده از مجموعه‌ای از سیاست‌های طراحی شده به منظور کاهش مصرف آب در زمانی که محدودیت وجود دارد، است. این سیاست‌ها می‌تواند شامل محدودکردن آب، قیمت‌گذاری و فعالیت‌های تبلیغاتی و محرک به منظور بالابردن کارایی مصرف آب است. در کوتاه‌مدت، وقتی عرضه ثابت باشد تغییر تقاضا می‌تواند منجر به افزایش اساسی کمبود آب شهری گردد؛ که لزوم سهمیه‌بندی تقاضا را ایجاب می‌کند. سیاست مدیریت بهینه تقاضای بلندمدت، تعادل بهینه بین منافع مصرف آب و هزینه‌های افزایش عرضه را برقرار می‌سازد.

یکی از این سیاست‌ها سهمیه‌بندی آب است. سهمیه‌بندی آب شهری روشی نسبتاً غیرکارا به منظور مدیریت تقاضا است. بنابر دیدگاه اقتصاددانانی از جمله *ادوارد* [Edward, 2006] *گرافتون* وهمکاران [Grafton & Horne, 2007] هزینه‌های سهمیه‌بندی آب حداقل در سه مورد زیر وجود دارد: ناکارایی تخصیصی درون خانوار، ناکارایی تخصیصی بین خانوارها و هزینه‌های عدم آسایش در سهمیه‌بندی آب با استفاده از قوانینی مصرف آب شهری را محدود می‌کند. در حالت سخت‌گیری کمتر، محدودیت آب بیشتر برای کم‌کردن مصرف از بعد زمانی است و بر روی میزان هزینه‌های عدم آسایش تأثیرگذار است. محدودیت آب در حالت سختگیرانه شامل ممنوعیت کامل مصرف آب است.

از دیگر سیاست‌ها می‌توان به تعیین قیمت پلکانی بهینه برای کاهش مصرف به اندازه مصرف حیاتی به اضافه درصدی از مصرف ضروری (به عنوان تنها راه‌حل کوتاه‌مدت) اشاره نمود. تابع هدف که در این سیاست مورد توجه قرار می‌گیرد، میزان مطلوبیت اجتماعی حاصل از مصرف آب است که این تنها مربوط به مصرف در زمان حال نمی‌گردد بلکه مطلوبیت آیندگان نیز می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. در این سیاست برای مدل‌بندی میزان مطلوبیت مصرف آب به سه گروه جداگانه (حیاتی، ضروری و غیر ضروری) تفکیک شده که در این سیاست مصرف خانگی حیاتی مورد توجه قرار می‌گیرد (جدول ۱).

**جدول ۱)** الگوی توصیه‌شده مصارف سرانه خانگی برحسب لیتر در روز (تا سال ۱۳۹۷)

| اولویت مصرف | حداقل | حداکثر |
|---|---|---|
| **حیاتی (شامل: آشامیدن، پخت و پز)** | ۸ | ۱۵ |
| **ضروری (حمام، لباسشویی، ظرفشویی، دستشویی، کولر و تهویه، شستشوی خانه و متفرقه)** | ٦۷ | ۱۳۵ |
| **غیرضروری (حجم مازاد)** | - | - |

[Water and Wastewater Company of Yazd Province, 2018]

بنابراین در این بخش از تحقیق میزان اثرگذاری سیاست‌های مختلف مدیریت تقاضا تحلیل می‌گردد. محدودیت آب در حالت سختگیرانه شامل ممنوعیت کامل مصرف آب است. با توجه به وخامت اوضاع در مواقعی که عرضه آب از میزان تقاضا برای آب حیاتی و ضروری کمتر ، سیاست سهمیه‌بندی آب توصیه می‌گردد که در مدل تحقیق به صورت کامل به این مبحث اشاره می‌گردد. بنابراین در مدل شبیه‌سازی شده چنین فرض می‌شود که تقاضای آب برای مصارف حیاتی کاملاً بی‌کشش بوده و مصرف کنندگان هیچ واکنشی نسبت به تغییرات قیمت از خود بروز نمی‌دهند؛ همچنین تقاضای آب برای مصارف ضروری بی‌کشش بوده و تغییرات کمی در مقابل تغییرات قیمتی بروز داده می‌شود. این در حالی است که تقاضای آب برای مصارف غیر ضروری با کشش و برای مصارف اضافی دارای کشش بسیار بالا است. هدف یک سیاستگذار در زمینه مصرف آب در مناطقی که شرایط مذکور را دارند، می‌بایست تأمین کامل آب حیاتی و ارایه به مصرف‌کنندگان با حداقل قیمت باشد، زیرا تقاضای آب بدین منظور دارای کشش صفر بوده و سیاست قیمتی هیچ تأثیری بر میزان مصرف آن نخواهد داشت. در حالی که مصرف آب ضروری دارای کشش کمتر از صفر بوده و قادر است مصرف را پایین بیاورد [Falahi *et al*, 2012]

سیاست‌های مدیریت عرضه آب شهری

امروزه مدیریت منابع آب کشور، نقش مهمی در فرایند توسعه پایدار کشور در حیطه‌هایی نظیر رشد اقتصادی، اعتلای سلامت جامعه، امنیت غذایی، توسعه پایدار منابع آب، حفظ محیط زیست و تأمین نیازهای پایه‌ای و اساسی انسان دارا است. در ادامه مطالب با عطف توجه به مفاهیم ارزش، هزینه‌های اقتصادی، تعرفه و نرخ‌گذاری آب براساس اصول اقتصادی، به تبیین ادبیات قیمت‌گذاری منابع آب به عنوان ابزارهای مهم در مدیریت تقاضای آب پرداخته می‌شود.

با استفاده از مدل ماهیت سیاست قیمت بهینه (مدیریت تقاضا) و سرمایه‌گذاری (افزایش عرضه) نسبت به پیش‌بینی آثار اقتصادی تغییر سیاست آب شهری در منطقه مورد نظر نشان داده می‌شود. این مدل براساس مسایل برنامه‌ریزی پویای تصادفی طراحی شده است. از آنجا که در این مدل‌های اولیه تمرکز بر محدودیت‌های سرمایه نسبت به محدودیت آب وجود داشته است، در مورد افزایش عرضه است. سپس یک مدل سرمایه‌گذاری و قیمت‌گذاری آب بهینه را به وسیله انحصار نظارت شده که در آن قیمت برابر هزینه کوتاه‌مدت به اضافه هزینه سرمایه برای نگه‌داشتن تقاضا با توجه به نبود سرمایه موجود بود، گسترش داده شده است. مدل با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی پویای غیرتصادفی برای زمان‌بندی بهینه گسترش سرمایه‌گذاری طراحی شده است. تکنیک برنامه‌ریزی پویای تصادفی اغلب در ادبیات مهندسی به منظور تخمین قاعده استخراج بهینه مخزن موجود در شرایط نااطمینانی استفاده می‌گردد. در ادبیات مهندسی به طور خاص بیشتر روی طرف عرضه نسبت به تقاضا تأکید می‌شود [DeHaven, 1960]. به منظور تخمین تابع سیاستی قیمت و سرمایه‌گذاری که ارزش حال رفاه اجتماعی انتظاری را ماکزیمم می‌کند؛ تکنیک برنامه‌ریزی پویای تصادفی مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه رفاه اجتماعی نشان‌دهنده مجموع تنزیل‌شده مازاد بازار انتظاری (آب غیرضروری) است، کوچکتر از هزینه‌های افزایش عرضه و کمتر از جریمه‌های تحمیل شده برای عدم توانایی به دست آوردن تقاضای آب ضروری است. توابع سیاستی تخمین زده شده دارای وضعیت وابسته هستند. مدل شامل دو جزء عمده است، ابتدا چگونگی حرکت تقاضای آب و در ادامه چگونگی حرکت عرضه آب بررسی می‌شود [Perera & Gary, 1996].

در این تحقیق با استفاده از الگوهای تقاضامحور و عرضه‌محور به بررسی نحوه دستیابی به تعادل بین تقاضای آب و عرضه آب موجود با کمترین هزینه ممکن پرداخته می‌شود. سئوال اصلی تحقیق این است که عرضه و تقاضای آتی آب شرب استان یزد چگونه خواهد بود؟

## روش شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت و روش از نوع کیفی-کمی است. جامعه آماری این پژوهش شامل داده‌های مصرف و عرضه آب شرب خانوارهای شهری استان یزد است که با کاربست مدل آماری تعادل عمومی منطقه‌ای و با استفاده از نرم افزار GAMS اثرگذاری سیاست‌های مختلف بر متغیر مصرف و عرضه آب بررسی و در یک افق ۳۰ ساله پیش‌بینی شد.

بدین منظور از تابع مطلوبیت استون-گری که به تابع مطلوبیت پایه‌ریزی شده برای کالاهای ضروری مشهور و سازگارترین نوع تابع مطلوبیت برای این منظور است، استفاده شد. استون و گری از تابع مطلوبیت کلاین- روبین برای استخراج تابع مطلوبیت خود استفاده کرده‌اند. این تابع یکی از معروف‌ترین روش‌های حل سیستم‌های معادلات تقاضا با تصریح تابع مطلوبیت به صورت یک تابع شبه مقعر اکید و فزاینده که نسبت به متغیرهای قیمت و درآمد، خطی است. این دو با معرفی یک نوع تابع مطلوبیت جمع‌پذیر و محدودیت بودجه، به دستگاه معادلات تقاضا دست یافتند. تابع مطلوبیتی که کلاین-روبین معرفی نمودند، به صورت زیر است:

(۱)

$$U = \prod_{i=1}^{N} (Q_i - S_i)^{\beta_i} \qquad i = 1,2,3,\dots\dots,n$$

محدودیت های تابع عبارتند از:

(۲)

$$0 < \beta_i < 1$$
$$Q_i > S_i$$
$$\sum_{i=1}^{n} \beta_i = 1$$

Qi میزان مصرف کالای **i**، Si حداقل مصرف ضروری کالای i، βi: سهم نهایی کالای **i** در مطلوبیت

با لگاریتم‌گیری از طرفین رابطه و با فرض اینکه مصرف‌کننده با سبدی از دو کالا، شامل آب (W) و سایر کالاها و خدمات ($Q_{oth}$)

که هر دو را یک کالای ترکیبی فرض می‌کنیم، رو به رو است، تابع مطلوبیت استون گری به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۳)

$$\ln U = U' = \beta_1 \ln(\mathrm{w} - S_w) + \beta_2 \ln(\mathrm{Q}_{oth} - S_{oth})$$

که این معادله را می‌توان به صورت زیر تعمیم داد.

(۴)

$$\ln U = U' = \beta_1 \ln(\mathrm{W}_1 - S_{W_1}) + \beta_2 \ln(\mathrm{W}_2 - S_{W_2}) + \beta_3 \ln(\mathrm{W}_3 - S_{W_3}) + \beta_4 \ln(\mathrm{Q}_{oth} - S_{oth})$$

که در آن:

U' سطح مطلوبیت مصرف‌کننده، $\mathrm{Sw_1}$ حداقل میزان مصرف آب برای مصارف حیات $\mathrm{Sw_2}$ حداقل میزان مصرف آب برای مصارف ضروری، $\mathrm{Sw_3}$ حداقل میزان مصرف آب برای مصارف غیرضروری، $S_{oth}$ حداقل میزان مصرف سایر کالاها.

میزان مصرف آب، W

$\mathrm{W_1}$ میزان مصرف آب برای مصارف حیاتی، $\mathrm{W_2}$ میزان مصرف آب برای مصارف ضروری، $\mathrm{W_3}$ میزان مصرف آب برای مصارف غیرضروری، $\mathrm{W}_{oth}$میزان مصرف سایر کالاها (کالای ترکیبی)، $\beta_1$ الی$\beta_4$ سهم نهایی آب برای مصارف مختلف و کالای ترکیبی در مطلوبیت [Henderson & Quandt, 1980].

با توجه به اینکه آب دارای مصارف مختلف، و مقدار متوسط هر یک از مصارف متفاوت است مصرف‌کنندگان برای مصارف متفاوت عکس‌العمل‌هایی کاملاً متفاوت نسبت به قیمت آب نیز خواهند داشت. بنابراین در مدل شبیه‌سازی شده چنین فرض می‌شود که تقاضای آب برای مصارف حیاتی کاملاً بی‌کشش بوده و مصرف‌کنندگان هیچ واکنشی نسبت به تغییرات قیمت از خود بروز نمی‌دهند؛ همچنین تقاضای آب برای مصارف ضروری بی کشش بوده و تغییرات کمی در مقابل تغییرات قیمتی بروز داده می‌شود. این در حالی است که تقاضای آب برای مصارف غیر ضروری با کشش است و برای مصارف اضافی دارای کشش بسیار بالا است [Pejouyan & Hosseini, 2003].

در سمت عرضه با توجه به مدیریت در تأمین آب مورد نیاز به عنوان یکی از سیاست‌های کنترل بازار آب، مدلسازی صورت گرفته است. به منظور مدلسازی سیاست‌های مدیریت عرضه در ابتدا فرض می‌شود در طرف عرضه مدل یک ذخیره با جریان ورودی تصادفی وجود دارد. همچنین در طرف عرضه مدل، تبخیرشدن از مخازن نیز در نظر گرفته شده است. برای سادگی فرض شده است که تبخیر میانگین ساده فصلی بوده است و نسبت ثابتی از جریان ورودی سدهای طبیعی است که براساس اطلاعات گذشته اندازه‌گیری شده است. سطح ذخیره آب در طی زمان بر طبق معادله زیر به صورت زیر است:

$$S_t = S_{t-1} + Tot\ IN_t - E_t - Q_t \quad (۵)$$

$$S_t \geq S^{min}\ ,\ S_t \leq K_t \quad (۶)$$

$S_t$: سطح ذخیره (مترمکعب)، $\mathrm{Tot\ IN_t}$: کل ورودی (بستگی به افزایش عرضه دارد) (مترمکعب)، $E_t$: کل تلفات ذخیره به واسطه تبخیر، $K_t$: ظرفیت ذخیره کل (بستگی به میزان افزایش عرضه دارد) (مترمکعب)، $S^{min}$: حداقل سطح ذخیره امکان‌پذیر.

به هر حال در مدل دو گونه سیاست در زمینه افزایش عرضه در نظر گرفته شده است که به صورت وابسته به بارندگی و مستقل از بارندگی است. در اعمال سیاست‌های افزایش عرضه مستقل از بارندگی، فرض شده است که مقدار ثابت افزایش در جریان ورودی آب وجود دارد و هیچ افزایشی در ظرفیت ذخیره ایجاد نمی‌شود. سیاست‌های افزایش عرضه که مستقل از بارندگی است عمدتاً مربوط به نمک‌زدایی و بازیافت آب است. افزایش وابسته به بارندگی مربوط به ساخت سدهای جدید و فرض شده است که ظرفیت ذخیره اضافی و جریان ورودی تصادفی مازاد ایجاد می‌گردد. بنابراین برای ساده‌سازی فرض شده است که جریان ورودی سدهای جدید با جریان‌های ورودی موجود دارای همبستگی کامل است. معادلات زیر روابط بین جریان‌های ورودی، ظرفیت ذخیره‌سازی و سرمایه‌گذاری افزایش عرضه را نشان می‌دهد.

(۷)

$$\mathrm{Tot}\ IN_t = (1-ef)\left(IN_t + \sum_{i=1}^{I} I_{t-LT_t,i}(\Phi_i IN_t)\right) + \sum_{i=1}^{I} I_{t-LT_t,i}\ nrin_i$$

$$K_t = K_0 + \sum_{i=1}^{I}(I_{t-LT_i,i}\ ik_i) \quad (۸)$$

$I_{t,i} = 1$ به ازای تمام $t > T$ که $T$ مدت زمان اجرای سرمایه‌گذاری است، $ef$ نسبتی از جریانات که به محیط زیست بر می‌گردد. (۰/۲۵)، $nrin_i$ جریانات ورودی مستقل از بارندگی به دلیل سرمایه‌گذاری $i$ (مترمکعب)، $\Phi_i$ نسبت افزایش در جریان ورودی وابسته به بارندگی به دلیل سرمایه‌گذاری $i$، $ik_i$ افزایش در ظرفیت ذخیره به دلیل سرمایه‌گذاری $i$ (مترمکعب)، $LT_i$ مدت زمان انجام سرمایه‌گذاری $i$ (تعداد فصول)، $k_0$ ظرفیت ذخیره اولیه (مترمکعب) (۲۰۰/۰۰۰).

هر انتخاب دارای هزینه سرمایه، هزینه اجرای سالانه ثابت و زمان انجام کار یا دوره ساخت است. برای ساده‌سازی فرض شده است که پروژه‌های افزایش مستقل از بارندگی همیشه با تمام سرمایه اجرا می‌شوند به طوری که جریانات و هزینه‌های عملیاتی ثابت هستند. در عمل به طور احتمالی سطح تولیدات گیاهان نمک‌زایی کننده یا بازسازی کننده متغیر خواهد بود. به علاوه فرض شده است که هزینه تولید کوتاه مدت عرضه آب در طی زمان و در طول یک سیاست افزایش عرضه ثابت است. یک مقدار اختیاری ریال در هر کیلولیتر به عنوان هزینه کوتاه مدت در نظر گرفته شده است.

پس از ارایه مدل در سمت تقاضا و عرضه، به مرحله نهایی مدلسازی در پژوهش حاضر می پردازیم که مربوط به تعادل عمومی در منابع آبی است. به منظور حل یک الگوی تعادل عمومی نیاز به تعریف و بهینه‌یابی یک تابع هدف است. در این تحقیق تابع هدف مدل مجموع انتظارات تنزیل شده مازادهای بازار منهای هزینه هر سرمایه‌گذاری جدید و منهای جریمه تحمیلی برای هر ناتوانایی در پرداخت تقاضای آب ضروری بر طبق معادله‌های زیر است.

(۹) تابع هدف:

$$E\left(\sum_{t=1}^{T} B^t \left(MS_t(Q_t, Q_t^{min})\right) - TC_t - PENALTY_t\right)$$

در تابع فوق $MS_t$ مازادهای بازار (مجموع مازادهای مصرف‌کنندگان و اجاره کمیابی) است که از طریق معادله زیر به دست می‌آید:

$$MS_t(Q_t, Q_t^{min}) = \int_{Q_t^{min}}^{Q_t} (Q_t^{MC} MC^{1/\alpha})^{\alpha} Q_t^{-\alpha} dQ_t - (Q_t - Q_t^{min}) MC \quad (۱۰)$$

همچنین $Q_t^{min}$: سطح تقاضای آب ضروری در زمان $t$، $TC_t$: هزینه کل ( سرمایه‌ای و عملیاتی) افزایش در زمان $t$، $PENALTY_t$: جریمه تحمیل‌شده در صورت عدم وجود آب ضروری ( $1 \times 10^{10}$) و $\beta$: فاکتور تنزیل فصلی (۰/۰۱۵) است [Hughes *et al*, 2009].

هزینه‌های تحمیلی به واسطه نقص عرضه آب ضروری به سختی قابل تخمین است و شاید شامل هزینه‌های تحمیل شده بر مصرف‌کنندگان همچنین هزینه‌های اجرای پروژه‌های عرضه آب غیر منتظره باشد. روش مورد استفاده در این مطالعه قرار دادن جریمه به اندازه کافی بالا در تابع هدف است تا احتمال نقصان در تأمین آب حیاتی نزدیک به صفر برسد. این مدل در زمان گسسته، افق زمانی محدود، مسایل برنامه‌ریزی پویای تصادفی فرمول‌بندی شده است. مساله دارای دو متغیر وضعیت سطح ذخیره و میزان زیرساخت‌های عرضه و دو متغیر کنترل یا سیاست‌گذاری قیمت و سرمایه‌گذاری جهت افزایش عرضه است. با در نظر گرفتن وضعیت گسسته و فضای سیاستی، مدل با استفاده از رویکرد عقب‌نگر حل خواهد شد.

## یافته ها

### پیش‌نگری عرضه و تقاضای منابع آب شهری در استان یزد در افق سی‌ساله

در ادامه با توجه به توابع بیان شده و استفاده از بهینه‌سازی ریاضی میزان متغیرهای کلیدی در مورد تقاضا و عرضه آب شهری در استان یزد در دوره ۱۳۹۷ الی ۱۴۲۵ پیش‌بینی گردید. به منظور پیش‌بینی تقاضا و عرضه آب در استان یزد سه سناریوی مختلف به تفکیک تقاضا و عرضه در نظر گرفته شد. سناریوی اول، مصرف خوشبینانه است و در شرایط اعمال سیاست‌های قیمتی و سهمیه‌بندی مناسب و صرفه‌جویی تمام شهروندان امکان پذیر است. سناریوی دوم، سناریوی مصرف واقع بینانه در مورد تقاضای آب است و در شرایطی که الگوی مصرف آب شهری در استان یزد بر طبق الگوی مصرفی کنونی باقی بماند، تقاضای آب پیش‌بینی گردید و در نهایت سومین سناریو در مورد تقاضای آب، شکل‌گیری مصرف بی‌رویه است. هر چند در این وضعیت نیز مصرف سرانه شهروندان نسبت به بسیاری از مناطق جهان مناسب است ولی با توجه به کمبود منابع آب در استان یزد، این سطح تقاضا به عنوان مصرف خارج از عرف در نظر گرفته شد. همچنین از آنجا که میزان تولید آب شهری در استان یزد علاوه بر ایجاد زیرساخت‌های لازم به منظور حذف آب‌های به حساب نیامده، اصلاح شبکه توزیع آب و برگشت آب بازیافتی به شبکه توزیع بستگی به شرایط اقلیمی در استان نیز دارد، شرایط اقلیمی آینده به عنوان یک متغیر تصادفی لحاظ گردید. بر این اساس به منظور تحلیل میزان عرضه آب نیز سه سناریوی مختلف لحاظ شد که شامل موارد زیر است: سناریوی اول خروج از دوران خشکسالی؛ در این صورت متوسط بارش استان یزد به بالاترین سطح در ۵۰ سال گذشته برگردید و در این شرایط انتظار افزایش عرضه آب نسبت به سطح کنونی وجود داشت. سناریوی دوم استمرار وضعیت کنونی است و با توجه به بیلان آبی منفی، عرضه آب در سال‌های آتی کاهش یافت و در نهایت سناریوی سوم با فرض افزایش موج خشکسالی بنا گردید که در این شرایط کاهش عرضه آب با سرعت بالاتری رخ داد. در ادامه میزان تقاضا و عرضه آب در دوره مورد بررسی با استفاده از جداول و نمودارهای جداگانه ارایه و تحلیل گردید.

با پیش‌بینی جمعیت استان یزد و مصرف سرانه آب در استان یزد در دوره مورد بررسی، تقاضای آب احصاء گردید. مصرف سرانه در الگوی خوشبینانه با حذف تمام مصارف غیرضروری و حرکت به سمت مقدار سرانه $Q_t^{min}$ در معادله ۱۰ بدست آمد به نحویکه مصرف سرانه در این حالت از ۶۷/۸۱ در ابتدای دوره (۱۳۹۷) به ۳۳/۹ متر مکعب در انتهای دوره مورد بررسی (۱۴۲۵) کاهش یافت. مصرف واقع‌گرایانه مقدار مصرف در سطح مصارف حیاتی و ضروری حاصل شد و در حالت مصرف بی‌رویه میزان مصرف در سطحی است که نیازهای مصرفی تفریحی خانوارها را نیز برآورده می‌سازد که مصرف سرانه در این حالت برابر با ۶۹/۶ مترمکعب گردید. همچنین سرانه مصرف در حالت بی رویه از ۷۲/۱۴ ابتدای دوره به ۱۹۱/۲۳ مترمکعب افزایش یافت. با ضرب میزان افراد ساکن در استان یزد و مصرف سرانه آب طی دوره مورد بررسی میزان تقاضای آب به تفکیک سه سناریوی مصرفی مطرح شده به صورت جدول ۲ ارایه گردید.

**جدول ۲)** تقاضای آب استان یزد در دوره ۱۳۹۷ الی ۱۴۲۵

| سال | تقاضای آب مدل خوشبینانه | تقاضای آب مدل واقع بینانه | تقاضای آب مصرف بی‌رویه |
|---|---|---|---|
| ۱۳۹۷ | 79/548/067 | 81/646/886 | 84/633/731 |
| ۱۴۰۰ | 80/714/279 | 89/217/756 | 102/406/746 |
| ۱۴۰۵ | 82/502/661 | 103/427/832 | 139/748/705 |
| ۱۴۱۰ | 83/829/517 | 119/901/204 | 193,398,443 |
| ۱۴۱۵ | 86/606/615 | 138/998/357 | 269/087/375 |
| ۱۴۲۰ | 88/646/898 | 161/137/192 | 372/065/780 |
| ۱۴۲۵ | 90/989/874 | 186/802/169 | 513/298/441 |

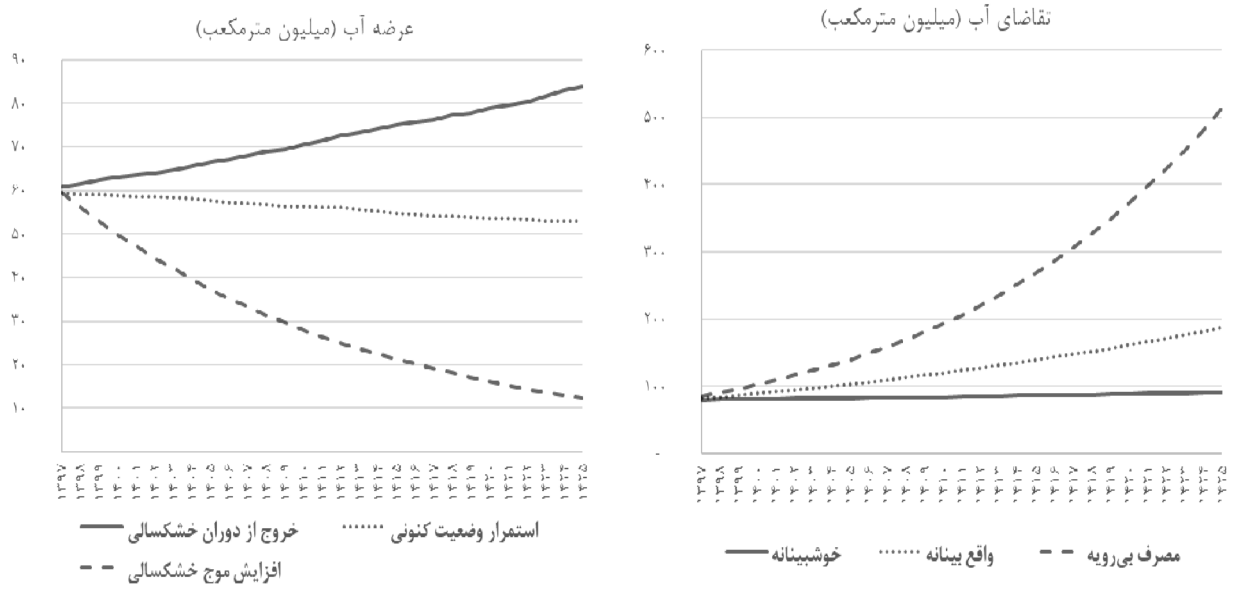
اطلاعات جدول فوق نیز میزان تقاضای آب شهری در استان یزد تا سال ۱۴۲۵ را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت با اعمال سیاست‌های تقاضای مناسبی می‌توان سهم زیادی از مصارف غیرضروری آب را کاهش داد. قابل مشاهده است که اطلاعات مصرف آب در آینده به تنهایی اطلاعات کافی در مورد بازار آب را ارائه نمی‌دهد. بنابراین به منظور کشف ویژگی‌های بازار آتی آب در استان یزد، وضعیت عرضه آب در استان یزد با توجه به سه سناریوی خروج از دوران خشکسالی، استمرار وضعیت کنونی و افزایش موج خشکسالی بر طبق جدول زیر ارایه گردید. (جدول ۳).

**جدول ۳)** عرضه آب در استان یزد طی دوره ۱۳۹۷ الی ۱۴۲۵ بر طبق سه سناریوی مختلف

| سال | خروج از دوران خشکسالی | استمرار وضعیت کنونی | افزایش موج خشکسالی |
|---|---|---|---|
| ۱۳۹۷ | 60/783/899 | 59/557/538 | 59/567/089 |
| ۱۴۰۰ | 62/989/415 | 58/845/297 | 49/784/239 |
| ۱۴۰۵ | 66/565/518 | 57/722/819 | 37/201/471 |
| ۱۴۱۰ | 70/468/950 | 56/240/925 | 27/957/025 |
| ۱۴۱۵ | 74/973/828 | 54/804/670 | 21/313/232 |
| ۱۴۲۰ | 78/947/925 | 53/558/688 | 16/266/598 |
| ۱۴۲۵ | 83/816/163 | 52/915/136 | 12/272/423 |

بر طبق اطلاعات جدول فوق مشاهده گردید که میزان کل تولیدات آبی بالقوه در استان یزد علاوه بر سیاست‌های مختلف که در زمینه عرضه قابل انجام است، یک متغیر تصادفی است و به طور مستقیم تحت تأثیر شرایط اقلیمی قرار داشته و نمی‌توان با اطمینان در مورد میزان تولید آب اطلاعاتی را ارایه نمود. در جدول فوق میزان عرضه آب براساس معادله ۵ به دست آمده است تحت سه فرض خروج از دوران خشکسالی، استمرار وضعیت کنونی و افزایش موج خشکسالی براساس روند بلندمدت بارش‌های استان یزد به دست آمد. در وضعیت خروج از خشکسالی فرض شد که سطح بارش به بالاترین سطح در ۵۰ سال گذشته باز گردید، در وضعیت استمرار وضعیت کنونی الگوهای بارش بدون تغییر لحاظ شده و در صورت بروز افزایش موج خشکسالی سطح بارش به کمترین سطح در نیم قرن گذشته رسید. همچنین از سطح تولید و عرضه نیز به تنهایی اطلاعات کافی در مورد میزان کمبود یا مازاد آب در استان را ارایه نداد. به این منظور لازم بود که تقاضا و عرضه آب به صورت همزمان در قالب الگوی تعادل عمومی تحلیل گردید.

در شکل ۱ تقاضا و عرضه آب در دوره مورد بررسی ارایه شد. در هر نمودار سه منحنی که نشان‌دهنده یکی از سناریوهای فرض شده است، ترسیم گردید. همان‌طور که مشاهده شد فاصله زیادی بین میزان عرضه و تقاضا در سه سناریو وجود دارد. این موضوع ضرورت سناریوسازی برای تشریح و بررسی سیاست‌های مختلف را نشان داد تا به واسطه پیش‌بینی وضعیت‌های محتمل، مدیریت منابع آب با اخلال مواجه نگردد.




**شکل ۱)** تقاضا و عرضه آب شهری در استان یزد در دوره ۱۳۹۷ الی ۱۴۲۵ در سه سناریوی مختلف

## بحث

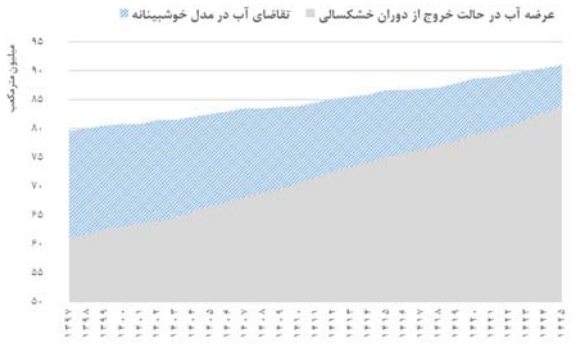
تحلیل و بررسی پیش‌نگری بازار آب طبق سناریوهای مختلف با توجه به اینکه سه سناریوی در مورد تقاضا و سه سناریو در مورد عرضه آب ارایه شده است، ۹ حالت مختلف قابل تفکیک است. از آنجا که تحلیل تمام حالت‌ها در حوصله این مطالعه نمی‌گنجد حالت‌های حدی تحلیل می‌گردد و از ارایه سایر وضعیت‌های مشابه صرف نظر می‌گردد. در ابتدا خوشبینانه‌ترین حالت در مورد تقاضا و عرضه تحلیل می‌گردد (جدول ۴).

**جدول ٤)** میزان مازاد یا کمبود آب شرب تحت شرایط سناریوهای مختلف عرضه و تقاضای آب در استان یزد در افق ۱۳۹۷ الی ۱۴۲۵ (میلیون متر مکعب)

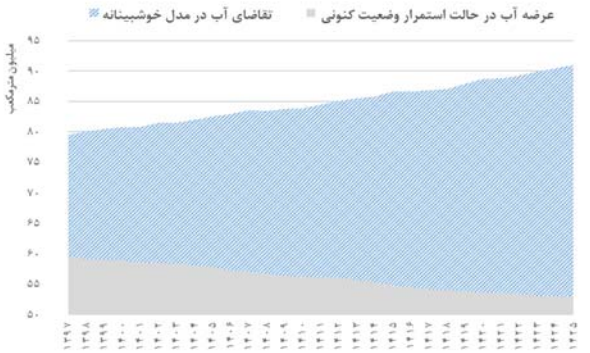
| سناریوهای عرضه منابع آبی / سناریوهای تقاضا | خروج از دوران خشکسالی | استمرار وضعیت کنونی | افزایش موج خشکسالی |
|---|---|---|---|
| **تقاضای آب مدل خوشبینانه** | -۲۵۶ | -۷۳۸ | -۹۲۸ |
| **تقاضای آب مدل واقع بینانه** | -۱۴۹۸ | -۱۹۷۱ | -۲۱۶۱ |
| **تقاضای آب مصرف بی‌رویه** | -۴۵۶۵ | -۵۰۳۸ | -۵۲۲۷ |

علامت مثبت در جدول فوق مازاد و علامت منفی میزان کمبود آب مصرفی را نشان می‌دهد، همان‌طور که در جدول فوق قابل مشاهده است همواره کمبود آب در استان یزد به واسطه پایین‌بودن عرضه و میزان مصرف با توجه به جمعیت وجود دارد، ولی این کمبود در شرایط مصرف خوشبینانه و خروج از دوران خشکسالی پایین سطح ممکن می‌رسد و در سایر حالت‌ها کمبود افزایش می‌یابد.

از یک طرف در صورت دستیابی به سطح مصرف خوشبینانه و خروج از دوران خشکسالی یعنی در خوشبینانه‌ترین وضعیت از لحاظ مصرف و تولید آب در استان یزد بر طبق شکل ۳ بین میزان مصرف و تولید آب در استان یزد شکاف وجود دارد که این شکاف به صورت نواحی هاشور زده شده نشان داده شده است.




شکل ۲) وضعیت بازار آب در استان یزد در حالت خوشبینانه عرضه و تقاضا




**شکل ۳)** وضعیت بازار آب در استان یزد در حالت خوشبینانه تقاضا و عرضه براساس شرایط کنونی

بنابراین از نمودار ۲ قابل مشاهده است که استان یزد با توجه به نیاز آبی و توان تولید آبی پایین در خوشبینانه‌ترین وضعیت نیز قادر به تأمین کل نیاز خود نیست. در ادامه تحلیل بازار آب استان در صورتی که وضعیت اقلیمی در شرایط کنونی باقی بماند ارایه می‌گردد.

از طرف دیگر تحلیل بازار آب در استان یزد در صورت دستیابی به سطح مصرف خوشبینانه و استمرار وضعیت کنونی، از آنجا که برداشت سالانه از منابع داخلی آب در استان یزد حدود یک میلیون و صد هزار مترمکعب بوده و میزان متوسط بازگشت به منابع آبی هشتصد هزار مترمکعب است، در استان یزد سالانه سیصدهزار مترمکعب بیلان منفی آب وجود دارد. بر این اساس در صورتی که وضعیت اقلیمی به صورت کنونی باقی بماند توان تولید آب در استان سالانه کاهش پیدا می‌کند.

نمودار ۳ به روشنی وضعیت بازار آب در استان یزد تا سال ۱۴۲۵ را ارایه می‌دهد. نمودار ۳ نیز به روشنی سطح کمبود آب در استان یزد را نشان می‌دهد. بنابراین در صورت استمرار وضعیت کنونی کمبود آب در استان یزد امری قطعی خواهد بود.

علاوه بر دو حالت فوق هفت حالت دیگر نیز قابل تحلیل است ولی از آنجا که نتایج کاملاً مشابه است از آن صرف نظر شده است.

## نتیجه‌گیری

تمایل بلند مدت به رشد تقاضای آب، افزایش هزینه‌های گسترش عرضه، تغییرات اقلیمی بالقوه، شرایط آب و هوایی گرم و خشک و خشکسالی‌های متوالی باعث افزایش محدودیت آب شهری در استان یزد گردیده است. با درنظرگرفتن واقعیت مذکور سیاستمداران می‌بایست راهی برای بهبود کارایی مدیریت تقاضا و افزایش عرضه پیدا کنند. به منظور درک واقعی بازار آتی آب در استان یزد، در قالب سه سناریوی جداگانه تقاضا و عرضه آب در استان یزد طی دوره ۱۳۹۷ الی ۱۴۲۵ مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق محاسبات تحقیق تنها در صورتی که همراه با اعمال سیاست‌های سخت‌گیرانه در حیطه مدیریت تقاضای آب، عرضه آب به واسطه خروج از دوران خشکسالی افزایش پیدا کند، استان یزد قادر خواهد بود بخش قابل توجهی از نیاز آبی خود را در داخل استان تأمین نماید. در غیر این صورت پتانسیل تأمین کمتر از ۵۰% نیاز آبی استان در داخل وجود دارد انتظار می‌رود تا با پیشرفت تکنولوژی و دستیابی به روش‌های انتقال و استحصال آب مشکلات کاهش یابد این در حالی است که با توجه به بروز دوره خشکسالی، افزایش جمعیت و رشد بخش صنایع با آب‌بری زیاد در استان یزد، این مشکل فزونی یافته است به طوری‌که در بهترین حالت با Ar۲۵۶ میلیون متر مکعب و در بدترین حالت با ۵۲۲۷ میلیون مترمکعب کسری تراز عرضه نسبت به تقاضای آب در استان یزد مواجه خواهیم شد. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد که با توجه به روحیه قناعت و پایداری مردمان کویر نشین استان یزد و به دلیل عدم امکان استفاده منفرد از سیاست‌های مدیریت تقاضا، زمینه دسترسی به منابع عرضه جدید آب که شامل احداث خطوط انتقال آب از منابع پایدار است، فراهم گردد.

**تشکر و قدردانی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
**تأییدیه اخلاقی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
**تعارض منافع:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
**سهم نویسندگان:** مهدی اکابری یزدی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی/ نگارنده بحث (۴۰%)؛ مهران فاطمی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی/ روش شناس (۳۰%)؛ سعید دهقان خاوری (نویسنده سوم)، پژوهشگر اصلی/ تحلیلگر آماری (۳۰%)
**منابع مالی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

## منابع


Cardenete M, Hewings G (2011). Water price and water sectoral reallocation in andalusia: A computable general equilibrium. Approach 1. Environmental Economics. 86:21-27.

Downward S, Taylor R (2007). An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería, Southeast Spain. Environmental Management. 82(2):277-289.

Edwards G (2006). Whose Values Count? Demand Management for Melbourne's Water. Economic Record. 82(1):54-54.

Falahi MA, Ansari H, Moghaddas S (2012). Evaluating effective factors on household water consumption and forecasting its demand: Panel data approach. Journal of Water and Wastewater. 23(4):78-87.

Grafton R J, Horne J (2014). Water markets in the murray-darling basin. Agriculture Water Management. 145:61-71.

Grafton RQ, Kompas T, To H, Ward M (2007). Residential water consumption: A cross country analysis. Environmental Economics Research Hub (Report No. 0923). Canberra: Australian National University.

Henderson JM, Quandt RE (1980). Microeconomic theory: A mathematical approach (Economics handbook series). Subsequent Edition. New York: McGraw-Hill College.

DeHaven J C (1960). Water supply: Economics. Technology and Policy. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

Hughes N, Hafi A. Goesch T (2009). Urban water management: Optimal price and investment policy under climate variability. The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics. 53(2):175-192.

Keramatzadeh A, Chizari A, Sharzehi G (2014). Analysis the economic and social impacts of establishing water market in agricultural sector, a Case Study in Downstream Lands of Shirin Dareh Dam of Bojnoord, Iran. Economic Research.48(3):107-128. [Persian]

Mahmoudi A, Parhizkari A (2016). Economic modeling of agricultural water resource management in Tehran province with emphasis on the role of water market. Quarterly Economic Modelling. 10(3):121-139. [Persian]

Mukhopadhyay A, Akber A, Al-Awadi E (2001). Analysis of freshwater consumption patterns in the private residences of Kuwait. Urban Water. 3(1-2):53-62.

Pejouyan J, Hosseini S (2003). Estimating the residential Water Demand Function. Iranian Economic Research. 5(16):47-67.

Perera BJC, Codner GP (1996). Reservoir targets for urban water supply systems. Journal of Water Resources Planning and Management. 122(4).

Poursalehi F, Mohmmadi H, AkbarPour A, Hashemi R (2016). Predicting the effects of water consumption control policy on the per capita of urban water using systems thinking (Case study: Birjand city). Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems. 3(4):39-48.

Qin C, Jia Y, Su Z, Bressers H, Wang H (2012). The Economic impact of water tax changes in china: A static computable general Equilibrium analysis. Water International. 37(3):279-292.

Tabesh M, Dini M, Khoshkholgh AJ, Zahraie (2008). Estimation of Tehran daily water demand using time series analysis. Iran-Water Resources Research. 4(2):57-65.

Tsur Y, Zemel A (2017). Water policy guidelines: A comprehensive approach. Water Resources and Economics. 23:1-13.

Water and Wastewater Company of Yazd Province (2018). Annual Report on Resources and Water Consumption in Yazd Province.

Yousefi A, Hassan-Zadeh M, Keramat Zdeh A (2014). The welfare effect of water market allocation in Iranian economy. Iran-Water Resources Research. 10(1):15-25.