Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 10, No. 2, PP. 4-18, Summer 2025
DOI: 10.22112/jwwse.2025.465656.1405

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال دهم، شماره ۲، صفحات ۴-۱۸، تابستان ۱۴۰۴

Research Paper

Technical-Economic Study of Urban Drinking Water Distribution Methods

Farzaneh Fotuhi Firuzabad[1*], Mohammadreza Ekhtesasi[2] and Abdorasoul Negaresh[3]
1- Assistant Professor of Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
2- Professor, Natural Resources and Desert Studies Faculty, Yazd University, Yazd, Iran.
3- PhD Student of Civil-Water Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Iran.
*Corresponding Author, Email: f.fotouhi@ardakan.ac.ir

Received: 02/07/2024
Revised: 03/03/2025
Accepted: 11/03/2025
© IWWA

Abstract

The separation of potable water from non-potable sanitary water is a crucial strategy for the quantitative and qualitative management of water consumption. In this study, scenarios for separating drinking water from sanitary water were evaluated for the Gazorgah region of Yazd Province using EPANET software from both technical and economic perspectives. The scenarios included a dual water distribution network, as well as governmental and private drinking water withdrawal sites. The economic analysis of these methods, conducted using the Net Present Value (NPV) approach, revealed that all scenarios yielded a positive NPV, indicating their economic viability. A comparison of the unit price of drinking water per cubic meter showed a slight difference between the dual water distribution network method (63,900 Rials) and the governmental drinking water withdrawal site method (58,600 Rials). However, in terms of the NPV index, the dual water distribution network method demonstrated a significantly higher and more economical value (277.40 million Rials) compared to the governmental drinking water withdrawal site method (39.20 million Rials). Additional factors such as population age, ease of access to drinking water, and social acceptance of the dual water network were also considered in comparison to governmental and private water withdrawal methods. The implementation of this project could help promote a culture of water conservation by implementing equitable tariffs for drinking water and rationalizing sanitary water usage.

Keywords: Governmental and Private Drinking Water Withdrawal Sites, Dual Water Distribution Network, Yazd City, Consumption Management.

مقاله پژوهشی

بررسی فنی-اقتصادی روش‌های توزیع آب شرب شهری

فرزانه فتوحی فیروزآباد[۱*]، محمدرضا اختصاصی[۲] و عبدالرسول نگارش[۳]
۱- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۲- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری عمران- مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: f.fotouhi@ardakan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

جداسازی آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی یکی از مؤلفه‌های مدیریت کمی و کیفی مصرف را تشکیل می‌دهد. سناریوهای تفکیک آب آشامیدنی از غیرآشامیدنی با استفاده از نرم‌افزار EPANET در گازرگاه یزد مورد بررسی فنی و اقتصادی قرارگرفت. سناریوها شامل شبکه دوگانه توزیع آب، جایگاه‌های دولتی و خصوصی برداشت آب است. نتایج تحلیل اقتصادی روش‌ها با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص نشان داد که همه روش‌ها دارای شاخص NPV[۱] مثبت هستند که این نشان‌دهنده موفق بودن پروژه‌ها از نظر اقتصادی است. در رابطه با مقایسه قیمت واحد فروش آب شرب به ازای هر مترمکعب برای روش شبکه توزیع دوگانه آب (۶۳۹۰۰ ریال)، نسبت به‌روش جایگاه دولتی برداشت (۵۸۶۰۰ ریال) اختلاف اندکی وجود دارد، ولی روش شبکه توزیع دوگانه آب دارای NPV بالاتر و اقتصادی‌تر (۲۷۷/۴۰ میلیون ریال) نسبت به‌روش جایگاه دولتی برداشت آب (۳۹/۲۰ میلیون ریال) است. پارامترهایی از جمله استقبال افراد مسن از شبکه دوگانه، سهولت دسترسی مردم به آب شرب و توزیع کاملاً بهداشتی آب، اجرای این روش را در بافت قدیم تأیید می‌نماید. با اجرای این پروژه می‌توان با تعرفه پلکانی قیمت آب آشامیدنی و سهمیه‌بندی آب بهداشتی، فرهنگ صرفه‌جویی مصرف آب را به‌مراتب عادلانه‌تر از وضعیت کنونی مدیریت نمود.

کلمات کلیدی: جایگاه‌های دولتی و خصوصی برداشت آب، شبکه توزیع دوگانه آب، شهر یزد، مدیریت مصرف.

۱- مقدمه

یکی از ابزارهای رویکرد فنی در مدیریت تقاضا استفاده از شبکه‌های دوگانه آبرسانی است (Kotwicki and Al-Otaibi, 2011; Storey et al., 2007). میزان آب مورد نیاز برای شرب و پخت و پز مقدار ناچیزی از مصرف کل مصرف‌کنندگان خانگی و شهری را شامل می‌شود که نیاز به آب با کیفیت بالا و رعایت استانداردهای آب شرب است. این درحالی است که سایر مصارف غیرشرب که بخش بیش‌تری از مصارف شهری را شامل می‌شوند، می‌توانند با کیفیت پایین‌تری برای مشترکین تأمین شوند (Apostolidis et al., 2011). شبکه‌های دوگانه آبرسانی شامل دو شبکه مجزا از هم هستند که آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان را از منابع مختلف، با کیفیت متفاوت و برای مصارف شرب و غیرشرب تأمین می‌کنند (Oesterholt et al., 2007). از آن‌جایی که در این شبکه‌ها آب شرب تنها برای مصارف آشامیدنی و پخت و پز استفاده می‌شود، لذا بهره‌برداری از این شبکه‌ها می‌تواند برداشت آب شیرین از منابع محدود و با کیفیت را کاهش دهد (پهلوانی و همکاران، ۱۳۹۱).

از دلایل مهم بالابودن مصرف سرانه آب لوله‌کشی در ایران، استفاده از آب آشامیدنی تصفیه‌شده برای سایر مصارف از جمله شست و شوی لباس، ظرف، اتومبیل، استحمام و آبیاری باغچه‌ها است. هم‌چنین میزان هزینه‌ای که در ایران بابت آب آشامیدنی تصفیه شده از مردم گرفته می‌شود برابر با قیمت تمام‌شده آن نیست و بخش اعظم هزینه‌ها برعهده دولت است (عبدالمنافی و مظاهری، ۱۳۹۲). در برخی از شهرهای جهان آب آشامیدنی از آبی که به سایر مصارف می‌رسد، جدا است (Nairizi, 1994; Satterfield, 2009). در بسیاری از مناطق کشور به‌دلیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، ذخایر منابع آبی به‌شدت در خطر افتاده است. انتقال آب از یک منطقه به منطقه دیگر نیز علاوه‌بر هزینه‌های انتقال و چالش‌های محیط‌زیستی، با مشکلات و محدودیت‌های زیادی همراه است. بازیافت پساب و استفاده مجدد از آن‌ها به‌عنوان آب شرب نیز با محدودیت‌های بهداشتی، هزینه‌ای و روانی همراه است (Menge, 2006; Yi et al., 2011). بنابراین استفاده از تمامی منابع آب از جمله منابع آب بی‌کیفیت باید مورد توجه و مدیریت خاص قرار گیرد (Rogers et al., 2007; Yang et al., 2006). از سوی دیگر زمانی که تقاضای مصرف آب افزایش یابد، امکانات موجود شبکه‌های توزیع آب جوابگو نخواهد بود و نیاز به توسعه شبکه و تجهیزات آبرسانی پدید می‌آید (عبدالمنافی و مظاهری، ۱۳۹۲).

لازم‌به ذکر است که تاکنون، شبکه دوم یا جداسازی شبکه‌ها در تعاریف شرکت‌های مهندسی آب و فاضلاب و مشاورین مربوطه، تحت موضوع نصب شیر برداشت در مناطق مختلف با شبکه محدود، نه به‌صورت یک شبکه کاملاً وسیع و گسترده و به موازات شبکه فعلی، مطرح بوده است. برای مثال در شهرهای قم، کاشان و آبادان به‌صورت شیر برداشت و در مناطق بجستان و خور و بیابانک به‌شکل شبکه محدود شرب مستقل اجرا شده است (پهلوانی و همکاران، ۱۳۹۱). به‌هر حال وضعیت بحرانی کمبود آب ایجاب می‌نماید تا در مناطق مختلف اقلیمی بسته به شرایط منطقه و نیاز آبی نسبت به مدیریت و گزینه‌های مختلف جداسازی شبکه آب شرب و بهداشت اقدام شود (Nguyen, 2003).

در این بخش، به یک‌سری تحقیقات مرتبط با موضوع مقاله حاضر، اشاره می‌شود. گلابچی (۱۳۸۸) با بررسی سیستم‌های مختلف آبرسانی و توزیع آب شهری، با توجه به معیارهایی از جمله در دسترس بودن آب شرب، عدم تصفیه یا تهیه آب برای مصارفی غیر از شرب، عدم نیاز به طراحی، عدم نیاز به تعداد بالای نیروی انسانی متخصص و بهره‌بردار و غیره، اولویت اجرایی روش‌های آبرسانی را بدین‌ترتیب مشخص کرده است، اولویت اول: آبرسانی به‌وسیله شبکه و بسته‌بندی، اولویت دوم: آبرسانی از طریق شبکه توزیع دوگانه، اولویت سوم: آبرسانی از طریق شبکه توزیع واحد، اولویت چهارم: آبرسانی سیار. سربندی فراهانی (۱۳۸۸) مشکلات شهر قم در تأمین آب شرب شهری را بررسی و سپس سیر طراحی و اجرای شبکه دوم توزیع آب شهری در این شهر را ارائه کردند. با بررسی‌های صورت‌گرفته تنها گزینه قابل‌اجرا جداسازی آب شرب از سایر مصارف شهری بود؛ اما به‌دلیل هزینه بالای احداث شبکه توزیع دوم و رساندن آب شرب در داخل منازل مردم، تصمیم به احداث ایستگاه‌های توزیع آب شرب در سطح شهر (شیر برداشت) گرفته شد. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی گزارشی تحت‌عنوان شبکه‌های دوگانه توزیع آب (۱۳۹۲) منتشر نمود. در این گزارش عنوان‌شده است که طرح تفکیک شبکه‌های شرب و غیرشرب در بلندمدت اقتصادی است. در این طرح نسبت سود به هزینه بزرگ‌تر از یک بوده و توجیه اقتصادی این نوع شبکه‌ها را در بر دارد. براساس این گزارش، به‌منظور انجام این طرح و یک تحلیل مالی و اقتصادی دقیق برای مقایسه تبعات اقتصادی آن با گزینه‌های دیگر، لازم است که مسائل اجتماعی ناشی از بهره‌برداری از دو نوع آب با کیفیت و قیمت مختلف بررسی شده و نتایج آن برای استفاده در طرح‌های مشابه مورد تحلیل قرارگیرد. در گزارش کمیته تحقیقات آب آفریقای جنوبی، امکان استفاده از سیستم‌های دوگانه توزیع آب در آفریقای جنوبی ارزیابی شد (Ilemobade et al., 2009). خشکی

منطقه، فاکتور مهمی در اجرای سیستم‌های دوگانه توزیع آب در آفریقای جنوبی است. بازچرخانی آب، مصرف آب شرب را کاهش می‌دهد. بررسی‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که استفاده از آب بازیافتی برای مصارف غیرشرب (فلاش تانک و آبیاری باغ) ۳۰-۶۰ درصد آب شرب را ذخیره می‌نماید. پایداری و طول عمر سیستم‌های دوگانه توزیع آب در بیش‌تر مناطق دنیا، ثابت کرده است که این سیستم‌ها انتخاب بسیار مناسبی برای تأمین آب هستند. در پژوهشی، با توجه به استفاده بیش از ۲۰٪ از کل آب مصرفی برای ماشین لباس‌شویی و هم‌چنین خشک‌سالی‌های اخیر در برخی از شهرهای استرالیا، امکان استفاده از آب بازیافتی در ماشین لباس‌شویی با استفاده از تحلیل SWOT ارزیابی شد (Mainali et al., 2011). گزارش خصوصیات و عملکرد سیستم‌های دوگانه توزیع آب در آمریکا توسط Grigg et al. (2013) ارائه شد. سیستم‌های دوگانه توزیع آب یک تکنولوژی مناسب برای بهبود کیفیت آب و کاهش هزینه‌های زیرساخت توزیع آب آشامیدنی است. سالم‌بودن و با کیفیت بودن آب و هم‌چنین سلامت عموم از فاکتورهای اساسی در مدیریت شبکه‌های دوگانه توزیع آب هستند. احداث سیستم‌های دوگانه توزیع آب فقط برای بهبود کیفیت آب و کاهش هزینه‌های زیرساخت توزیع آب آشامیدنی نیست؛ بلکه برای استفاده از آب بازیافتی و به‌طور کلی برای مدیریت کل منابع آب و هم‌چنین مدیریت فاضلاب نیز ساخته می‌شود. پهلوانی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به‌منظور انتخاب گزینه مناسب در شبکه‌های دوگانه آبرسانی از معیارهای اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، فنی و مهندسی، سازمانی و مدیریتی استفاده کردند و در نهایت مشخص شد که احداث یک شبکه آب غیرشرب برای مصارف آبیاری فضای سبز شهری و صنایع به لحاظ اقتصادی و اجتماعی مناسب است و می‌تواند کمبود آب در این شهر را برطرف سازد. گزارش شرکت مهندسین مشاور تمدن کاریزی در سال ۱۳۹۶ در طرح پژوهشی بررسی اجرای مناسب‌ترین روش تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهرهای منتخب استان یزد با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به این نتیجه رسید که با توجه به تمامی معیارهای مورد ارزیابی (پایداری، محیط‌زیستی، امکان‌پذیری، اثرات اجتماعی، بهداشتی و اقتصادی) جایگاه عمومی برداشت آب به‌عنوان بهینه‌ترین گزینه و اولویت اول تفکیک آب شرب شناسایی می‌شود و آب بسته‌بندی در اولویت دوم قرار می‌گیرد؛ هم‌چنین شبکه دوگانه توزیع آب در رتبه سوم و تصفیه خانگی در رتبه چهارم این ارزیابی قرار دارند. در پژوهشی دیگر، چهار سناریوی مدیریت آب برای کشور هنگ کنگ مورد ارزیابی اقتصادی قرارگرفت (Lam et al., 2017). سناریوها عبارت بودند از سیستم توزیع آب شرب (تمام مصارف خانگی با استفاده از آب شرب) (S1)، سیستم توزیع آب شرب و غیرشرب (استفاده از آب دریا صرفاً برای فلاش تانک) (S2)، سیستم توزیع آب شرب و غیرشرب (استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب حاصل از فلاش تانک و سینک آشپزخانه برای مصارف فلاش تانک و آتش‌نشانی) (S3)، روش چهارم (S4) دقیقاً مانند روش سوم است با این تفاوت که نحوه تصفیه فاضلاب در روش چهارم به‌شکل غیرهوازی و در روش سوم به‌صورت هوازی است. نتایج آنالیز اقتصادی نشان داد که هزینه‌های سرمایه‌گذاری S4 > S3 > S2 > S1 و هزینه‌های جاری S4 < S2 < S3 < S1 است. هنگام لحاظ نمودن هر دو نوع هزینه، میزان کل هزینه‌های روش S2 و S4 کم‌تر از سایر روش‌ها و روش S1 پرهزینه‌تر است. به‌طور کلی طی دوره بهره‌برداری ۲۵ سال، روش S4 را مناسب‌ترین روش دانسته‌اند. چون در این‌روش بیش‌ترین صرفه‌جویی در مصرف آب شرب صورت خواهدگرفت و در ضمن نسبت به‌روش سوم از نظر نوع تصفیه، برتری‌های زیادی دارد.

Rasoulkhani et al. (2019) سیستم‌های توزیع دوگانه آب را به‌عنوان یک راه‌حل زیرساختی برای افزایش پایداری و انعطاف‌پذیری سیستم‌های آبرسانی شهری برای بهبود عملکرد و کاهش مصرف انرژی پیشنهاد دادند. برخی مطالعات اهمیت مقبولیت اجتماعی و پذیرش عموم در به‌کارگیری سیستم‌های توزیع دوگانه آب و موفق بودن این پروژه‌ها را خاطرنشان کردند (Garcia-Cuerva et al., 2016). علاوه‌بر عوامل اجتماعی (مانند پذیرش جامعه)، عملکرد سیستم‌های دوگانه بر توسعه زیرساخت‌های جدید نیز متکی است (Kandiah et al., 2019).

فتوحی و همکاران (۱۳۹۸) سناریوهای تفکیک آب آشامیدنی و غیرآشامیدنی را با استفاده از نرم‌افزار تحلیل شبکه EPANET در منطقه صفائیه یزد مورد بررسی فنی و اقتصادی قراردادند. سناریوها شامل شبکه دوگانه توزیع آب و جایگاه‌های دولتی برداشت آب شرب هستند. نتایج تحلیل اقتصادی روش‌ها با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) نشان‌داد که هر دو روش دارای شاخص NPV مثبت است که این امر نشان‌دهنده موفق‌بودن پروژه‌ها ازنظر اقتصادی است. فتوحی و همکاران (۱۳۹۹) روش شبکه توزیع دوگانه آب در بافت جدید شهر یزد را مورد بررسی فنی-اقتصادی قرار دادند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای شبکه دوگانه در محدوده مطالعاتی برابر با ۲۰۳۶۶/۶۶ میلیون ریال به‌دست آمد. میزان هزینه جاری سالیانه ۱۳۰۸/۷۲ میلیون ریال محاسبه شد که این مقدار برابر ۶/۴ درصد سرمایه‌گذاری اولیه است. هزینه توزیع هر مترمکعب آب شرب در بافت جدید به‌ترتیب ۸۷۶۳۰ ریال بود. نتایج

تحلیل اقتصادی با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) نشان‌داد که اجرای روش مذکور در منطقه مطالعاتی دارای شاخص NPV مثبت است که نشان‌دهنده موفق‌بودن پروژه از نظر اقتصادی بود.

محمدزاده و همکاران (۱۴۰۱) اثر جداسازی آب شرب و بهداشتی را بر کیفیت آب آشامیدنی و تهیه نقشه کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز بجستان بررسی نمودند. نتایج حاصل از مقایسه نمونه‌ها در دو بخش چاه‌ها و شبکه توزیع آب شرب نشان‌داد که طرح کنونی، مطلوبیت کافی از نظر تأمین آب آشامیدنی با کیفیت را دارا است. هم‌چنین با استناد به نقشه کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت، محدوده پلایا دارای کم‌ترین کیفیت منابع آبی و چاه‌های واقع در محدوده دشتی دارای کیفیت مطلوب‌تری هستند. محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) میزان سرانه شرب حوزه شهری بجستان را در راستای اجرای پروژه جداسازی آب شرب و بهداشتی مورد بررسی قراردادند. مقدار سرانه به‌دست آمده در حدود ۳ لیتر برآورد شده بود، اما مقدار آن در بافت‌های مختلف دارای پراکنش متفاوت بوده و در فاصله ۲/۵-۴/۵ لیتر بود که بیش‌ترین مقدار آن در بافت ویلایی جدید و کم‌ترین حد آن در بافت آپارتمانی بود. جدول ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری شده از هر یک از شبکه‌های دوگانه موجود در جهان را نشان می‌دهد (فتوحی، ۱۳۹۶). جدول ۲ نیز خلاصه‌ای از اطلاعات جمع‌آوری شده از طرح‌های شبکه‌های دوگانه برای شهرهای مختلف ایران را نشان می‌دهد (فتوحی، ۱۳۹۶).

تفکیک آب شرب یکی از راه‌کارهای مواجهه با بحران کم‌آبی و صرفه‌جویی اقتصادی در بخش آب محسوب می‌شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر شهر یزد که امکان دسترسی آسان و ارزان بـه آب وجود ندارد، از نظر اقتصادی به صلاح است تا موضوع جداسازی آب در دستور کار قرارگیرد. تاریخ مدیریت منابع آب در فلات مرکزی کشور و به‌خصوص در شهر یزد، نشان می‌دهد که ساکنان این منطقه با به‌کارگیری روش‌های خلاق و مدبرانه همواره هوشمندانه‌ترین بهره‌برداری را از آب‌های زیرزمینی به‌عمل آورده‌اند. احداث هزاران رشته قنات و صدها آب‌انبار، پایاب، آسیاب و یخچال که بخشی از آن‌ها هنـوز هم پابرجا باقی مانده‌اند، دلیلی روشن بر این مدعا است. مردمان این سرزمین نه‌تنها به جنبه‌های کالبدی این سیستم‌های استحصال، انتقال و ذخیره آب توجه داشته‌اند، بلکه در جنبه‌های مدیریتی آن‌ها نیز ظریف‌ترین نکات را مدنظر قرارداده و حتی برای مدیریت زمان و تقسیم و توزیع آب بـین حقابه‌بران نیز به ابزاری برای اندازه‌گیری زمان که امروزه به ساعت آبی شهرت دارد، را خلق کرده‌اند.

پژوهش حاضر نیز با الهام گرفتن و الگوبرداری از شیوه‌های مدیریت و توزیع آب در گذشته و تلفیق آن با روش‌ها و ابزارهای جدید مدیریت و توزیع آب به بررسی و انتخاب بهترین روش جداسازی و توزیع آب پرداخته است. از ابتکار در این پژوهش، می‌توان به روش‌های جداسازی و توزیع آب شرب با استفاده از تکنولوژی و دانش روز اشاره کرد که در آن جنبه‌های رفاه، اقتصاد طرح، دانش مدیریت، شرایط و مقتضیات محلی و استفاده از روش‌های تحلیلی و محاسباتی برای پایداری، تاب‌آوری و ارتقاء سامانه تأمین و توزیع آب درنظر گرفته‌شده است؛ در کشور و به‌خصوص در مناطق کم آب یا دارای بحران آب، می‌تواند روش‌های مناسب در این پژوهش، جایگزین روش‌های فعلی توزیع آب باشد.

هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی و مقایسه فنی- اقتصادی روش‌های جداسازی آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی (شبکه دوگانه توزیع آب، جایگاه‌های دولتی و خصوصی فروش آب) با استفاده از نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی شبکه (EPANET) و شاخص اقتصادی NPV در منطقه گازرگاه شهرستان یزد است.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، هزینه‌های اجرایی هر یک از روش‌های تفکیک آب شرب و توزیع آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. واضح است که معیار اقتصادی یا به‌عبارتی هزینه اجرای هر یک از روش‌های تفکیک و توزیع آب شرب، از اهمیت بالایی برخوردار است و موجب خواهد شد تا تصمیم‌گیرندگان با دید وسیع‌تری نسبت به انتخاب روش مناسب برای اجرایی نمودن طرح، اقدام نمایند. لازمه این امر، طراحی و محاسبات فنی برای اجزای طرح شامل مخازن، خطوط آبرسان، شبکه توزیع، تأسیسات تأمین فشار و جایگاه‌های برداشت در هر یک از روش‌ها برای شهر یزد است. از آن‌جایی‌که مطالعه موردی این پژوهش بر روی شهر یزد انجام‌شده است، منطقه‌ای در بافت قدیم شهر یزد به مساحت تقریبی حدود ۷۰/۸ هکتار به‌عنوان پایلوت انتخاب شده و طراحی اجزای طرح برای هر یک از روش‌های تفکیک و توزیع آب شرب صورت خواهد گرفت. سپس برآورد اقتصادی هر یک از سامانه‌های طراحی شده محاسبه می‌شود و نتایج آن با یکدیگر مقایسه شده تا مناسب‌ترین روش از نظر اقتصادی انتخاب شود.

جدول ۱- خلاصه اطلاعات جمع‌آوری شده از شبکه‌های دوگانه آبرسانی گزارش شده در دنیا

کشور	شهر (ایالت)	موارد استفاده	نوع آب غیرشرب
ایالات متحده امریکا	شارلوت- کارولینای شمالی	-	آب دریا
	جزایر ویرجین	-	آب دریا
	سنت پطرزبورگ (فلوریدا)	آتش‌نشانی، آبیاری فضای سبز، شست و شوی خودرو، خنک‌سازی در نیروگاه‌ها، ساختمان‌های تجاری، ساخت‌وساز	پساب تصفیه‌شده
	گرندکنیون (آریزونا)	آبیاری، فلاش تانک، شست‌وشوی خودرو و ساخت‌وساز	پساب تصفیه‌شده فاضلاب
	کلرادو	آبیاری مدارس، زمین‌های گلف و قبرستان‌ها	پساب تصفیه‌شده فاضلاب
	کالیفرنیا (Irvine)	فلاش تانک	پساب تصفیه‌شده فاضلاب
Marshal Islands	Majuro	فلاش تانک دستشویی و آتش‌نشانی	آب‌های شور زیرزمینی
Kiribati	Tarawa	فلاش تانک دستشویی و آتش‌نشانی	آب‌های شور زیرزمینی
انگلستان	Hockerton	مصارف غیرخانگی شرب	آب باران
کاستریس	لوسیا سنت	آتش‌نشانی	آب باران
هلند	-	فلاش تانک دستشویی، شست و شو، شست و شوی خودرو و آبیاری باغچه	-
استرالیا	سیدنی (پروژه رزهیل)	فلاش تانک دستشویی، شست‌وشوی خودرو و آبیاری باغچه	پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری
	سیدنی (پارک المپیک سیدنی)	آبیاری زمین‌های پارک و زمین‌های بازی	پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری
	پیمپاماکومرا	آتش‌نشانی، فلاش تانک و آبیاری باغچه	پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری + آب باران
ژاپن	توکیو	فلاش تانک سرویس بهداشتی	پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری
چین	هنگ کنگ	فلاش تانک سرویس بهداشتی	آب دریا
	شانگهای	کلیه مصارف غیرشرب خانگی	آب با تصفیه متداول
سنگاپور	-	فلاش تانک سرویس بهداشتی و مصارف صنایع	پساب تصفیه‌شده
کانادا	تورنتو	برج‌های خنک‌کننده و چیلرها	آب دریاچه
آفریقای جنوبی	کارنارون (Carnarvon)	آبیاری باغچه‌ها و خیابان‌ها	آب خاکستری
	Lynedoch Ecovillage	آبیاری باغچه‌ها و فلاش تانک سرویس بهداشتی	پساب تصفیه شده فاضلاب شهری
	Garies	فلاش تانک سرویس بهداشتی	آب‌های شور
	Rustenburg	صنایع و معادن	پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری
	Driefontein	معادن، فلاش تانک دستشویی و آبیاری فضای سبز	پساب تصفیه‌شده
کویت	-	مصارف غیرشرب شهری	آب شور
نامیبیا	Windhoek	آبیاری فضای سبز	پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری
فرانسه	پاریس	آتش‌نشانی، شست‌وشوی خیابان، آبیاری فضای سبز عمومی، شست‌وشوی مجاری فاضلاب‌رو	-

جدول ۲- خلاصه‌ای از اطلاعات جمع آوری شده از طرح‌های شبکه‌های دوگانه در ایران

نام شهر	دلایل تفکیک آب شرب و بهداشت	نوع شبکه دوگانه	توضیحات
کاشان	کمبود منابع آب شیرین با کیفیت بالا	شبکه دوگانه با محدودیت در توزیع آب آشامیدنی-شیر برداشت عمومی	در سال ۱۳۷۴ اولین شیر برداشت افتتاح شد، اما در ادامه پروژه متوقف شد.
قم	افزایش شوری منابع آب موجود	شبکه دوگانه با محدودیت در توزیع آب آشامیدنی-شیر برداشت عمومی	بهره‌برداری از سال ۱۳۷۸ آغاز و در حال‌حاضر در حال بهره-برداری است.
بجستان	کمبود منابع آب شیرین، افزایش شوری منابع آب زیرزمینی در حال برداشت	شبکه دوگانه با محدودیت در توزیع آب آشامیدنی-شیر برداشت عمومی	مطالعات آن از سال ۱۳۸۵ آغاز شده و در سال ۱۳۹۱ کار ساخت آن انجام شده است.
اهواز	افزایش مقدار EC آب و وجود آب با کیفیت مطلوب در منابع بالادست	جایگاه‌های برداشت آب	در سال ۱۳۷۹ مطالعه طرح تفکیک آب شرب با تأکید بر تعیین جایگاه‌های پخش آب در سطح شهر آغاز شد. از ۵۰ محل تعیین شده فقط در ۵ نقطه ساخت ایستگاه پخش آب انجام شد ولی در عمل هیچ‌کدام مورد بهره‌برداری قرار نگرفت.
طبس	کمبود آب مناسب شرب و بالا بودن مقدار EC و لب‌شور شدن آب	جایگاه عمومی برداشت آب	در سال ۱۳۸۲، ۲۷ جایگاه پخش آب شرب ایجاد شد. طرح تفکیک آب شرب به‌همین روش در سال ۱۳۸۵ توسعه و گسترش یافت.
ساوه	کیفیت نامناسب آب شرب و بالا بودن مقدار EC	جایگاه عمومی برداشت آب	در سال ۱۳۸۶ با تولید ۱۰۰ مترمکعب آب شیرین در روز با استفاده از دستگاه آب شیرین‌کن و احداث ۳۰ جایگاه پخش آب شرب، اجرای طرح تفکیک آب شرب آغاز شد.
مشهد	کاهش کیفیت منابع محلی و عدم پایداری آب انتقالی	-	این طرح تفکیک آب شرب به‌صورت پایلوت در حال انجام است. مرحله اول این طرح، در اطراف حرم اجرا شده ولی بهره‌برداری نشده است.
اردکان	بالا بودن مقدار EC و لب‌شور تا غیرقابل‌قبول بودن آب و شکایات مردمی	جایگاه عمومی برداشت آب	در سال ۱۳۹۲، ۳ جایگاه پخش آب شرب متصل به دستگاه آب شیرین کن احداث شد و نهایتاً در سال ۱۳۹۳، ۱۵ جایگاه برداشت آب احداث شد.
بهاباد	بالا بودن مقدار EC و لب‌شور تا غیرقابل‌قبول بودن آب شرب و شکایات مردمی	جایگاه عمومی برداشت آب	در سال ۱۳۸۵ با ایجاد یک جایگاه عمومی پخش آب طرح تفکیک آب شرب از آب بهداشتی آغاز شد و در سال ۱۳۸۷، جایگاه دوم تأسیس شد.
عقدا	نامطلوب بودن آب شبکه آبرسانی در فصول گرم و انعکاس آن توسط اهالی	جایگاه عمومی برداشت آب	در سال ۱۳۸۵، ۲ محل برداشت آب شیرین به‌صورت شیر منفرد در دو نقطه مختلف اجرا شد.
ندوشن و صدرآباد	بالا بودن مقدار EC و لب‌شور تا غیرقابل‌قبول بودن آب شرب و شکایات مردمی به‌خصوص در فصل تابستان	شیر برداشت عمومی آب	در سال ۱۳۸۷ خط انتقال طرح تفکیک آب شرب آغاز شد.
نیوک و علویه	بالا بودن مقدار EC و لب‌شور تا غیرقابل‌قبول بودن آب شرب و شکایات مردمی به‌خصوص در فصل تابستان	شیر برداشت عمومی آب	اجرای طرح تفکیک آب شرب ابتدا در سال ۱۳۸۴ برای روستای نیوک و سپس در سال ۱۳۸۷ برای روستای علویه، آغاز شد.
خرانق	بالا بودن مقدار EC و لب‌شور تا غیرقابل‌قبول بودن آب شرب و شکایات مردمی	شیر برداشت عمومی آب	در سال ۱۳۷۴ طرح تفکیک آب شرب آغاز شد. خط انتقال اولیه به‌دلیل عدم نقشه‌برداری مسیر و اجرای نامناسب فرسوده شد. در سال ۱۳۹۰ خط جدید اجرا و بهره‌برداری شد.

۲-۱- محدوده مطالعات

محله گازرگاه در بافت قدیم شهر یزد به‌عنوان محدوده مطالعات در نظر گرفته شده است؛ این منطقه در حدفاصل خیابان‌های مهدی، سلمان، امام خمینی و بلوار بسیج واقع‌شده است. وسعت این منطقه حدود ۷۰/۸ هکتار بوده و جمعیت ساکن در این منطقه در افق طرح (سال ۱۴۳۰) معادل با ۶۵۸۴ نفر پیش‌بینی‌شده است. تراکم ناخالص این منطقه ۹۳ نفر در هکتار در سال ۱۴۳۰ بوده و در حال‌حاضر تعداد ۱۸۷۲ فقره انشعاب آب در این منطقه واگذارشده است. در شکل ۱ موقعیت محدوده انتخابی بافت قدیم در شهر یزد نشان داده‌شده است.

شکل ۱- موقعیت منطقه انتخابی در بافت قدیم در شهر یزد

۲-۲- روش تحقیق

برای تفکیک آب شرب از آب بهداشتی برای جبران کم‌آبی و بهبود کیفیت آب شرب شهر یزد و تأمین آب شرب شهروندان به‌صورت مستقل از مصارف بهداشتی، روش‌های سه گانه زیر مورد توجه هستند:

الف) سامانه گسترده توزیع آب شرب: در این سامانه، شبکه دوم (شبکه آب شرب) تا درب منازل در نظر گرفته می‌شود و لوله‌کشی در داخل منازل به‌صورت دو شبکه آب شرب و بهداشت انجام می‌شود. بدیهی است در این روش باید شبکه توزیع و خطوط آبرسان در کلیه معابر شهری اجرا شوند.

ب) سامانه متمرکز دولتی توزیع آب شرب (جایگاه‌های دولتی فروش آب شرب): در این نوع سامانه، آب شرب توسط شبکه‌ای مستقل و با نصب شیر برداشت در جایگاه‌های فروش دولتی که برای این منظور در سطح شهر احداث می‌شوند، در دسترس مردم قرار می‌گیرد. تعداد این جایگاه ها محدود بوده و سطح پوشش هر جایگاه در مقیاس محله تعریف شده است.

ج) سامانه متمرکز توزیع آب شرب توسط بخش خصوصی (جایگاه‌های دستگاهی فروش آب شرب): این جایگاه‌ها به شکل گسترده‌ای در دسترس مردم بوده و دستگاه فروش آب شرب، در اماکن تجاری که متقاضی فروش آب هستند، قرار می‌گیرد. این دستگاه‌های فروش آب به شبکه توزیع آب شرب شهر که بدین منظور احداث شده است، متصل بوده و به‌واسطه ایجاد زیرساخت نصب دستگاه و سایر هزینه‌های سرمایه‌گذاری در بخش خصوصی، قیمت فروش بالاتری نسبت به جایگاه‌های دولتی آب دارند.

۲-۲-۱- اجزای طرح و اصول محاسبات اقتصادی

به‌منظور طراحی سامانه‌های مذکور، ضوابط و مبانی زیر مورد توجه قرار گرفته است:

- ✓ سامانه توزیع جداگانه آب شرب از اجزایی نظیر مخزن ذخیره، خطوط آبرسان، شبکه توزیع، تأسیسات تأمین فشار و انشعابات خانگی تشکیل‌شده است. در طراحی مخزن و شبکه توزیع جداگانه آب ضوابط و مبانی مندرج در نشریه ۳-۱۱۷ (معاون نظارت و راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲) موردتوجه قرارگرفته است. مخزن ذخیره آب شرب براساس نیاز آبی ۳ روز جمعیت شهر با توجه به سرانه مصرف آب در این روش (۲۵ لیتر بر شبانه‌روز برای هر نفر) محاسبه و طراحی‌شده است.
- ✓ سامانه توزیع آب شرب در جایگاه دولتی و خصوصی، متشکل از اجزایی نظیر مخزن ذخیره، خطوط آبرسان، شبکه توزیع و جایگاه برداشت آب است. در طراحی و محاسبات مربوط به مخزن، خطوط آبرسان، تأسیسات تأمین فشار و شبکه توزیع برای جایگاه‌های برداشت آب از ضوابط و مبانی استاندارد

نشریه ۳-۱۱۷ (معاون نظارت و راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲) موردتوجه قرارگرفته است. مخزن ذخیره آب شرب براساس نیاز آبی ۳ روز جمعیت شهر با توجه به سرانه روش‌های سامانه توزیع جایگاه دولتی و خصوصی آب شرب به‌ترتیب به میزان ۵ و ۲/۵ لیتر بر شبانه‌روز برای هر نفر، محاسبه و طراحی شده است. افق طرح در محاسبات فوق، سال ۱۴۳۰ بوده، لذا دوره بهره‌برداری ۳۰ ساله خواهد بود.

۲-۲-۲- برآورد هزینه‌های دوره طرح

در انجام برآورد هزینه‌های اجرایی طرح، هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای خرید، حمل لوله و متعلقات، خرید دستگاه هوشمند برداشت آب و سایر تجهیزات براساس استعلام از سازندگان و تولیدکنندگان و عملیات لوله‌گذاری، احداث مخزن، احداث جایگاه برداشت آب، احداث حوضچه شیرآلات و دیگر تأسیسات براساس فهرست بهای سال ۱۴۰۲ با اعمال ضرایب منطقه‌ای و بالاسری درنظر گرفته شده‌است. محاسبه ارزش فعلی هزینه‌های سالیانه با نرخ بهره ۱۵٪ (میانگین سپرده کوتاه‌مدت و بلندمدت اعلام شده توسط بانک مرکزی) صورت‌گرفته است.

هزینه‌های جاری شامل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سامانه ذخیره و توزیع آب، هزینه‌های جایگزین (اورهال)، هزینه‌های نیروی انسانی و هزینه مواد مصرفی خواهد بود.

هزینه‌های دوره طرح به دو قسمت تقسیم می‌شوند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه که همان هزینه سرمایه‌گذاری ثابت طرح است و هزینه‌های بهره‌برداری که در حقیقت هزینه‌های جاری طرح خواهد بود که پس از سرمایه‌گذاری اولیه و راه‌اندازی طرح باید انجام شود. در این بخش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری براساس مطالعات فنی و منطقه‌ای ارائه‌شده است.

الف) هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه: هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌هایی است که در زمان اجرای طرح تا شروع بهره‌برداری از طرح باید انجام شود. این هزینه‌ها به‌عنوان سرمایه‌گذاری ثابت طرح در طول دوره بهره‌برداری طرح مستهلک شده (به‌غیر از زمین) و به قیمت تمام‌شده طرح اضافه می‌شود. معمولاً اقتصادی بودن طرح بستگی به میزان برگشت این سرمایه در طول دوره بهره‌برداری طرح دارد. این هزینه‌ها عبارتند از:

- هزینه عملیات اجرایی (عملیات لوله‌گذاری و احداث تأسیسات و ابنیه)؛
- هزینه خرید لوله، اتصالات، شیرآلات و تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل، دستگاه هوشمند برداشت آب.

ب) هزینه‌های بهره‌برداری: پیش‌بینی دقیق هزینه‌های بهره‌برداری از طرح که در سال‌های آتی انجام می‌شود، تقریباً ممکن نیست. اما می‌توان با استفاده از آمار و اطلاعات موجود، هزینه‌های بهره‌برداری که شامل هزینه‌هایی است که مجریان در زمان بهره‌برداری باید انجام دهند، محاسبه شود. بر این اساس و با توجه به بررسی‌های فنی، هزینه‌های دوران بهره‌برداری، تعیین می‌شود. این هزینه‌ها عبارتند از:

- هزینه تعمیرات در دوره بهره‌برداری
- هزینه مواد شیمیایی (برای گندزدایی)
- هزینه استهلاک سرمایه
- هزینه حقوق پرسنل نگهداری و بهره‌بردار
- هزینه برق مصرفی

در برآورد کلی هزینه‌های اجرایی از منابع زیر استفاده‌شده است:

- فهارس بهای سازمان برنامه و بودجه و بخش‌نامه‌های مرتبط با آن.
- استعلام از تولیدکنندگان و کارخانه‌های سازنده لوله و شیرآلات و دیگر تجهیزات مورد نیاز.

هزینه عملیات اجرایی شامل هزینه‌های کارگذاری لوله، احداث حوضچه شیرآلات، احداث جایگاه برداشت، احداث مخازن و نصب شیرآلات است. برای برآورد طرح از فهارس بهای سال ۱۴۰۲ استفاده شده است. هم‌چنین در رابطه با تهیه لوله و شیرآلات و دیگر تجهیزات از کارخانه‌های سازنده استعلام قیمت صورت‌گرفته است و براساس آن، هزینه تهیه مصالح طرح محاسبه‌شده است.

۲-۲-۳- بررسی فنی و اقتصادی سناریوهای تفکیک آب شرب از آب بهداشتی

برآورد هزینه‌های اقتصادی سناریوهای تفکیک آب شرب و بهداشت (شبکه دوگانه توزیع آب، جایگاه‌های دولتی فروش آب و جایگاه‌های خصوصی فروش آب) طبق مراحل زیر انجام گرفت:

- منطقه‌ای در بافت قدیم شهر یزد (گازرگاه) به‌وسعت ۷۰/۸ هکتار انتخاب شد. برای منطقه موردنظر، مدل هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار EPANENT به سه روش تفکیک آب شرب و بهداشت ساخته شد (مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار EPANET ساخته شده و قابل‌کاربرد در نرم‌افزار Watergems نیز است).

جمعیت شهر یزد و منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش‌های آماری و طرح‌های توسعه (صنعتی، اجتماعی و اقتصادی) و برنامه‌های توسعه دولت و هم‌چنین آمار سرشماری سال‌های گذشته برای سال افق طرح (۱۴۳۰) محاسبه‌شد و

سپس تراکم منطقه مورد مطالعه در سال افق طرح با استفاده از روش‌های جمعیتی تخمین زده‌شد، در این مرحله مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار فوق‌الذکر ساخته‌شد و با توجه به سرانه درنظر گرفته‌شده برای هر روش، بارگذاری شد. پس از تحلیل مدل و محاسبه اقطار لوله‌های محاسبه شده برای شبکه توزیع در هر روش، محاسبات اقتصادی انجام شد.

- برای کل شهر یزد حجم مخزن ذخیره آب شرب و خطوط آبرسان و خطوط اصلی توزیع آب برای هر سه سناریوی موجود، محاسبه و هزینه متناسب با جمعیت منطقه مورد مطالعه (گازرگاه) به آن اختصاص یافت. سپس با توجه به اجزای طرح برای هر سه سناریوی موجود، برآورد طرح محاسبه شد. در مرحله آخر، محاسبات سرمایه‌گذاری اولیه صورت‌گرفت و هزینه‌های جاری محاسبه شده و سپس هزینه توزیع آب در هر روش به‌ازای یک مترمکعب توزیع آب صورت‌پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین میزان سرانه مصرف آب شرب برای سناریوهای مختلف جداسازی آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی (لیتر نفر در روز، متوسط مصرف روزانه)

میزان سرانه آب شرب کاملاً وابسته به نحوه توزیع آن بوده که با توجه به این موضوع، می‌تواند مقادیر کاملاً متفاوتی داشته باشد. قیمت آب با میزان مصرف رابطه معکوس دارد. می‌توان پیش‌بینی کرد که با افزایش قیمت آب با کیفیت، میزان مصرف (با توجه به وجود شبکه توزیع آب با کیفیت پایین‌تر) به‌طرز قابل‌توجهی کاهش‌یابد. در سناریوی اول که واگذاری انشعاب دوم به هر مشترک است، پیش‌بینی می‌شود مشترکین آب موردنیاز شرب و مصارف پخت و پز را از شبکه دوم تأمین نمایند. هم‌چنین به‌علت سهولت و دسترسی راحت‌تر به آب با کیفیت، می‌توان پیش‌بینی نمود مصارف شست‌وشوی ظروف نیز از طریق این شبکه تأمین شود (Varbanetsa et al., 2009; Yang, 2006). در مجموع پیش‌بینی می‌شود میزان مصرف آب در این سناریو نسبت به سناریوهای دوم و سوم بیش‌تر باشد. در سناریوی دوم یعنی ایجاد جایگاه دولتی برداشت و عرضه آب در سطح شهر، به‌علت پائین‌تر بودن هزینه‌ها در مقایسه با سناریوی اول پیش‌بینی می‌شود بیش‌تر مشترکین آب مورد نیاز شرب و مصارف پخت و پز را از این جایگاه‌ها تأمین نمایند. برای سناریوی اول (واگذاری انشعاب دوم به‌هر مشترک) میزان متوسط مصارف برابر با ۲۵ لیتر در شبانه‌روز (مصارف شرب به‌علاوه مصارف پخت و پز و بخشی از مصارف شست‌وشوی ظروف) برآورد می‌شود. برای سناریوی دوم (جایگاه‌های دولتی برداشت آب)، میزان متوسط مصرف سرانه ۵ لیتر در شبانه‌روز (مصارف شرب و نیمی از مصارف پخت و پز) برآوردشده و برای سناریوی سوم (جایگاه‌های خصوصی برداشت آب)، میزان متوسط مصرف سرانه برابر با ۲/۵ لیتر در شبانه‌روز (مصارف شرب) تعیین‌شده است. شایان ذکر است تعیین و محاسبه سرانه مصرف آب در هر سناریو بر اساس نشریه ۳-۱۱۷ (معاون نظارت و راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲) و مطالعات انجام شده در ایران و سایر کشورها و مطالعات میدانی صورت گرفته در سایر پژوهش‌ها صورت‌پذیرفته است.

۳-۲- برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه (هزینه اجرایی و تهیه تجهیزات مورد نیاز طرح)

الف) شبکه توزیع: برای هریک از گزینه‌های توزیع آب شرب در منطقه پایلوت در شهر یزد، طراحی و محاسبه هیدرولیکی صورت‌گرفته است. محاسبات هیدرولیکی و مدل‌کردن رفتار آب در سیستم آبرسانی با استفاده از نرم‌افزار EPANET انجام‌شده است. در این نرم‌افزار، محاسبات براساس اصول حاکم بر جریان سیالات (قوانین پیوستگی و انرژی) صورت می‌گیرد (Tang et al., 2007). نتایج حاصل از تحلیل هیدرولیکی، محاسبات اقطار لوله مورد نیاز و هزینه خرید و اجرا برای هر یک از روش‌ها به شرح جدول‌های ۳ الی ۵ است.

ب) مخازن ذخیره: این مخازن به‌گونه‌ای درنظر گرفته‌شده که آب مطلوب برای مصرف شرب را در خود ذخیره و پاسخگوی نیاز شرب شهروندان باشد. این مخزن در مجاورت مخازن شحنه (سایت مخازن اصلی شهر یزد) پیش‌بینی شده و از آب انتقالی کوهرنگ که کیفیت مطلوبی دارد تغذیه می‌شود. این مخازن قادر خواهند بود در سال افق طرح (۱۴۳۰)، نیاز آب شرب در شهر یزد را به‌مدت ۳ روز تأمین نمایند. در جدول ۶ هزینه احداث مخزن برای منطقه پایلوت درج‌شده است. هزینه اجرای مخزن با احتساب محوطه‌سازی و شیرخانه ورودی و خروجی و سایر تأسیسات جنبی محاسبه‌شده است.

ج) خطوط آبرسان: این خطوط جریان آب خروجی از مخزن آب شرب را به ابتدای شبکه توزیع خواهد رساند. در جدول ۷ نتایج محاسبات اقطار خطوط مربوطه و هزینه خرید و اجرای این خطوط برای منطقه پایلوت ارائه‌شده است.

جدول ۳- هزینه خرید و اجرای لوله و تجهیزات (شیرآلات و متعلقات) برای روش شبکه توزیع دوگانه در منطقه پایلوت

قطر (میلی‌متر)	طول (متر)	بهای واحد طول لوله (ریال)	هزینه خرید لوله (میلیون ریال)	هزینه خرید لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	بهای واحد لوله‌گذاری با لوله پلی‌اتیلن (ریال)	هزینه اجرای لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال)
۳۲	۵۶۴۱	۱۹۲۹۳۰	۱۰۸۸۳/۱۸	۱۳۰۵۹/۸۲	۵۲۷۵۰۰	۱۰۵۶۰۵/۰۲	۱۱۸۶۶۴/۸۴
۴۰	۴۴۴	۲۹۳۲۵۳/۶	۱۳۰۲/۰۵	۱۵۶۲/۴۶	۶۲۷۵۰۰	۹۸۸۷/۸۷	۱۱۴۵۰/۳۲
۵۰	۲۸۴۸	۴۴۹۵۲۶/۹	۱۲۸۰۲/۵۳	۱۵۳۶۳/۰۳	۷۲۷۵۰۰	۷۳۵۳۲/۴۴	۸۸۸۹۵/۴۷
۶۳	۵۸۰	۵۹۵۱۴۰	۳۴۵۱/۸۱	۴۱۴۲/۱۷	۷۴۷۰۰۰	۱۵۳۷۶/۴۰	۱۹۵۱۸/۵۷
۷۵	۸۸۹	۱۰۱۴۳۷۳/۶۲	۹۰۱۷/۷۸	۱۰۸۲۱/۳۴	۷۶۶۰۰۰	۲۴۱۶۷/۷۷	۳۴۹۸۹/۱۱
۱۱۰	۳۳	۱۷۹۰۳۲۵	۵۹۰/۸۱	۷۰۸/۹۷	۸۳۸۵۰۰	۹۸۲/۰۳	۱۶۹۰/۹۹
جمع کل				۴۵۶۵۷/۷۸		۲۲۹۵۵۱/۵۲	۲۷۵۲۰۹/۳۱

جدول ۴- هزینه خرید و اجرای لوله و تجهیزات (شیرآلات و متعلقات) برای روش جایگاه دولتی برداشت آب در منطقه پایلوت

قطر (میلی‌متر)	طول (متر)	بهای واحد طول لوله (ریال)	هزینه خرید لوله (میلیون ریال)	هزینه خرید لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	بهای واحد لوله‌گذاری با لوله پلی‌اتیلن (ریال)	هزینه اجرای لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال)
۳۲	۵۰۳۱	۱۹۲۹۳۰	۹۷۰۶/۳۱	۱۱۶۴۷/۵۷	۵۲۷۵۰۰	۹۴۱۸۵/۲۳	۱۰۵۸۳۲/۸۰
۴۰	۶۷۷	۲۹۳۲۵۳/۶	۱۹۸۵/۳۳	۲۳۸۲/۳۹	۶۲۷۵۰۰	۱۵۰۷۶/۷۷	۱۷۴۵۹/۱۷
۵۰	۳۴	۴۴۹۵۲۶/۹	۱۵۲/۸۴	۱۸۳/۴۱	۷۲۷۵۰۰	۸۷۷/۸۵	۱۰۶۱/۲۵
جمع				۱۴۲۱۳/۳۷		۱۱۰۱۳۹/۸۴	۱۲۴۳۵۳/۲۱

جدول ۵- هزینه خرید و اجرای لوله و تجهیزات (شیرآلات و متعلقات) برای روش جایگاه خصوصی برداشت آب در منطقه پایلوت

قطر (میلی‌متر)	طول (متر)	بهای واحد طول لوله (ریال)	هزینه خرید لوله (میلیون ریال)	هزینه خرید لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	بهای واحد لوله‌گذاری با لوله پلی‌اتیلن (ریال)	هزینه اجرای لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال)
۳۲	۵۷۰۸	۱۹۲۹۳۰	۱۱۰۱۲/۴۴	۱۳۲۱۴/۹۳	۵۲۷۵۰۰	۱۰۶۸۵۹/۳۳	۱۲۰۰۷۴/۲۶
۴۰	۳۴	۲۹۳۲۵۳/۶	۹۹/۷۱	۱۱۹/۶۵	۶۲۷۵۰۰	۷۵۷/۱۸	۸۷۶/۸۳
جمع				۱۳۳۳۴/۵۸		۱۰۷۶۱۶/۵۰	۱۲۰۹۵۱/۰۹

جدول ۶- هزینه احداث مخزن برای شهر یزد و منطقه پایلوت (میلیون ریال)

سناریوهای توزیع آب	حجم مخزن شهر یزد (مترمکعب)	بهای واحد اجرای مخزن در سال مبنای طرح	بهای کل احداث مخزن	هزینه احداث مخزن برای هر نفر	هزینه احداث مخزن برای منطقه پایلوت
شبکه توزیع دوگانه	۱۰۰۰۰۰	۶۰۰	۶e+۷	۵۶/۴۳	۳۷۱۵۸۳/۶۳
جایگاه دولتی برداشت آب	۲۵۰۰۰	۶۲۰	۱/۵۵e+۷	۱۴/۵۸	۹۵۹۹۲/۴۴
جایگاه خصوصی برداشت آب	۱۲۵۰۰	۶۵۰	۸/۱۳e+۶	۷/۶۴	۵۰۳۱۸/۶۲

جدول ۷- هزینه خرید و اجرای خطوط آبرسان منطقه پایلوت

روش‌های توزیع آب	قطر (میلی‌متر)	هزینه خرید برای جمعیت کل (ریال)	هزینه خرید خط لوله (میلیون ریال) برای منطقه پایلوت	هزینه اجرا برای جمعیت کل (ریال)	هزینه اجرای خط لوله (میلیون ریال) برای منطقه پایلوت	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال) برای منطقه پایلوت
شبکه توزیع جایگاه خصوصی برداشت آب	۲۵۰	۱۰۶۶۸۶/۶	۷۰۲۴/۷	۴۷۸۷۱/۹	۳۱۵۲/۱	۱۰۱۷۶/۸
شبکه توزیع جایگاه دولتی برداشت آب	۳۰۰	۱۶۹۱۶۰/۷	۱۱۱۳۸/۲	۵۹۸۲۲/۸	۳۹۳۹/۰	۱۵۰۷۷/۲
شبکه توزیع دوگانه	۵۰۰	۴۲۵۸۱۰/۹	۲۸۰۳۷/۱	۱۲۶۴۰۱/۳	۸۳۲۲/۸	۳۶۳۵۹/۹

برآورد هر سناریوی توزیع آب شرب در هر منطقه شامل خرید لوله، خرید شیرآلات و اتصالات، خرید دستگاه هوشمند برداشت آب، تجهیزات مورد نیاز انشعاب آب شرب، هزینه عملیات کارگذاری لوله‌ها، هزینه اجرای حوضچه‌ها و نصب شیرآلات و

اتصالات، هزینه احداث مخزن و تأسیسات جنبی و هزینه احداث جایگاه برداشت آب بوده است. در جدول ۸ هزینه سرمایه‌گذاری در منطقه پایلوت ارائه‌شده است.

جدول ۸- هزینه سرمایه‌گذاری برای سناریوهای مختلف جداسازی آب شرب به میلیون ریال

نام روش	لوله‌گذاری		مخزن ذخیره		خطوط آبرسان		انشعاب و کنتور		جایگاه برداشت آب		جمع کل هزینه		جمع کل هزینه خرید و اجرا
	خرید	اجرا	خرید	اجرا	خرید	اجرا	خرید	اجرا	خرید	اجرا	خرید	اجرا	
شبکه توزیع دوگانه	۴۵۶۶	۲۲۹۵۵	۵۶۶۴/۲	۳۷۷۶۱/۱	۲۸۰۳/۷	۸۳۲/۳	۱۵۴۹۱۷/۶	۰	۰	۰	۱۶۷۹۵۱/۵	۶۱۵۴۸/۴	۲۲۹۴۹۹/۹
جایگاه دولتی برداشت آب	۱۴۲۱	۱۱۰۱۴	۱۴۶۳/۲	۹۷۵۴/۹	۱۱۱۳/۸	۳۹۳/۹	۰	۰	۲۰۰۰	۸۰۰۰	۵۹۹۸/۱	۲۹۱۶۲/۸	۳۵۱۶۰/۹
جایگاه خصوصی برداشت آب	۱۳۳۳	۱۰۷۶۲	۷۶۷	۵۱۱۳/۵	۷۰۲/۵	۳۱۵/۲	۰	۰	۶۰۰۰	۲۴۰۰۰	۸۸۰۲/۵	۴۰۱۹۰/۷	۴۸۹۹۳/۲

هزینه‌های سرمایه‌گذاری (هزینه خرید و اجرای لوله) روش‌های تفکیک آب شرب و بهداشتی در محدوده مطالعاتی برای سناریوهای شبکه توزیع دوگانه آب، جایگاه‌های دولتی توزیع آب و شبکه توزیع جایگاه خصوصی برداشت آب به‌ترتیب برابر با ۲۲۹۴۹۹/۹، ۳۵۱۶۰/۹ و ۴۸۹۹۳/۲ میلیون ریال است.

۳-۳- هزینه‌های بهره‌برداری

هزینه‌های بهره‌برداری شامل هزینه تعمیرات، تجهیزات و تأسیسات پروژه‌های آبرسانی، هزینه حقوق پرسنل مورد نیاز برای نگهداری و بهره‌برداری از طرح و هزینه مواد مصرفی در طرح است. در جدول ۹ هزینه‌های سالیانه دوره بهره‌برداری و جمع کل هزینه‌های مذکور برای هر یک از روش‌های توزیع آب در منطقه پایلوت ارائه‌شده است. با توجه به هزینه‌های سالیانه دوره بهره‌برداری و استهلاک سرمایه، هزینه انتقال هر مترمکعب آب شرب محاسبه‌شده است. برای محاسبه هزینه استهلاک سرمایه، عمر مفید طرح برابر ۳۰ سال و تأمین اعتبارات مالی با نرخ ۱۵ درصد (براساس نرخ بهره بلندمدت اعلامی توسط بانک مرکزی) درنظر گرفته شده است. بدین ترتیب استهلاک سرمایه در سال به طریق زیر محاسبه می‌شود (اسکونژاد، ۱۳۹۵):

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times A \qquad (۱)$$

که a: استهلاک سرمایه در سال، n: عمر مفید طرح، A: سرمایه‌گذاری اولیه طرح و i: نرخ سود بانکی هستند.

جدول ۹- هزینه جاری برای سناریوهای مختلف به میلیون ریال

نام روش	هزینه سالیانه تعمیرات در دوره بهره‌برداری		استهلاک سرمایه در سال	هزینه مواد مصرفی	نیروی انسانی	هزینه جاری یکنواخت‌سازی شده	جمع کل	هزینه توزیع هر مترمکعب آب (ریال)
	تأسیسات	تجهیزات						
شبکه توزیع دوگانه	۲۰۲۳/۳۲	۸۱۰۲/۷۹	۳۴۹۵۲/۸۸	۲۰۰/۲۸	۸۳۹/۷۸	۵۱۰۱۸/۲۸	۸۵۹۷۱/۱۵	۱۴۳۰۸۸۱/۵۲
جایگاه دولتی برداشت آب	۹۳۵/۷۲	۳۹۷/۰۲	۵۳۵۵/۰۱	۴۰/۰۶	۹۰۶/۶۶	۱۰۴۱۴/۸۷	۱۵۷۶۹/۸۸	۱۳۱۲۳۴۹/۱۴
جایگاه خصوصی برداشت آب	۱۲۵۴/۵۷	۷۱۷/۴۱	۷۴۶۱/۶۷	۲۰/۰۳	۹۰۶/۶۶	۱۳۲۴۴/۰۶	۲۰۷۰۵/۷۳	۳۴۴۶۲۰۸/۴۴

همان‌طور که در جدول ۹ مشخص‌شده است، میزان هزینه جاری سالیانه برای سناریوهای شبکه توزیع دوگانه آب، جایگاه‌های دولتی توزیع آب و شبکه توزیع جایگاه خصوصی برداشت آب به‌ترتیب برابر ۸۵۹۷۱/۱۵، ۱۵۷۶۹/۸۸ و ۲۰۷۰۵/۷۳ میلیون ریال است. هزینه توزیع هر مترمکعب آب در منطقه پایلوت (گازرگاه) برای توزیع دوگانه آب، جایگاه‌های دولتی توزیع و خصوصی آب به‌ترتیب ۱۴۳۰۸۸۱/۵۲، ۱۳۱۲۳۴۹/۱۴ و ۳۴۴۶۲۰۸/۴۴ ریال است. همان‌طور که نتایج حاصل از برآورد اقتصادی سه سناریوی جداسازی آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی نشان می‌دهد، میزان هزینه‌های برآوردی تأییدکننده پرهزینه بودن سناریوی اول نسبت به سناریوهای دوم و سوم است. در ضمن در پروژه‌های مشابه تجربه‌شده است که هزینه سالیانه تعمیرات در دوره بهره‌برداری از تأسیسات برابر ۳ درصد هزینه اجرا و ایجاد تأسیسات و هزینه سالیانه تعمیرات در دوره بهره‌برداری از تجهیزات برای سناریوی اول برابر ۵ درصد و برای سناریوهای دوم و سوم ۱۰ درصد هزینه اجرا و ایجاد تجهیزات بود. تعداد جایگاه‌های دولتی در منطقه پایلوت، دو دستگاه در یک مکان درنظر گرفته شد. تعداد جایگاه‌های خصوصی در منطقه پایلوت نیز در ۳ مکان جانمایی شده و در هر مکان ۴ دستگاه مستقر شدند. مبنای تعداد مکان‌ها و دستگاه‌های

برداشت براساس شعاع پوشش هر جایگاه با ملحوظ نمودن فاکتورهای انتخاب مکان، هم‌چون سهولت برداشت، حداقل فاصله، ضوابط ارگونومی حمل ظروف آب، شرایط اقتصادی مصرف کننده و سایر موارد است.

ارزش خالص فعلی (NPV) تفاوت بین ارزش فعلی جریانات نقدی ورودی و ارزش فعلی جریان نقدی خروجی است. NPV برای بودجه‌بندی سرمایه مورد استفاده قرار می‌گیرد تا احتمال سرمایه‌گذاری محاسبه شده یا پروژه را تحلیل نماید. برای محاسبه ارزش فعلی درآمد ۳۰ ساله حاصل از فروش آب از رابطه (۲) استفاده شد (اسکونژاد، ۱۳۹۵).

$$P = F_1 \times \frac{1-\frac{(1+g)^n}{(1+i)^n}}{i-g} \qquad (۲)$$

که i: نرخ سود بانکی برابر ۱۵٪، g: نرخ رشد برابر ۱۰٪، n: عمر مفید برابر ۳۰ سال، F_1: درآمد حاصل از فروش آب در سال اول و P: ارزش فعلی درآمد ۳۰ ساله حاصل از فروش آب با نرخ رشد ۱۰ ٪ است.

جدول ۱۰ نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی سناریوهای تفکیک آب شرب از آب غیرشرب را با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی سناریوهای تفکیک آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی با استفاده از شاخص NPV

روش	قیمت تمام شده توزیع هر مترمکعب آب شرب (ریال)	ارزش آتی پروژه (A) (میلیون ریال)	ارزش فعلی پروژه (P) (میلیون ریال)	قیمت واحد فروش آب (ریال)	درآمد یک سال حاصل از فروش آب (میلیون ریال)	ارزش فعلی درآمد ۳۰ ساله حاصل از فروش آب (میلیون ریال)	شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) (میلیون ریال)
شبکه توزیع دوگانه	۱۴۳۰۸۸۱/۵۲	۸۵۹۷۱/۱۵	۵۶۴۸۳۰/۴۸	۶۳۹۰۰	۳۸۳۹۰/۴۸	۵۶۵۱۰۷/۸۸	۲۷۷/۴۰
جایگاه دولتی برداشت	۱۳۱۲۳۴۹/۱۴	۱۵۷۶۹/۸۸	۱۰۳۶۰۸/۱۳	۵۸۶۰۰	۷۰۴۱/۲۶	۱۰۳۶۴۷/۳۳	۳۹/۲۰
جایگاه خصوصی برداشت	۳۴۴۶۲۰۸/۴۴	۲۰۷۰۵/۷۳	۱۳۶۰۳۶/۶۷	۱۵۳۹۰۰	۹۲۴۶/۱۶	۱۳۶۱۰۳/۴۵	۶۶/۷۸

همان‌طور که در جدول ۱۰ مشخص‌شده است تمامی سناریوها دارای شاخص NPV مثبت هستند که این نشان‌دهنده موفق بودن پروژه‌ها از نظر اقتصادی است. در رابطه با مقایسه قیمت واحد فروش آب شرب به‌ازای هر مترمکعب برای سناریوی شبکه توزیع دوگانه آب (۶۳۹۰۰ ریال)، نسبت به‌روش جایگاه دولتی برداشت (۵۸۶۰۰ ریال) اختلاف اندکی وجود دارد. ولی در رابطه با میزان شاخص NPV، روش شبکه توزیع دوگانه آب NPV بالاتر و اقتصادی‌تری (۲۷۷/۴۰ میلیون ریال) نسبت به‌روش جایگاه دولتی برداشت آب (۳۹/۲۰ میلیون ریال) دارد. قیمت واحد فروش آب به‌ازای هر مترمکعب برای سناریوی جایگاه خصوصی ۱۵۳۹۰۰ ریال و شاخص NPV به میزان ۶۶/۷۸ میلیون ریال است. در رابطه با مقایسه قیمت واحد فروش آب، روش جایگاه خصوصی برداشت آب گران‌تر از سایر روش‌ها است. میزان شاخص NPV برای روش مذکور کم‌تر از سناریوی شبکه توزیع دوگانه آب است. در نتیجه سناریوی شبکه توزیع دوگانه آب نسبت به سناریوی جایگاه خصوصی برداشت آب اقتصادی‌تر و توجیه‌پذیر است. تأیید نتیجه حاصل، این است که پارامترهای دیگری از جمله سهولت دسترسی مردم به شبکه توزیع آب شرب، کهولت سن افراد، پذیرش و مقبولیت اجتماعی مردم و نتایج نامطلوب حاصل‌شده از اجرای روش جایگاه‌های دولتی برداشت آب در سایر نقاط کشور از جمله بجستان در انتخاب بهترین روش تفکیک آب شرب از آب غیرشرب تأثیر به‌سزایی داشته است و این موضوع انتخاب سناریوی شبکه دوگانه توزیع آب شرب را تقویت می‌نماید، همان‌گونه که در شهر بجستان نیز همین نتیجه حاصل شده است. بنابراین در منطقه پایلوت، سناریوی اول به‌عنوان بهترین روش پیشنهاد می‌شود.

رسول‌خانی و همکاران (۱۳۹۸) نیز سیستم‌های توزیع دوگانه آب را به‌عنوان یک راه‌حل زیرساختی برای افزایش پایداری و انعطاف‌پذیری سیستم‌های آب شهری برای بهبود عملکرد و کاهش مصرف انرژی پیشنهاد دادند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در ضمن برخی مطالعات نیز اهمیت مقبولیت اجتماعی و پذیرش عموم در به‌کارگیری سیستم‌های توزیع دوگانه آب و موفق بودن این پروژه‌ها را خاطرنشان کردند (Garcia-Cuerva et al., 2016; Kandiah et al., 2019). علاوه‌بر عوامل اجتماعی (مثل پذیرش جامعه)، عملکرد سیستم‌های دوگانه بر توسعه زیرساخت‌های جدید نیز متکی است. اجرای طرح جداسازی آب شرب از آب بهداشتی در هرجای دنیا برای مقابله با خشک‌سالی به‌ویژه در شرایط آینده ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند موردتوجه و بررسی قرارگیرد و هم‌چنین برای

صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تصفیه آب بسیار مؤثر باشد. در رابطه با مقایسه تحلیل نتایج اقتصادی پژوهش حاضر با نتایج سایر پژوهش‌ها می‌توان بیان کرد برآورد اقتصادی که در طرح پژوهشی بررسی اجرای مناسب‌ترین روش تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهرهای منتخب استان یزد (۱۳۹۶) انجام گرفت، نشان داد که روش جایگاه برداشت دولتی در شهر اردکان نسبت به شبکه توزیع دوگانه تا درب منزل اقتصادی‌تر است و با نتایج تحقیق حاضر مطابقت ندارد. نتایج تحقیق فتوحی و همکاران (۱۳۹۸) در مورد بررسی اقتصادی روش‌های توزیع دوگانه و جایگاه‌های دولتی برداشت آب در منطقه صفائیه نشان داد که هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای روش‌های توزیع دوگانه و جایگاه‌های دولتی برداشت آب به‌ترتیب برابر با ۲۰۳۶/۷ و ۲۹۱/۱ میلیون تومان است. میزان هزینه جاری سالیانه برای روش‌های توزیع دوگانه آب و جایگاه‌های دولتی برداشت آب به‌ترتیب ۱۳۰/۹ و ۴۶/۵ میلیون تومان است. هزینه توزیع هر مترمکعب آب در منطقه برای توزیع دوگانه آب و جایگاه‌های دولتی برداشت آب به‌ترتیب ۸۷۶۳ و ۹۱۹۱ تومان است. در نهایت روش شبکه توزیع دوگانه را نسبت به جایگاه‌های دولتی برداشت آب، هم از لحاظ پارامترهای اقتصادی و هم از نظر پارامترهای فرهنگی و اجتماعی برتر دانستند. از این لحاظ نتایج فتوحی و همکاران (۱۳۹۸) با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

برای بررسی فنی و اقتصادی سه سناریوی شبکه توزیع دوگانه، جایگاه دولتی و خصوصی برداشت آب، منطقه گازرگاه به‌عنوان پایلوت شهرستان یزد انتخاب شد. نتایج بررسی‌های اقتصادی نشان داد که هزینه‌های سرمایه‌گذاری (هزینه خرید و اجرای لوله) برای روش‌های توزیع دوگانه آب، جایگاه‌های دولتی و خصوصی برداشت آب به‌ترتیب برابر با ۲۲۹۴۹۹/۹۹، ۳۵۱۶۰/۹ و ۴۸۹۹۳/۲ میلیون ریال است. میزان هزینه جاری سالیانه برای روش‌های توزیع دوگانه آب، جایگاه‌های دولتی و خصوصی برداشت آب به‌ترتیب ۸۵۹۷۱/۱۵، ۱۵۷۶۹/۸۸ و ۲۰۷۰۵/۷۳ میلیون ریال است. هزینه توزیع هر مترمکعب آب در محدوده مطالعاتی برای توزیع دوگانه آب، جایگاه‌های دولتی و خصوصی برداشت آب به‌ترتیب ۱۴۳۰۸۸۱/۵۲، ۱۳۱۲۳۴۹/۱۴ و ۳۴۴۶۲۰۸/۴۴ ریال است. نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی روش‌های تفکیک آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) نشان داد که هر سه روش دارای شاخص NPV مثبت هستند که این نشان‌دهنده موفق بودن پروژه‌ها ازنظر اقتصادی است. اما در رابطه با مقایسه قیمت واحد فروش آب شرب به‌ازای هر مترمکعب برای روش شبکه توزیع دوگانه آب (۶۳۹۰۰ ریال)، نسبت به‌روش جایگاه دولتی برداشت (۵۸۶۰۰ ریال) اختلاف اندکی وجود دارد. ولی در رابطه با میزان شاخص NPV، روش شبکه توزیع دوگانه آب NPV بالاتر و اقتصادی‌تری (۲۷۷/۴۰ میلیون ریال) نسبت به‌روش جایگاه دولتی برداشت آب (۳۹/۲۰ میلیون ریال) دارد. قیمت واحد فروش آب به‌ازای هر مترمکعب برای روش جایگاه خصوصی ۱۵۳۹۰۰ ریال و شاخص NPV به میزان ۶۶/۷۸ میلیون ریال است.

در رابطه با مقایسه قیمت واحد فروش آب، روش جایگاه خصوصی برداشت آب گران‌تر از سایر روش‌ها است. میزان شاخص NPV برای روش مذکور کم‌تر از روش شبکه توزیع دوگانه آب است، در نتیجه روش شبکه توزیع دوگانه آب نسبت به روش جایگاه خصوصی برداشت آب نیز اقتصادی‌تر و توجیه‌پذیر است. با توجه به این‌که پارامترهای دیگری از جمله سهولت دسترسی مردم به شبکه توزیع آب شرب، کهولت سن افراد، پذیرش و مقبولیت اجتماعی مردم و نتایج نامطلوب حاصل‌شده از اجرای روش جایگاه‌های دولتی برداشت آب در سایر نقاط کشور از جمله بجستان نیز در انتخاب بهترین روش تفکیک آب شرب از آب غیرشرب دارای اهمیت فراوانی است، بهترین روش، شبکه توزیع دوگانه آب است. با اجرای این پروژه می‌توان با تعرفه پلکانی قیمت آب آشامیدنی و سهمیه‌بندی آب بهداشتی، فرهنگ مصرف و توزیع آب با کیفیت را به‌مراتب عادلانه‌تر و آسان‌تر از وضعیت کنونی مدیریت کرد.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Net Peresent Value

۶- مراجع

اسکونژاد، م.، (۱۳۹۵)، *اقتصاد مهندسی (ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی)*، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۵۵ ص.

پهلوانی، م.، جلیلی قاضی‌زاده، م.، و فاضلی، م.، (۱۳۹۱)، "بررسی مبانی هیدرولیکی و کیفی شبکه‌های دوگانه آبرسانی (مطالعه موردی شهر اسکو، استان آذربایجان شرقی)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب و فاضلاب)، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور. تهران.

سربندی فراهانی، م.، (۱۳۸۸)، "احداث شبکه مجزای آب شرب از آب بهداشتی در شهر قم"، *چهارمین کنفرانس بین المللی*

مدیریت پروژه، تهران، ایران.

شرکت مهندسین مشاور تمدن کاریزی، (۱۳۹۶)، "بررسی اجرای مناسب‌ترین روش تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهرهای منتخب استان یزد"، یزد، ایران.

عبدالمنافی، ن.، و مظاهری، م.، (۱۳۹۲)، "گزارش شبکه‌های دوگانه توزیع آب"، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، مطالعات زیربنایی (گروه آب)، تهران، ایران.

فتوحی فیروزآباد، ف.، اختصاصی، م.، و نگارش، ع.، (۱۳۹۹)، "بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی شبکه توزیع دوگانه آب در بافت قدیم و جدید شهر یزد"، *پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۱(۲۱)، ۹۸-۱۰۷، https://doi.org/10.52547/jwmr.11.21.98.

فتوحی فیروزآباد، ف.، (۱۳۹۶)، "مدیریت راهبردی ایجاد شبکه دوگانه آب آشامیدنی و غیرآشامیدنی در محدوده شهر یزد با استفاده از تحلیل SWOT"، رساله دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

فتوحی فیروزآباد، ف.، و اختصاصی، م.، (۱۳۹۵)، "ضرورت و روش‌های تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهرستان یزد"، *اولین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب، بهداشت، چالش‌ها و راه‌کارها*، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان.

فتوحی فیروزآباد، ف.، اختصاصی، م.، سفید، م.، و مروتی شریف‌آبادی، ع.، (۱۳۹۸)، "بررسی فنی و مقایسه اقتصادی روش‌های جداسازی آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی در شهرستان یزد (مطالعه موردی: منطقه صفائیه یزد)"، *مجله مهندسی منابع آب*، ۱۲(۴۳)، ۷۶-۸۶.

گلابچی، م.، (۱۳۸۸)، "بررسی سیستم‌های مختلف آبرسانی و توزیع آب شهری"، *سومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)*، ایران، تهران. ۱-۹.

محمدزاده، ف.، اختصاصی، م.، حسینی، ز.، نگارش، ع، و علایی، م.، (۱۴۰۲)، "تعیین میزان سرانه شرب در راستای اجرای پروژه جداسازی آب شرب و بهداشتی (مطالعه موردی: حوزه شهری بجستان)"، *نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۸(۱)، ۴۹-۵۹، https://doi.org/10.22112/JWWSE.2022.323869.1303.

محمدزاده، ف.، اختصاصی، م.، حسینی، ز.، نگارش، ع.، هاشمی، ح.، و علایی، م.، (۱۴۰۱)، "بررسی اثر جداسازی آب شرب و بهداشتی بر کیفیت آب آشامیدنی و تهیه نقشه کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بجستان)"، *پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۳ (۲۶)، ۲۱۵-۲۲۹، https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.215.

معاون نظارت و راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، "ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی"، نشریه ۳-۱۱۷ (بازنگری اول)، دفتر مهندسی و معیارهای فنی وزارت نیرو.

Apostolidis, N., Hertle, C., and Young, R., (2011), "Water recycling in Australia", *Water*, 3, 869-881, https://doi.org/10.3390/w3030869.

Garcia-Cuerva, L., Berglund, E.Z., and Binder, A.R., (2016), "Public perceptions of water shortages, conservation behaviors, and support for water reuse in the U.S.", *Resources Conservation and Recycling*, 113(3), 106-115, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.006.

Grigg, N.S., Rogers, P.D., and Edmiston, S., (2013), "Dual water systems: Characterization and performance for distribution of reclaimed water", Water Research Foundation, Denver, CO, USA.

Kandiah, V.K., Berglund, E.Z., and Binder, A.R., (2019), "An agent-based modeling approach to project adoption of water reuse and evaluate expansion plans within a sociotechnical water infrastructure system", *Sustainable Cities and Society*, 46, 101412, https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.040.

Kotwicki, V., and Al-Otaibi, M., (2011), "Drinking water saving potential of dual networks in Kuwait", *Management of Environmental Quality*,22(6),743-756, https://doi.org/10.1108/14777831111170849.

Lam, C.M., Leng, L., Chen, P., Lee, P., and Hsu, SH., (2017), "Eco-efficiency analysis of non-potable water systems in domestic buildings", *Applied Energy*, 202, 293-307, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.095.

Ilemobade, A.A., Adewumi, J.R., and JE, V.Z., (2008), "Assessment of the feasibility of using a dual water reticulation system in South Africa", Water Research Commission Report, 1701.

Mainali, B., Hao Ngo, H., Guo, W., Nga Pham, T., and Johnston, A., (2011), "Feasibility assessment of recycled water use for washing machines in Australia through SWOT analysis", *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 87-91, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.007.

Menge, J., (2010), "Treatment of wastewater for re-use in the Drinking Water System of Windhoek", *Water Institute of Southern Africa Conference*, Midrand, Southern Africa.

Nairizi, S., (1994), "Dual water distribution system: A final solution for freshwater shortages", In: Tsakiris, G., and M.A., Santos, (eds.), *Advances in Water Resources Technology and Management*, 102-120, Rotterdam, The Netherlands.

Nguyen, B., (2003), "Operation of dual drinking and non-potable water networks in Paris: Advantages and constraints", *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(3), 193-200, https://doi.org/10.2166/ws.2003.0026.

Oesterholt, F., Martijnse, G., Medema, G., and Van der Kooij, D., (2007), "Health risk assessment of non-potable domestic water supplies in the Netherlands", *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 56(3), 171-179, https://doi.org/10.2166/aqua.2007.043.

Rasoulkhani, K., Mostafavi, A. Cole, J., and Sharvelle, S., (2019), "Resilience-based infrastructure planning and asset management: Study of dual and singular water distribution infrastructure performance using a simulation approach", *Sustainable Cities and Society*, 48(5), 101577, https://doi:10.1016/j.scs.2019.101577.

Rogers, P.D., and Grigg, N.S., (2007), "Alternative approaches for water distribution: Dual and decentralized systems", *World Environmental and Water Resources Congress*, Florida, U.S.A.

Satterfield, Z., (2009), "Dual water systems", *Tech Brief*, The National Environmental Services Center, 9(3),1-4.

Shang, S., Uber, J.G., and Rossman, L.A., (2008), *EPANET multi-species extension user's manual*, Environmental Protection Agency, United States. EPA/600/S-07/021.

Storey, M.V., Deere, D., Davison, A., Tam, T., and Lovell, A.J., (2007), *Risk management and cross-connection detection of a dual reticulation system, Water reuse and recycling*, UNSW Publishing, Sydney, Australia, 459-466.

Tang, S.L., Yue, D.P.T., and Ku, D.C.C., (2007), *Engineering and costs of dual water supply systems*, IWA Publishing, London, U.K., https://doi.org/10.2166/9781780402062.

Varbanets, M., Zurbrugg, C., Swartz, C., and Pronk, W., (2009), "Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology", *Water Research*, 43(2), 245-265, https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.10.030.

Yang, CH., Shen., ZH., Chen., H., Zeng, G., and Zhong, Y., (2006), "Dual water distribution systems in China", *8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium*, Ohio, https://doi.org/10.1061/40941(247)137.

Yi, l., Jiao., W., Chen., X., and Chen, W., (2011), "An overview of reclaimed water reuse in China", *Journal of Environmental Sciences*, 23(10), 1585-1593. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60627-4.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.