دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی شبکه توزیع دوگانه آب در بافت قدیم و جدید شهر یزد

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، (نویسنده مسوول: f.fotouhi@ardakan.ac.ir)
و دانش‌آموخته دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، ایران
۲- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد
۳- دانشجوی دکترای عمران، مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۰۶
صفحه: ۹۸ تا ۱۰۷

چکیده

با توجه به کاهش کمی و کیفی منابع آب در استان یزد، چاره‌ای جز تغییر دیدگاه به سمت مدیریت مصرف وجود ندارد. جداسازی آب شرب از آب بهداشتی یکی از راه‌کارهای مدیریت کمی و کیفی مصرف می‌باشد. سناریو شبکه توزیع دوگانه آب با استفاده از نرم‌افزار EPAnet در مناطق بافت قدیم (گازرگاه) و بافت جدید (صفائیه) تحلیل هیدرولیکی شد و سپس مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفت. هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای شبکه دوگانه در محدوده بافت قدیم و جدید به‌ترتیب برابر با ۱۲۵۹۵/۱ و ۲۰۳٦٦/٦٦ میلیون ریال بدست آمد. میزان هزینه جاری سالیانه در بافت قدیم ۷۳٦/۸۰ میلیون ریال محاسبه شد که این مقدار برابر ۱۱/۹ درصد سرمایه‌گذاری اولیه می‌باشد، همچنین در بافت جدید ۷۲ /۱۳۰۸ میلیون ریال محاسبه گردید که این مقدار برابر ٦/٤ درصد سرمایه‌گذاری اولیه می‌باشد. هزینه توزیع هر مترمکعب آب شرب در بافت قدیم و جدید به‌ترتیب ۱۱۳۹۳۰ و ۸۷٦۳۰ ریال می‌باشد. نتایج تحلیل اقتصادی با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) نشان داد که اجرای روش مذکور در هر دو منطقه دارای شاخص NPV مثبت است که این نشان‌دهنده موفق‌بودن پروژه از نظر اقتصادی می‌باشد. در رابطه با مقایسه قیمت فروش آب شرب، روش مورد نظر در بافت جدید با قیمت تمام‌شده هر مترمکعب ٤٦۰۰۰ ریال نسبت به بافت قدیم با قیمت ٦۰۵۰۰ ریال، دارای NPV بالاتر و اقتصادی‌تر می‌باشد. میزان هزینه‌های برآوردشده روش مذکور در بافت جدید پرهزینه‌تر از بافت قدیم می‌باشد که علت را می‌توان در میزان و تراکم جمعیت جستجو نمود. به‌علت تقاضای بیشتر در بافت جدید اجرای این روش به‌صرفه‌تر می‌باشد. ولی پارامترهایی از جمله استقبال افراد مسن از شبکه دوم، سهولت دسترسی مردم به آب شرب، پذیرش اجتماعی شبکه دوگانه، توزیع کاملاً بهداشتی و مطمئن آب و انعطاف‌پذیری سیستم اجرای این روش را در بافت قدیم تائید می‌کند. با اجرای این پروژه می‌توان با تعرفه پلکانی قیمت آب شرب و مدیریت مصرف آب بهداشتی، فرهنگ صرفه‌جویی مصرف آب را به مراتب عادلانه‌تر از وضعیت کنونی مدیریت کرد.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع دوگانه آب شرب، شهر یزد، مدیریت مصرف

مقدمه

یکی از ابزارهای رویکرد فنی در مدیریت عرضه و تقاضا استفاده از شبکه‌های دوگانه آبرسانی می‌باشد (۲۶،۱۰). میزان آب مورد نیاز برای شرب و پخت و پز مقدار ناچیزی از مصرف کل مصرف‌کنندگان خانگی و شهری را شامل می‌شود که در این بخش نیاز به آب با کیفیت بالا و رعایت استانداردهای آب شرب می‌باشد. این در حالی است که سایر مصارف غیرشرب که بخش بیشتری از مصارف شهری را شامل می شوند، می‌توانند با کیفیت پایین‌تری برای مشترکین تأمین شوند (۳). 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 (۱۷). از آنجایی که در این شبکه‌ها آب شرب تنها برای مصارف آشامیدنی و پخت و پز مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا بهره‌برداری از این شبکه‌ها می‌تواند به کاهش برداشت آب از منابع با کیفیت که عمدتاً محدود نیز هستند، کمک نماید (۱۹).

از دلایل مهم بالابودن مصرف سرانه آب لوله‌کشی در ایران، استفاده از آب با کیفیت بالا (در حد شرب) برای سایر مصارف از جمله شستشوی لباس، ظرف، اتومبیل، استحمام و آبیاری باغچه‌ها می‌باشد این در حالی است که چنین آب با کیفیتی با تعرفه پایین و حتی کمتر از قیمت تمام‌شده آب در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می گیرد و مابه‌التفاوت هزینه‌های تولید و فروش به عهده دولت است (۱). در برخی از شهرهای جهان آب شرب از آبی که به سایر مصارف می رسد، جداست (۲۴،۱۵). در بسیاری از مناطق کشور به‌دلیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، ذخائر منابع آبی به‌شدت به خطر افتاده است (۲). انتقال آب از یک منطقه به منطقه دیگر نیز علاوه بر هزینه‌های انتقال و چالش‌های زیست‌محیطی، با مشکلات و محدودیت‌های زیادی از جمله مسائل اقتصادی، اجتماعی و حق آبه‌ها همراه است. بازیافت پساب و استفاده مجدد از آن خاصه به‌عنوان آب شرب نیز با محدودیت‌های بهداشتی، اقتصادی و تبعات اجتماعی همراه است (۱۴،۳۰). بنابراین استفاده از تمامی منابع آب سطحی و زیرزمینی موجود در یک منطقه از جمله منابع آب بی‌کیفیت باید مورد توجه و مدیریت خاص قرار گیرد (۲۹،۲۲).

لازم به‌ذکر است که تاکنون، شبکه دوم یا جداسازی شبکه‌های آب شرب و غیرشرب 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، اردکان و آبادان به‌صورت شیر برداشت و در مناطق بجستان و خور و بیابانک به‌شکل شبکه محدود شرب مستقل اجرا

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

گردیده است (۱۹). به هر حال وضعیت بحرانی کمبود آب ایجاب می‌کند تا در مناطق مختلف اقلیمی بسته به شرایط منطقه و نیاز آبی نسبت به مدیریت آب شهری غیرشرب اقدام گردد (۱۶).

گلابچی (۷) با بررسی سیستم‌های مختلف آبرسانی و توزیع آب شهری، با توجه به معیارهایی از جمله در دسترس‌بودن آب شرب، عدم تصفیه یا تهیه آب جهت مصارفی غیر از شرب، عدم نیاز به طراحی شبکه، 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 (۲۳) به بررسی مشکلاتی که شهر قم در تأمین آب شرب شهری با آن مواجه بود پرداخته و سپس به بیان سیر طراحی و اجرای شبکه دوم توزیع آب شهری در این شهر می‌پردازد. با بررسی‌های صورت گرفته تنها گزینه قابل اجرا جداسازی آب شرب از سایر مصارف شهری بود اما به‌دلیل هزینه بالای احداث شبکه توزیع دوگانه و رساندن آب شرب به داخل منازل مردم، تصمیم به احداث ایستگاه‌های توزیع آب شرب در سطح شهر به‌صورت شیر برداشت گرفته شد. پهلوانی و همکاران (۱۹) در تحقیقی به‌منظور انتخاب گزینه مناسب در شبکه‌های دوگانه آبرسانی از معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی، فنی و مهندسی و سازمانی و مدیریتی استفاده نمودند و در نهایت مشخص شد که احداث یک شبکه آب غیرشرب برای مصارف آبیاری فضای سبز شهری و صنایع به‌لحاظ اقتصادی و اجتماعی مناسب است و می‌تواند کمبود آب با کیفیت در این شهر را برطرف سازد. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی گزارشی تحت عنوان شبکه‌های دوگانه توزیع آب (۱) منتشر نمودند در این گزارش عنوان شده است که طرح تفکیک شبکه‌های شرب و غیرشرب در بلند مدت اقتصادی است. در این طرح نسبت سود به هزینه بزرگتر از یک بوده و توجیه اقتصادی این نوع شبکه‌ها را در بر دارد. در این گزارش اشاره شده است به اینکه برای انجام این طرح یک تحلیل مالی و اقتصادی دقیق برای مقایسه تبعات اقتصادی آن با گزینه‌های دیگر نیاز خواهد بود. مسائل اجتماعی ناشی از بهره‌برداری از دو نوع آب با کیفیت و قیمت مختلف بررسی شود و نتایج آن برای استفاده در طرح‌های مشابه مورد تحلیل قرار گیرد. مهندسین مشاور تمدن کاریزی (۲۱) در طرح پژوهشی بررسی اجرای مناسب‌ترین روش تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهر یزد با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به این نتیجه رسیدند که با توجه به تمامی معیارهای مورد ارزیابی (پایداری، زیست‌محیطی، امکان‌پذیری، اثرات اجتماعی، بهداشتی و اقتصادی)، جایگاه عمومی برداشت آب به‌عنوان بهینه‌ترین گزینه و اولویت اول تفکیک آب شرب شناسایی می‌گردد و آب بسته‌بندی در اولویت و جایگاه دوم قرار می‌گیرد، همچنین شبکه دوگانه توزیع آب در رتبه سوم و تصفیه خانگی در رتبه چهارم این ارزیابی قرار دارند. در گزارش کمیته تحقیقات آب آفریقای جنوبی، لموبد و همکاران (۱۲) امکان استفاده از سیستم‌های دوگانه توزیع آب را در آفریقای جنوبی ارزیابی کردند، خشکی منطقه فاکتور مهمی در اجرای سیستم‌های دوگانه توزیع آب در آفریقای جنوبی می‌باشد. همچنین در این گزارش نشان داده شد که بازچرخانی آب، مصرف آب شرب را کاهش می‌دهد، بررسی‌های بین‌المللی حاکی از این است که استفاده از آب بازیافتی برای مصارف غیرشرب (فلاش تانک و آبیاری باغ) ۶۰-۳۰ درصد آب شرب را ذخیره می‌کند. در ادامه این گزارش نتیجه‌گیری شده است که پایداری و طول عمر سیستم‌های دوگانه توزیع آب در بیشتر مناطق دنیا، موجب شده که این سیستم‌ها انتخاب بسیار مناسبی برای تأمین آب باشند. ماینالی و همکاران (۱۳) با توجه به استفاده بیش از ۲۰ درصد از کل آب مصرفی برای ماشین لباسشویی و همچنین خشکسالی‌های اخیر در برخی از شهرهای استرالیا، امکان استفاده از آب بازیافتی در ماشین لباسشویی را با استفاده از تحلیل SWOT ارزیابی کردند. گزارش خصوصیات و عملکرد سیستم‌های دوگانه توزیع آب در آمریکا را گریک و همکاران (۸) ارائه نمودند. سیستم‌های دوگانه توزیع آب یک تکنولوژی مناسب برای بهبود کیفیت آب و کاهش هزینه‌های زیرساخت توزیع آب آشامیدنی می‌باشد. دو فاکتور سالم‌بودن و با کیفیت‌بودن آب و همچنین سلامت عموم، فاکتورهای اساسی در مدیریت شبکه‌های دوگانه توزیع آب می‌باشند. 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. لم و همکاران (۱۱) در سال ۲۰۱۷ چهار سناریو مدیریت آب را برای کشور هنگ کنگ مورد ارزیابی اقتصادی قرار دادند. سناریوها عبارتند از سیستم توزیع آب شرب (تمام مصارف خانگی با استفاده از سیستم 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 به‌صورت غیرهوازی و در روش سوم به‌صورت هوازی می‌باشد. نتایج آنالیز اقتصادی نشان داد که هزینه‌های سرمایه‌گذاری S4>S3>S2>S1 و هزینه‌های جاری S4<S2<S3<S1 می‌باشد. هنگام لحاظ‌کردن هر دو نوع هزینه میزان کل هزینه‌های روش S2 و S4 از همه کمتر است و روش S1 پرهزینه‌تر است. به‌طور کلی طی دوره بهره‌برداری ۲۵ سال روش S4 را مناسب‌ترین روش دانسته‌اند. چون در این روش بیشترین صرفه‌جویی در مصرف آب شرب خواهد شد و در ضمن نسبت به روش سوم از نظر نوع تصفیه برتری‌های زیادی دارد. رسول خانی و همکاران (۲۰) سیستم‌های توزیع دوگانه آب را به‌عنوان یک راه‌حل زیرساختی برای افزایش

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

پایداری و انعطاف‌پذیری سیستم‌های آبرسانی شهری برای بهبود عملکرد و کاهش مصرف انرژی پیشنهاد دادند. برخی مطالعات اهمیت مقبولیت اجتماعی و پذیرش عموم در بکارگیری سیستم‌های توزیع دوگانه آب و موفق‌بودن این پروژه‌ها را خاطرنشان کردند (۶). علاوه بر عوامل اجتماعی (مثل پذیرش جامعه)، عملکرد سیستم‌های دوگانه بر توسعه زیرساخت‌های جدید نیز متکی است (۹).

هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی و مقایسه فنی- اقتصادی هزینه‌های پیاده‌سازی شبکه توزیع دوگانه آب در دو منطقه پایلوت در بافت قدیم و جدید شهر یزد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش هزینه‌های اجرایی شبکه توزیع دوگانه آب برای بافت‌های شهری قدیم و جدید مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پر واضح است که معیار اقتصادی یا بعبارتی هزینه اجرای این روش، از اهمیت بالایی برخوردار است و موجب خواهد شد تا تصمیم گیرندگان با دید وسیع‌تری نسبت به اجرای این طرح اقدام نمایند. لازمه اینکار، طراحی و محاسبات فنی برای اجزاء طرح (مخازن، شبکه توزیع و تأسیسات ایجاد فشار) می‌باشد. از جایی که مطالعه موردی این پژوهش بر روی شهر یزد انجام شده است، مناطقی در بافت جدید و قدیم به‌عنوان پایلوت انتخاب شده و طراحی اجزاء طرح و برآورد هزینه‌های اجرایی برای هر دو منطقه صورت گرفت.

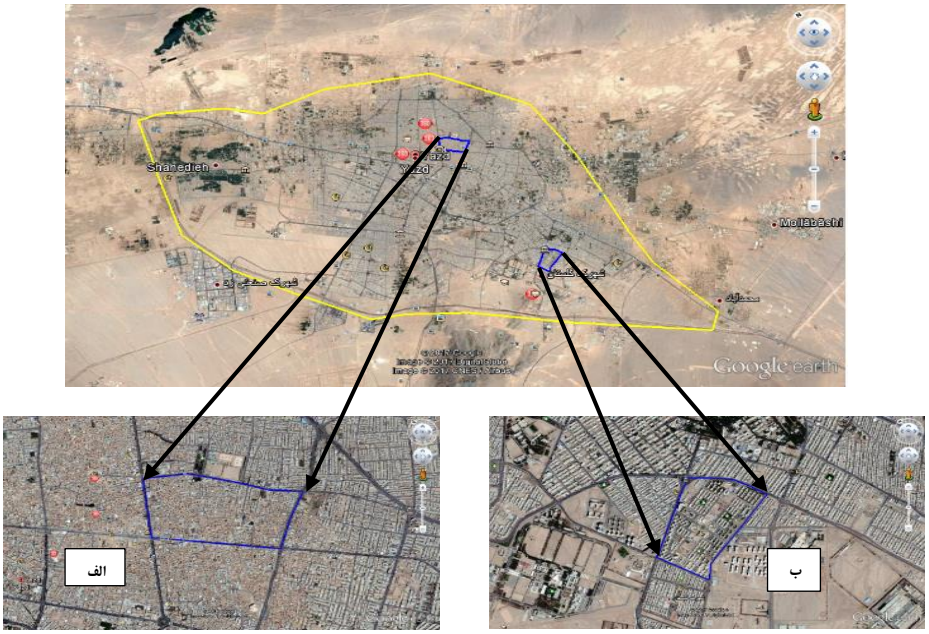
محدوده مطالعات: محدوده طرح همان محدوده طرح جامع شهر یزد می‌باشد. یزد یکی از شهرهای تاریخی ایران بوده که آثار شهرسازی آن به ۱۰۰۰ سال پیش باز می‌گردد. طبق بررسی‌های صورت‌گرفته از مطالعات شهرسازی در یزد، از وسعت ۱۳۰۰۰ هکتاری فعلی شهر یزد، ۲۳۰ هکتار آن را بافت‌های تاریخی تشکیل می‌دهند که قدمتی بالای ۵۰ سال دارند. در این پژوهش به‌جهت مقایسه اجرای طرح شبکه دوگانه آب، دو منطقه در بافت قدیم و جدید شهری انتخاب و به‌عنوان پایلوت مورد بررسی قرار گرفت. نظر به اینکه طرح‌های آبرسانی باید جوابگوی نیازهای سال‌های آتی باشند لذا در این پژوهش طراحی شبکه دوگانه و تأسیسات مربوط برای سال ۱۴۱۵ صورت پذیرفته است. طبق تعریف سال ۱۴۱۵، سال افق طرح نامیده می‌شود.

مناطق انتخابی به عنوان پایلوت عبارتند از:

الف- بافت قدیم: در بافت قدیم محله گازرگاه انتخاب شده است، این منطقه در حدفاصل خیابان‌های مهدی، سلمان، بلوار بسیج و خیابان امام خمینی واقع می باشد. وسعت این منطقه ۷۰ هکتار بوده و جمعیت ۵۲۵۰ نفر در افق طرح (سال ۱۴۱۵) در این منطقه ساکن خواهند بود. تراکم ناخالص این منطقه ۷۵ نفر در هکتار در سال ۱۴۱۵ پیش‌بینی شده و در حال حاضر تعداد ۱۸۷۲ فقره انشعاب آب در این منطقه واگذار شده است.

ب- بافت جدید: محله جواد الائمه صفائیه انتخاب شده است، این منطقه در حد فاصل بلوار قندی، بلوار شهیدان اشرف، خیابان بوستان و بلوار صیاد شیرازی واقع می باشد. وسعت این منطقه ۶۵ هکتار بوده و جمعیت ۱۱۶۲۴ نفر در افق طرح (سال ۱۴۱۵) در این منطقه ساکن خواهند بود. تراکم ناخالص این منطقه ۱۸۰ نفر در هکتار در سال ۱۴۱۵ بوده و در حال حاضر تعداد ۵۰۵ فقره انشعاب آب در این منطقه واگذار شده است.

پرواضح است که به‌خاطر توسعه عمودی شهری در بافت جدید، تراکم جمعیتی نسبت به بافت قدیم بالاتر است. در شکل (۱) موقعیت محدوده انتخابی بافت قدیم و جدید در شهر یزد نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده انتخابی در بافت قدیم (الف) و جدید (ب) شهر یزد
Figure1. Location of study area in old and new texture in Yazd city

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

روش تحقیق

بررسی فنی و اقتصادی شبکه توزیع دوگانه آب

در این پژوهش از نرم‌افزار EPAnet جهت تحلیل هیدرولیکی شبکه آب، استفاده می‌شود. برنامه‌ای است کامپیوتری که رفتار هیدرولیکی و کیفی آب شبکه‌های لوله تحت فشار را در پریودهای زمانی تنظیم‌شده، شبیه‌سازی می‌کند. این برنامه تحت نرم‌افزار ویندوز اجرا می‌شود و به کاربر اجازه می‌دهد تا داده‌های ورودی را ویرایش نماید، شبیه‌ساز را اجرا کند و نتایج آنرا به‌صورت گرافیکی و به روش‌های مختلف بر روی یک نقشه از شبکه نمایش بدهد (۲۵).

هر شبکه توزیع آب شامل لوله، گره (محل تقاطع لوله‌ها)، پمپ، شیر، تانک ذخیره یا مخزن می‌باشد. EPAnet جریان آب در هر لوله، فشار در هر گره، ارتفاع آب در هر تانک و غلظت یک ماده داخل شبکه توزیع در طی یک شبیه‌سازی با چندین پریود زمانی را ردیابی می‌کند.

بررسی فنی و اقتصادی شبکه دوگانه توزیع آب، بر اساس گام‌های زیر انجام گرفت:

۱- در گام نخست، بر روی نقشه پلان رقوم‌دار منطقه، آرایش شبکه توزیع آب شرب صورت گرفت.

۲- در این مرحله جمعیت منطقه با توجه به تراکم پیش‌بینی‌شده برای سال ۱۴۱۵ (سال افق طرح) محاسبه شد و بارگذاری شبکه بر اساس جمعیت و سرانه مصرف آب شرب (برابر با ۲۰ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز) محاسبه گردید.

۳- مدل هیدرولیکی شبکه مورد نظر در نرم‌افزار EPAnet تهیه و سپس تحلیل هیدرولیکی شبکه انجام شد. این تحلیل بر اساس الگوی زمانی مصرف جهت تعیین قطر بهینه صورت گرفت. در این مرحله قطر و فشار نامی لوله‌ها مشخص شد.

۴- یک باب مخزن ذخیره آب شرب برای کل شهر یزد طراحی و خطوط انتقال آب شرب تا منطقه مورد مطالعه محاسبه شد.

۵- متره و برآورد هزینه عملیات اجرایی طرح بر اساس فهارس بها شبکه توزیع آب، خطوط انتقال و ابنیه منتشره توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در سال ۱۳۹۶ و هزینه خرید تجهیزات و لوله مورد نیاز بر اساس استعلام از تولیدکنندگان داخلی صورت پذیرفت. توضیح اینکه هزینه عملیات اجرایی و خرید تجهیزات مربوط به خط انتقال و مخزن ذخیره، متناسب با جمعیت هر منطقه محاسبه شده است.

۶- در این گام محاسبات سرمایه‌گذاری اولیه بر مبنای اصول اقتصاد مهندسی صورت گرفته و هزینه‌های جاری محاسبه شده و از آنجا هزینه توزیع آب به ازای یک مترمکعب توزیع آب بدست آمده است.

نتایج و بحث

تعیین میزان سرانه مصرف آب شرب برای حالت‌های مختلف جداسازی آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی

میزان سرانه آب شرب (لیتر نفر در روز، متوسط سالیانه) کاملاً وابسته به نحوه توزیع آن می‌باشد. قیمت آب با میزان مصرف رابطه معکوس دارد. می‌توان پیش‌بینی کرد که با افزایش قیمت آب با کیفیت، میزان مصرف به‌طرز قابل توجهی کاهش یابد. در شرایطی که واگذاری انشعاب دوم (آب با کیفیت شرب) به هر مشترک وجود داشته باشد پیش‌بینی می‌شود مشترکین آب مورد نیاز شرب و مصارف پخت و پز را از شبکه دوم تأمین نمایند، همچنین به‌علت سهولت و دسترسی راحت تر به آب با کیفیت، می‌توان پیش‌بینی نمود مصارف شستشوی ظروف نیز از طریق این شبکه تأمین گردد (۲۸، ۲۹). مقدار سرانه مصرف آب شرب در شرایطی که شبکه دوم، تأمین‌کننده این آب باشد طبق نشریه ۳-۱۱۷ و مطالعات انجام‌شده در ایران و سایر کشورها در حد ۲۰ لیتر در شبانه روز (مصارف شرب به علاوه مصارف پخت و پز و بخشی از مصارف شستشوی ظروف) پیشنهاد می‌گردد.

برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه (هزینه اجرایی و تهیه خرید لوله و تجهیزات مورد نیاز طرح)

الف- شبکه توزیع: برای گزینه توزیع دوگانه آب شرب در دو منطقه پایلوت در شهر یزد طراحی و محاسبه هیدرولیکی صورت گرفت. برای آنالیز هیدرولیک و مدل‌کردن رفتار آب در سیستم آبرسانی از نرم‌افزار EPAnet استفاده شده است. در این نرم‌افزار، محاسبات بر اساس اصول حاکم بر جریان سیالات (قوانین پیوستگی و انرژی) صورت می‌گیرد (۲۷). نتایج حاصل از تحلیل هیدرولیکی و هزینه خرید و اجرای لوله و تجهیزات برای روش شبکه توزیع دوگانه در مناطق پایلوت به شرح جداول شماره (۱) و (۲) می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

جدول ۱- هزینه خرید و اجرای لوله و تجهیزات برای شبکه توزیع دوگانه آب شرب در منطقه صفائیه (بافت جدید) (میلیون ریال)
Table 1. The Cost of Purchase and operation of pipe and equipment for dual water distribution network in new texture- Safaieh (Million Rials)

سایز (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 پلی اتیلن (ریال)	هزینه اجرای لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال)
۳۲	۶۴۹۴	۱۴۷۸۱/۴۹	۹۵/۹۹	۱۱۵/۱۸	۱۰۵۰۰۰	۱۲۰۹/۹۷	۱۳۲۵/۱۶
۴۰	۷۲۴	۲۲۴۷۶/۸۹	۱۶/۲۷	۱۹/۵۲	۱۰۸۰۰۰	۱۳۸/۷۵	۱۵۸/۲۷
۵۰	۴۳۸	۳۴۵۱۴/۸۵	۱۵/۱۱	۱۸/۱۴	۱۱۱۰۰۰	۸۶/۲۷	۱۰۴/۴۱
۶۳	۱۹۶۲	۵۱۰۰۴/۳۷	۱۰۰/۰۷	۱۲۰/۰۸	۱۱۴۰۰۰	۳۹۶/۸۹	۵۱۶/۹۸
۷۵	۷۰۰	۷۲۱۵۵/۸۲	۵۰/۵۰	۶۰/۶۱	۱۱۶۵۰۰	۱۴۴/۷۱	۲۰۵/۳۲
۹۰	۴۳۹	۱۰۳۲۸۱/۸۶	۴۵/۳۴	۵۴/۴۰	۱۱۹۵۰۰	۹۳/۰۹	۱۴۷/۵
۱۱۰	۱۸	۱۵۳۵۰۷/۹۷	۲/۷۶	۳/۳۱	۱۲۸۰۰۰	۴/۰۸	۷/۴۰
		جمع		۳۹۱/۲۷	–	۲۰۷۳/۷۹	۲۴۶۵/۰۶

جدول ۲- هزینه خرید و اجرای لوله و تجهیزات برای شبکه توزیع دوگانه آب شرب در منطقه گازرگاه (بافت قدیم) (میلیون ریال)
Table 2. The Cost of Purchase and operation of pipe and equipment for dual water distribution network in old texture- Gazorgah (Million Rials)

سایز (میلی‌متر)	طول (متر)	بهای واحد طول لوله (ریال)	هزینه خرید لوله (میلیون ریال)	هزینه خرید لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	بهای واحد لوله گذاری با لوله پلی اتیلن (ریال)	هزینه اجرای لوله و تجهیزات (میلیون ریال)	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال)
۳۲	۵۶۴۱	۱۴۷۸۱/۴۹	۸۳/۳۸	۱۰۰/۰۵	۱۰۵۰۰۰	۱۰۵۱/۰۴	۱۱۵۱/۱۰
۴۰	۴۴۴	۲۲۴۷۶/۸۹	۹/۹۷	۱۱/۹۷	۱۰۸۰۰۰	۸۵/۰۹	۹۷/۰۶
۵۰	۲۸۴۸	۳۴۵۱۴/۸۵	۹۸/۲۹	۱۱۷/۹۵	۱۱۱۰۰۰	۵۶/۰۹	۶۷۸/۹۲
۶۳	۵۸۰	۵۱۰۰۴/۳۷	۲۹/۵۸	۳۵/۴۹	۱۱۴۰۰۰	۱۱۷/۳۲	۱۵۲/۸۲
۷۵	۸۸۹	۷۲۱۵۵/۸۲	۶۴/۱۴	۷۶/۹۷	۱۱۶۵۰۰	۱۸۳/۷۸	۲۶۰/۷۵
۱۱۰	۳۳	۱۵۳۵۰۷/۹۷	۵/۰۶	۶/۰۷	۱۲۸۰۰۰	۷/۴۹	۱۳/۵۷
		جمع کل		۳۴۸/۵۴	–	۲۰۰۵/۷۱	۲۳۵۴/۲۵

همان‌طور که در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است، مجموع هزینه‌های برآوردشده برای خرید و اجرای لوله و تجهیزات به‌ترتیب در بافت قدیم و جدید ۲۳۵۴/۲۵ و ۲۴۶۵/۰۶ میلیون ریال محاسبه شده است.

ب- مخازن ذخیره: این مخازن به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده که آب مطلوب جهت شرب را در خود ذخیره و پاسخگوی نیاز شرب شهروندان باشد. این مخزن در مجاورت مجموعه مخازن آب یزد در منطقه شحنه پیش‌بینی شده و از آب انتقالی که کیفیت مطلوبی دارد تغذیه می‌شود. حجم این مخزن طوری محاسبه شده که در سال افق طرح (۱۴۱۵)، گنجایش ذخیره‌سازی نیاز آبی شرب برای ۳ روز در آن وجود دارد. در جدول (۳) هزینه احداث مخزن برای مناطق مطالعاتی درج شده است. هزینه اجرای مخزن با احتساب محوطه‌سازی و شیرخانه ورودی و خروجی محاسبه شده است.

همان طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، هزینه احداث مخزن برای منطقه صفائیه و گازرگاه ۳۷۹۷/۸۶ و ۱۷۱۵/۳۱ میلیون ریال می‌باشد.

جدول ۳- هزینه احداث مخازن ذخیره آب برای مناطق مطالعاتی (میلیون ریال)
Table 3. Construction costs of water storage reservoirs for the regions (Million Rials)

سایز (میلیمتر)	هزینه خرید به جمعیت کل (ریال)	هزینه خرید خط لوله (میلیون ریال)	هزینه اجرا به جمعیت کل (ریال)	هزینه اجرای خط لوله (میلیون ریال)	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال)
۵۰۰	۴۰۴۹۳/۹	۴۷۰/۷	۷۹۱۳/۹	۹۱/۹	۵۶۲/۶۹

ج- خطوط آبرسان: این خطوط جریان آب خروجی از مخزن آب شرب را به ابتدای شبکه توزیع خواهد رساند. در جداول شماره (۴) و (۵) قطر محاسبه‌شده خطوط مربوطه و هزینه خرید و اجرای این خطوط برای دو منطقه بافت قدیم و جدید ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

جدول ۴- هزینه خرید و اجرای خطوط آبرسان منطقه بافت قدیم- گازرگاه (میلیون ریال)
Table 4. The Cost of purchase and implementation of water supply pipelines in old texture- Gazorgah (Million Rials)

سایز (میلی‌متر)	هزینه خرید به جمعیت کل (ریال)	هزینه خرید خط لوله (میلیون ریال)	هزینه اجرا به جمعیت کل (ریال)	هزینه اجرای خط لوله (میلیون ریال)	جمع هزینه خرید و اجرا (میلیون ریال)
۵۰۰	۴۰۴۹۳/۹	۲۱۲/۶	۷۹۱۳/۹	۴۱/۵	۲۵۴/۱۴

جدول ۵- هزینه خرید و اجرای خطوط آبرسان منطقه بافت جدید- صفائیه (میلیون ریال)
Table 5. The Cost of purchase and implementation of water supply pipelines in new texture- Safaieh (Million Rials)

حجم مخزن (مترمکعب)	بهای واحد اجرای مخزن (ریال)	بهای کل احداث مخزن (میلیون ریال)	هزینه احداث مخزن برای هر نفر (ریال)	هزینه احداث مخزن (میلیون ریال)	
				برای منطقه صفائیه	برای منطقه گازرگاه
۱۰۰,۰۰۰	۳۰۰۰,۰۰۰	۳۰۰,۰۰۰	۳۲۶۷۲۶/۲	۳۷۹۷/۸۶	۱۷۱۵/۳۱

همان‌طور که در جداول (۴) و (۵) نشان داده شده است مجموع هزینه برآوردشده برای خرید و اجرای خطوط آبرسان به‌ترتیب در بافت قدیم و جدید ۲۵۴/۱۴ و ۵۶۲/۶۹ میلیون ریال محاسبه شده است.

برآورد شبکه دوم توزیع آب شرب در هر منطقه شامل خرید لوله، خرید شیرآلات و اتصالات، تجهیزات مورد نیاز انشعاب آب شرب و هزینه عملیات کارگذاری لوله‌ها، هزینه اجرای حوضچه‌ها و نصب شیرآلات و اتصالات، هزینه احداث مخزن و تأسیسات جنبی بوده است. در جدول (۶) هزینه سرمایه‌گذاری در هر دو منطقه مطالعاتی ارائه شده است. هزینه‌های سرمایه‌گذاری (هزینه خرید و اجرای لوله) شبکه توزیع آب شرب در محدوده بافت قدیم و جدید به‌ترتیب برابر است با ۱۲۵۹۵/۱ و ۲۰۳۶۶/۶۶ میلیون ریال می‌باشد. علت این اختلاف ناشی از جمعیت هر منطقه، تعداد انشعاب آب در هر منطقه و عملیات اجرایی و خرید لوله و تجهیزات با توجه به طراحی انجام‌شده برای هر منطقه می‌باشد.

جدول ۶- هزینه‌های سرمایه‌گذاری در مناطق مطالعاتی برای شبکه توزیع آب شرب به میلیون ریال
Table 6. Investment costs for dual water network method in Million Rials

نوع محدوده	لوله‌گذاری		مخزن ذخیره		خطوط آبرسان		انشعاب و کنتور		جمع کل هزینه		جمع کل هزینه خرید و اجرا
	خرید	اجرا	خرید	اجرا	خرید	اجرا	خرید	اجرا	خرید	اجرا	
بافت قدیم	۳۴۹	۲۰۰۵	۳۴/۳	۱۷۱۵	۲۱۳	۴۲	۸۲۳۶/۸	۰	۸۸۳۳/۱	۳۷۶۲	۱۲۵۹۵/۱
بافت جدید	۳۹۲	۲۰۷۴	۷۵/۹۶	۳۷۹۸	۴۷۰/۷	۹۲	۱۳۴۶۴	۰	۱۴۴۰۲/۶۶	۵۹۶۴	۲۰۳۶۶/۷

هزینه‌های بهره‌برداری (هزینه‌های جاری سالیانه)

هزینه‌های بهره‌برداری شامل هزینه تعمیرات مربوط به تجهیزات و تأسیسات آبرسانی، هزینه حقوق پرسنل مورد نیاز جهت نگهداری و بهره‌برداری از طرح و هزینه مواد مصرفی در طرح می‌باشد. در جدول (۷) هزینه‌های سالیانه دوره بهره‌برداری و جمع کل هزینه‌های مذکور برای شبکه دوم آب شرب در مناطق مطالعاتی ارائه شده است. با توجه به هزینه‌های سالیانه دوره بهره‌برداری و استهلاک سرمایه، هزینه انتقال هر مترمکعب آب شرب محاسبه شده است. جهت محاسبه هزینه استهلاک سرمایه، عمر مفید طرح را ۲۰ سال و تأمین اعتبارات مالی با نرخ ۱۵ درصد (مطابق با متوسط نرخ تأمین اعتبارات بانک مرکزی) در نظر گرفته می‌شود. بدین‌ترتیب استهلاک سرمایه در سال از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۱۸):

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

پارامترهای a، n، A و i به‌ترتیب استهلاک سرمایه در سال، عمر مفید طرح، سرمایه‌گذاری اولیه طرح و نرخ سود بانکی می‌باشد. در ضمن در پروژه‌های مشابه تجربه شده 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 روش مورد نظر برابر ۵ درصد هزینه اجرا و ایجاد تجهیزات بوده است.

جدول ۷- هزینه‌های جاری شبکه توزیع دوگانه آب به میلیون ریال
Table 7. Current costs for for dual water network method in Million Rials

نام منطقه	هزینه سالیانه تعمیرات در دوره بهره‌برداری		هزینه مواد مصرفی	نیروی انسانی	هزینه‌های جاری سالیانه	استهلاک سرمایه در سال	هزینه جاری یکنواخت سازی شده	جمع کل	هزینه توزیع هر مترمکعب آب به ریال
	تأسیسات	تجهیزات							
بافت قدیم	۱۲۶/۳۵	۴۱۹/۱۸	۵۸/۱۶	۱۳۳/۱۱	۷۳۶/۸۰	۲۰۱۲/۲۱	۲۳۵۴/۲۱	۴۳۶۶/۴۲	۱۱۳۹۳۰
بافت جدید	۱۹۹/۶۲	۶۸۵/۶۳	۱۲۸/۷۶	۲۹۴/۷۱	۱۳۰۸/۷۲	۳۲۵۳/۸۱	۴۱۸۱/۶۹	۷۴۳۵/۵۰	۸۷۶۳۰

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

همان‌طور که در جدول فوق مشخص شده است، میزان هزینه جاری سالیانه در بافت قدیم و جدید برای شبکه دوم توزیع آب شرب به‌ترتیب ۷۳۶/۸۰ و ۱۳۰۸/۷۲ میلیون ریال می‌باشد. هزینه توزیع هر مترمکعب آب در بافت قدیم و جدید برای شبکه دوم توزیع آب شرب به‌ترتیب ۱۱۳۹۳۰ و ۸۷۶۳۰ ریال می‌باشد. نتایج حاصل از برآورد اقتصادی روش شبکه توزیع دوگانه آب در مناطق مطالعاتی نشان می‌دهد که میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و جاری برآوردشده در بافت جدید بیشتر از بافت قدیم می‌باشد که علت را می‌توان به‌میزان و تراکم جمعیت مرتبط دانست. میزان جمعیت منطقه در افق طرح (۱۴۱۵) در بافت قدیم ۵۲۵۰ نفر و در بافت جدید ۱۱۶۲۴ نفر پیش‌بینی شده است. در بافت قدیم خانه‌ها به‌صورت ویلایی و در بافت جدید به‌صورت آپارتمانی و ویلایی بوده است. در نتیجه اجرای این روش در بافت جدید به‌صرفه‌تر می‌باشد. چون میزان تقاضا در بافت جدید بیشتر است.

تحلیل اقتصادی پروژه شبکه توزیع دوگانه آب

ارزش خالص فعلی (NPV[1]) 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 محاسبه‌شده یا پروژه را تحلیل کند. برای محاسبه ارزش فعلی درآمد ۲۰ ساله حاصل از فروش آب از رابطه ۲ استفاده گردید (۱۸).

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

پارامترهای P، F1، n، g و i به‌ترتیب ارزش فعلی درآمد ۲۰ ساله حاصل از فروش آب با نرخ رشد ۱۰ ٪، درآمد حاصل از فروش آب در سال اول، عمر مفید (۲۰ سال)، نرخ رشد (۱۰ ٪)، نرخ سود بانکی (۱۵٪) می‌باشد.

جدول (۸) نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی شبکه دوم توزیع آب شرب در مناطق مطالعاتی با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) را نشان می‌دهد.

جدول ۸- نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی شبکه توزیع دوگانه آب در مناطق مطالعاتی با استفاده از شاخص NPV

Table 8. Results of economic analysis of Dual water network with using NPV Index in study areas

نوع محدوده	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 یکسال حاصل از فروش آب (میلیون ریال)	ارزش فعلی درآمد ۲۰ ساله حاصل از فروش آب (میلیون ریال)	شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) (میلیون ریال)
بافت قدیم	۱۱۳۹۳۰	۴۳۶۶/۴۲	۲۷۳۳۰/۷۳	۶۰۵۰۰	۲۳۱۸/۶۶	۲۷۳۶۰/۲۲	۲۹/۴۸
بافت جدید	۸۷۶۳۰	۷۴۳۵/۵۰	۴۶۵۴۱/۰۳	۴۷۰۰۰	۳۹۸۸/۱۹	۴۷۰۶۰/۶۹	۵۱۹/۶۷

همان‌طور که در جدول (۸) مشخص شده است روش شبکه دوگانه توزیع آب دارای شاخص NPV مثبت می‌باشد که این نشان‌دهنده موفق‌بودن پروژه از نظر اقتصادی می‌باشد. در رابطه با مقایسه قیمت فروش آب شرب، روش شبکه توزیع دوگانه آب در بافت جدید با قیمت هر مترمکعب ۴۷۰۰۰ ریال نسبت به منطقه بافت قدیم (با قیمت هر مترمکعب ۶۰۵۰۰ ریال) دارای NPV بالاتر و اقتصادی‌تر می‌باشد. ولی پارامترهایی از جمله استقبال افراد مسن از شبکه دوم، توزیع کاملاً بهداشتی و مطمئن آب، انعطاف‌پذیری سیستم، سهولت دسترسی مردم به آب شرب، پذیرش اجتماعی شبکه دوگانه، اجرای دوخطه‌کردن شبکه توزیع را در بافت قدیم تائید می‌کند. با اجرای این پروژه می‌توان با تعرفه پلکانی قیمت آب شرب و مدیریت مصرف آب بهداشتی، فرهنگ صرفه‌جویی مصرف آب را به‌مراتب عادلانه‌تر از وضعیت کنونی مدیریت کرد (۵).

رسول خانی و همکاران (۲۰) 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 بکارگیری سیستم‌های توزیع دوگانه آب و موفق‌بودن این پروژه‌ها را خاطرنشان کردند (۶، ۹). علاوه بر عوامل اجتماعی (مثل پذیرش جامعه)، عملکرد سیستم‌های دوگانه بر توسعه زیرساخت‌های جدید نیز متکی است. اجرای طرح جداسازی آب شرب از آب بهداشتی در هر جای دنیا جهت مقابله با خشکسالی به‌ویژه در شرایط آینده ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و همچنین برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تصفیه آب بسیار مؤثر باشد.

پهلوانی و همکاران (۱۹) در بررسی مبانی هیدرولیکی و کیفی شبکه‌های دوگانه آبرسانی شهر اسکو (با مساحت ۱۱۷۰/۹ کیلومترمربع و جمعیت ۳۲۹۵ نفر در سال ۱۳۹۱) ۴ گزینه را انتخاب کردند: A- شبکه دوگانه کامل (شبکه شرب فقط برای آشامیدن و پخت و پز) و (شبکه غیرشرب فقط برای مصارف غیرشرب شهری و خانگی)، B- شبکه دوگانه کامل (شبکه شرب برای آشامیدن، پخت و پز، استحمام، شستشوی ظروف و لباس‌ها و دستشویی به‌جز فلاش تانک سرویس بهداشتی) و (شبکه غیرشرب برای سایر مصارف غیرشرب خانگی و غیرخانگی باقیمانده)، C- شبکه دوگانه محدود شامل شبکه آب شرب برای تمامی مصارف شرب و غیرشرب خانگی و شبکه غیرشرب برای مصارف غیرشرب غیرخانگی، D- شبکه دوگانه محدود شامل شبکه شرب برای مصارف شرب و غیرشرب خانگی و شبکه غیرشرب با کیفیت مناسب برای آبیاری فضای سبز شهری و صنایع. نتایج حاصل از این پایان نامه نشان داد که استفاده از گزینه A اگرچه موجب صرفه‌جویی بیش از ۹۰ ٪ خواهد شد، اما با توجه به ملاحظات اقتصادی و اجتماعی گزینه مناسبی برای شهرستان اُسکو نخواهد بود، زیرا در آن کلیه مصارف غیرشرب خانگی و

1- Net Peresent Value

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

شهری با آب با کیفیت پایین تأمین خواهد شد. در این گزینه نیاز است تا تمامی مشترکین دارای دو انشعاب آب شرب و غیرشرب باشند، که موجب افزایش هزینه لوله‌گذاری و اجرا می‌شود. ضمن آنکه لازم است تا رضایت و مقبولیت استفاده از آب غیرشرب برای کلیه مصارف در نزد مشترکین تأمین شود، که با توجه به نبود پیشینه استفاده از آب غیرشرب، جیره‌بندی و کمبود آب در شهرستان اسکو مشکل به‌نظر می‌آید. بنابراین اجرای گزینه A برای شهرستان اسکو مناسب نمی‌باشد. نتایج برآورد اقتصادی سایر گزینه‌ها نشان داد که هزینه احداث شبکه دوگانه آبرسانی گزینه B (۴۶۹/۷ میلیارد ریال) بیشتر از گزینه C (۹/۹۹ میلیارد ریال) و هزینه احداث شبکه دوگانه آبرسانی گزینه C (۹/۹۹ میلیارد ریال) بیشتر از گزینه D (۹/۶۵ میلیارد ریال) می‌باشد. نهایتاً با توجه به نتایج ارزیابی اقتصادی و اجتماعی گزینه D به‌منظور اجرای شبکه دوگانه آبرسانی در شهرستان اسکو گزینه مناسبی می‌باشد.

نتایج برآورد اقتصادی طرح پژوهشی بررسی اجرای مناسب‌ترین روش تفکیک آب شرب از سایر مصارف در شهرهای منتخب استان یزد (۲۱) نشان می‌دهد که در صورت اجرایی‌شدن روش جایگاه برداشت دولتی در شهر اردکان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اجرایی بالغ بر ۸۳ میلیارد ریال و هزینه جاری سالیانه ۱/۶ میلیارد ریال (۱/۹ درصد سرمایه‌گذاری اولیه) می‌باشد. با توجه به ارزش فعلی هزینه‌های ذکرشده قیمت تمام‌شده آب برای پروژه مزبور برابر ۱۵۸.۵۰۰ ریال می‌باشد. در حالی که برای روش شبکه توزیع دوگانه تا درب منزل هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اجرایی بالغ بر ۸۰۵ میلیارد ریال دارای هزینه جاری سالیانه ۱۸ میلیارد ریال (۲/۲ درصد سرمایه‌گذاری اولیه) می‌باشد. با توجه به ارزش فعلی هزینه‌های ذکرشده قیمت تمام‌شده آب برای پروژه مزبور برابر ۲۶۵.۰۰۰ ریال می‌باشد. در ضمن جمعیت اردکان در سال افق طرح (۱۴۱۰) ۱۰۷۸۰۰ نفر پیش‌بینی شده است. مساحت اردکان ۲۵۵۰ هکتار است.

برای بررسی فنی و اقتصادی شبکه دوم توزیع آب شرب، دو منطقه در بافت قدیم (گازرگاه) و جدید (صفائیه) به‌عنوان پایلوت در شهرستان یزد انتخاب گردید. میزان جمعیت، تراکم جمعیت و اطلاعات مربوط به‌میزان متوسط سرانه مصرف آب شرب محاسبه گردید. برای شبکه دوم توزیع آب شرب مقدار سرانه مصرف طبق نشریه ۳-۱۱۷ و مطالعات انجام‌شده در ایران و سایر کشورها در حد ۲۰ لیتر در شبانه روز به‌ازای هر نفر (مصارف شرب به‌علاوه مصارف پخت و پز و بخشی از مصارف شستشوی ظروف) پیشنهاد شد. نتایج بررسی‌های اقتصادی پروژه نشان داد که هزینه‌های سرمایه‌گذاری (هزینه خرید و اجرای لوله) توزیع دوگانه آب در بافت قدیم و جدید به‌ترتیب برابر است با ۱۲۵۹۵/۱ و ۲۰۳۶۶/۶۶ میلیون ریال می‌باشد. میزان هزینه جاری سالیانه پروژه مورد نظر در بافت قدیم و جدید به‌ترتیب برابر با ۷۳۶/۸۰ و ۱۳۰۸/۷۲ میلیون ریال می‌باشد. هزینه توزیع هر مترمکعب آب به روش شبکه توزیع دوگانه آب شرب در بافت قدیم و جدید به‌ترتیب برابر با ۱۱۳۹۳۰ و ۸۷۶۳۰ ریال می‌باشد.

نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی شبکه توزیع دوگانه آب در بافت قدیم و جدید با استفاده از شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) نشان داد که روش مورد نظر در هر دو منطقه مطالعاتی دارای شاخصNPV مثبت می‌باشد که این نشان‌دهنده موفق‌بودن پروژه از نظر اقتصادی می‌باشد. روش شبکه توزیع دوگانه آب در بافت جدید با قیمت هر مترمکعب ۴۶۰۰۰ ریال دارای NPV بالاتر و اقتصادی‌تر نسبت به شبکه دوم یعنی لوله‌کشی تا درب منزل در بافت قدیم با قیمت هر مترمکعب ۶۰۵۰۰ ریال می‌باشد. نتایج حاصل از برآورد اقتصادی شبکه توزیع دوگانه آب در مناطق مطالعاتی نشان می‌دهد که میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و جاری برآوردشده در بافت جدید بیشتر از بافت قدیم می‌باشد که علت را می‌توان در مقدار و تراکم جمعیت مرتبط دانست. میزان جمعیت منطقه در افق طرح (۱۴۱۵) در بافت قدیم ۵۲۵۰ نفر و در بافت جدید ۱۱۶۲۴ نفر پیش‌بینی شده است. در بافت قدیم خانه‌ها به‌صورت ویلایی و در بافت جدید به‌صورت آپارتمانی و ویلایی بوده است. در نتیجه اجرای این روش در بافت جدید به‌صرفه‌تر می‌باشد. چون میزان تقاضا در بافت جدید بیشتر است. پارامترهایی از جمله استقبال افراد مسن از شبکه دوم، توزیع کاملاً بهداشتی و مطمئن آب، انعطاف‌پذیری سیستم، سهولت دسترسی مردم به آب شرب، پذیرش اجتماعی شبکه دوگانه، اجرای دوخطه‌کردن شبکه توزیع را در بافت قدیم تائید می‌کند. با اجرای این پروژه می‌توان با تعرفه پلکانی قیمت آب شرب و مدیریت مصرف آب بهداشتی، فرهنگ صرفه‌جویی مصرف آب را به‌مراتب عادلانه‌تر از وضعیت کنونی مدیریت کرد (۵). اجرای طرح جداسازی آب شرب از آب بهداشتی در هرجای دنیا جهت مقابله با خشکسالی بویژه در شرایط آینده ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و همچنین برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تصفیه آب بسیار مؤثر باشد.

منابع

1. Abdolmanafi, N. and M. Mazaheri. 2013. Report of dual water distribution networks. Center of Research of Islamic Council Parliament, 36 pp (In Persian).
2. Alizadeh, A. 2016. Principles of applied hydrology. 28nd Edn., Imam Reza University press, Iran, 942 pp.
3. Apostolidis, N., C. Hertle and R. Young. 2011. Water recycling in Australia. Journal of Water, 3: 869-881.
4. Fotouhi firoozabad, F. and M. Ekhtesasi. 2016. Necessity and methods of separation of drinking water from other uses in Yazd. First National Conference on Drinking Water Supply and Demand, Health, Challenges and Solutions. 31-45 pp., Esfahan, Iran, (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

5. Fotouhi firoozabad, F., M. Ekhtesasi, M. Sefid and A. Morovati Sharifabadi. 2018. Strategic management of dual water system (drinking and non- drinking) with SWOT analysis (case study: Yazd city). Ph.D. Thesis (Watershed Management Sciences and Engineering). Yazd University, Yazd, Iran, 222 pp (In Persian).
6. Garcia-Cuerva, L., E.Z. Berglund and A.R. Binder. 2016. Public perceptions of water shortages, conservation behaviors and support for water reuse in the U.S. Resources Conservation and Recycling, 113: 106-115.
7. Golabchi, M. 2009. Investigation the various systems of water supply and water distribution. Proceedings of 3th National Conference on Water and Wastewater. 1-9 pp., Tehran, Iran, (In Persian).
8. Grigg, N., P. Rogers and S. Edmiston. 2013. Dual water systems: characterization and performance for distribution of reclaimed water. Water Environment Research Foundation, 433 pp.
9. Kandiah, V.K., E.Z. Berglund and A.R. Binder. 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.
10. Kotwicki, V. and M. Al-Otaibi. 2011. Drinking water saving potential of dual networks in Kuwait, Management of environmental quality. An International Journal, 22(6): 753-756.
11. Lam, Ch., L. Ling, P. Chen, P. Lee and S.H. Hsu. 2017. Eco-efficiency analysis of non-potable water systems in domestic buildings. Applied Energy, 202: 293-307.
12. Llemobade, A.A., J.R. Adewumi and J.E. Zyl. 2009. Assessment of the feasibility of using a dual water reticulation system in South Africa. Report to the Water Research Commission, 159 pp.
13. Mainali, B., H. Hao Ngo, W. Guo, T. Nga Pham and A. Johnston. 2011. Feasibility assessment of recycled water use for washing machines in Australia through SWOT analysis. Resources Conservation and Recycling, 56: 87-91.
14. Menge, J. 2006. Treatment of wastewater for re-use in the drinking water system of Windhoek, Water Institute of Southern Africa Conference: Midrand, Southern Africa, 1-14.
15. 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 pp., Rotterdam, The Netherlands.
16. 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.
17. Oesterholt, F., G. Martijnse, G. Medemna and D. Van der Kooij. 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.
18. Oskunezhad, M. 2016. Engineering economy: Economic evaluation of industrial projects. Tehran: Amir Kabir University of Technology, Iran, 455 pp (In Persian).
19. Pahlavani, M., M. Jalili ghazizadeh and M. Fazeli. 2012. Investigating the hydraulic and qualitative principles of dual water supply networks (case study: Osku city-Azarbayejan Sharghi province). M.Sc. Thesis, Water and Power Industry University (Shahid Abbaspour), Tehran, Iran. 145pp, (In Persian).
20. Rasoulkhani, K., A. Mostafavi, J. Coleb and S. Sharvell. 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: 101577.
21. Report of Plan of Company Tamadon Karizi. 2017. Performance evaluation of dual water distribution methods in selected cities of Yazd province. Yazd. Iran, (In Persian).
22. Rogers, P.D. and N.S. Grigg. 2007. Alternative approaches for water distribution: Dual and decentralized systems. World environmental and water resources congress: Restoring Our Natural Habitat, 1-10.
23. Sarbandi farahani, M. 2009. Construction of a separate network of drinking water from sanitary water in Qom. Proceeding of 4th International Conference on Project Management. Tehran. Iran, (In Persian).
24. Satterfield, Z. 2009. Dual water systems, Tech Brief. The national environmental services center, 9(3): 1-4.
25. Shang, S., J.G. Uber and L.A. Rossman. 2008. EPAnet Multi-Species Extension User's Manual. Environmental Protection Agency. United States. EPA/600/S-07/021.
26. Storey, M.V., D. Deere, A. Davison, T. Tam and A.J. Lovell. 2007. Risk management and cross-connection detection of a dual reticulation system, Water Reuse and Recycling, 459-466.
27. Tang, S.L., P.T. Yue Derek and C.C. KU Damien. 2007. Engineering and cost of dual water supply systems, IWA Publishing, London, UK, 100 pp.
28. Varbanetsa, M., C. Zurbrugga, C. Swartzb and W. Pronk. 2009. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. Water Research, 43: 245-265.
29. Yang, C., Z. Shen, H. Chen, G. Zeng and Y. Zhong. 2006. Dual water distribution systems in China. Journal of water distribution systems analysis symposium, 20(11): 1-8, doi:10.1061/40941(247)137.
30. Yi, l., W. Jiao, X. Chen and W. Chen. 2011. An overview of reclaimed water reuse in China. Journal of Environmental Sciences, 23(10): 1585-1593.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]

An Investigation and Technical-Economic Comparison of Dual Water Distribution Network in the Old and New Textures of Yazd City

Farzaneh Fotouhi Firoozabad[1], Mohammad Reza Ekhtesasi[2] and Abdalrasoul Negaresh[3]

1- Assistant Professor of Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran, (Corresponding Author: f.fotouhi@ardakan.ac.ir), PHD Watershed management engineering, Natural Rescources and Desert studies faculty, yazd university, Iran.
2- Academic Staff Member (professor) of Natural Resources and Desert Studies faculty, Yazd University, Iran
3- PhD Student of civil- water engineering, Islamic azad university, south tehran branch, Iran
Received: 11 February, 2019 Accepted: 28 August, 2019

Abstract

Given the reduction of quality and quantity of water sources in Yazd province, the consumption management approach should be considered. Separation of drinking water from sanitary water is one of the important components of quantitative and qualitative management of consumption. In the present study, scenario of dual water distribution network were evaluated in Gazorgah (old texture) and Safaieh (new texture) regions of Yazd province using EPAnet software in both technical and economic perspective. Investment costs of dual water distribution network in new and old texture are respectively 12595.1 and 20366.66 million rials. Current costs in new and old texture are respectively 736.80 (11.9% primary investment) and 1308.72 (6.4% primary investment) million rials. The cost of distributing each cubic meter of drinking water for dual water distribution network in old and new texture are respectively 113930 and 87630 rials. The results of economic analysis of the methods using Net Present Value (NPV) showed that both methods have positive NPV index, which shows the success of projects from an economic point of view. In relation to the comparison of the sales price of drinking water, the dual water distribution network method in new texture with price of 46000 rials per cubic meter, relation to old texture with price of 60500 rials, has higher NPV and more economical. Estimated costs of dual water distribution network showed that in new texture was more costly than in old texture. The cause can be searched for in population density. As a result, dual water distribution network method is more economical in new texture. Because demand is higher in new texture. But since other parameters such as ease of access to drinking water distribution network, the age of the people, social acceptance is important, so in the old texture, dual water method is suggested. Therefore, by the implementation of this project, water conservation culture can be managed in a fair way through stable tariffs for drinking water and sanitary water rationing.

Keywords: Consumption Management, Dual Drinking Water Distribution Network, Yazd City

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.22.6]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.98]