اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۶۲-۲۴۵

تحلیل اقتصادی منابع تأمین آب و رتبه‌بندی آن با رویکرد کاهش مصرف آب

مهرداد پورحسین قادی[1*]، سجاد سعدی[2]

۱. دکترای تخصصی، کارشناس بخش سازه‌های هیدرولیکی شرکت مهندسین مشاور آبفن، تهران

۲. پژوهشگر، دانشکدهٔ عمران، آب و انرژی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران

(تاریخ دریافت ۱٤۰۲/۰۱/۰۱؛ تاریخ بازنگری ۱٤۰۲/۰۱/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱٤۰۲/۰۳/۱۱)

چکیده

آب زیرساخت توسعهٔ بخش‌های مختلف بوده و از مؤلفه‌های مهم در حفظ، تعادل و پایداری اکوسیستم و محیط زیست است و در ایران، محدودیت آب قابل دسترس، توزیع غیر یکنواخت و الگوی نامناسب استفاده، تأمین آب مورد نیاز را در بسیاری از مناطق کشور مشکل ساخته است. با توجه به اینکه هدف این تحقیق اولویت‌بندی استفاده از منابع تأمین آب است و از طرفی، این اولویت‌بندی براساس نوع اقلیم و تیپ ساختمانی و با رویکرد کاهش هزینه و کاهش مصرف آب تعیین شد، لذا شناسایی منابع مختلف تأمین آب براساس دسته‌بندی اقلیمی کوپن- گیگر و ٤ تیپ ساختمانی انجام شد. تحلیل اقتصادی منابع تأمین آب به ازای حجم واحد آب در یک دورهٔ سی‌ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق سودآوری و دورهٔ بازگشت سرمایه در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب بر مبنای سه قیمت مختلف آب یعنی قیمت آب معدنی، قیمت آب صادراتی و قیمت آب دولتی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین هزینهٔ اجرایی و بهره‌برداری متعلق به روش‌های رطوبتی و کمترین هزینهٔ مربوط به روش‌های تصفیهٔ آب شور دریا و اقیانوس با روش‌های نوین بوده است. بیشترین سوددهی اقتصادی بر مبنای قیمت آب معدنی و آب صادراتی در روش‌های نوین تصفیهٔ آب شور بوده و بر مبنای قیمت آب دولتی نیز در روش تأمین آب از طریق آب سطحی و زیرسطحی است و کمترین سوددهی اقتصادی نیز در روش‌های تأمین آب از طریق روش‌های رطوبتی است.

کلمات کلیدی: تحلیل اقتصادی، منابع تأمین آب، دورهٔ بازگشت سرمایه، رویکرد اقلیمی، تیپ ساختمانی.

* نویسندهٔ مسئول

Email: poorhoseinm@yahoo.com

مقدمه

در بین همهٔ منابع طبیعی در دسترس بشر، منابع آب از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، چرا که آب هم به عنوان یک منبع طبیعی و هم به عنوان یکی از نهاده‌های مهم تولید، نقش غیرقابل جایگزینی برای ادامهٔ حیات انسانی، پایداری محیط زیست و رشد تولیدات اقتصادی ایفا می‌کند. از این‌رو با توجه به اهمیت حیاتی این منابع در هر سه رکن اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی آب را محور توسعهٔ پایدار عنوان کرده‌اند [۱]. آب یکی از ارکان اصلی حیات بشر است. میزان کل آب در جهان ثابت است، اما توزیع نامناسب و ناهمگن آن در سطح جهان نگران‌کننده است. کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به تغییر اقلیم و روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل خشک‌سالی در سال‌های آینده حادتر نیز خواهد شد. لذا، در چنین شرایطی یکی از راهکارهای مؤثر و عملی استفادهٔ بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. کمبود آب به عنوان یک بحران بزرگ قرن بیست و یکم عنوان شده است [۲]. بیشتر آب‌های جهان در دریاها و اقیانوس‌ها است. تنها ۲/۵ درصد از آب‌های جهان شیرین است [۳] و ۰/۲۶ درصد از آن قابل دسترس برای استفادهٔ بشر است [۴] که آن هم به طور یکسان بین مردم دنیا توزیع نشده است. در حال حاضر منابع آب به یک عامل بازدارنده بر توسعهٔ پایدار اقتصادی و اجتماعی تبدیل شده است [۵]. اکوسیستم‌های آبی به علت فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های متغیر طبیعی تحت فشار فزاینده‌ای هستند. توجه به مسائل مربوط به کیفیت و کمیت آب برای موجودیت انسان و حفظ تنوع زیستی حیاتی است. اکوسیستم‌های آبی به عنوان منابع و مخازن آبی، توسط شمار زیادی از فعالیت های مشابه در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین، مشکلات آبی مشابه و تخریب آن‌ها می‌تواند علل مشابه و در اکوسیستم‌های مختلف آبی جهان عواقب مشابهی در پی داشته باشد. به منظور مدیریت پایدار آب و حل مسائل چندوجهی پیرامون آن، راه حل را نمی‌توان به یک روش علمی محدود کرد. از این‌رو، توسعهٔ علم اکوهیدرولوژی رویکردی جدید در علوم محیط زیستی است که به ترویج تلفیق علوم هیدرولوژی و اکولوژی برای مدیریت پایدار منابع آب می‌پردازد. توسعهٔ مفهوم اکوهیدرولوژی منعکس‌کنندهٔ نیاز فوری به توسعه و اجرای روش‌های جدید و به‌صرفه برای بهبود پایداری آب، در مواجهه با افزایش فشار بر منابع آب شیرین است. به طور کلی، اکوهیدرولوژی باید روش‌های مناسب برای به دست آوردن بازخوردهای مثبت در بین محیط زیست، منابع آب و جامعه را فراهم کند. عنصر کلیدی این علم، استفاده از راه حل «هزینه کم- فناوری بالا» برای بهبود ظرفیت حمل اکوسیستم در برابر تنش برای اجرای راهکارهای فنی، به منظور دستیابی به مدیریت پایدار حوضهٔ آبخیز رودخانه است [۱۸]. الگوی مصرف ناصحیح آب، توزیع نشدن همگن مکانی و زمانی بارش‌ها، رشد جمعیت، توسعهٔ ناهمگون و ناپایدار در بخش‌های مختلف بدون توجه به آمایش سرزمین و وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی و ممتد که به نوعی می‌توان آن را ناشی از تغییر اقلیم کرهٔ زمین دانست، از جمله دلایل بروز بحران‌ها و چالش‌های بخش آب است [۶ و ۷]. با توجه به شرایط اقلیمی و توزیع زمانی و مکانی آب در ایران، طرح‌های تأمین و توسعهٔ منابع آب به عنوان طرح‌های ملی مطرح هستند و نقش بسیار حساسی را در تنظیم حیات اجتماعی کشور به عهده دارند. براساس گزارش فائو (۲۰۱۵) مناطق مختلف جهان از نظر میزان تنش و کم‌آبی و براساس شاخص آب تجدیدپذیر طبقه‌بندی شده است. ایران در منطقه با میزان سرانهٔ آب تجدیدپذیر ۱۷۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در سال در دستهٔ تنش مقطعی یا محلی قرار گرفته که رو به سمت تنش بحرانی دارد که این امر بیانگر وضعیت مناسب‌تر آن نسبت به برخی از کشورهای دیگر است. لذا در اولین برداشت این نکته به ذهن می‌رسد که بحران یا تنش آبی موجود در کشور ایران ناشی توزیع زمانی و مکانی آب باشد .به بیانی دیگر، تنش یا بحران آب در یک منطقه علاوه بر پتانسیل آبی و اقلیم آن منطقه متأثر از میزان مصرف و برداشت منابع آب نیز است [۸]. نماگرهای وضعیت منابع و مصارف آب در کشور بیانگر عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آن است. سیگنال‌دهی نامناسب قیمت آب از ناکارایی بازار آب حکایت دارد. مطابق با ادبیات علم اقتصاد، ارزش‌گذاری نادقیق و عدم تبیین حقوق مالکیت آب از جمله مهم‌ترین عوامل پایین بودن کارایی بازار آب به حساب می‌آید. قیمت‌های سطح پایین حساسیت کم تقاضای آب نسبت به قیمت و نبود نهاده‌های جانشین منابع آبی مجموعه عواملی است که به برداشت بی‌رویه از منابع آب در بخش‌های مصرفی صنعتی و کشاورزی منجر شده است. در این راستا بررسی‌ها بیانگر آن است که قیمت‌گذاری منابع آبی در ایران

بیشتر مبتنی بر روش حسابداری بوده در صورتی که مطالعات صورت‌گرفته نشان می‌دهد رویکرد قیمت‌گذاری آب در کشورهای توسعه‌یافته نه‌تنها هزینهٔ نهایی آب را در نظر می‌گیرد، بلکه در محاسبهٔ قیمت آب به پارامترهای دیگری که بیشتر متأثر از ارزش ذاتی آب نظیر ارزش میراثی و وجودی است، توجه ویژه دارند. سیر تاریخی نگاه اقتصادی به آب در جوامع مدرن در گذر زمان دچار تغییرات اساسی شده به نحوی که طی چند دههٔ اخیر آب که تا قبل از آن به عنوان کالا شناخته نمی شد، از دههٔ ۱۹۹۰ به بعد کالایی اقتصادی و اجتماعی نام‌گذاری شده که از مهم‌ترین دلایل این امر می‌تواند افزایش تقاضا و کاهش عرضهٔ این منبع حیات باشد. تبیین حقوق مالکیت در راستای ایجاد بازاری برای تجارت منابع آب و تبیین ارزش ذاتی- وجودی آب در تصحیح قیمت آب از رویکرد سنتی به رویکرد مدرن از جمله کارهای صورت‌گرفته در جوامع مدرن است. طی دو دههٔ گذشته بسیاری از کشورها صرف‌نظر از نوع نگرش آن‌ها در مورد مدیریت منابع آب نسبت به اصلاح قیمت‌ها اقدام کرده‌اند. در ایران به طور معمول تصمیمات در مورد قیمت‌گذاری خدمات آبی بیشتر بر مبنای ملاک‌های اجتماعی، قانونی، اداری و مالی بوده و ملاحظات اقتصادی کمترین نقش را داشته‌اند و همچنان نگاه سنتی به منابع آبی باقی مانده است. قیمت‌هایی که مصرف‌کننده‌ها برای آب می‌پردازند، براساس هزینه‌های حسابداری تولید و توزیع آب است و ارزش ذاتی آب یا هزینهٔ فرصت استفاده از آن در قیمت‌گذاری لحاظ نمی‌شود. بنابراین آب یک کالای اقتصادی ارزان محسوب می‌شده است [۹]. لذا در این تحقیق با توجه به اینکه تغییر اقلیم بر چرخه‌های هیدرولوژیکی اثرگذار است و در آیندهٔ نزدیک مشکلات بیشتری را در زمینهٔ کیفیت و کمیت آب در مناطق مختلف دنیا ایجاد خواهد کرد، علاوه بر تحلیل اقتصادی و دورهٔ بازگشت سرمایه در استحصال آب از منابع آب مختلف به تحلیل اولویت‌بندی منابع تأمین آب به منظور کاهش مصرف آب در اقلیم‌های مختلف کشور ایران نیز پرداخته خواهد شد.

مروری بر مطالعات

مطالعات مختلفی در این بخش در زمینهٔ منابع آب و تحلیل اقتصادی آن با رویکرد کاهش مصرف آب ارائه شده است که به چند مورد اشاره می‌شود. داس و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی میزان آب در دسترس پرداختند و اعلام کردند که ۷۱/۷ درصد از سطح زمین به وسیلهٔ آب پوشانده شده است. از این مقدار، تنها ۳ درصد از آن به عنوان پتانسیل آب قابل استفاده در اختیار انسان قرار دارد. وی به بررسی نحوهٔ بهینه‌سازی آب در ساختمان سبز آمریکا پرداخته و مقدار آب مورد استفاده جهت آبیاری فضای سبز را به عنوان بیشترین مورد مصرف‌کنندهٔ آب در یک ساختمان اداری معرفی کرده است. بررسی یادشده نشان می‌دهد استفاده از آب خاکستری و آب باران تا حد قابل قبولی می‌تواند در بهبود الگوی مصرف آب در این زمینه تأثیرگذار باشد. لذا با توجه به تحقیقات انجام‌شده توسط داس و همکاران، در این تحقیق فضای سبز نیز به عنوان یکی از بخش‌های جدی مصرف‌کنندهٔ آب در یک ساختمان اداری، جهت تدوین شاخص در نظر گرفته شده است [۱۰].

جمالی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تحلیل اقتصادی برداشت آب باران در ساختمان‌های مسکونی پرداختند. برای این تحلیل براساس داده‌های بارش، بهره‌وری سامانهٔ برداشت آب باران، در احجام مخزن نگهداری گوناگون محاسبه شده و براساس تحلیل هزینهٔ اجرا و راهبری سامانه، قیمت هر متر مکعب آب برداشت‌شده محاسبه شده است. سپس جذابیت اقتصادی این راهبرد برای شهروندان، از طریق مقایسهٔ قیمت آب استحصال‌شده با هزینهٔ آب آشامیدنی و هزینهٔ دفع پساب مربوط، مورد بررسی قرار گرفته است. براساس این تحلیل، برداشت آب باران در برخی مناطق پرباران ایران دارای توجیه اقتصادی و از منظر راهبردی مناسب اجرا تشخیص داده شده است. تحلیل اقتصادی صورت‌گرفته نشان داده است سامانه‌های برداشت آب باران در شرایط مطلوب اقلیمی برخی مناطق ایران، نسبت به قیمت‌های متعارف خرید تضمینی آب از آب‌شیرین‌کن‌ها و همچنین قیمت تمام‌شدهٔ آب در بسیاری از طرح‌های انتقال آب از دوردست دارای مزیت اقتصادی است و در نهایت، نتیجه‌گیری شده که هرگونه سیاست‌گذاری صلبی یا ایجابی در زمینهٔ لزوم برداشت آب باران در ساختمان‌ها باید مبتنی بر شرایط خاص اقلیمی محل قرارگیری ساختمان باشد [۱۱].

کیانی (۱۳۹۵) به بررسی نقش بازار در تخصیص بهینهٔ منابع آب و عوامل مؤثر بر کارایی بازار آب پرداخته است. ایشان یکی از دلایل مهم و مؤثر بر ناکارایی منابع آب را،

پایین بودن آب‌بهای پرداختی توسط بهره‌برداران کشاورزی، صنعتی و مصرف‌کنندگان آب شرب و در نتیجه، کاهش انگیزهٔ آن‌ها در استفادهٔ بهینه از منابع محدود آب دانسته است [۱۲]. تهامی‌پور و یزدانی (۱۳۹۵) به بررسی نقش ابزارهای اقتصادی در مدیریت یکپارچهٔ منابع آب در خصوص نظام قیمت‌گذاری آب آبیاری در حوضه‌های آبریز غرب ایران پرداختند و با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی خطی قیمت سایه‌ای آب را برای کشاورزان حوضه‌های آبریز استان کهگیلویه و بویراحمد برآورد کردند. آن‌ها با استفاده از روش اقتصاد مهندسی هزینهٔ تمام‌شدهٔ آب تا سر مزرعه را برای سد کوثر محاسبه کردند. با مقایسهٔ این دو قیمت با نرخ تعرفه موجود، رویکر مناسب قیمت‌گذاری آب کشاورزی معرفی شد. نتایج نشان داد قیمت سایه‌ای هر متر مکعب آب کشاورزی کمتر از هزینهٔ تمام‌شدهٔ آن است و قیمت‌گذاری برحسب تمام هزینه‌های تأمین، انتقال و توزیع آب کشاورزی گزینهٔ مناسبی برای قیمت‌گذاری نیست و نیاز به حمایت دولت دارد [۱۳]. آداپا، بولار و سوزا (۲۰۱۶) در مقاله‌ای به بررسی وضعیت منابع آب در استرالیا و منابع آب جایگزین در این کشور پرداخته‌اند. به منظور درک وضعیت موجود و شناسایی موانع و فرصت‌های مرتبط با منابع جایگزین آب، یک بررسی سیستماتیک از تحقیقات موجود در زمینهٔ منابع جایگزین آب برای بازارهای مصرف انجام شده است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد بررسی سیستماتیک حاضر، مرتبط‌ترین مسائل مربوط به استفاده از منابع جایگزین آب در بازار مصرف‌کنندهٔ استرالیا را ارائه می‌دهد. اهمیت پذیرش عمومی، رضایت مصرف‌کننده و تنوع جمعیت‌شناختی را برمی‌انگیزد [۱۴]. مورا و مورال (۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی تجربهٔ ایجاد بازار آب در اسپانیا پرداخته‌اند. آن‌ها نشان دادند سیاست بازار آب در اتحادیهٔ اروپا بیشتر به کاربردهای ابزارهای اقتصادی در ارتقای کمی تخصیص و بازدهی اقتصادی در استفاده از منابع کمیاب تأکید دارد و نتایج کار آن‌ها تکامل چارچوب نهادی برای بازارهای آب در اسپانیا را ارائه می‌کند [۱۵].

رن و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی تحت عنوان «تحلیل عرضه و تقاضای آب بر اساس کارایی اجتماعی و اقتصادی در استان هبی در چین» پرداختند. استان هبی یکی از مناطقی است که از کمبود شدید آب در چین رنج می‌برد. آن‌ها براساس مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب، سناریوهای رشد جمعیت، رشد اقتصادی، صرفه‌جویی در مصرف آب و سناریوهای یکپارچه را ایجاد کردند. در این مطالعه تقاضا و عرضهٔ آب در استان هبی در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ در این مطالعه پیش‌بینی شد. نتایج تحقیق یادشده نشان می‌دهد بخش کشاورزی اصلی‌ترین بخش مصرف آب است و توسعهٔ اقتصادی یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر تعادل آب است. لذا سناریوی صرفه‌جویی در مصرف آب بیشترین تأثیر را بر عرضه و تقاضای آب دارد [۱۶]. پورحسین و سعدی (۱۴۰۲) به بررسی راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف یک ساختمان پرداختند. در این تحقیق برای تحلیل اقتصادی میزان مصرف آب در ساختمان‌ها ابتدا یکسری پارامترها و شاخص‌های تأثیرگذار لحاظ شده و سپس براساس آن روابطی استخراج شده و مقدار صرفه‌جویی آب در بخش‌ها و عامل‌های مختلف براساس راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان مسکونی تعیین شده است. صرفه‌جویی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان برمبنای سه قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این تحقیق دورهٔ بازگشت سرمایه بر مبنای قیمت آب معدنی پس از گذشت یک دورهٔ ۲ ساله، آب صادراتی پس از گذشت یک دورهٔ ۱/۶ ساله و آب دولتی پس از گذشت یک دورهٔ ۱۲ساله با اعمال راهکارهای پیشنهادی همچون استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا، استانداردهای حداقل ابعاد مناسب در بخش‌های مختلف یک ساختمان مطابق مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان و حذف سیستم‌های قدیمی و استفاده از سیستم‌های مدرن در ساختمان، امکان‌پذیر است. در این تحقیق راهکارهای پیشنهادشده در بخش‌های توالت، سایر (شامل تی شورخانه، توالت فرنگی) بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف آب در تقسیم‌بندی ساختمانی و در نتیجه، صرفه‌جویی بالاتر داشتند [۱۹].

در این مقاله ضمن طرح و بیان اهمیت موضوع مدیریت تقاضا و صرفه‌جویی آب، عوامل تأثیرگذار بر هزینهٔ استفاده از منابع آب با توجه به شرایط اقلیمی و تیپ ساختمانی در ایران شناسایی شده و مقدار تقریبی دستیابی به آب توسط هر منبع محاسبه و درنهایت،

عملکرد منابع آب مورد تحلیل و ارزیابی اقتصادی قرار خواهند گرفت. همچنین در انتها اولویت‌بندی منابع تأمین آب با رویکرد ساختمانی و منطقه‌ای با توجه به اقلیم‌های مختلف کشور ایران که تغییر آن بر چرخه‌های هیدرولوژیکی اثر فراوانی دارد نیز بررسی می‌شود. لذا با توجه به اهداف این تحقیق، از جمله تفاوت‌های این تحقیق با تحقیقات گذشته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- بررسی مقدار سوددهی استفاده از منابع تأمین آب بر مبنای قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی؛

۲- رتبه‌بندی منابع تأمین آب بر مبنای شرایط اقلیمی و ساختمانی مختلف در کشور ایران.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق

در این تحقیق شناسایی منابع مختلف تأمین آب براساس دسته‌بندی اقلیمی کوپن- گیگر و ۴ تیپ ساختمانی انجام می‌شود. منابع تأمین آب در ۴ دسته تقسیم‌بندی شد که در هر دسته ۳ نوع منبع تأمین آب نیز شناسایی شد. در ادامه پارامترها و مشخصات مربوط به هزینه‌های تأمین آب توسط منابع مختلف شناسایی شده و تحلیل اقتصادی آن با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی می‌شود و در یک دورهٔ سی‌ساله مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد. هزینهٔ اولیهٔ اجرایی و بهره‌برداری تأمین منابع آب در واحد حجم آب محاسبه شده و بیشترین و کمترین عوامل آن نیز مشخص می‌شود. برای اولویت‌بندی استفاده از منابع آب باید سودآوری استفاده از منابع مختلف در درازمدت نیز مورد تحلیل قرار گیرد تا بتوان ارزیابی اقتصادی قابل قبولی از استفاده از هر یک از منابع آب داشت. لذا برای اینکه بتوان مقدار این سوددهی را حساب و تحلیل کرد، باید قیمتی برای آب استخراج‌شده از منابع مختلف در نظر گرفت. در این تحقیق تحلیل اقتصادی بر مبنای سه قیمت مختلف آب یعنی قیمت آب معدنی، قیمت آب صادراتی و قیمت آب دولتی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. یکی دیگر از بخش‌هایی که در این پروژه بررسی خواهد شد، دورهٔ بازگشت سرمایه طرح خواهد بود. پس از تحلیل اقتصادی انجام‌شده با توجه به شرایط هر شهر در ایران و با توجه به نوع اقلیم حاکم بر آن و همچنین، با توجه به تیپ‌های ساختمانی درنظرگرفته‌شده، منابع آب ۱۲ گانه مورد اولویت‌بندی قرار می‌گیرند. سپس اولویت‌بندی استفاده از منابع آب در شهرهای مختلف ایران از جمله تهران، یزد، بندرعباس و رشت با دو رویکرد ساختمانی و منطقه‌ای نیز مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

دسته‌بندی اقلیمی

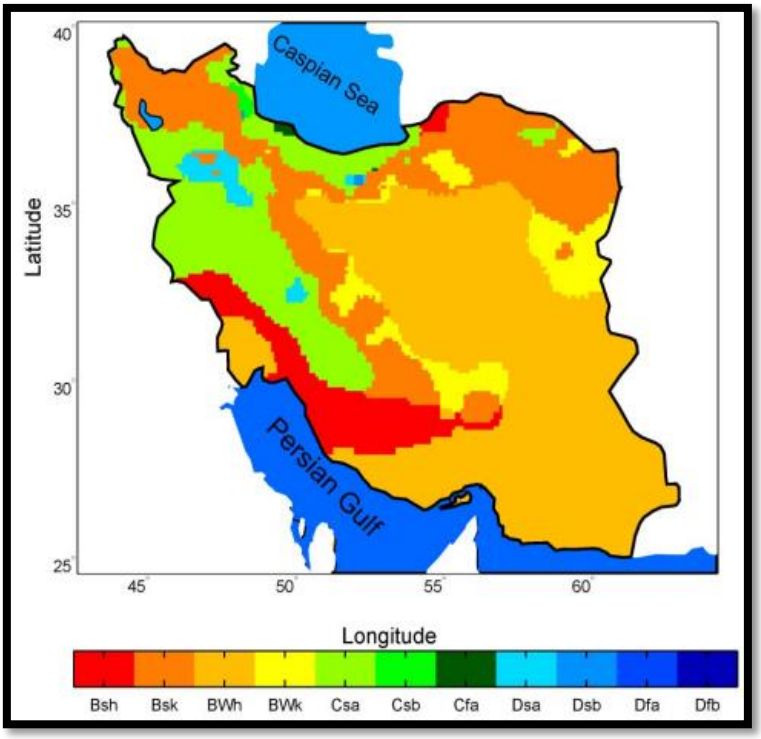
یکی از معیارهای تصمیم‌گیری برای بررسی مقدار مصرف آب در یک ساختمان و همچنین ارائهٔ راهکارهای مناسب، توجه به نوع اقلیم حاکم بر منطقه است. برای یک دسته‌بندی مناسب در زمینهٔ منابع آب، از روش دسته‌بندی اقلیمی کوپن- گیگر استفاده شده است. جدول ۱ و شکل ۱ دسته‌بندی اقلیمی حاکم بر ایران به این روش را نشان می‌دهند.

دسته‌بندی تیپ ساختمانی دراین تحقیق

انواع گروه‌بندی ساختمان بر مبنای نوع مساحت کل، تعداد طبقات، نسبت منظری (طول به عرض)، ابعاد و ارتفاع از کف تا سقف طبقه و براساس مبحث ۲۱ و ۱۹ مقررات ملی ساختمان برای این تحقیق طبقه‌بندی شد. مشخصات ساختمان‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی که فقط مختص این تحقیق است به صورت جدول ۲ در چهار گروه تعیین شده است.

منابع تأمین آب

برای بررسی اولویت استفاده از منابع تأمین آب در این تحقیق از چهار گروه آب‌های سطحی و زیرسطحی شامل (منابع آب‌های سطحی، منابع آب‌های زیرزمینی، آب انبار و قنات)، روش‌های تصفیهٔ نوین آب شور شامل (لوله (پروژهٔ شیرین کردن آب دریا)، تصفیهٔ آب شور (انرژی موج کارنگی)، تصفیهٔ آب شور (سیستم موجود))، سیستم‌های جمع‌آوری آب شامل (استفاده از رواناب شهری، جمع‌آوری آب باران در ساختمان، استفاده از آب خاکستری) و روش‌های رطوبتی شامل (دستگاه رطوبتی، استفاده از رطوبت هوا (برج آب ورکا) و استفاده از رطوبت خاک) استفاده شده است. در جدول ۳ انواع منابع تأمین آب به همراه مشخصات و ویژگی‌های هر یک از آن‌ها به تفکیک ارائه شده است.



شکل ۱. طرح شماتیک اقلیم‌های حاکم بر کشور با روش کوپن‌ـ گیگر (دورهٔ‌آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴) [۱۷]

جدول ۱. دسته‌بندی اقلیمی کوپن‌ـ گیگر حاکم بر کشور ایران [۱۷]

شماره	کد با نام اقلیم کوپن-گیگر	ویژگی‌ها
۱	BWh	بیابان خشک و بسیار گرم
۲	BWk	بیابان خشک و سرد
۳	BSh	نیمه‌بیابانی (استپ) خشک و بسیار گرم
۴	BSk	نیمه یابانی (استپ) خشک و سرد
۵	CSa	معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم
۶	Csb	معتدل با تابستان‌های خشک و سرد
۷	Cfa	معتدل پرباران (بدون فصل خشک) با تابستان‌های گرم
۸	Dsa	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم
۹	Dsb	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک گرم

جدول ۲. انواع تیپ ساختمانی در این تحقیق

تیپ ساختمانی	تیپ۱	تیپ۲	تیپ۳	تیپ۴
مساحت کل (فوت مربع)	۵۵۰۰	۲۵۰۰۰	۵۳۶۰۰	۴۹۸۶۰۰
تعداد طبقات	۱	۳	۳	۱۲
نسبت منظری (طول به عرض)	۱,۵	۱,۵	۱,۵	۱,۵
ابعاد (فوت)	۹۰/۸×۶۰/۵	۱۱۱/۹×۷۴/۶	۱۶۳/۸×۱۰۹/۲	۲۴۰×۱۶۰
ارتفاع کف تا کف طبقه (فوت)	۱۰	۱۳	۱۳	۱۳

جدول ۳. انواع منابع تأمین آب

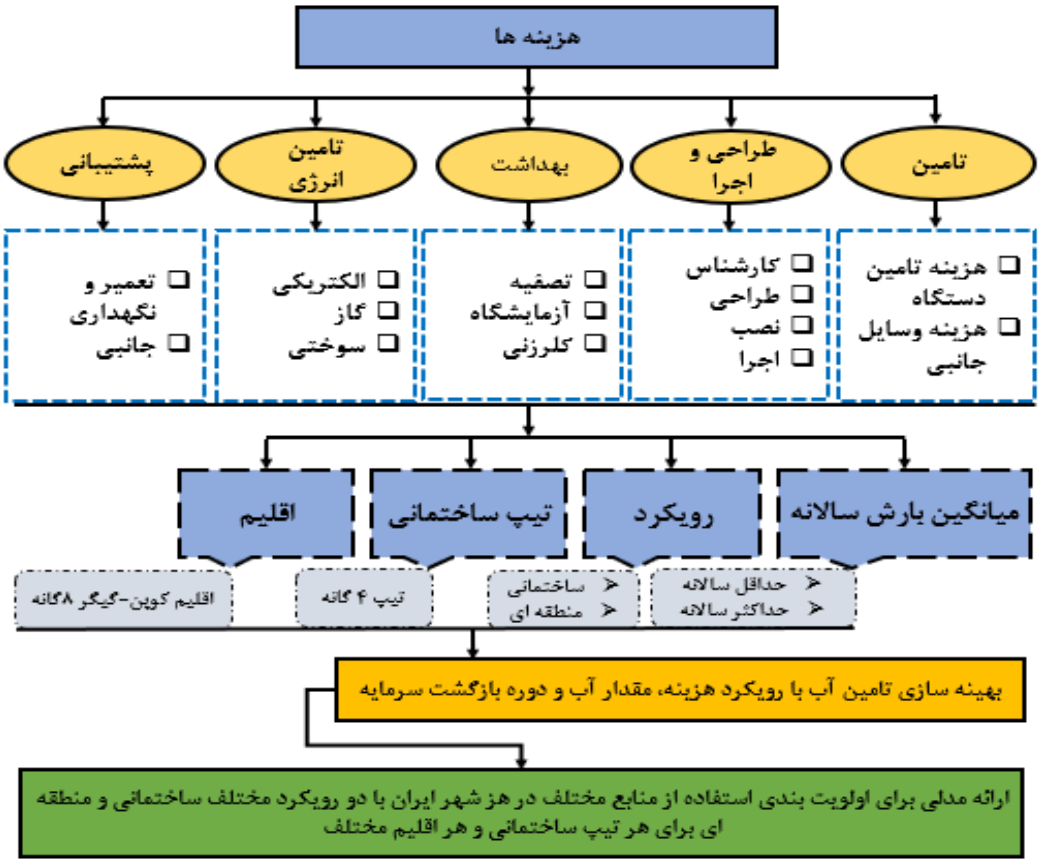
شماره	نوع منبع تأمین آب		نام لاتین	توضیحات
۱	آب‌های سطحی	منابع آبهای سطحی	Surface water	شامل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و برکه‌ها
۲	آب‌های زیرزمینی		Groundwater	لایه‌های آب‌دار زیرزمینی
۳	آب انبار و قنات		Reservoir or Aqueduct	آب‌انبار یا برکه، حوض یا استخر سرپوشیده‌ای است که برای ذخیرهٔ آب معمولاً در زیر زمین ساخته می‌شود. قنات کانالی است که در زیر زمین حفر شده، تا آب در آن برای رسیدن به سطح زمین جریان یابد.
۴	لوله (پروژهٔ شیرین کردن آب دریا)	روش‌های تصفیهٔ نوین آب شور	The Pipe	پروژه‌ای جدید در کالیفرنیا به منظور شیرین کردن آب دریا است. کارخانهٔ تولید آب آشامیدنی The Pipe قادر خواهد بود تا ۱/۵ میلیارد گالن آب شیرین را در اختیار دولت قرار دهد. این کارخانه آب‌شیرین‌کن که در دریا شناور بوده و نیروی مورد نیاز خود را از طریق انرژی خورشیدی تأمین می‌کند.
۵	تصفیهٔ آب شور (انرژی موج کارنگی)		Carnegie Wave Energy	نام شرکتی استرالیایی است که وظیفهٔ آن علاوه بر تصفیهٔ آب شور، تولید انرژی تجدیدپذیر از امواج دریا است. وسیله‌ای غوطه‌ور با داشتن نیروی ۲۴۰ کیلوواتی و بندی که آن را به کف دریا متصل می‌کند، زمانی که با امواج در تماس باشد، آب را به کمک پمپ‌های هیدرولیک به بخش داخلی و توربین‌های قدرتی خود کشانده و به واسطهٔ یک سیستم آب‌شیرین‌کن و با استفاده از نیروی الکتریسیته که پیش‌تر به کمک امواج آب تولید شده است، اقدام به تولید آب آشامیدنی می‌کند.
۶	تصفیهٔ آب شور		Salt water Treatment	۳۵۰۰ دستگاه از تأسیسات نمک‌زدایی در سال ۱۹۸۶ در جهان توسعه یافته که روزانه ۳ هزار میلیون گالن آب را تصفیه می‌کنند. مهم‌ترین روش‌ها در این حالت برای تصفیهٔ آب شور، روش اسمز معکوس (عبور آب از یک لایهٔ نیمه‌تراوا) و تقطیر است.
۷	استفاده از رواناب شهری	سیستم‌های جمع‌آوری آب	Urban Runoff	آب جمع‌آوری‌شدهٔ باران در بزرگراه‌ها را جهت شرب، صنعت و فضای سبز می‌توان استفاده کرد و یا به مزارع اطراف هدایت کرد.
۸	جمع‌آوری آب باران در ساختمان		Rainwater in the Building	آب حاصل از بارش باران در بام‌ها، حیاط‌ها، حیاط خلوت‌ها و نورگیرهای فاقد سقف را باید به درون سیستم جمع‌آوری و دفع آب باران با سیستم مشترک فاضلاب و آب باران (combined sewer systems) هدایت کرد.
۹	استفاده از آب خاکستری		Gray Water	منظور از آب خاکستری مجموع آب جمع‌آوری‌شده از هدررفت دوش حمام، فاضلاب تولیدی از روشویی، سینک (غیر از آشپزخانه) و نیز لباسشویی است که در مبدأ از فاضلاب دستشویی و توالت تفکیک شده باشد.
۱۰	دستگاه رطوبتی	روش‌های رطوبتی	توربینEole	این دستگاه می‌تواند سطح رطوبت را در یک مکان تولیدی یا صنعتی تنظیم کند. این دستگاه که با نام مه‌ساز و بخارساز نیز شناخته می‌شود در مکان‌های دیگر نظیر نانوایی و قنادی‌ها، گلفروشی، سردخانه‌ها و محل نگهداری میوه و صیفی‌جات و بسیاری موارد دیگر کاربرد دارد.
۱۱	استفاده از رطوبت هوا (برج آب ورکا)		The Warka Water Tower	در این روش، آب از مه، بخار و رطوبتی که در هوا وجود دارد، به دست می‌آید.
۱۲	استفاده از رطوبت خاک		Soil Moisture	رطوبت خاک میزان آبی است که در بین فضای ذرات خاک وجود دارد.

بررسی پارامترها، هزینه‌ها و شرایط شبیه‌سازی

با توجه به اینکه یکی از اهداف این تحقیق اولویت‌بندی استفاده از منابع آب است و از طرفی این اولویت‌بندی باید بر اساس نوع اقلیم و تیپ ساختمانی و با رویکرد کاهش هزینه و کاهش مصرف آب تعیین شود، باید ابتدا عوامل تأثیرگذار بر هزینهٔ استفاده از منابع شناسایی شده و مقدار تقریبی دستیابی به آب توسط هر منبع محاسبه شده و درنهایت، عملکرد منابع آب مورد تحلیل و ارزیابی اقتصادی قرار گیرد. در این تحقیق برای تمامی منابع مورد نظر با توجه به شرایط اقلیمی و تیپ ساختمانی تمامی عوامل تأثیرگذار لحاظ شده تا بتوان برای هر دسته‌بندی اقلیمی و ساختمانی استفاده از منابع آب را اولویت‌بندی کرد. برای پارامترها و هزینه‌های مورد بررسی تحلیل اقتصادی و اولویت‌بندی استفاده از منابع آب از ۲۱ شاخص استفاده شده است که شامل:

۱-هزینهٔ خرید دستگاه؛ ۲-هزینهٔ نصب و راه‌اندازی دستگاه؛ ۳-هزینهٔ کارشناس و طراحی؛ ۴-هزینهٔ مجوز؛ ۵-هزینهٔ احداث سازه، هزینهٔ یک واحد کانال‌کشی؛ ۶-طول کانال‌کشی؛ ۷-هزینهٔ حفر عمق واحد چاه؛ ۸-عمق حفر چاه؛ ۹-هزینهٔ احیاسازی؛ ۱۰-هزینهٔ پمپ؛ ۱۱-فاصلهٔ انتقال با لوله تا منبع؛ ۱۲-هزینهٔ طول واحد لوله‌کشی؛ ۱۳-هزینهٔ تأسیسات جانبی انتقال؛ ۱۴-حجم منبع مورد نیاز؛ ۱۵-هزینهٔ منبع آب؛ ۱۶-هزینهٔ تصفیه به ازای هر مترمکعب؛ ۱۷-هزینهٔ کارگر و جانبی برای احداث؛ ۱۸-مقدار مصرف انرژی برای دریافت ۱ مترمکعب آب؛ ۱۹-هزینهٔ واحد انرژی (کیلو وات ساعت)؛ ۲۰-هزینهٔ تعمیر و نگهداری؛ ۲۱-مقدار تولید یا دریافت آب.

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق براساس مستندات و نظرات تجربی پیمانکاران و فروشندگان دستگاه‌ها و اطلاعات جهانی در سال ۱۴۰۰ استخراج شده است. برای تحلیل اقتصادی آن نیز از کدنویسی در نرم‌افزار متلب برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۲ نمودار جریانی از روند انجام کار در این تحقیق ارائه شده است:

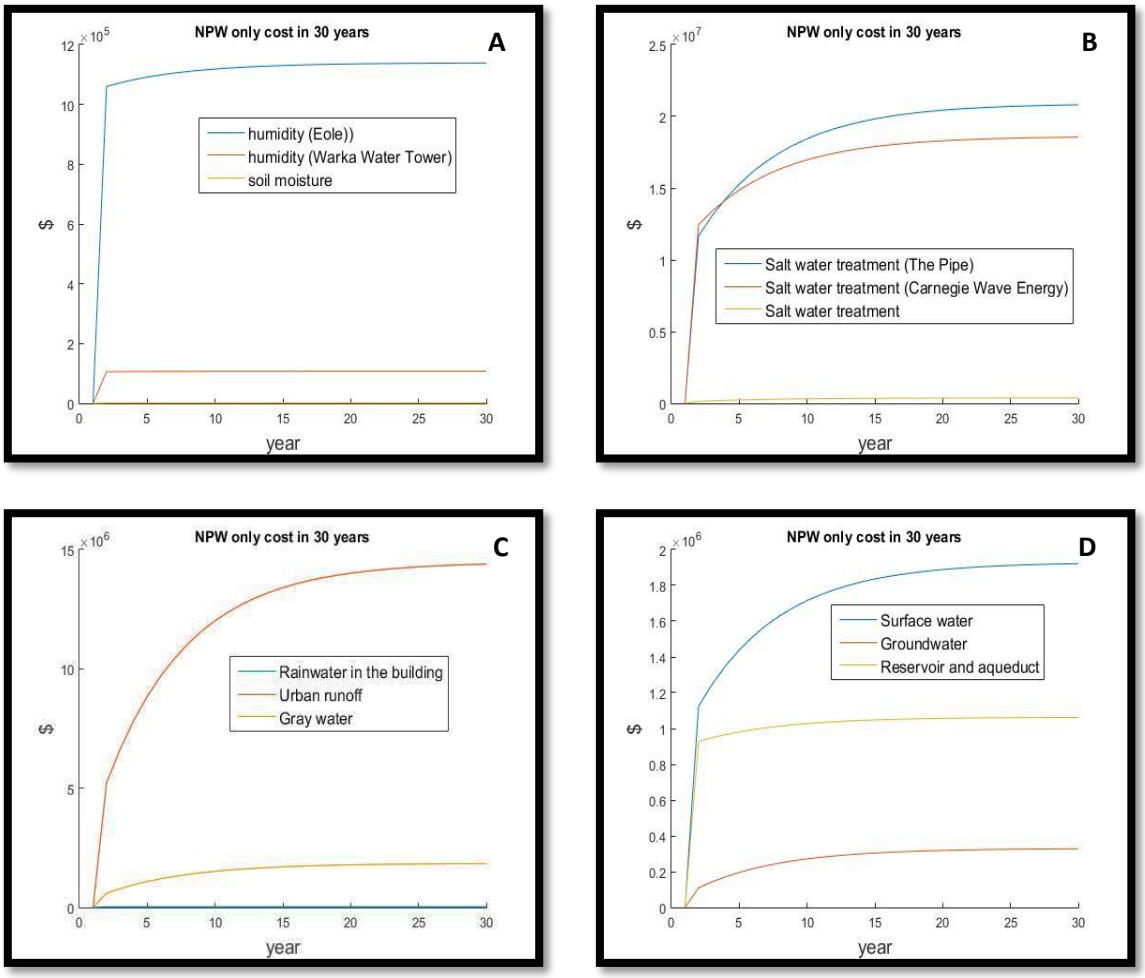


شکل ۲. فلوچارت شناسایی و اولویت‌بندی منابع تأمین آب در اقلیم مختلف

نتیجه و بحث

مقایسه براساس هزینهٔ اجرایی

در شکل ۲ هزینهٔ اولیهٔ اجرایی و بهره‌برداری استفاده از منابع تأمین آب در یک دورهٔ سی‌ساله مورد ارزیابی قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل (۲ B) مشاهده می‌شود بیشترین هزینهٔ اجرایی مربوط به روش‌های تصفیهٔ آب شرب به روش‌های نوین مانند استفاده از The Pipe و Carnegie Wave Energy است. کمترین هزینهٔ اجرایی برای تأمین آب نیز در روش‌های رطوبتی است. البته هزینهٔ بالا و پایین تأمین منابع آب به‌تنهایی دال بر غیر اقتصادی و اقتصادی بودن پروژه نیست و لذا در این بخش اقتصادی و غیراقتصادی بودن طرح به ازای حجم واحد آب در درازمدت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

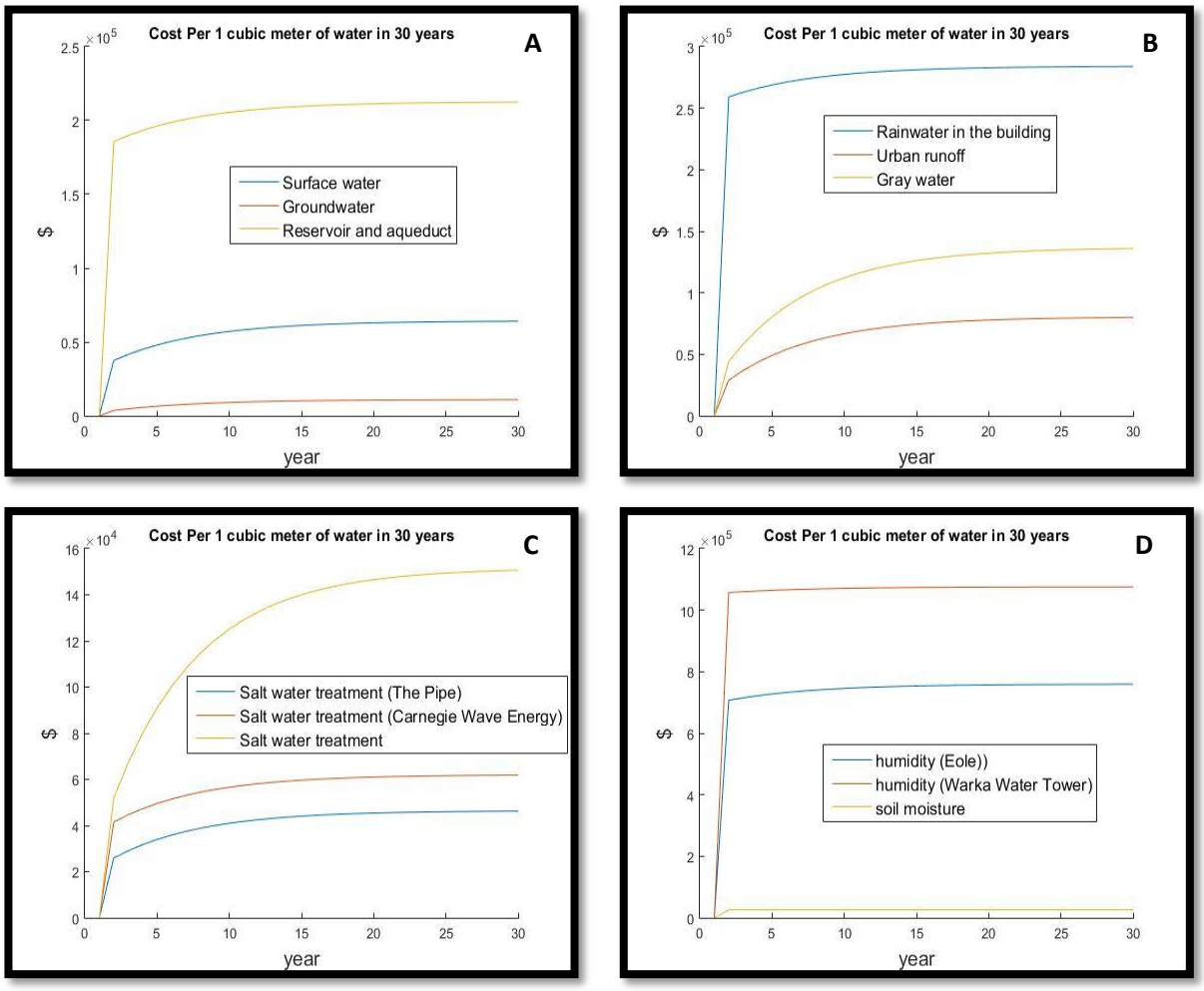


شکل ۳. هزینهٔ اولیهٔ اجرایی و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب

مقایسه براساس هزینهٔ اجرایی برای دستیابی به حجم واحد آب

در ادامه برای پاسخ‌گویی به سؤال قبل تحلیل اقتصادی منابع آب به ازای حجم واحد آب در یک دورهٔ سی‌ساله مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحلیل در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳ D) مشاهده می‌شود در این حالت بیشترین هزینه متعلق به روش‌های رطوبتی بوده که همین موضوع سبب کاهش رغبت کشورهای مختلف برای استفاده از این‌گونه منابع است و فقط در شرایط بحرانی و برای مناطقی که با کمبود شدید آب شرب مواجه هستند (مانند برخی از شهرها و روستاها در کشور اتیوپی، غنا و ...) استفاده می‌شود. چنانچه در شکل (۳ C) مشاهده می‌شود کمترین هزینهٔ مربوط به روش‌های تصفیهٔ آب شور دریا و اقیانوس با

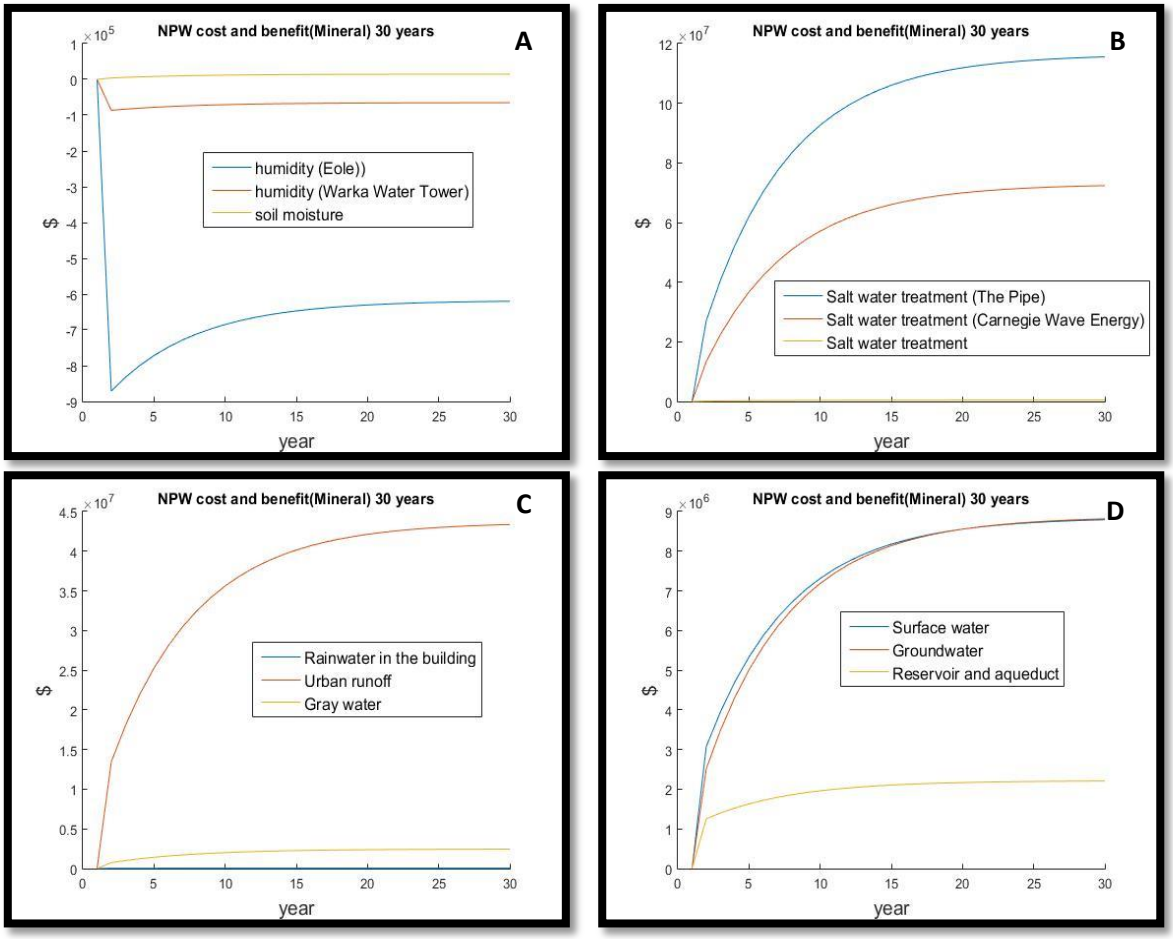
روش‌های جدید بوده که علاوه بر هزینهٔ اولیهٔ بالایی که دارند در درازمدت می‌توانند بسیار سودمند است و مشکلات بی‌آبی بسیاری از مناطق را حل کنند. این موضوع نشان می‌دهد دلیل استقبال بسیاری از کشورها از این روش‌های نوین چیست. پس از این روش‌ها، با اختلاف کمی، روش‌های استفاده از آب‌های سطحی، قنات‌ها و آب‌های زیرزمینی کمترین هزینهٔ اجرایی را دارند. این همان دلیلی است که در کشورهایی مانند ایران استقبال استفاده از این روش‌ها بیشتر بوده و نتیجهٔ آن کاهش ذخیرهٔ آب زیرزمینی و سدها شده است.



شکل ۴. هزینهٔ اولیهٔ اجرایی و بهره‌برداری از هر یک از منابع تأمین آب به ازای دستیابی به حجم واحد آب

مقایسه بر اساس مقدار سوددهی بر مبنای قیمت آب معدنی

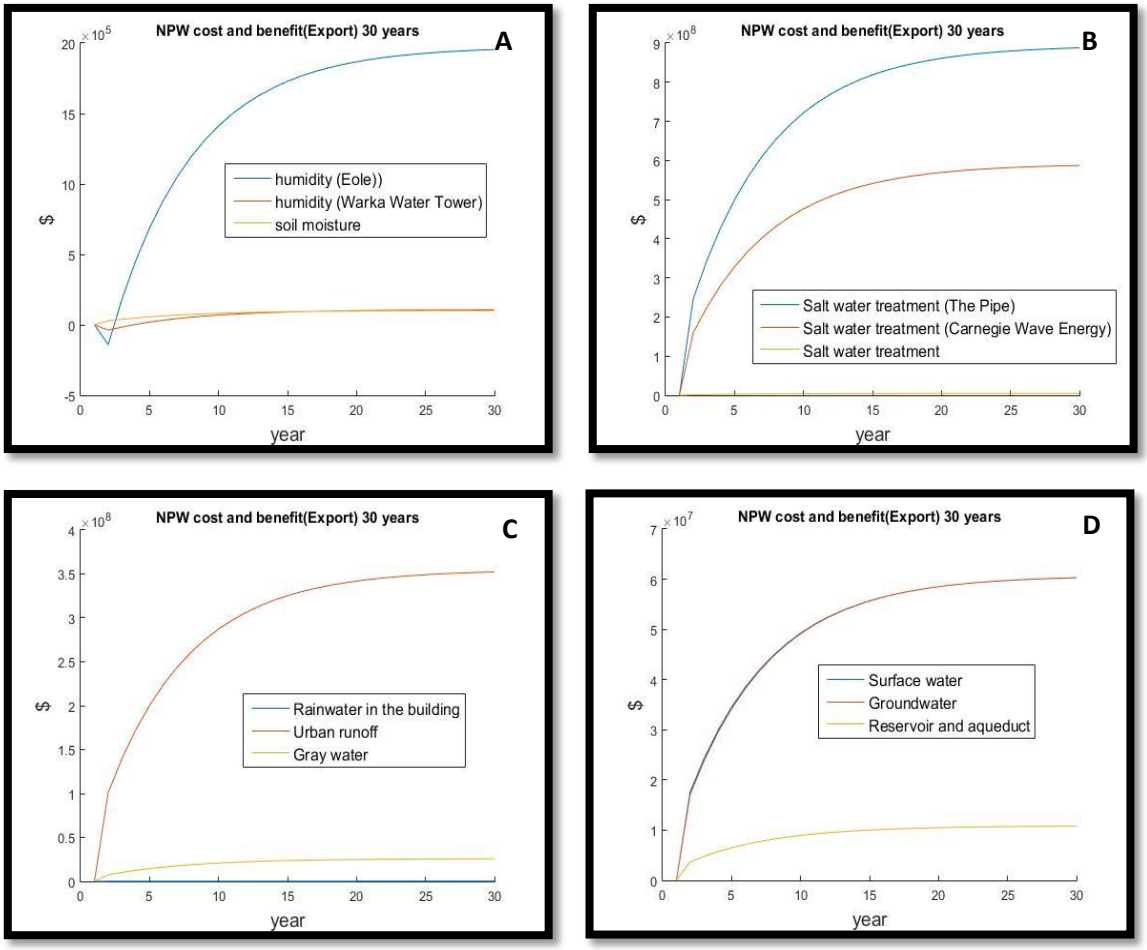
تا کنون هزینهٔ اجرایی و اولیهٔ استفاده از منابع آب مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفته است. در ادامه برای اولویت‌بندی استفاده از منابع باید سودآوری استفاده از منابع مختلف در درازمدت نیز مورد تحلیل قرار گیرد تا بتوان ارزیابی اقتصادی قابل قبولی از استفاده از هر یک از منابع آب داشت. در این تحقیق تحلیل اقتصادی بر مبنای سه قیمت مختلف آب یعنی قیمت آب معدنی، قیمت آب صادراتی و قیمت آب دولتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۴ سوددهی اقتصادی استفاده از منابع مختلف آب را بر اساس قیمت آب معدنی نشان می‌دهد. چنانچه در شکل (۴ A) مشاهده می‌شود روش‌های رطوبتی هیچ‌گونه توجیه اقتصادی ندارند. بیشترین سوددهی مربوط به استفاده از دستگاه‌های نوین تصفیهٔ آب شور بوده و در رتبه‌های بعدی رواناب شهری در مناطق پرباران و استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی است.



شکل ۵. مقدار سوددهی در راستای تأمین آب در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب بر مبنای قیمت آب معدنی

مقایسه براساس مقدار سوددهی بر مبنای قیمت آب صادراتی

سوددهی بر مبنای قیمت آب صادراتی یکی دیگر از تحلیل‌هایی است که منابع آب براساس آن اولویت‌بندی شده‌اند. شکل ۵ نتایج حاصل از این تحلیل اقتصادی را نشان می‌دهد. در این روش تحلیل، پس از گذشت مدت کوتاهی تمامی روش‌ها، حتی روش‌های رطوبتی تأمین آب نیز اقتصادی بوده و قاعدتاً با توجه به تحلیل شکل قبل، روش‌هایی که در حالت قبل بیشترین سوددهی را داشتند در این روش این سوددهی نیز افزایش خواهد یافت. لذا روش‌های نوین تصفیهٔ آب شور بیشترین سوددهی را داشته و سایر روش‌ها نیز پس از آن سوددهی بالایی دارند. این تحلیل بیشتر برای زمانی کاربرد دارد که هدف صادرات آب به کشورهای همجوار باشد، در این حالت چون معیار قیمت آب بر مبنای هزینهٔ صادرات آب است، تمامی روش‌ها سودده بوده، ولی بهتر است از روش‌های نوین تصفیهٔ آب شور و غیره استفاده شود تا صدمه‌ای به ذخایر منابع آب داخلی مانند آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد نشود. چون کشور ایران خود به‌شدت در دورهٔ خشکسالی قرار دارد و همان‌طور که مشاهده می‌شود در شهرهایی مانند اهواز، اصفهان و زاهدان این مشکلات بی‌آبی به‌شدت زندگی مردم را تحت تأثیر قرار داده و مشکلات امنیتی، سیاسی و اقتصادی زیادی در پی دارد. توجه به این نکته نیز حائز اهمیت است که این بحران خشکسالی همچنان ادامه دارد و شرایط بی‌آبی حاکم بر کشور ممکن است حادتر شده و شهرهای بیشتری را دربرگرفته و پیچیدگی ناشی از کمبود آب را دوچندان کند.

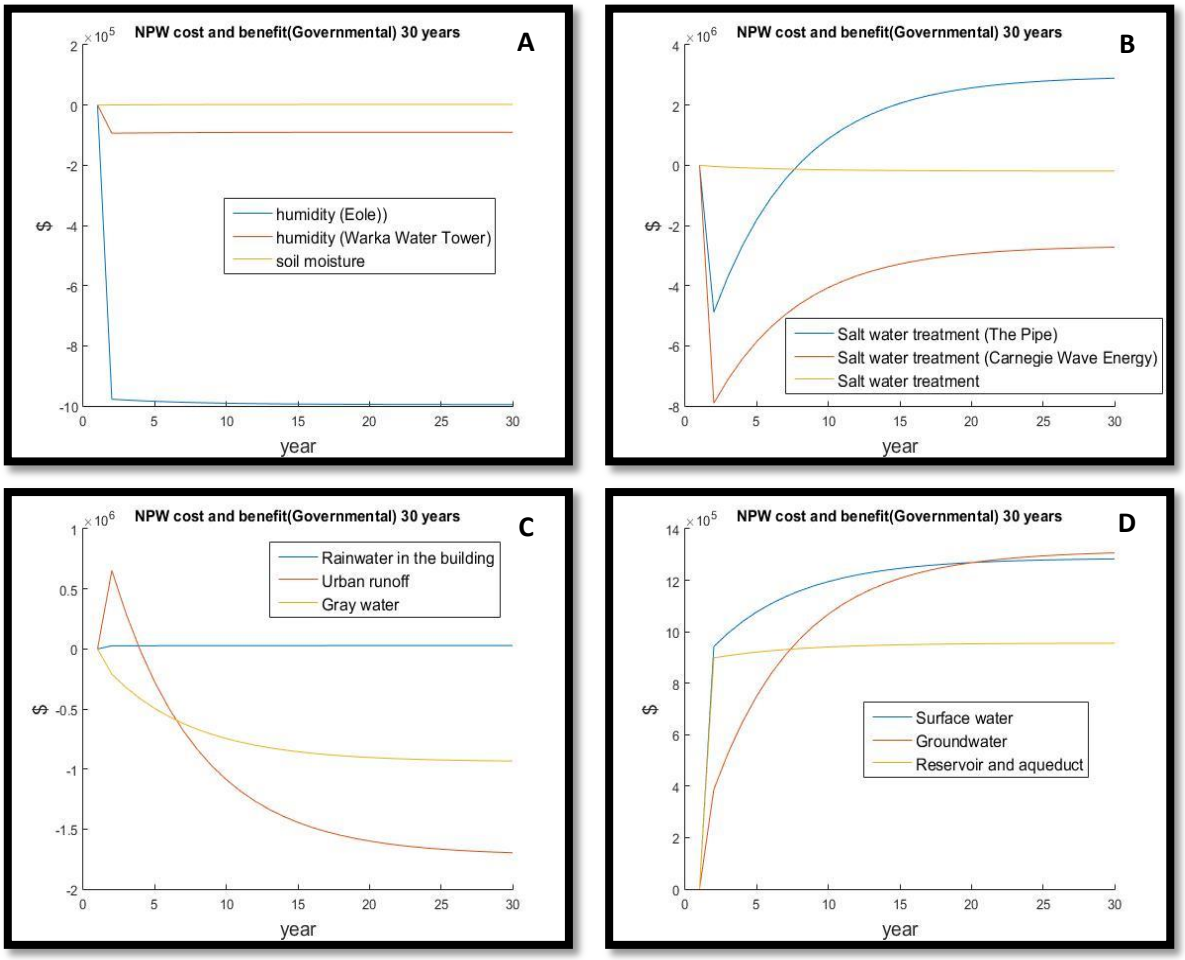


شکل ۶. مقدار سوددهی در راستای تأمین آب در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب بر مبنای قیمت آب صادراتی

مقایسه براساس مقدار سوددهی بر مبنای قیمت آب دولتی

تا کنون محاسبهٔ مقدار سوددهی استفاده از منابع مختلف با توجه به قیمت آب معدنی و آب صادراتی مورد تحلیل و ارزیابی اقتصادی قرار گرفته، اما واقعیت این است که هدف اصلی دولت تأمین آب برای استفاده و تأمین آسایش مردم ایران بوده و با توجه به این هدف باید یک تحلیل اقتصادی بر مبنای قیمت آب دولتی انجام شود تا بتوان به شکل صحیحی از منابع آب موجود در کشور در شرایط مختلف برای تأمین آب مردم استفاده کرد. شکل ۶ تحلیل اقتصادی و سوددهی استفاده از منابع مختلف آب را بر مبنای قیمت آب دولتی نشان می‌دهد. چنانچه در شکل (A و C ۶) مشاهده می‌شود روش‌های رطوبتی، رواناب شهری و آب خاکستری توجیه اقتصادی ندارد و فقط به اهداف مدیریتی منابع آب می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. روش‌های استفاده از آب زیرزمینی و آب‌های سطحی در بازهٔ زمانی کوتاهی (۲ تا ۳ سال) به سوددهی قابل قبولی می‌رسند و متاسفانه این مسئله همان دلیلی است که باعث شده دولت و مردم تمایل زیادی به استفاده از این منابع را داشته باشند. نکتهٔ منفی استفاده بیش از حد و مداوم از این منابع این است که به مرور ذخایر آب موجود در کشور به پایان می‌رسد و پس از آن کشور بدون هیچ زیرساختی برای منابع جایگزین با مشکلی بسیار بزرگی مواجه خواهد شد. روش‌های نوین و جایگزین بسیاری وجود دارد که می‌توانند در کنار این منابع نیاز آبی کشور را تأمین کند و در عین حال توجیه اقتصادی نیز داشته باشد. به عنوان مثال دستگاه The Pipe که وظیفهٔ تصفیهٔ آب شور را به عهده دارد می‌تواند همان‌طور که در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته مورد استقبال قرار گرفته در ایران نیز استفاده شود. همان‌طور که در شکل (B ۶) نیز مشاهده می‌شود استفاده از این دستگاه به دلیل هزینهٔ اولیه تا حدود ۷ سال ممکن است توجیه اقتصادی نداشته باشد، اما با توجه به قدرت بالایی که برای تأمین آب دارد پس از ۷ سال وارد فاز

سوددهی اقتصادی شده و در همان سال‌های ابتدایی سوددهی بیش از یک دورهٔ سی‌سالهٔ استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی را دارد. ضمن آنکه استفاده از این روش علاوه بر سوددهی که به دلیل تأمین آب دارد، مانع استفاده از ذخایر سطحی و زیرزمینی شده و فرصت مناسبی را برای احیای منابع آب داخلی ایجاد می‌کند که این موضوع خود ارزش استفاده از این‌گونه منابع را دوچندان می‌کند. در بدترین حالت اگر دولت شرایط خرید و استفاده از دستگاه‌های نوین را ندارد، استفاده از منابعی مانند: جمع‌آوری آب باران در ساختمان برای شهرهای مستعد، استفاده از دستگاه‌های تصفیهٔ آب شور موجود در کشور و استفاده از آب خاکستری برای مصارف غیر شرب از جمله مهم‌ترین منابع جایگزینی هستند که می‌توانند تا حدودی مانع از استفاده بیش از حد از ذخایر سطحی و زیرزمینی شوند و کشور را از مواجه شدن با یک بحران شدید نجات دهند، ولی به طور کلی دسترسی کشور ایران از جنوب به دریای عمان و خلیج فارس که به آب بی‌پایان اقیانوس متصل است و از شمال به دریای مازندران، یک موهبت الهی است که متأسفانه ارزش این موهبت الهی در ایران کمتر دیده شده است. روش‌های نوین زیادی برای تأمین آب شرب از آب شور در دنیا ابداع و مورد استفاده قرار گرفته است که متأسفانه در ایران هنوز با نام آن نیز آشنا نشده‌اند. این روش‌ها درست است که با یک هزینهٔ اولیه همراه هستند، ولی در بلندمدت علاوه بر اینکه وارد مرحلهٔ سوددهی می‌شوند موجب کاهش استفادهٔ بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند.



شکل ۷. مقدار سوددهی در راستای تأمین آب در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب بر مبنای قیمت آب دولتی

تحلیل دورهٔ بازگشت سرمایه استفاده از هر یک از منابع آب

یکی از بخش‌های مهم تحلیل اقتصادی یک پروژه، دورهٔ بازگشت سرمایه پروژه با تحلیل اقتصادی به‌صرفه است. جدول ۴ دورهٔ بازگشت سرمایه در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب بر مبنای قیمت آب معدنی، صادراتی و دولتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بر مبنای قیمت آب صادراتی همهٔ روش‌ها پس از مدت کوتاهی وارد مرحلهٔ سوددهی می‌شوند. بر مبنای قیمت آب معدنی به‌جز روش‌های رطوبتی که توجیه اقتصادی ندارند سایر روش‌های تأمین آب نهایتا تا یک سال وارد مرحلهٔ سوددهی می‌شوند، اما اگر بر مبنای قیمت آب دولتی دورهٔ بازگشت سرمایه مورد بررسی قرار گیرد، علاوه بر روش‌های رطوبتی، برخی روش‌های تصفیهٔ آب شور و استفاده کامل از آب خاکستری نیز توجیه اقتصادی ندارد مگر اینکه از آب خاکستری به عنوان منابع جایگزین برای مصارف غیر شرب استفاده شود.

جدول ۴. دورهٔ بازگشت سرمایه در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب بر مبنای قیمت آب معدنی، صادراتی و دولتی

نوع منابع تأمین آب	بر مبنای آب معدنی	بر مبنای آب صادراتی	بر مبنای آب دولتی
دستگاه رطوبتی (Eole)	NaN	۳	NaN
استفاده از رطوبت هوا (برج آب ورکا)	NaN	۴	NaN
استفاده از رطوبت خاک (Soil Moisture)	NaN	۱	NaN
لوله (پروژهٔ شیرین کردن آب دریا (The Pipe))	۱	۱	۷
تصفیهٔ آب شور (انرژی موج کارنگیCarnegie Wave Energy))	۱	۱	NaN
تصفیهٔ آب شور (Salt water Treatment)	۱	۱	NaN
جمع‌آوری آب باران در ساختمان (Rainwater in the Building)	۱	۱	۱
استفاده از رواناب شهری (Urban Runoff)	۱	۱	۴
استفاده از آب خاکستری (Gray Water)	۱	۱	NaN
آب‌های سطحی (Surface water)	۱	۱	۱
آب‌های زیرزمینی (Groundwater)	۱	۱	۱
آب انبار و قنات (Reservoir or Aqueduct)	۱	۱	۱

نتایج کلی اولویت‌بندی و چندین مثال برای شهرهای مختلف ایران با رویکرد ساختمانی و منطقه‌ای

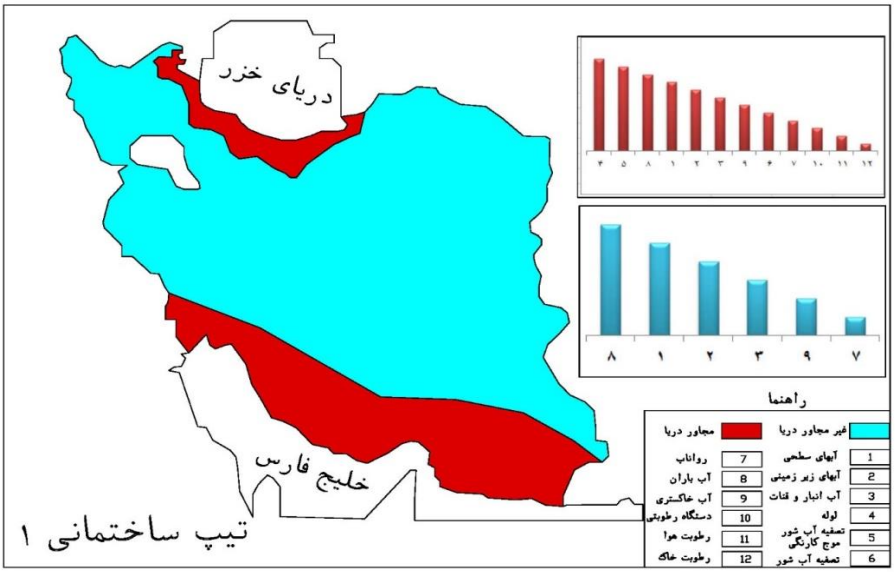
حال باتوجه به تحلیل‌های انجام‌شده باید با توجه به شرایط هر شهر در ایران و با توجه به نوع اقلیم حاکم بر آن و همچنین با توجه به تیپ ساختمانی مورد نظر، منابع آب ۱۲ گانه مورد بررسی اولویت‌بندی شوند. مطابق جدول ۳ که به منابع تأمین آب ۱۲ گانه اشاره دارد، در جدول ۵ نتیجهٔ اولویت‌بندی این منابع آب در شهرها با اقلیم‌های مختلف و برای ساختمان‌ها با تیپ‌های مختلف را نشان می‌دهد. در این جدول ستون ۱ و ۲ شماره و نام اقلیم‌های حاکم بر ایران را نشان می‌دهد. ستون ۳ نشان‌دهندهٔ ویژگی حاکم بر هر اقلیم و ستون ۴ نمونه شهرهایی هستند که شرایط اقلیم مورد نظر را دارند. ستون ۵ مجاورت در کنار دریا بودن اقلیم مورد نظر را نشان می‌دهد. درنهایت، ستون‌های ۶ تا ۹ اولویت‌بندی استفاده از منابع مختلف در تیپ‌های ساختمانی ۱ تا ۴ را با توجه به شرایط اقلیمی مندرج در ستون‌های ۱ تا ۵ نشان می‌دهد. این جدول یک طرح شماتیک است که با توجه به آن می‌توان اولویت‌های استفاده از منابع مختلف را بررسی کرد. در این تحقیق مدلی ارائه شده که با رویکرد اقتصادی کاهش هزینه، افزایش سوددهی و کاهش مصرف آب در شرایط اقلیمی و تیپ ساختمانی مختلف در هر شهر ایران استفاده از منابع مختلف را اولویت‌بندی می‌کند. این مدل علاوه بر رویکرد منطقه‌ای (دید وسیع در حد یک شهر)، رویکرد ساختمانی را نیز برای اولویت‌بندی در نظر می‌گیرد و علاوه بر اقلیم منطقه و تیپ ساختمانی، متوسط مقدار بارندگی منطقه مورد نظر نیز در این مدل مدنظر قرار گرفته است.

در شکل‌های ۷ و ۸ نقشه‌ای از اولویت‌بندی استفاده از هریک از منابع تأمین آب با رویکرد کاهش هزینه در اقلیم‌های مختلف مطابق شکل ۱ و تیپ‌های ساختمانی مختلف ارائه شده است. در این نقشه که برای کشور ایران است براساس دو حالت شهرهای مجاور دریا و غیر مجاور دریا طبقه‌بندی شده است. شکل ۷ برای ساختمان‌های تیپ ۱ و شکل ۸ براساس ساختمان‌های تیپ ۲، ۳ و ۴ است.

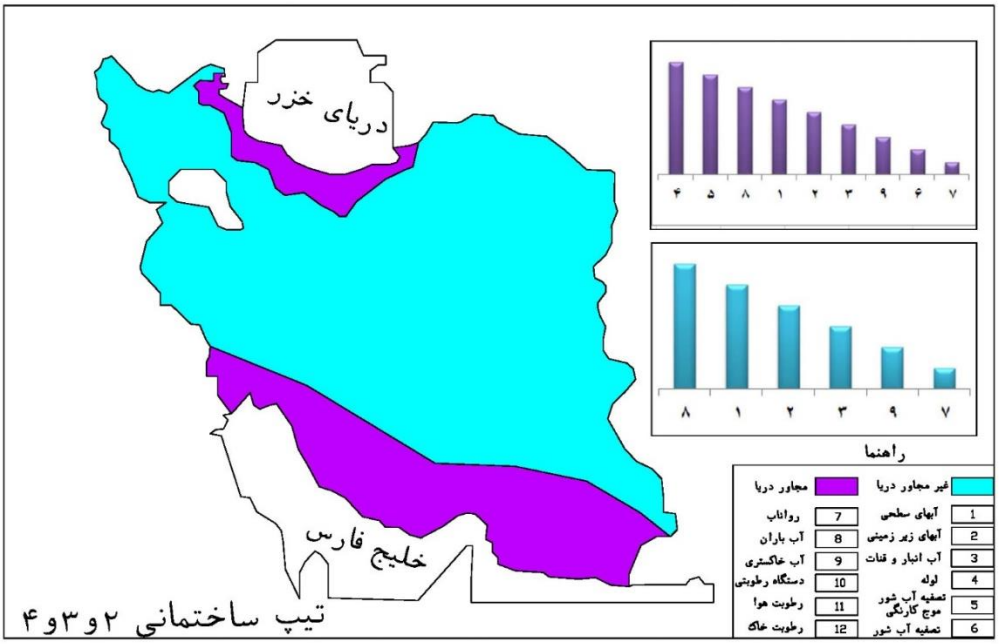
جدول ۵. اولویت‌بندی استفاده از هریک از منابع تأمین آب با رویکرد کاهش هزینه در اقلیم و تیپ‌های ساختمانی مختلف

شماره اقلیم	نام اقلیم کوین گیگر	ویژگی اقلیم	مثال	مجاورت با دریا	تیپ ساختمانی ۱	تیپ ساختمانی ۲	تیپ ساختمانی ۳	تیپ ساختمانی ۴
۱	BWh	بیابان خشک و بسیار گرم	چابهار، بندرعباس، میناب، کنگان، عسلویه، آبادان	✓	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷ ۱۰ ۱۱ ۱۲	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷
۱	BWh	بیابان خشک و بسیار گرم	جنوب تهران، همدان، کرمان، یزد، اراک	×	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷
۲	BWk	بیابان خشک و سرد	خراسان جنوبی، شاهرود، ترشیز، دامنه رشته کوه‌های زاگرس و البرز	×	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷
۳	BSh	نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم	بوشهر، گناوه، دیلم	✓	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷ ۱۰ ۱۱ ۱۲	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷
۳	BSh	نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم	شمال گرگان، خطران، مهران	×	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷
۴	BSk	بیابان خشک و سرد	شمال کرج، خراسان شمالی، شمال تبریز، مرند، جلفا، قوچان، رشته کوه‌های زاگرس و البرز	×	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷
۵	Csa	معتدل با تابستان-های خشک و بسیار گرم	شیراز، کرمانشاه، سیمره، ذهاب، سنندج، مهاباد	×	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷
۶	Csb	معتدل با تابستان-های گرم	بابل، گرگان، قائم شهر	✓	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷ ۱۰ ۱۱ ۱۲	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷
۷	Cfa	معتدل بارانی با تابستان‌های گرم	رشت، لاهیجان، فریدن	✓	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷ ۱۰ ۱۱ ۱۲	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷	۴ ۵ ۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۶ ۷
۸	Dsb	اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم	ارتفاعات بلوچ، ارتفاعات البرز و ارتفاعات سنندج	×	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷	۸ ۱ ۲ ۳ ۹ ۷

1:Surface water/ 2:Groundwater/ 3:Reservoir and aqueduct/ 4:Pipe/ 5:Carnegie Wave Energy/ 6:Salt water treatment (Available)/ 7:Rainwater in the building/ 8:Urban runoff/ 9:Gray water/ 10:humidity (Eole)/ 11:humidity (Warka Water Tower)/ 12:soil moisture



شکل ۸. نقشهٔ اولویت‌بندی استفاده از هریک از منابع تأمین آب با رویکرد کاهش هزینه در اقلیم‌های مختلف براساس ساختمان‌های تیپ ۱



شکل ۹. نقشهٔ اولویت‌بندی استفاده از هریک از منابع تأمین آب با رویکرد کاهش هزینه در اقلیم‌های مختلف براساس ساختمان‌های تیپ ۲، ۳ و ۴

همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای حالت ساختمان تیپ ۱ تمامی ۱۲ منابع تأمین آب در شهرهای مجاور دریا (مانند چابهار، رشت، بابلسر، ساری، گرگانبوشهر، گناوه، لاهیجان و...) در رتبه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما در ساختمان‌های تیپ ۲، ۳ و۴ تنها ۹ روش را می‌توان طبقه بندی کرد، به طوری که روش‌های رطوبتی هیچ صرفهٔ اقتصادی در این نوع تیپ‌های ساختمانی ندارد. در این حالت‌ها استفاده از سیستم‌های تصفیهٔ آب شور تحت عنوان لوله (پروژهٔ شیرین کردن آب دریا) در اولویت قرار می‌گیرد و روش سیستم رطوبتی با عنوان تأمین آب از طریق رطوبت خاک در ساختمان‌های تیپ ۱ و روش تأمین آب از طریق رواناب در ساختمان‌های تیپ ۲، ۳ و ۴ بدترین روش در این اولویت‌بندی قرار دارد، ولی در شهرهای غیر مجاور دریا (مانند ارتفاعات یاسوج، سنندج، تهران، کرج، خراسان، کرمان، شاهرود، زابل، یزد و ...) که معمولاً کمربند میانی کشور را شامل می‌شود، روش تأمین آب از طریق آب باران و جمع‌آوری آن در ساختمان‌ها بهترین آن است که این حالت حتی در ساختمان‌های تیپ ۲، ۳ و ۴ نیز برقرار است. همچنین روش تأمین آب از طریق رواناب جزء بدترین روش‌ها است. در این حالت تنها ۶ روش مطابق شکل‌های ۷ و ۸ در تأمین آب ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

لذا می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که با توجه به دسترسی کشور ایران از جنوب به دریای عمان و خلیج فارس و از شمال به دریای مازندران، نشان‌دهندهٔ منطقه‌ای مناسب برای تأمین آب شرب به روش‌های تصفیهٔ نوین آب شور است. این روش‌ها درست است که با یک هزینهٔ اولیه همراه هستند، ولی در بلندمدت علاوه بر اینکه وارد مرحلهٔ سوددهی می‌شوند موجب کاهش استفادهٔ بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند و این عمل می‌تواند در بسیاری از بخش‌ها از جمله محیط زیست، اکوسیستم‌های طبیعی و رودخانه‌ها کمک شایانی کند.

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج این تحقیق عبارت‌اند از:

- بیشترین هزینهٔ اجرایی برای دستیابی حجم واحد آب، متعلق به روش‌های رطوبتی و کمترین هزینهٔ اجرایی برای دستیابی حجم واحد آب مربوط به روش‌های تصفیهٔ آب شور دریا و اقیانوس با روش‌های نوین بوده که در درازمدت بسیار سودمند هستند و مشکلات بی‌آبی بسیاری از مناطق را می‌توانند حل کنند. این موضوع استقبال بسیاری از کشورها از این روش‌های نوین را نشان می‌دهد. پس از این روش‌ها، با اختلاف کمی،

روش‌های استفاده از آب‌های سطحی، قنات‌ها و آب‌های زیرزمینی کمترین هزینهٔ اجرایی را دارند. این همان دلیلی است که در کشورهای توسعه نیافته مانند ایران استقبال به استفاده از این روش‌ها بیشتر بوده و نتیجهٔ آن کاهش ذخیرهٔ آب زیرزمینی و سدها شده است.

- بیشترین سوددهی اقتصادی بر مبنای قیمت آب معدنی و آب صادراتی در روش‌های نوین تصفیهٔ آب شور بوده و بر مبنای قیمت آب دولتی نیز در روش تأمین آب از طریق آب سطحی و زیرسطحی است. کمترین سوددهی اقتصادی نیز در روش‌های تأمین آب از طریق روش‌های رطوبتی است.
- دورهٔ بازگشت سرمایه در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تأمین آب بر مبنای قیمت آب معدنی، صادراتی و دولتی نیز محاسبه شد. بر مبنای قیمت آب صادراتی همهٔ روش‌ها پس از مدت کوتاهی وارد مرحلهٔ سوددهی می‌شوند. بر مبنای قیمت آب معدنی نیز به جز روش‌های رطوبتی که توجیه اقتصادی ندارند سایر روش‌های تأمین آب درنهایت، تا یک سال وارد مرحلهٔ سوددهی خواهند شد، اما اگر بر مبنای قیمت آب دولتی دورهٔ بازگشت سرمایه مورد بررسی قرار گیرد، علاوه بر روش‌های رطوبتی، برخی روش‌های تصفیهٔ نوین آب شور نیز توجیه اقتصادی ندارد مگر اینکه از آن به عنوان منابع جایگزین برای مصارف غیر شرب استفاده شود.
- دسترسی کشور ایران از جنوب به دریای عمان و خلیج فارس و از شمال به دریای مازندران، نشان‌دهندهٔ منطقه‌ای مناسب برای تأمین آب شرب به روش‌های تصفیهٔ نوین آب شور است. این روش‌ها درست است که با یک هزینهٔ اولیه همراه هستند ولی در بلندمدت علاوه بر اینکه وارد مرحله سوددهی می‌شوند موجب کاهش استفادهٔ بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند.
- در این تحقیق اولویت‌بندی استفاده از هریک از منابع تأمین آب با رویکرد کاهش هزینه در اقلیم و تیپ‌های ساختمانی مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفتند. بالاترین اولویت منابع تأمین آب براساس تیپ‌های ساختمانی مختلف در دستهٔ آب‌های سیستم‌های تصفیهٔ آب شور تحت عنوان لوله (پروژهٔ شیرین کردن آب دریا) در شهرهای مجاور دریا و روش تأمین آب از طریق آب باران و جمع‌آوری آن در ساختمان‌ها در شهرهای غیر مجاور دریا قرار دارد و پایین‌ترین اولویت در این طبقه‌بندی مربوط به دستهٔ سیستم‌های جمع‌آوری آب تحت عنوان تأمین آب از طریق رواناب بوده است.

منابع

[1]. United Nations. The United Nations world water development report 2015: Water for a Sustainable World, 2015; (Vol. 1), Paris: UNESCO Publishing.

[2]. Srinivasan V, Lambin EF, Gorelick SM, Thompson BH, Rozelle, S. The nature and causes of the global water crisis: syndromes from a meta- analysis of coupled human-water studies. Water Resources Research. 2012; 48 (10): W10516.

[3]. Guppy L, Anderson K. Water Crisis Re- port. United Nations University Institute for Water. Environment and Health. Hamilton. Canada: 2017.

[4]. Saleth R, Maria Ariel D. The Institutional Economics of Water: Cross-Country Analysis of Institutions and Performance. The World Bank: 2004.

[5]. Yu HZ, Li LJ, Li JY. Evaluation of water resources carrying capacity in the Beijing-Tianjin-Hebei Region based on quantity-quality-water bodies-flow. Resources Science. 2020; 42(2): 358–371.

[6]. Shurian M. Development of the rationing policy for the use of the Multi Purpose reservoir in the conditions of limited water resources using the MODSIM 8.1 model for the protection of water and soil resources. 2012; version 3. 11-23. [Persian].

[7]. World Bank report on the environmental status of countries. IBRD.IDA. 2015. [Persian].

[8]. Mohammadjani A, Yazdanian N. Analysis of the water crisis situation in the country and its management requirements. Trend Quarterly, issue of the 21st year. 2013; issues 65 and 66. 117-144. [Persian].

[9]. Khabani N, Bagheri S, Bashiripour A. Economic requirements of water resources management. Water and Sewage. 2016; 28(1 (series 107)), 42-56. SID. https://sid.ir/paper/504021/fa. [Persian].

[10]. Das O. WATER CONSERVATION ASPECTS OF GREEN BUILDINGS, International Journal of Research in Engineering and Technology. ICISE. www.ijret.org. 2015; 4(13): 2321-7308.

[11]. Jamali K, Zahraei B. Economic analysis of rainwater harvesting in residential buildings. The 7th National Conference on Rain Catchment Surface Systems. Soil Protection and Watershed Research Institute. Association of rain catchment surface systems, 2017. [Persian].

[12]. Kayani Gh. The role of the market in the optimal allocation of water resources and factors affecting the efficiency of the water market. Water and Sustainable Development. 2015; 3(1): 102-93. [Persian].

[13]. Tahami Pour Z, Yazdani S. The role of economic tools in the integrated management of water resources: a case study of the irrigation water pricing system in the watersheds of western Iran. Economic research and agricultural development of Iran. 2015; 47(3): 556-545. [Persian].

[14]. Adapa S. Bhullar N. Souza SV. A systematic review and agenda for using alternative water sources for consumer markets in Australia. Journal of Cleaner Production. 2016; 124(15): 14–20.

[15]. Mora NH. Moral LD. Developing markets for water reallocation. Revisiting the experience of Spanish water Mercantilización. Geoforum. 2015; 62:143–155.

[16]. Ren W, Bai XU, Wang Yu, Liang Ch, Huang S, Wang Zh, et.al. Analysis of Water Supply-Demand Based on Socioeconomic Efficiency. Hindawi. Journal of Sensors. 2022; Article ID 3438943, 16 pages, Doi /10.1155/2022/3438943.

[17]. Raziei T. Climatic zoning of Iran using the Köppen-Geiger method and the study of the shifting of the country's climatic zones in the 20th century. Earth and space physics. 2016; 43(2): 419-439. doi: 10.22059/jesphys.2017.58916. [Persian].

[18]. Chicharo L. Wegner O. Chicharo M. Lapinska M. Zalewski M. Practical experiments guide for ecohydrology. 1nd ed. Italy: BRESCE; 2009.

[19]. Pourhossein M. Saadi S. Implementation solutions and economic analysis to reduce water and energy consumption in various construction sectors. Journal of water and sustainable development. Ferdowsi Faculty of Mashhad; 2023.