اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۴، تابستان ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.342932.1233

مقاله پژوهشی

توسعه و کاربرد مدل محدودیت سازش هم‌زمان برای تخصیص بهینهٔ منابع آب بین بخش‌های اقتصادی با تأکید بر بخش کشاورزی: مطالعهٔ موردی استان یزد

مجید دهقانی‌زاده[۱]، صادق بختیاری[۲]، سعید دائی کریم‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۳

چکیده

در مطالعهٔ حاضر، در راستای تخصیص بهینه منابع محدود آب بین بخش‌های اقتصادی استان یزد با تاکید بر بخش کشاورزی، از روش محدودیت سازش هم‌زمان استفاده شد و نوآوری آن در مبانی این روش، توسعه مدل با یک محدودیت اضافی (قید اشتغال) بود. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، بر

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
(majeco2003@yahoo.com)

۲- نویسندهٔ مسئول و استاد گروه علوم اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
(bakhtiari_sadegh@yahoo.com)

۳- دانشیار گروه علوم اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
(saeedkarimzade@yahoo.com)

مبنای آب تخصیص‌یافته به بخش‌ها توسط مدل، در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال مبنا، رشد سالانه ۵/۲ درصدی ارزش اقتصادی (به قیمت ثابت) حاصل می‌شود. نسبت تحقق اشتغال به هدف مورد انتظار نیز حدود ۹۸/۸ درصد خواهد بود. با توجه به کاهش آب قابل دسترس که عمده فشار آن نیز متوجه بخش کشاورزی خواهد بود، کارآمدی مدل در توجه مطلوب و هم‌زمان به اهداف چندگانه سبب می‌شود که تخصیص آب به‌گونه‌ای باشد که حتی بخش کشاورزی نیز با رشد سالانه ۰/۴ درصدی ارزش اقتصادی همراه باشد. بر مبنای نتایج مطالعهٔ حاضر، روش محدودیت سازش هم‌زمان از توانایی بالا در سازش بین اهداف و تخصیص بهینه منابع آبی در راستای دستیابی به اهداف در تطابق با واقعیت‌ها برخوردار است. از این‌رو، مدل پیشنهادی تحقیق حاضر می‌تواند در تدوین برنامه‌های بخش آب مد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: *محدودیت آب، بهینه‌سازی، رضایت، بازده اقتصادی، روش وزنی، محدودیت سازش.*

طبقه‌بندی JEL : C61, L95, Q21, Q25

مقدمه

با توجه به عواملی همچون رشد جمعیت، توسعه اقتصادی و تغییر الگوی مصرف، میزان تقاضای جهانی آب با سرعت حدود یک درصد در سال در حال افزایش است (UN-Water, 2018)، به‌گونه‌ای که مصرف جهانی آب طی صد سال گذشته شش برابر شده است. بر اساس پیش‌بینی سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[1]، تقاضای آب در بخش‌های مختلف بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۵۰ در سطح جهانی ۵۵ درصد افزایش می‌یابد؛ در مقابل این تقاضاهای رقابتی، فضای کمی برای افزایش مقدار آب مورد استفاده برای آبیاری وجود خواهد داشت که در حال حاضر، حدود هفتاد درصد کل برداشت آب‌های شیرین را تشکیل می‌دهد (UNESCO, 2020). در ایران نیز بر اساس نتایج طرح جامع آب کشور، در افق ۱۴۲۰، میزان مصرف آب بیش از ۱۰۷ میلیارد مترمکعب خواهد شد که با فرض ثابت ماندن منابع آب تجدیدپذیر (۱۱۶ میلیارد مترمکعب)، حدود ۹۲ درصد از منابع آب تجدیدپذیر مورد استفاده قرار خواهد

1. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

گرفت. البته این برآورد با فرض ثابت بودن میزان مصرف کشاورزی است، در حالی که نیاز این بخش در سال ۱۴۲۰، ۱۱۶ میلیارد مترمکعب برآورد شده است و بدین ترتیب، میزان مصرف از منابع آب تجدیدپذیر به صد درصد خواهد رسید، که شرایط ناپایداری را در کشور رقم خواهد زد (Pourasghar and Ebrahimi, 2018). در واقع، افزایش سریع جمعیت در کنار بهبود استانداردهای زندگی، شهرنشینی و رشد تولید منجر به افزایش تقاضا، رقابت و حتی تضاد در بین بخش‌های مختلف مصرف آب شده است (Babel et al., 2005). ذی‌نفعان عمده منابع آب شامل سه گروه کشاورزی (آبیاری)، نیروگاه برق و مصارف خانگی (داخلی) است. رقابت بین این بخش‌ها، در کنار سایر بخش‌های متقاضی نظیر صنعتی، تفریحی و زیست‌محیطی، باعث فشار مداوم بر منابع محدود آب در دسترس می‌شود، که خود باعث نیاز بیشتر برای بهینه‌سازی راهبردهای تخصیص آب در سراسر جهان می‌شود (Ahmad and Tang, 2016).

بدیهی است که محدودیت منابع آب در مناطق کم‌آب ایران، از جمله استان یزد، سبب کاهش شدیدتر دسترسی بخش‌های اقتصادی به آب مورد نیاز می‌شود. در یزد، میانگین بارش سالانه حدود شصت میلی‌متر است، حال آنکه توان تبخیر نزدیک به چهار متر برآورد شده است (Kaviani Rad, 2016). چنین وضعیتی بیانگر بحران جدی آب در منطقه کویری یزد و اهمیت دوچندان آن از لحاظ پایداری زیست‌بوم و هرگونه توسعه اقتصادی است. در واقع، با توجه به محدودیت عرضه آب در مقابل افزایش روزافزون تقاضای آن در منطقه کم‌آب یزد، توجه هم‌زمان به اهداف اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی در تخصیص منابع آب بین بخش‌های متقاضی یک ضرورت کلیدی به‌شمار می‌رودو از این‌رو تحقیق حاضر بدین موضوع پرداخته است.

در حالت ایده‌آل، باید تخصیص آب، از نظر اقتصادی، کارآمد و از نظر فنی، ممکن و همچنین، از نظر اجتماعی، عادلانه باشد. با این حال، این اهداف غالباً در تضاد با یکدیگرند. در حالی که تخصیص کارآمد اقتصادی تمایل به توزیع آب برای به حداکثر رساندن بازده اقتصادی دارد، از سوی دیگر، تخصیص اجتماعی در تلاش برای تخصیص منصفانه آب بین

بخش‌ها بدون توجه به کارآیی اقتصادی است. بنابراین، نیاز به یک نظام اختصاصی آب وجود دارد که آب را به‌عنوان یک کالای اقتصادی و اجتماعی در نظر گیرد (Babel et al., 2005). در واقع، اگر صرفاً اهداف کارآیی اقتصادی مد نظر قرار گیرد، آب بیشتر به بخش‌هایی تخصیص می‌یابد که کارآیی بیشتری در استفاده از آن دارند (Freire-González et al., 2018)؛ از این‌رو، محدودیت آب می‌تواند باعث کم‌رنگ شدن یا کاهش قابل ملاحظه تولید در بخش یا بخش‌هایی خاص شود، که ممکن است با توجه به شرایط اقتصادی- اجتماعی، واقع‌بینانه و مطلوب نباشد. این وضعیت برای بخشی همچون کشاورزی در منطقه کویری یزد حائز اهمیت است که علاوه بر نقش معیشتی و اقتصادی، عامل اساسی استمرار حیات به‌شمار می‌رود. با کم‌رنگ شدن کشاورزی، پایگاه‌های مقاومت در برابر کویر از بین رفته و حیات جامعه به خطر خواهد افتاد، به‌ویژه آنکه در وضعیت فعلی، علاوه بر کاهش قابل توجه منابع آب در اختیار بخش کشاورزی ناشی از خشکسالی‌ها، فشار بر این بخش برای کاهش مصرف از سوی سایر بخش‌های متقاضی نیز افزایش یافته است.

در این راستا، در تحقیق حاضر، حداکثر بازده اقتصادی مبتنی بر ارزش افزوده به‌عنوان هدف اقتصادی، حداکثر اشتغال قابل انتظار در بخش‌ها به‌عنوان هدف اقتصادی-اجتماعی و حداکثر سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها به‌عنوان هدف تخصیص اجتماعی و منصفانه و با تأکید بر بخش کشاورزی به‌عنوان هدف زیست‌محیطی مد نظر بوده است. بر این اساس، بهره‌گیری از مدل‌های مناسب برای توزیع بهینه منابع آب به‌منظور دستیابی به اهداف یادشده بسیار اهمیت دارد. در این خصوص، توسعه و استفاده از مدل‌های ریاضی که در مورد پیچیدگی مشکلات مختلف مربوط به تخصیص مناسب آب، بینشی خوب به‌دست می‌دهند، ضروری و سازنده است (Babel et al., 2005). امروزه، همگام با تشدید رقابت در بین بخش‌های مصرف‌کننده آب، مدل‌های بهینه‌سازی منابع آب نیز توسعه یافته است که در ادامه، به برخی از تحقیقات مرتبط داخلی و خارجی پرداخته می‌شود.

بابل و همکاران (Babel et al., 2005) یک مدل تخصیص آب یکپارچه تعاملی را برای تخصیص بهینه آب از مخزن ذخیره‌سازی به بخش‌های مختلف، با در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی- اقتصادی، محیطی و فنی توسعه داده‌اند. این مدل شامل سه ماژول عملیات مخزن، تحلیل اقتصادی و تخصیص آب است. دو هدف فردی گنجانده‌شده در این مدل نیز شامل بیشینه‌سازی رضایت و منافع اقتصادی خالص توسط بخش‌های تقاضاست. از روش‌های وزنی و سازش هم‌زمان برای تبدیل مسئله تصمیم‌گیری چندهدفه به یک تابع هدف واحد استفاده شده است. در مطالعهٔ حاضر، مناسب بودن مدل برای شرایط متنوع با یک نمونهٔ فرضی نشان داده شده است. شهرکی و محسنی (Shahraki and Mohseni, 2013)، با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره تعاملی روش مرحله‌ای، به تخصیص بهینه منابع آب در بخش‌های مختلف در شهرستان یزد پرداختند؛ بدین منظور، دو هدف بیشینه‌سازی سود اقتصادی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب و بیشینه‌سازی آبیاری فضای سبز مد نظر قرار گرفته است. با توجه به نتایج این مطالعه، با استفاده از یک برنامه‌ریزی تعاملی (روش مرحله‌ای)، می‌توان مقدار هر دو هدف سود اقتصادی و سود زیست محیطی را نسبت به تخصیص فعلی منابع آب ارتقا داد. اکبری و همکاران (Akbari et al., 2014)، در بررسی حوضهٔ آبریز زاینده‌رود و باتلاق گاوخونی، از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و نظریهٔ بازی‌های همکارانه برای تخصیص بهینه منابع آبی استفاده کردند. هدف از این تحقیق تأمین هم‌زمان بیشترین بهره‌وری اقتصادی و برقراری حداقل شرایط مطلوب تأمین آب برای تالاب بود. تخصیصی که در آن، تأمین حداقل نیاز آبی تالاب برابر با ۱۴۰ میلیون مترمکعب در سال لحاظ شود، ایده‌آل‌ترین رویکرد است. با وجود این، در نتیجهٔ اعمال سناریوهای مختلف با روش تحقیق، سناریویی که حداکثر نیاز ذی‌نفعان را تأمین کند، برتر از سایر رویکردهاست، به‌گونه‌ای که ۸۷/۳ درصد نیاز آبی تالاب برای حفظ شرایط مطلوب آن تأمین شده است. از سوی دیگر، با تخصیص آب به سایر ذی‌نفعان، سود تخصیصی به بخش‌های کشاورزی، صنعت و محیط زیست در این رویکرد بیشترین میزان خود را دارد.

حبیبی داویجانی و همکاران (Habibi Davijani et al., 2016) به بررسی یک الگوی خاص برای تخصیص بین‌بخشی منابع آب به صنعت، کشاورزی و آب شهری در منطقه کویر مرکزی ایران پرداختند؛ و در همین راستا، برای بخش کشاورزی، یک تابع هدف ترکیبی بر اساس توابع تولید هر محصول، مناطق زیر کشت، عملکرد محصول و درآمد به‌دست‌آمده مشخص شده و از آنجا که تقاضای آب تابعی از مقدار محصولات تولیدی، قیمت آب تأمین‌شده و سایر تجهیزات است، تابع تقاضای در بخش صنعت به‌صورت منطقه‌ای تعیین شده و همچنین، مقدار کل آب مورد نیاز بخش شهری به‌طور کامل اختصاص یافته است. سپس، با استفاده از دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات، منابع آب به‌طور بهینه بین آنها تخصیص داده شده است. با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با ایجاد رشد اقتصادی و سود ۵۴ درصدی و افزایش سیزده درصدی اشتغال در ارتباط با شرایط پایه، در این راستا، کارآمدتر بوده است. احمد و تانگ (Ahmad and Tang, 2016) به تعیین مدلی برای تخصیص منابع آب موجود در بین بخش‌های مختلف در حوضه رودخانه هینگول در استان بلوچستان پاکستان پرداختند. الگوریتم اصلی برای تخصیص بهینه منابع آب محدود به بخش‌های مختلف بر اساس برنامه‌ریزی خطی قطعی است. در این مطالعه، برای تبدیل دو هدف منفرد به یک عملکرد چندمنظوره، از دو روش بهینه‌سازی وزن‌دهی و محدودیت سازش هم‌زمان[1] استفاده شد؛ هدف اول، سطح رضایت را در بین بخش‌های مختلف تقاضای آب بهینه می‌کند، در حالی که هدف دوم، منافع اقتصادی خالص را به حداکثر می‌رساند. نتایج نشان داد که ارزش منافع اقتصادی به‌دست‌آمده توسط رویکرد چندهدفی بین دو هدف انفرادی قرار دارد؛ و بنابراین، مزایای مدل اختصاصی آب با استفاده از عملکرد چندهدفی بیشتر است. ژو و همکاران (Xu et al., 2018) یک الگوی بهینه تخصیص آب برای بخش‌های صنعتی منطقه دالیان چین بر اساس محاسبات ردپای آب ارائه کردند. در این مطالعه، ابتدا ردپای آب آبی و خاکستری داخلی و خارجی با استفاده از جدول داده- ستانده بررسی شد و سپس، تنظیم یک

1. Simultaneous Compromise Constraint (SCC)

مدل بهینه‌سازی با هدف حداکثرسازی سود بخش‌های صنعتی مبتنی بر نتایج محاسبات ردپای آب صورت گرفت. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که برنامه تخصیص آب می‌تواند هر دو نیازهای آبی برای ردپای آب آبی و خاکستری بخش‌های صنعتی و اهداف تولیدی آنها را برآورده سازد و از این‌رو، این مدل تخصیص بهینه هم منطقی است و هم برای استفاده پایدار آب در راهبرد مدیریت آینده آب قابل استفاده است. احمد و همکاران (Ahmad et al., 2018) به ارائه یک برنامه خطی چندمنظوره با یک ساختار سلسله‌مراتبی برای تخصیص بهینه منابع آب پرداختند. در این راستا، مدیران تصمیم‌گیرنده در مخزن به‌عنوان تصمیم‌گیرنده سطح بالا در سلسله‌مراتب به کنترل نظام تخصیص آب می‌پردازند و تمایل دارند که بین مصرف‌کنندگان آب تعادل ایجاد کنند؛ از سوی دیگر، هدف بخش‌های رقیب در مصرف آب به‌عنوان تصمیم‌گیرندگان سطح پایین‌تر در سلسله‌مراتب فقط به حداکثر رساندن منافع بخش است. این مسئله بهینه‌سازی با استفاده از روش محدودیت سازش هم‌زمان حل و بین تصمیم‌گیرندگان سطوح بالا و پایین سازش ایجاد می‌کند. الگوی یادشده برای حوضه رودخانه سوات در پاکستان اعمال شد و نتایج نشان داد که مدل بهینه‌سازی، در صورت اعمال در شرایط مختلف با اولویت‌های تعیین‌شده به مصرف‌کنندگان مختلف آب، عملی و کارآمد خواهد بود.

با عنایت به مباحث پیش‌گفته، سؤال اساسی این است که «در شرایط مواجه بودن با محدودیت منابع آبی در استان یزد، چگونه تخصیص مناسب و بهینه آب بین بخش‌ها در راستای دستیابی به اهداف اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی حاصل می‌شود؟». الگوی مد نظر مطالعهٔ حاضر روش محدودیت سازش هم‌زمان (SCC) است که بر اساس بررسی‌های صورت‌گرفته، برای نخستین بار، در سطح مطالعات داخلی از این روش استفاده می‌شود. افزون بر این، نوآوری پژوهش حاضر در مبانی روش یادشده، توسعه مدل با یک محدودیت اضافی (قید اشتغال) است؛ این قید باعث می‌شود که تخصیص آب به‌گونه‌ای باشد تا اشتغال بخش‌ها حداکثر معادل هدف‌گذاری صورت‌پذیرفته انجام و از توجه صرف به بحث کارآیی در ایجاد اشتغال پرهیز شود، بدین مفهوم که در عین حداکثرسازی دو هدف سطح تحقق نیاز آبی و

بازدهی اقتصادی به هدف حداکثر اشتغال قابل انتظار در بخش‌ها نیز توجه می‌شود. مدل مورد نظر برای تخصیص بهینه آب در بین بخش‌های اقتصادی استان یزد در سال ۱۴۰۰ اعمال می‌شود.

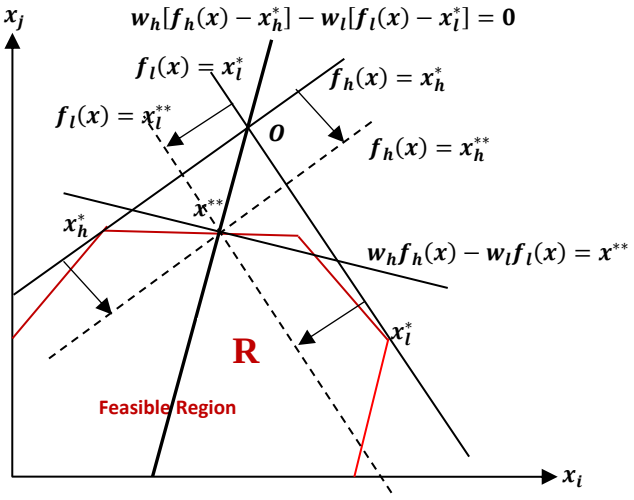
مبانی نظری و روش تحقیق

در تحقیق حاضر، از رویکرد محدودیت سازش هم‌زمان برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در راستای دستیابی به اهداف مورد نظر بهره‌گیری شده است. این روش بر پایه روش محدودیت سازش استوار است و بر مبنای آن، برای یافتن راه حل سازش بین دو هدف، یک محدودیت با عنوان محدودیت سازش به مسئله بهینه‌سازی اضافه می‌شود. محدودیت سازش باعث می‌شود که اهداف، اختلاف وزنی برابر از راه حل بهینه فردی داشته باشند. در پی، توضیح اختصار مبانی روش محدودیت سازش ارائه می‌شود (Adulbhan and Tabucanon, 1977; Babel et al., 2005; Ahmad and Tang, 2016).

با توجه به شکل ۱، اگر R ناحیه شدنی و توابع هدف انفرادی $f_h(x)$ و $f_l(x)$ دارای مقادیر بهینه X_h^* و X_l^* نسبت به ناحیه شدنی باشند، ابتدا محل تقاطع دو تابع هدف $f_h(x)$ و $f_l(x)$ یعنی، نقطه O داخل ناحیه شدنی نیست. چنانچه هر دو تابع به‌طور هم‌زمان کاهش یابند یا به عبارتی، به سمت ناحیه شدنی حرکت کنند، آنگاه رابطهٔ مکان هندسی نقاط تقاطع به‌شکل زیر خواهد بود:

$$\theta_l\{f_h(x) - X_h^*\} - \theta_h\{f_l(x) - X_l^*\} = 0$$

که در آن، θ_l و θ_h نسبت‌هایی است که اندازه های $\{f_l(x) - X_l^*\}$ و $\{f_h(x) - X_h^*\}$ را در تعادل نگه می‌دارد. با حرکت توابع یادشده به سمت ناحیه شدنی، نقطه تقاطع نیز به سمت ناحیه شدنی حرکت می‌کند. مقدار بهینه X^{**} اولین نقطه تقاطع دو تابع هدف در ناحیه شدنی است که حداکثر سازش ممکن ایجاد می‌شود و به‌عنوان حل بهینه به‌شمار می‌رود.

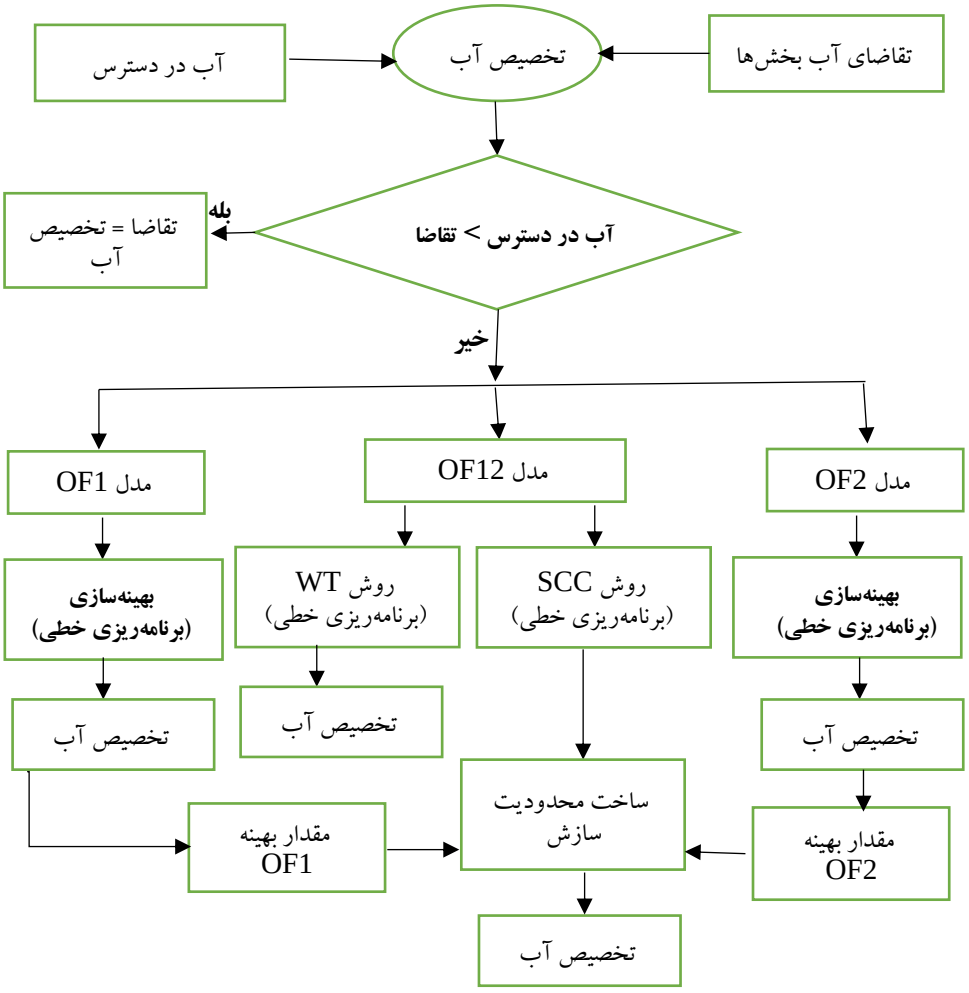


شکل ۱- تصویر هندسی روش محدودیت سازش

مدل بهینه‌سازی

در پژوهش حاضر، مدل تخصیص بهینه آب شامل دو مدل تک‌هدفه و یک مدل چندهدفه (دوهدفه) است (Ahmad et al., 2018; Divakar et al., 2013; Babel et al., 2005). چارچوب مفهومی مدل را می‌توان به‌صورت شکل ۲ سامان‌دهی کرد. در این چارچوب، توابع هدف[1] مورد نظر به‌شرح زیر است:

1. Objective Function (OG)



شکل ۲- مدل مفهومی فرآیند تخصیص منابع آب

الف- حداکثرسازی سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها (رضایت[1])، که به‌صورت آب تخصیص‌یافته به بخش نسبت به تقاضای واقعی آن در قالب رابطه (۱) سنجیده می‌شود:

$$\max OF1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{S_i}{Dn_i} \qquad (۱)$$

1. satisfaction

که در آن، S_i آب تخصیص‌یافته به بخش i، Dn_i تقاضای واقعی آب در بخش i، n تعداد بخش متقاضی آب و OF1 بین صفر و یک است.

ب- حداکثرسازی بازدهی اقتصادی بخش‌ها، که به‌صورت مجموع ارزش اقتصادی به‌دست‌آمده نسبت به حداکثر ارزش اقتصادی قابل دستیابی در قالب رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$\max OF2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i * ER_i}{AW * ER_{max}} \quad (۲)$$

که در آن، ER_i بازده اقتصادی به ازای هر واحد حجم آب در بخش i (میلیون ریال به مترمکعب)، ER_{max} حداکثر بازده اقتصادی در میان بخش‌ها، AW آب در دسترس (مترمکعب) و OF2 بین صفر و یک است.

ج- تابع ترکیبی حداکثرسازی هم‌زمان سطح تحقق نیاز آبی و بازدهی اقتصادی بخش‌ها:

$$OF12 = w_1 * OF1 + w_2 * OF2 \quad (۳)$$

این تابع هدف برای روش محدودیت سازش هم‌زمان (SCC) به‌صورت مجموع وزنی دو تابع هدف ۱ و ۲ منهای مجموع متغیرهای انحراف تعریف می‌شود. σ_{12}^- و σ_{12}^+ انحرافات منفی و مثبت از ارزش صفر[1] فرض‌شده (برای حل ایده‌آل) از محدودیت سازش بین دو هدف ۱ و ۲ است. حل ایده‌آل زمانی حاصل می‌شود که هر دو σ_{12}^- و σ_{12}^+ صفر باشند. بنابراین، باید $\sigma_{12}^- + \sigma_{12}^+$ حداقل شود. در واقع، تفاوت اساسی روش ترکیب وزنی[2] یعنی، رابطه (۳) با روش محدودیت سازش یعنی، رابطه (۴) در وجود قید محدودیت سازش با وجود متغیرهای انحراف یعنی، رابطه (۸) است که توابع انفرادی را مجبور به سازش و ارائه نقطه تعادلی بهینه می‌کند. در این روابط، بدیهی است که $w_1 + w_2 = 1$.

با این اوصاف، مدل چندهدفه مورد نظر برای تخصیص بهینه آب در بین بخش‌های اقتصادی استان یزد در سال ۱۴۰۰ بر مبنای روش محدودیت سازش هم‌زمان به شرح زیر است:

$$\max OF12 = \{w_1 * OF1 + w_2 * OF2 - (\sigma_{12}^- + \sigma_{12}^+)\} \quad (۴)$$

1. zero value
2. Weighting Technique (WT)

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{n} S_i \leq AW \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n} S_i \leq \sum_{i=1}^{n} Dn_i \quad (۶)$$

$$Dm_i \leq S_i \leq Dn_i \quad (۷)$$

$$w_1\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{S_i}{Dn_i} - OF1\right) - w_2\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} S_i * ER_i}{AW * ER_{max}} - OF2\right) + (\sigma_{12}^{-} - \sigma_{12}^{+}) = 0 \quad (۸)$$

$$S_i * l_i \leq L_i \quad (۹)$$

$$S_i, Dn_i, Dm_i \geq 0 \quad (۱۰)$$

که در این روابط، Dm_i حداقل تقاضا در هر بخش به‌صورت درصدی از تقاضای واقعی بخش (Dn_i)، l_i نسبت اشتغال به ازای هر واحد حجم آب در بخش i (نفر به مترمکعب) و L_i تعداد اشتغال مورد انتظار در بخش در سال هدف است. تعاریف سایر نمادها و علائم به همان صورت قبلی است. روابط (۵) تا (۷)، به‌ترتیب، مرتبط با محدودیت دسترسی به آب، محدودیت عرضه آب و محدودیت تقاضای آب و رابطه (۸) محدودیت سازش بین دو هدف به‌عنوان وجه تمایز روش یادشده با روش‌های ترکیبی است. محدودیت (۹) مرتبط با مبحث و هدف اشتغال است که با توجه به اهمیت موضوع، در تحقیق حاضر، به مدل اضافه شده و به‌عنوان وجه تمایز و نوآوری مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعات خارجی مشابه محسوب می‌شود. این محدودیت در پی آن است که هدف اشتغال بخش‌ها در چارچوب اهداف برنامه ششم توسعه مد نظر قرار گیرد و در عین حال، تنها کارآیی بخش‌ها در ایجاد اشتغال ملاک عمل نباشد. این موضوع در بخش نتایج بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. l_i با استفاده از داده‌های سال پایه به‌دست می‌آید و فرض می‌شود که در سال هدف نیز به همین صورت خواهد بود. مقادیر L_i نیز بر پایه اشتغال سال پایه و مقادیر هدف برنامه برای سال ۱۴۰۰ محاسبه می‌شود.

دو مدل تک‌هدفه نیز بدین ترتیب ساخته می‌شود که برای هدف حداکثرسازی سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها در قالب رابطه (۱) به‌عنوان تابع هدف و روابط (۵) تا (۷)، (۹) و (۱۰) به‌عنوان محدودیت و برای هدف حداکثرسازی بازدهی اقتصادی بخش‌ها در قالب رابطه (۲) به‌عنوان تابع هدف و همان روابط (۵) تا (۷)، (۹) و (۱۰) به‌عنوان محدودیت مد نظر خواهند بود. شایان یادآوری است که محدودیت (۸) ویژه مدل چندهدفه محدودیت سازش هم‌زمان است. ماهیت مدل تک‌هدفه OF1 به‌گونه‌ای است که آب، به‌ترتیب، به بخش‌ها با کمترین سطح تقاضا تخصیص می‌یابد، که ممکن است بسته به حجم آب در اختیار، به بخش‌هایی اصلاً آبی تخصیص نیابد و یا تنها قسمتی از آن محقق شود. در مدل OF2 نیز آب، به‌ترتیب، به بخش‌های دارای بازده اقتصادی بیشتر تخصیص داده خواهد شد. بدیهی است که اهداف عدالت به‌ویژه تخصیص منصفانه آب در بین بخش‌ها ممکن است با اهداف کارآیی سازگار باشد یا نباشد (Babel et al., 2005). مدل محدودیت سازش هم‌زمان توانایی لازم برای ایجاد سازش بین اهداف یادشده را دارد.

در تحقیق حاضر، برای محاسبه میزان تقاضای آب در بخش‌ها (Dn_i)، از رابطه زیر استفاده می‌شود (Mubakoa et al., 2013; Freire-González et al., 2018):

$$\mathbf{W} = \hat{\mathbf{w}}^{*}\mathbf{X} \qquad (۱۱)$$

که در آن، W بردار مصرف آب، X بردار ارزش تولیدات و $\hat{w}^{*}$ ماتریس قطری ضرایب آب به‌صورت نسبت مصرف آب به ارزش تولید بخش است. در این راستا، برای محاسبه آب مورد نیاز بخش‌ها در سال ۱۴۰۰، به ارزش تولید بخش‌ها در سال هدف و ضرایب مصرف آب نیاز است. در برآورد ارزش تولید برای سال هدف، فرض می‌شود که ارقام سال مبنا معادل اهداف برنامه ششم رشد خواهد کرد. با توجه به نوسان‌های سطح تولید و وجود نوسان‌های قیمتی در آمار مرتبط با ارزش تولید (ستانده) در حساب‌های منطقه‌ای مرکز آمار ایران که مأخذ محاسبه ارزش تولید بخش‌های اقتصادی استان در تحقیق حاضر بوده، دو اقدام صورت گرفته است، نخست اینکه میانگین ارزش ستانده دوره پنج‌ساله منتهی به سال ۱۳۹۴ (جدیدترین داده‌های منتشره حساب‌های

منطقه‌ای) به‌جای یک سال خاص به‌عنوان سال مبنا مد نظر قرار گرفته و دیگر آنکه مقادیر ستانده به قیمت جاری با استفاده از شاخص ضمنی قیمت به قیمت ثابت تبدیل شده است؛ روش کار بدین صورت است که با بررسی‌های متعدد صورت‌گرفته، متناسب‌ترین شاخص قیمت با بهره‌گیری از داده‌های حساب‌های ملی مرکز آمار ایران حاصل می‌شود، بدین ترتیب که ستانده بخش‌های مختلف در دوره ۹۴-۱۳۹۰ به قیمت‌های جاری و ثابت (به قیمت سال پایه ۱۳۹۰) در دسترس است (SCI, 2020a). بر این اساس، می‌توان از طریق تقسیم متغیرها (به قیمت جاری) بر متغیرها (به قیمت ثابت)، به شاخص ضمنی قیمت دست یافت (Khoshakhlagh and Dehghanizadeh, 2006). به دیگر سخن، شاخص ضمنی قیمت هر کدام از بخش‌های اقتصادی به‌صورت نسبت ستانده (به قیمت جاری) به ستانده (به قیمت ثابت) محاسبه و بر اساس رابطه زیر، ستانده بخش‌های استان به قیمت ثابت تبدیل می‌شود.

$$X_{ijR}^{r} = X_{ijN}^{r} / \left(\frac{X_{ijN}^{n}}{X_{ijR}^{n}}\right) \qquad (۱۲)$$

که در آن، X_{ijR}^{r} ارزش ستانده بخش iام استان به قیمت ثابت در سال j، X_{ijN}^{r} ارزش ستانده بخش iام استان به قیمت جاری در سال j و X_{ijR}^{n} و X_{ijN}^{n}، به‌ترتیب، اقلام مشابه کشوری است. حال، با وجود بردار تولید و ضرایب مصرف آب (که معادل ضرایب سال مبنا فرض می‌شود)، تقاضای آب بخش‌ها قابل محاسبه خواهد بود.

آب قابل دسترس (AW) شامل چاه، چشمه، قنات و آب انتقالی برای فعالیت‌های اقتصادی استان یزد مبتنی بر برنامه سازگاری با کم‌آبی استان و نیز نظرات کارشناسان حوزه آب استان در افق برنامه حداکثر حدود ۸۵۰ میلیون مترمکعب خواهد بود (RWC, 2018). همچنین، در تحقیق حاضر، برای محاسبه بازده اقتصادی (ER_i) به ازای هر واحد حجم آب در بخش i (میلیون ریال به مترمکعب)، از ارقام ارزش افزوده بخش‌ها مندرج در حساب‌های منطقه‌ای مرکز آمار ایران استفاده می‌شود. ارزش افزوده نیز به‌صورت ارزش ستانده ناخالص منهای

ارزش مصارف واسطه‌ای مورد استفاده در تولید تعریف می‌شود[1]. نسبت ارزش افزوده به میزان آب مصرفی در هر بخش به‌عنوان بازده بخش مد نظر خواهد بود (Ahmad and Tang, 2016). همانند قبل، برای دقیق‌تر شدن داده‌های مورد استفاده در محاسبه بازده اقتصادی بخش‌ها، میانگین ارزش افزوده دوره پنج‌ساله منتهی به سال ۱۳۹۴ مد نظر قرار گرفته و مقادیر ارزش افزوده به قیمت جاری با استفاده از شاخص ضمنی قیمت مرتبط و در قالب رابطه مشابه رابطه (۱۲) به قیمت ثابت تبدیل شده است. فرض می‌شود که برای سال ۱۴۰۰، بازده بخش‌ها معادل رشد اهداف بهره‌وری در برنامه ششم نسبت به سال مبنا رشد خواهد کرد. شایان یادآوری است که سال ۱۳۹۴ به‌عنوان سال مبنا مد نظر خواهد بود، زیرا آخرین اطلاعات حساب‌های منطقه‌ای که داده‌های تولید (ستانده) و ارزش افزوده از آن حاصل می‌شود، در زمان انجام تحقیق، مربوط به همین سال است. اطلاعات مرتبط با سطح مصرف آب بخش‌ها در سال مبنا نیز از اطلاعات سالنامه آماری استان یزد و نیز دستگاه‌های اجرایی از جمله شرکت آب منطقه‌ای جمع‌آوری شده است. بخش‌های اقتصادی متقاضی آب در تحقیق حاضر شامل شش بخش کشاورزی (زراعت، باغداری، دام و طیور و جنگل‌داری و منابع طبیعی)، معدن (استخراج معدن)، صنعت (صنعت ساخت)، برق و گاز (تأمین و تولید برق و گاز)، ساختمان و خدمات (از جمله فعالیت‌های هتل، رستوران و گردشگری، اداره امور عمومی، خدمات شهری، اداری و خدمات پشتیبانی، آموزش و بهداشت) منطبق بر طبقه‌بندی آیسیک مندرج در نتایج حساب‌های منطقه‌ای مرکز آمار ایران (SCI, 2020b) است. نکته حائز اهمیت این است که در مطالعه حاضر، بخش کشاورزی فعالیت‌های جنگل‌داری و منابع طبیعی را نیز شامل می‌شود که از لحاظ حفظ و بهبود شرایط زیست‌محیطی و استمرار حیات در سکونتگاه‌های این منطقه، به‌عنوان پایگاه‌های مقاومت در برابر کویر، عامل حیاتی به‌شمار می‌رود.

مدل «محدودیت سازش هم‌زمان با وجود قید اشتغال» برای استان یزد و در چند سناریوی مختلف بر اساس وزن‌های مختلف برای اهداف OF1 و OF2 و نیز برخی از

۱- برای آشنایی بیشتر با مفاهیم ستانده، مصرف واسطه و ارزش افزوده، به سامانه مفاهیم آماری مرکز آمار ایران مراجعه شود.

حداقل‌های آب مورد نیاز بخش‌ها اجرا می‌شود. حداقل تقاضا در هر بخش (Dm_i) درصدی از تقاضای واقعی بخش (Dn_i) است که در مدل، ابتدا حداقل تقاضا برآورد می‌شود و سپس، آب باقی‌مانده با توجه به اهداف و محدودیت‌های مدل به بخش‌ها تخصیص می‌یابد. وزن‌ها و نیز حداقل تقاضاها می‌تواند حسب نظر برنامه‌ریزان تغییر کند که از جمله مزایای مهم مدل محدودیت سازش هم‌زمان محسوب می‌شود. شایان یادآوری است که وقتی یکی از وزن‌ها صفر می‌شود، محدودیت سازش در قالب رابطه (۸) که اهداف را مجبور می‌کند با یک ترکیب وزنی از راه حل های بهینه انفرادی متفاوت باشند، لغو و ماهیت روش SCC متوقف می‌شود.

نتایج و بحث

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، تخصیص آب در مدل OF1 از طریق حداکثرسازی سطح تحقق نیاز آبی و در مدل OF2 از طریق حداکثرسازی بازده اقتصادی صورت می‌پذیرد. بدیهی است که در عین مهم بودن هر دو هدف، گاه ممکن است این اهداف متضاد باشند. در این راستا، مدل محدودیت سازش هم‌زمان، برای ایجاد سازش بین اهداف یادشده مد نظر قرار می‌گیرد. علاوه بر این، قید اشتغال با هدف حداکثرسازی اشتغال قابل انتظار به مدل اضافه می‌شود که بر کارکرد مدل‌های تک‌هدفه و ترکیبی تأثیر می‌گذارد. از این‌رو، هدف مد نظر مطالعه حاضر تخصیص بهینه منابع آب بین بخش‌های اقتصادی استان یزد در راستای دستیابی به اهداف یادشده مبتنی بر رویکرد محدودیت سازش هم‌زمان با لحاظ قید اشتغال است.

همچنین، برای ارزیابی بهتر کارکرد مدل، سه سناریو مد نظر خواهد بود. این سناریوها بسته به نیاز و سیاست‌های مد نظر در منطقه مورد بررسی می‌تواند با لحاظ هر سطحی از حداقل تقاضا برای هر تعداد از بخش‌ها طراحی شود، که البته مدل را کاملاً منعطف و کاربرپسند می‌سازد. در سناریوی اول، حداقل تقاضا برای کلیه بخش‌ها صفر لحاظ می‌شود، بدین مفهوم که فرض می‌شود در هیچ‌کدام از بخش‌ها نیازی به تخصیص حجم مشخص آب خارج از مدل نیست و کل آب در دسترس بر مبنای مدل و محدودیت‌های آن توزیع می‌شود؛ در سناریوی

دوم، حداقل تقاضا برای بخش کشاورزی معادل هشت‌صد میلیون مترمکعب و برای سایر بخش‌ها معادل بیست درصد تقاضای آنها و سرانجام، در سناریوی سوم، حداقل تقاضا برای بخش کشاورزی معادل ۷۸۰ میلیون مترمکعب و برای سایر بخش‌ها معادل پنجاه درصد تقاضا در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، در دو سناریوی دوم و سوم، ابتدا حداقل‌ها برای بخش‌ها کنار گذاشته می‌شود و سپس، توزیع باقی‌ماندهٔ آب با توجه به مدل صورت می‌گیرد.

اطلاعات میزان تقاضای برآوردی آب در بخش‌ها در سال ۱۴۰۰ به‌همراه بازده اقتصادی و نسبت اشتغال آنها به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در جدول ۱ آمده است. بخش کشاورزی دارای بالاترین میزان تقاضا و کمترین بازده اقتصادی و حتی نیروی کار در بین بخش‌هاست، که البته با توجه به عوامل مختلف نظیر بهره حداقلی از سامانه‌های نوین آبیاری و نظام‌های بهره‌برداری پیشرفته و نیز خرده‌مالکی و کوچک‌مقیاسی اراضی کشاورزی، بدیهی است که بخش کشاورزی در چنین وضعیتی باشد. اما نتیجه این وضعیت باعث می‌شود که مبتنی بر مبانی مدل‌های پایه (بدون محدودیت اشتغال)، در مدل OF1 با توجه به میزان تقاضا، به‌ترتیب، ابتدا آب مورد نیاز بخش‌های ساختمان، برق و گاز، معدن، خدمات، صنعت و در انتها، آب بخش کشاورزی و در مدل OF2 نیز بر اساس بازده اقتصادی، به‌ترتیب، ابتدا آب مورد نیاز بخش‌های ساختمان، خدمات، معدن، برق و گاز، صنعت و در انتها، آب بخش کشاورزی تخصیص داده شود. از این‌رو، با توجه به سطح تقاضا و بازدهی اقتصادی کشاورزی، در هر دو مدل تک‌هدفه و نیز مدل‌های ترکیبی بر مبنای روش وزنی و محدودیت سازش هم‌زمان (با هر ترکیب وزنی)، ابتدا آب مورد نیاز همه بخش‌ها به‌صورت کامل تخصیص می‌یابد و آب باقی‌مانده در اختیار بخش کشاورزی قرار می‌گیرد. اما با اضافه کردن محدودیت اشتغال در قالب رابطه (۹) در مدل، میزان تخصیص آب به بخش‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مطابق نتایج جدول ۲، در حالت عدم وجود محدودیت اشتغال، با توجه به تخصیص کامل آب مورد نیاز در پنج بخش به‌جز کشاورزی، تنها حدود ۵۱/۸ درصد آب مورد نیاز کشاورزی تأمین می‌شود. بالا بودن نسبی بازده نیروی کار در بخش‌های یادشده به‌ویژه ساختمان، خدمات و

صنعت سبب می‌شود که حجم بالایی از اشتغال بدین بخش‌ها اختصاص یابد، که البته منطبق بر واقعیات نیست، چراکه به فرض امکان تأمین آب مورد نیاز آنها، شرایط برای توسعه فعالیت‌ها و ایجاد اشتغال در ابعاد یادشده در محدوده زمانی مورد نظر وجود نخواهد داشت؛ اما در شرایط وجود محدودیت اشتغال (مدل تحقیق حاضر)، قید یادشده باعث می‌شود که تخصیص آب به‌گونه‌ای باشد که اشتغال بخش‌ها حداکثر معادل هدف‌گذاری مورد نظر (در اینجا، اهداف برنامه ششم توسعه) صورت پذیرد، که امکان تحقق آن با توجه به شرایط موجود به‌مراتب بیش از حالت قبلی بوده و از توجه صرف به بحث کارآیی در ایجاد اشتغال پرهیز شده است. از سوی دیگر، این وضعیت باعث می‌شود که حدود ۱/۵ درصد (معادل **۲۳** میلیون مترمکعب) آب بیشتر در اختیار بخش کشاورزی قرار گیرد که با توجه به نقش اساسی آن در مباحث حفظ و بهبود شرایط زیست‌محیطی، بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

جدول ۱- تقاضای آب، بازده اقتصادی و بازده نیروی کار در واحد آب مصرفی در بخش‌های مختلف اقتصادی

بخش	تقاضای آب (میلیون متر مکعب)	بازده اقتصادی (میلیون ریال به ازای هر مترمکعب)	بازده نیروی کار (نفر اشتغال به ازای هر مترمکعب)
کشاورزی	۱۴۴۲/۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۰۳
معدن	۱۲/۱	۲/۱۳۲	۰/۰۰۱۶۳
صنعت	۵۱/۱	۰/۸۲۹	۰/۰۰۲۶۴
برق و گاز	۴/۶	۱/۳۴۲	۰/۰۰۱۸۶
ساختمان	۱/۵	۵/۰۰۳	۰/۰۴۷۴۶
خدمات	۳۳/۹	۲/۲۹۶	۰/۰۰۵۵۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲- مقایسه نتایج اجرای مدل در سناریوی اول در حالت وجود و عدم وجود محدودیت اشتغال

بخش	عدم وجود محدودیت اشتغال در مدل				وجود محدودیت اشتغال در مدل		
	آب تخصیصی در سال مبنا (میلیون متر مکعب)	آب تخصیصی در سال هدف (میلیون مترمکعب)	تحقق نیاز آبی (درصد)	اشتغال برآوردی (نفر)	آب تخصیصی در سال هدف (میلیون متر مکعب)	تحقق نیاز آبی (درصد)	اشتغال برآوردی (نفر)
کشاورزی	۹۰۹	۷۴۶/۸	۵۱/۸	۲۳۸۲۵	۷۶۹/۵	۵۳/۳	۲۴۵۵۰
معدن	۷/۳	۱۲/۱	۱۰۰/۰	۱۹۷۵۵	۸/۷	۷۱/۴	۱۴۱۶۵
صنعت	۳۰	۵۱/۱	۱۰۰/۰	۱۳۴۸۳۳	۳۴/۳	۶۷/۱	۹۰۵۷۵
برق و گاز	۲/۷	۴/۶	۱۰۰/۰	۸۵۵۰	۳/۴	۷۴/۸	۶۳۶۳
ساختمان	۱	۱/۵	۱۰۰/۰	۷۱۱۹۰	۱/۱	۷۴/۸	۵۱۷۸۹
خدمات	۲۴/۱	۳۳/۹	۱۰۰/۰	۱۸۶۵۷۸	۳۳/۰	۹۷/۳	۱۸۱۵۳۶
کل	۹۷۴/۱	۸۵۰	۵۵/۰	۴۴۴۷۳۱	۸۵۰	۵۵/۰	۳۶۸۹۷۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از اجرای مدل تحقیق حاضر (مدل با وجود محدودیت اشتغال) در قالب سناریوی اول، با فرض اینکه هیچ حداقل تقاضایی برای هیچ بخشی مد نظر نباشد، در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، با وجود قید اشتغال، تخصیص آب تحت تأثیر حداکثرسازی سطح تحقق نیاز آبی در مدل OF1، بازدهی اقتصادی در مدل OF2 و حداکثر اشتغال قابل انتظار در بخش‌ها خواهد بود. وضعیت داده‌ها در مطالعه حاضر به‌گونه‌ای است که در سناریوی اول، نتایج در هر دو مدل انفرادی و در نتیجه، در مدل ترکیبی بر مبنای روش وزنی و نیز محدودیت سازش هم‌زمان با هر ترکیب وزنی، یکسان خواهد بود. مطابق نتایج، بر مبنای آب تخصیص‌یافته به بخش‌ها و با توجه به بازده اقتصادی آنها، در مجموع، در سال ۱۴۰۰، حدود ۱۴۲ هزار میلیارد ریال ارزش اقتصادی به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ در استان حاصل

می‌شود که رشد سالانه ۵/۲ درصدی در سال هدف نسبت به سال مبنا را نشان می‌دهد. در این وضعیت، حتی بخش کشاورزی نیز دارای رشد مثبت سالانه حدود ۰/۴ درصد است که در حالت عدم وجود محدودیت اشتغال، این رشد منفی خواهد بود. همان‌گونه که از اطلاعات جدول ۲ مشخص است، با توجه به کاهش آب قابل دسترس در سطح ۸۵۰ میلیون مترمکعب، آب در اختیار بخش کشاورزی حتی نسبت به رقم سال مبنا نیز به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد که به تبع آن، ارزش تولید بخش (به قیمت ثابت سال پایه) هم با محدودیت و حتی کاهش روبه‌رو خواهد شد. به لحاظ اشتغال نیز، نسبت تحقق اشتغال به هدف مورد انتظار در پنج بخش به‌جز بخش کشاورزی، صد درصد و در بخش کشاورزی، حدود ۸۴ درصد و در مجموع، در کل نظام اقتصادی، حدود ۹۸/۸ درصد خواهد بود.

واقعیت آن است که در وضعیت فعلی، بخش کشاورزی در استان یزد، علی‌رغم اینکه بر اثر خشکسالی‌ها، بخش قابل توجهی از منابع آبی در اختیار خود را از دست داده، با این استدلال که ارزش افزوده و اشتغال آن در قیاس با سایر بخش‌ها کمتر است، با فشارهای روزافزون برای کاهش مصرف آب و تخصیص بخش دیگری از آب در اختیار به سایر بخش‌ها مواجه است. در این راستا، کمتر به ابعاد زیست‌محیطی و نقش اجتماعی این بخش توجه می‌شود. اما با توجه بدین موضوع، مدل تحقیق حاضر تخصیص‌ها را به‌گونه‌ای تعیین کرده است که مطابق نتایج مندرج در جدول ۲، از تخصیص کامل سایر بخش‌ها کاسته و با توجه توأمان به اهداف بازدهی اقتصادی، نیاز بخش‌ها و اشتغال و در راستای کمک به بخش کشاورزی، تعدیل صورت پذیرفته است. بدیهی است که چنانچه سطح تقاضای بخش‌های پنج‌گانه از مقادیر فعلی نیز بالاتر می‌بود، در هر دو مدل OF1 و OF2 (در حالت بدون محدودیت اشتغال)، ابتدا آب مورد نیاز بخش‌های یاد شده تخصیص می‌یافت و سپس، آب باقی‌مانده در اختیار بخش کشاورزی قرار می‌گرفت. همچنین، هرچه کل حجم آب در دسترس نیز کمتر باشد، فشارها با اولویت بیشتر بر بخش کشاورزی متمرکز خواهد شد. اما با وجود قید

اشتغال در مدل، اهداف چندگانه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌گونه‌ای مطلوب‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. از این‌رو، اهمیت مدل تحقیق بارزتر می‌شود.

جدول ۳- نتایج اجرای مدل در سناریوی اول

بخش	میزان آب تخصیصی (میلیون متر مکعب)	تحقق نیاز آبی (درصد)	ارزش اقتصادی برآورد شده به قیمت ثابت (میلیارد ریال)	رشد سالیانه ارزش اقتصادی نسبت به سال مبنا (درصد)	اشتغال برآوردی (نفر)	نسبت تحقق اشتغال به هدف مورد انتظار (درصد)
کشاورزی	۷۶۹/۵	۵۳/۳	۹۲۴۲	۰/۴	۲۴۵۵۰	۸۴/۲
معدن	۸/۷	۷۱/۴	۱۸۵۰۲	۵/۳	۱۴۱۶۵	۱۰۰/۰
صنعت	۳۴/۳	۶۷/۱	۲۸۴۶۹	۴/۳	۹۰۵۷۵	۱۰۰/۰
برق و گاز	۳/۴	۷۴/۸	۴۵۹۵	۵/۹	۶۳۶۳	۱۰۰/۰
ساختمان	۱/۱	۷۴/۸	۵۴۶۰	۵/۳	۵۱۷۸۹	۱۰۰/۰
خدمات	۳۳/۰	۹۷/۳	۷۵۷۱۷	۶/۲	۱۸۱۵۳۶	۱۰۰/۰
کل	۸۵۰	۵۵/۰	۱۴۱۹۸۵	۵/۲	۳۶۸۹۷۸	۹۸/۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

اکنون، برای بررسی بهتر کارکرد مدل محدودیت سازش هم‌زمان در تخصیص منابع آبی محدود بین بخش‌های متقاضی، تحلیل سناریوهای دوم و سوم و نتایج آن انجام می‌شود. در این سناریوها، با توجه به نیاز و اهمیت بخش کشاورزی، مقدار معینی آب به‌عنوان حداقل تقاضا لحاظ شده است. در سناریوی دوم، حداقل تقاضا برای بخش کشاورزی معادل هشت‌صد میلیون مترمکعب و برای سایر بخش‌ها معادل بیست درصد کل تقاضای آنها و در سناریوی سوم، حداقل تقاضا برای بخش کشاورزی معادل ۷۸۰ میلیون مترمکعب و برای سایر بخش‌ها، معادل پنجاه درصد تقاضای آنها در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این دو سناریو در جداول ۴ تا ۷ ارائه شده است. جداول ۴ و ۶، به‌ترتیب، سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها در سناریوهای دوم و

سوم به تفکیک اهداف انفرادی و ترکیبی را نشان می‌دهند؛ و جداول ۵ و ۷ نیز نمایانگر سطح کلی ارزش اقتصادی و اشتغال ایجادشده در نظام اقتصادی استان مبتنی بر تخصیص آب صورت‌گرفته در سناریوهای دوم و سوم است.

در توضیح ارقام مربوط به سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها (جداول ۴ و ۶)، می‌توان گفت که برای نمونه، در سناریوی دوم، با توجه به حداقل تقاضا، در تمام مدل‌های انفرادی و ترکیبی، ابتدا هشت‌صد میلیون مترمکعب برای بخش کشاورزی، ۲/۴ برای بخش معدن، ۱۰/۲ برای بخش صنعت، ۰/۹ برای بخش برق و گاز، ۰/۳ برای بخش ساختمان و ۶/۸ میلیون مترمکعب برای بخش خدمات کنار گذاشته می‌شود و سپس، مقدار ۲۹/۴ میلیون مترمکعب آب باقی‌مانده در هر مدل با توجه به هدف و محدودیت‌ها تخصیص می‌یابد. جمع تخصیص اولیه ناشی از حداقل تقاضا و تخصیص حاصل از مدل نشان‌دهندهٔ کل تخصیص هر بخش است. درصد تحقق نیاز آبی به‌صورت نسبت تخصیص به تقاضا در هر بخش در جدول ۴ آمده است. برای نمونه، برای بخش‌های کشاورزی و صنعت به‌دلیل تقاضای بالا و بازدهی پایین (در مقایسه با سایر بخش‌ها)، غیر از حداقل یادشده، سهمی از آب باقی‌مانده که توسط مدل توزیع می‌شود، تعلق نمی‌گیرد. البته شایان یادآوری است که تخصیص‌ها در هر کدام از مدل‌ها کاملاً تحت تأثیر قید اشتغال خواهد بود، چنان‌که برای نمونه، در همین سناریوی دوم، اگر قید اشتغال نبود، در مدل OF1، آب باقی‌مانده بر اساس کمترین سطح تقاضا، به‌ترتیب، به بخش‌های ساختمان، برق و گاز، معدن و خدمات تخصیص می‌یافت و درصد تحقق نیاز آبی سه بخش ساختمان، برق و گاز و معدن برابر با صد و خدمات برابر با ۶۳/۷ درصد می‌شد؛ و تقاضای بخش‌های کشاورزی و صنعت نیز در همان سطح حداقلی باقی می‌ماند.

بر پایهٔ نتایج به‌دست‌آمده در هر دو سناریو، در مدل OF2، میزان ارزش اقتصادی و اشتغال به‌دست‌آمده از مقادیر مشابه در مدل OF1 بیشتر است، که متأثر از هدف مدل OF2 در حداکثرسازی بازده اقتصادی است. در عین حال، در این مدل، هدف دیگر که حداکثرسازی سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها بوده، از کارآیی اقتصادی تأثیر پذیرفته است. بر این اساس، در هر

دو سناریو، در مدل OF2، میزان تخصیص آب به دو بخش (صنعت و برق و گاز) در سطح تقاضای حداقلی قرار دارد و برای یک بخش (معدن) نیز با اختلاف قابل توجه کمتر از مدل OF1 است؛ و برخلاف آن، در مدل OF1 که سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها از وضعیت بهتری نسبت به مدل OF2 برخوردار است، بازده کل اقتصادی و میزان اشتغال در سطح پایین‌تر قرار دارد. در مدل ترکیبی به روش ترکیب وزنی، با هر ترکیبی از وزن‌های تخصیص‌یافته به مدل‌های OF1 و OF2، نتایج در انطباق کامل با مدل OF1 است. به دیگر سخن، این روش قادر به ایجاد سازش بین دو هدف انفرادی در تحقیق حاضر نبوده است. اما روش محدودیت سازش هم‌زمان توانایی لازم برای ایجاد سازش بین اهداف انفرادی را دارد، به‌گونه‌ای که سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها در این روش نزدیک به مدل OF1 است، در عین حال که میزان ارزش اقتصادی و اشتغال حاصل از روش یادشده بیش از مدل OF1 است. در واقع، ارزش اقتصادی و اشتغال حاصل از روش محدودیت سازش هم‌زمان بین مقادیر متناظر در مدل‌های OF1 و OF2 قرار می‌گیرد[1]. این نتایج با نتایج بابل و همکاران (Babel et al., 2005)، احمد و تانگ (Ahmad and Tang, 2016) و احمد و همکاران (Ahmad et al., 2018) کاملاً هماهنگ و سازگار است.

در مجموع، بر اساس نتایج مطالعه حاضر برای وضعیتی که در آن، میزان آب مورد نیاز بخش‌های متقاضی از حجم آب در اختیار بیشتر باشد، روش محدودیت سازش هم‌زمان با بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی متکی بر نظریهٔ سازش از توانایی لازم در سطوح بالا برای سازش بین اهداف گاه متضاد و تخصیص بهینه منابع محدود آبی برخوردار است. این روش نیاز حداقلی به داده‌ها در سطح یک منطقه دارد و به دریافت عادلانه آب توسط بخش‌ها و توزیع متناسب فشار ناشی از کمبود در عین بهینه‌سازی بازده اقتصادی می‌انجامد.

۱- داده‌های این مدل به‌گونه‌ای است که تفاوت مقادیر ارزش اقتصادی و اشتغال حاصل از روش محدودیت سازش هم‌زمان و مدل OF1 خیلی قابل ملاحظه نیست، ولی با مبانی مدل هماهنگ است. در صورتی که قید محدودیت اشتغال نباشد، تفاوت ارزش اقتصادی به‌دست‌آمده بیشتر نمایان خواهد شد.

جدول ۴- سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها در سناریوی دوم (درصد)

بخش	هدف اول (OF1)	هدف دوم (OF2)	هدف ترکیبی (به روش WT) با هر ترکیب وزنی	هدف ترکیبی (به روش SCC) W1=۰/۸ W2=۰/۲	W1=۰/۵ W2=۰/۵	W1=۰/۲ W2=۰/۸
کشاورزی	۵۵/۵	۵۵/۵	۵۵/۵	۵۵/۵	۵۵/۵	۵۵/۵
معدن	۷۱/۴	۳۹/۴	۷۱/۴	۷۱/۴	۷۱/۴	۷۱/۴
صنعت	۲۰/۰	۲۰/۰	۲۰/۰	۲۰/۰	۲۰/۰	۲۰/۰
برق و گاز	۷۴/۸	۲۰/۰	۷۴/۸	۷۴/۷	۷۴/۳	۷۲/۹
ساختمان	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸
خدمات	۷۸/۴	۹۷/۳	۷۸/۴	۷۸/۵	۷۸/۵	۷۸/۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۵- ارزش اقتصادی و اشتغال بخش‌ها به‌تفکیک اهداف در سناریوی دوم

		ارزش اقتصادی کل (میلیارد ریال)	اشتغال کل (نفر)
هدف اول (OF1)		۱۰۷۶۷۱	۲۷۱۱۳۱
هدف دوم (OF2)		۱۱۰۶۹۴	۲۹۵۳۳۸
هدف ترکیبی (به روش WT) با هر ترکیب وزنی		۱۰۷۶۷۱	۲۷۱۱۳۱
هدف ترکیبی (به روش SCC)	W1=۰/۸ و W2=۰/۲	۱۰۷۷۵۳	۲۷۱۴۴۷
	W1=۰/۵ و W2=۰/۵	۱۰۷۶۹۱	۲۷۱۲۱۱
	W1=۰/۲ و W2=۰/۸	۱۰۷۶۷۵	۲۷۱۱۴۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۶- سطح تحقق نیاز آبی بخش‌ها در سناریوی سوم (درصد)

بخش	هدف اول (OF1)	هدف دوم (OF2)	هدف ترکیبی (به روش WT) با هر ترکیب وزنی	هدف ترکیبی (به روش SCC) W1=۰/۸ W2=۰/۲	W1=۰/۵ W2=۰/۵	W1=۰/۲ W2=۰/۸
کشاورزی	۵۴/۱	۵۴/۱	۵۴/۱	۵۴/۱	۵۴/۱	۵۴/۱
معدن	۷۱/۴	۶۶/۵	۷۱/۴	۷۱/۴	۷۱/۴	۷۱/۴
صنعت	۵۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰
برق و گاز	۷۴/۸	۵۰/۰	۷۴/۸	۷۴/۷	۷۴/۶	۷۴/۱
ساختمان	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸	۷۴/۸
خدمات	۹۲/۲	۹۷/۳	۹۲/۲	۹۲/۲	۹۲/۲	۹۲/۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۷- ارزش اقتصادی و اشتغال بخش‌ها به‌تفکیک اهداف در سناریوی سوم

		ارزش اقتصادی کل (میلیارد ریال)	اشتغال کل (نفر)
هدف اول (OF1)		۱۳۰۸۵۱	۳۳۶۶۲۰
هدف دوم (OF2)		۱۳۲۰۳۲	۳۴۳۰۹۵
هدف ترکیبی (به روش WT) با هر ترکیب وزنی		۱۳۰۸۵۱	۳۳۶۶۲۰
هدف ترکیبی (به روش SCC)	W1=۰/۸ و ۰/۲W2=	۱۳۰۸۸۳	۳۳۶۷۶۳
	W1=۰/۵ و ۰/۵W2=۰/۵	۱۳۰۸۶۰	۳۳۶۶۵۳
	W1=۰/۲ و ۰/۸W2=۰/۲	۱۳۰۸۵۵	۳۳۶۶۳۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کمبود منابع آبی و رقابت برای بهره‌برداری از آن ایجاب می‌کند که سیاستی کارآمد برای تخصیص بهینه منابع آبی مد نظر قرار گیرد. در مطالعه حاضر، در راستای تخصیص بهینه منابع محدود آب بین بخش‌های اقتصادی در راستای دستیابی به اهداف اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی با تأکید بر بخش کشاورزی، برای اولین بار در سطح مطالعات داخلی، از روش محدودیت سازش هم‌زمان استفاده شد. نوآوری مطالعه حاضر در مبانی روش یادشده توسعه مدل از طریق لحاظ محدودیت اشتغال است. این قید باعث می‌شود که تخصیص آب به‌گونه‌ای باشد که اشتغال بخش‌ها حداکثر معادل هدف‌گذاری صورت‌پذیرفته انجام شود، بدین مفهوم که در عین حداکثرسازی سطح تحقق نیاز آبی و بازدهی اقتصادی، به هدف حداکثر اشتغال قابل انتظار در بخش‌ها نیز توجه شود. روش یادشده برای تخصیص منابع آبی بین شش بخش اقتصادی استان یزد در سال ۱۴۰۰ اجرا و نتایج آن با مدل‌های انفرادی حداکثرسازی سطح تحقق نیاز آبی و حداکثرسازی بازده اقتصادی و نیز مدل ترکیبی مبتنی بر روش وزنی مقایسه شد.

مطابق نتایج حاصل از مدل، بر مبنای آب تخصیص‌یافته به بخش‌ها، در مجموع، در سال ۱۴۰۰، حدود ۱۴۲ هزار میلیارد ریال ارزش اقتصادی به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ در استان حاصل می‌شود که رشد سالانه ۵/۲ درصدی نسبت به سال مبنا را نشان می‌دهد. نسبت تحقق اشتغال به هدف مورد انتظار نیز در پنج بخش به‌جز کشاورزی، صد درصد و در بخش کشاورزی، حدود ۸۴ درصد و در کل نظام اقتصادی، حدود ۹۸/۸ درصد خواهد بود. با توجه به کاهش آب قابل دسترس بخش‌ها به میزان ۱۲۴ میلیون مترمکعب در سال هدف نسبت به سال مبنا، که عمده فشار این کاهش نیز متوجه بخش کشاورزی خواهد بود، کارآمدی مدل در توجه مطلوب و هم‌زمان به اهداف چندگانه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی سبب می‌شود که تخصیص آب به‌گونه‌ای باشد که حتی در این وضعیت، بخش کشاورزی نیز دارای رشد ۰/۴ درصدی سالانه ارزش اقتصادی باشد. در غیر این صورت، با کاهش آب تخصیصی به کشاورزی، نه‌تنها این رشد منفی خواهد بود، بلکه تبعات منفی اجتماعی و زیست‌محیطی متعددی را نیز در پی خواهد داشت؛ در مقابل، هرچند، نیاز آبی سایر بخش‌ها به‌ویژه با توجه به وضعیت داده‌های تحقیق حاضر، کامل تحقق می‌یابد، اما منطبق بر واقعیات نیست، چراکه به فرض امکان تأمین آب مورد نیاز آنها، شرایط برای توسعه فعالیت‌ها و ایجاد اشتغال در مقیاس وسیع در محدوده زمانی مد نظر وجود نخواهد داشت، ضمن اینکه توان آبی مناطق و دشت‌های مختلف استان با محدوده‌های فعلی و دارای ظرفیت استقرار فعالیت نیز الزاماً هماهنگ نیست.

در مجموع، نتایج مطالعه حاضر، در تطابق با نتایج سایر مطالعات مرتبط از جمله بابل و همکاران (Babel et al., 2005)، احمد و تانگ (Ahmad and Tang, 2016) و احمد و همکاران (Ahmad et al., 2018)، نشان می‌دهد که روش محدودیت سازش هم‌زمان از توانایی بالا در سازش بین اهداف گاه متضاد و تخصیص بهینه منابع محدود آبی در راستای دستیابی مطلوب به اهداف در تطابق با واقعیت‌ها برخوردار است. این روش، با توجه به وجود نظام وزن‌دهی و نیز متغیر تقاضای حداقلی در مدل، امکان سناریوسازی‌های مختلف را فراهم می‌کند و نیاز حداقلی به داده‌ها در سطح یک منطقه دارد.

متناسب با نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که در راستای جبران کمبود آب و حفظ نقش‌های اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی بخش کشاورزی، تولید محصولات با ارزش افزوده بالا و کم‌آبخواه با محوریت تهیه و اجرای الگوی کشت مناسب هر منطقه به‌عنوان راهبرد اساسی بخش مد نظر باشد؛ و در عین حال، بخشی از باغ‌ها که جنبه حفظ و بهبود شرایط زیست‌محیطی را نیز دارند، حفظ شوند. همچنین، شایسته است که در تدوین برنامه‌های بخش آب، مدل پیشنهادی تحقیق حاضر و خروجی‌های آن مد نظر قرار گیرد. ارزیابی توان مدل پیشنهادی از طریق اجرای آن در دیگر مناطق و حوزه های مختلف برای تخصیص بهینه منابع کمیاب از جمله آب و توسعه مدل برای حالت‌های چندهدفی از جمله زمینه‌های پیشنهادی تحقیق حاضر برای مطالعات آینده است.

منابع

1. Adulbhan, P. and Tabucanon, M.T. (1977). Bicriterion linear programming. *Computers and Operations Research*, 4(2): 147-153.
2. Ahmad, I., and Tang, D. (2016). Multi-objective linear programming for optimal water allocation based on satisfaction and economic criterion. *Arab J. Sci. Eng.*, 41: 1421-1433.
3. Ahmad, I., Zhang, F., Liu, J., Anjum, M.N., and Zaman, M. (2018). A linear bi-level multi-objective program for optimal allocation of water resources. *PLOS ONE*, 13(2): e0192294, 13(2).
4. Akbari, N., Niksokhan, M. and Ardestani, M. (2014). Optimization of water allocation using cooperative game theory, case study: Zayandehroud Basin. *Journal of Environmental Studies*, 40(4): 875-889. (Persian)
5. Babel, M.S., Gupta, A.D. and Nayak, D.K. (2005). A model for optimal allocation of water to competing demands. *Water Resouce Management*, 19: 693-712.
6. Divakar, L., Babel, M.S., Perret, S.R. and Gupta, A.D. (2013). Optimal water allocation based on satisfaction and economic benefits. *International Journal of Water*, 7: 363-381.
7. Freire-González, J., Decker, C.A. and Hall, J.W. (2018). A linear programming approach to water allocation during a drought. *Water*, 363(10).

8. Habibi Davijani, M., Banihabib, M.E., Najafzadeh Anvar, A. and Hashemi, S.R. (2016). Multi-objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. *Water Resource Management*, 30(3): 927-946.
9. Kaviani Rad, M. (2016). Challenges of hydropolitics and water security in Iran. *National Security Observer Monthly*, 56: 23-28. (Persian)
10. Khoshakhlagh, R., and Dehghanizadeh, M. (2006). Investigating the need of economic sectors of Yazd province to the labor force using the data-output table. *Knowledge and Development*, 18: 127-153. (Persian)
11. Mubakoa, S., Lahirib, S., and Lantc, C. (2013). Input-output analysis of virtual water transfers: case study of California and Illinois. *Ecological Economics*, 93: 230-238.
12. Pourasghar, F., and Ebrahimi, M. (2018). Investigating the effects of water regulation programs in neighboring countries on common border basins on Iran. Tehran: Plan and Budget Organization, Development and Foresight Research Center. (Persian)
13. RWC (2018). Adaptation program with water scarcity in Yazd province. Yazd: Regional Water Company (RWC) of Yazd. (Persian)
14. Shahraki, J. and Mohseni, S. (2013). Compromise multi criteria decision making application in water resources optimal allocation: a case study of Yazd city. *Irrigation and Water Engineering*, 3(4): 107-117. (Persian)
15. SCI (2020a). Iran's national accounts (base year = 2011), for 2011-2015. Statistical Center of Iran (SCI).Available at https://www.amar.org.ir. Retrieved at 05 April, 2020. (Persian)
16. SCI (2020b). Iran's regional accounts, for 2011-2015. Statistical Center of Iran (SCI).Available at https://www.amar.org.ir. Retrieved at 12 April, 2020. (Persian)
17. UN-Water (2018). Nature-based solutions for water. The United Nations World Water Development Report 2018. Paris: UNESCO.
18. UNESCO, U.-W. (2020). Water and climate change. United Nations World Water Development Report 2020. Paris: UNESCO.
19. Xu, M., Li, C., Wang, X., Cai, Y. and Yue, W. (2018). Optimal water utilization and allocation in industrial sectors based on water footprint accounting in Dalian city, China. *Journal of Cleaner Production*, 176: 1283-1291.