

ساخت و کاربرد مدل تخصیص بلندمدت آب در ارزیابی اثرات سیاست‌های آبی

رضا اردکانیان (استادیار)

اکبر کریمی (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

در این تحقیق ضمن ارزیابی اثرات بلندمدت سیاست‌های آبی بر منافع ذی‌نفعان، ساخت و کاربرد یک مدل تخصیص بهینه‌ی آب که تأثیر متقابل عرضه و تقاضای آب بخش‌های صنعت و کشاورزی را در نظر می‌گیرد، معرفی می‌شود. یکی از موارد مورد توجه سیاست‌گذاران بخش آب، ارزیابی و کاهش اثرات بلندمدت سیاست‌ها بر شرایط حوضه آبریز و بهینه‌سازی منافع ذی‌نفعان در صورت کاربرد یک سیاست خاص است. برای بررسی این موضوع، مدلی مورد نیاز است که بتواند با در نظر گرفتن به هم پیوستگی بخش عرضه و تقاضای آب، تأثیر بلندمدت عملکرد یک بخش بر بخش‌های دیگر را نشان دهد. تحقیقات صورت‌گرفته در این زمینه معمولاً به مدل‌سازی‌های کوتاه‌مدت در حد یک سال منحصر شده است، لذا فقط برای بررسی کوتاه‌مدت سیاست‌ها می‌توان از آن بهره جست. در این تحقیق مسئله‌ی تخصیص آب با هدف بهینه‌سازی درآمد خالص بخش صنعت از تولید صنعتی، درآمد خالص بخش کشاورزی از تولید کشاورزی، درآمد خالص تخصیص‌دهنده‌ی آب، بهینه‌سازی اشتغال در بخش‌های صنعت و کشاورزی (پارامترهای اقتصادی - اجتماعی) به همراه تأمین قید کم‌ترین جریان زیست‌محیطی رودخانه حل می‌شود. مدل مقدار بهینه‌ی رشد سطح زیرکشت، تولید کشاورزی، اشتغال در بخش کشاورزی، تولید صنعتی، اشتغال در بخش صنعت، مقدار تخصیص به هر یک از بخش‌های متقاضی آب و مقدار تخصیص به تقاضای زیست‌محیطی رودخانه را تعیین می‌کند. در این تحقیق کاربرد مدل در ارزیابی دو سیاست متفاوت برای یک حوضه آبریز فرضی در افق ۳۰ سال نشان داده می‌شود.

واژگان کلیدی: منابع آب، تقاضاهای آبی، پارامترهای اقتصادی - اجتماعی، عرضه و تقاضا، بهینه‌سازی.

ardakanian@civil.sharif.edu
ak_karimi@civil.sharif.edu

۱. مقدمه

منابع آب، به وجود آوردن تعادل پایدار بین عرضه و تقاضای آب است. البته این به هم پیوستگی عرصه‌های مختلف فیزیکی - اقتصادی - اجتماعی را در بر می‌گیرد.^[۱] در این تحقیق یک مدل جدید تخصیص بلندمدت منابع آب با در نظر گرفتن توان پارامترهای اقتصادی - اجتماعی و اندرکنش عرضه و تقاضای آب ساخته می‌شود. از این مدل می‌توان برای ارزیابی اثرات بلندمدت سیاست‌ها و طرح‌های آبی مختلف تأثیرگذار بر تخصیص آب و منافع ذی‌نفعان در سطح حوضه آبریز و اولویت‌بندی سیاست‌ها و طرح‌های آبی استفاده کرد.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

در سال ۲۰۰۰، تخصیص منابع آب در حوضه آبریز مایو در کشور شیلی، با هدف بهینه‌سازی سود بهره‌برداری از سیستم آبی و تولید محصولات کشاورزی و با در نظر گرفتن به هم پیوستگی خصوصیات هیدرولوژیکی - اقتصادی - کشاورزی در

تخصیص منابع آب بخش مهمی از فرایند مدیریت به هم پیوسته‌ی منابع آب در سطح حوضه آبریز است که بر عرضه و تقاضای آب تأثیر قابل ملاحظه‌ی دارد. محدودیت منابع آب و رشد تقاضاهای آبی سیاست‌گذاران بخش آب را از مدیریت عرضه‌محور به سمت مدیریت تقاضا محور حوضه آبریز سوق داده است که اصلی‌ترین مشخصه‌ی مدیریت به هم پیوسته منابع آب است.^[۱] یکی از فعالیت‌های مهم برای تحقق بخشیدن به مدیریت به هم پیوسته‌ی منابع آب، که در Agenda ۲۱ مورد توجه قرار گرفته است، بهینه‌سازی تخصیص منابع آب با در نظر گرفتن قیود فیزیکی و اقتصادی - اجتماعی است. پایداری توسعه‌ی اقتصادی و سلامت زیست‌محیطی به تخصیص منابع آب وابسته است.^[۲] عمده‌ترین محدودیت رویکرد عرضه‌محور به تخصیص منابع آب غیرکشناس در نظر گرفتن تقاضاهای آبی نسبت به عرضه و قیمت آب در زمان است. این موضوع قابلیت اعتماد سیاست‌ها و تصمیم‌ها را، به ویژه در بلندمدت، با مشکل مواجه می‌کند.^[۳] بدین ترتیب نقطه‌ی اشتراک مدیریت به هم پیوسته و تخصیص

تاریخ: دریافت ۱۳۸۷/۱۰/۲۳، اصلاحیه ۱۳۸۸/۶/۲۵، پذیرش ۱۳۸۸/۱۰/۱۴.

یک افق یک‌ساله بهینه شد.^[۵] در این مدل‌سازی تقاضای آب کشاورزی با منظور داشتن بیلان آبی منطقه ریشه تدقیق شده و در مدل استفاده می‌شود. در سال ۲۰۰۳، تخصیص منابع آب در حوضه‌ی آبریز دریای آرال با ملحوظ داشتن به‌هم‌پیوستگی خصوصیات اقتصادی - هیدرولوژیکی - کشاورزی در سطح حوضه‌ی آبریز، با هدف پیشینه‌سازی سود بهره‌برداری از سیستم آبی و تولید محصول کشاورزی تحت قید تأمین کم‌ترین نیاز آبی دریای آرال، در افق یک‌ساله انجام شد.^[۶] در این مدل‌سازی تأثیر بیلان آبی منطقه ریشه در تدقیق تقاضای آب کشاورزی در نظر گرفته شده است.

در سال ۲۰۰۶، با مدل‌سازی سالانه‌ی تخصیص منابع آب در حوضه‌ی آبریز ریورگرنده، تخصیص منابع آب به تقاضاهای کشاورزی، شرب و صنعت در بین ایالت‌های کلرادو و نیومکزیکو، با هدف پیشینه‌سازی سود تأمین‌کننده‌ی آب بهینه شد. در این مدل‌سازی قیود نهادی و زیست‌محیطی مربوط به جریان رودخانه بین ایالت‌ها و دو کشور آمریکا و مکزیک، با توجه به هزینه‌ی عدم تأمین قیود در نظر گرفته شده است. در این مدل، تخصیص آب به‌گونه‌ی صورت می‌گیرد که سود حاشیه‌ی حاصل از تخصیص آب به متقاضیان با یکدیگر مساوی شود.^[۷]

در سال ۲۰۰۶، تخصیص منابع آب در حوضه‌ی آبریز رودخانه اورنج - که بین کشورهای بوتسوانا، نامیبیا، لسوتو و آفریقای جنوبی مشترک است - در یک افق یک‌ساله و با هدف پیشینه‌سازی درآمد ناخالص داخلی هر یک از کشورها بهینه‌سازی شد. در این مدل‌سازی ارزش آب در قالب تولید ناخالص داخلی پیشینه می‌شود.^[۸]

در سال ۲۰۰۵، با استفاده از مدل‌سازی اقتصاد خرد و اتصال آن به اقتصاد کلان ارزش آب در بخش کشاورزی در یک افق یک‌ساله مورد بررسی قرار گرفت.^[۹] در این مدل‌سازی مقدار آب تأمین شده یکی از نهاده‌های تابع تولید کشاورزی است که با توجه به سود حاصل از تولید بهینه می‌شود. در این مدل‌سازی تأثیر مقدار تأمین آب در تولید، اشتغال نیروی کار و سود بخش کشاورزی از رهگذر اقتصاد خرد و کلان بررسی شده است.

در برخی از تحقیقات اخیر، رضایت ذی‌نفعان تخصیص آب در قالب تابع مطلوبیت در مدل تخصیص آب لحاظ و پیشینه می‌شود. تابع مطلوبیت در نظر گرفته‌شده در این تحقیقات به‌صورت ضمنی مبین منافع ذی‌نفعان است اما، این توابع معمولاً متأثر از نظرات شخصی و ایستا هستند. به عبارت دیگر، تعاملی بین تابع مطلوبیت ذی‌نفعان و مقدار تقاضای آب وجود ندارد، در حالی که در واقعیت بین تأمین و تقاضای آب اندرکنش وجود دارد.^[۱۰-۱۲]

در تحقیقات مرور شده محدودیت‌های عمده‌ی این منظر تحلیل بلندمدت تخصیص آب و اثرات آن بر منافع ذی‌نفعان و مقدار تقاضای آبی وجود دارد. تقاضاهای آبی در این تحقیقات در بازه تحلیل دارای مقدار ثابتی است و از تأمین آب تأثیر نمی‌پذیرد. یکی از علل عدم رعایت تغییرات تقاضای آب (کشسانی تقاضای آب نسبت به تأمین) کوتاه‌مدت بودن تحلیل است. در کوتاه‌مدت (یک‌سال) تعامل قابل ملاحظه‌ی بین عرضه و تقاضای آب وجود ندارد، در حالی که در بلندمدت این اندرکنش‌ها می‌تواند تغییرات قابل ملاحظه‌ی در الگوی زمانی و مکانی تقاضاهای آبی به وجود آورد. این تغییرات به‌نوبه‌ی خود اثرات قابل ملاحظه‌ی بر تخصیص آب، قابلیت تأمین تقاضاها و قابلیت اعتماد سیاست‌ها خواهد داشت. علت دیگر، تشخیص و مدل‌سازی عوامل تأثیرگذار بر تأمین و تقاضای آب است. به‌طور معمول عوامل هیدرولوژیکی و اقتصادی - اجتماعی بر عملکرد ذی‌نفعان تأمین و تقاضای آب عمده‌ترین تأثیر را دارند. از طرفی مقیاس عملکرد این عوامل

با یکدیگر متفاوت است، یعنی معمولاً تغییرات بخش هیدرولوژیکی در تحلیل‌ها به‌صورت ماهانه در نظر گرفته می‌شود، در حالی که مقیاس تغییرات در پارامترهای اقتصادی - اجتماعی مضربی از سال است. مدل‌سازی این عوامل در یک چارچوب یکپارچه^۱ از منظر حل عددی به‌واسطه‌ی بزرگ‌شدن مدل ریاضی با محدودیت مواجه است.

در این تحقیق یک مدل تخصیص آبی ساخته می‌شود که در یک چارچوب یکپارچه تعامل عرضه و تقاضای آب را با توجه به عوامل هیدرولوژیکی و اقتصادی - اجتماعی در نظر می‌گیرد. از نتایج این مدل که در مقیاس سالانه و در افق بلندمدت (سی‌ساله) تخصیص آب به تقاضاهای آبی را بهینه می‌کند می‌توان به‌عنوان هدف برای مدل‌های میان‌مدت و کوتاه‌مدت ماهانه مورد استفاده قرار گیرد. بدین ترتیب امکان ارزیابی اثرات بلندمدت تخصیص منابع آب بر توزیع منابع آب، تقاضاهای آبی و منافع ذی‌نفعان تخصیص آب در یک مدل یکپارچه، که قادر به تحلیل چنددوره‌ی است، فراهم می‌شود.

۳. تعریف مسئله

در فرایند تخصیص آب، عرضه‌کننده‌ی آب تحت تأثیر محدودیت دسترسی به منابع آب و پیشینه‌سازی درآمد حاصل از تأمین آب برای متقاضیان مختلف بر تخصیص آب تأثیر می‌گذارد. متقاضیان آب نیز تحت تأثیر شرایط اقتصادی - اجتماعی تأثیرگذار بر عملکردشان، مانند هزینه‌ی تأمین آب، هزینه‌ی تولید، قیمت فروش تولیدات، مقدار تولید و به‌تبع آن تقاضای آب لازم برای تولید را تعیین می‌کنند. علاوه بر این، قیودی مانند تأمین کم‌ترین جریان زیست‌محیطی رودخانه و هزینه‌ی مترتب بر عدم تأمین آن بر عملکرد بخش‌های متقاضی و عرضه‌کننده‌ی آب اثر می‌گذارند. در مسئله‌ی تخصیص آب عوامل مشترکی وجود دارند که بر عملکرد و تصمیم عرضه‌کننده و متقاضی آب تأثیر مستقیم دارند، مانند نرخ بهره، نرخ تورم و قیمت فروش آب. عوامل دیگری نیز وجود دارند که با تأثیر مستقیم در یک بخش، اثرات غیرمستقیمی بر بخش‌های دیگر مسئله‌ی تخصیص آب دارند، مثلاً بر قیود فیزیکی بهره‌برداری از مخزن، قوانین تخصیص آب برحسب حجم مخزن، یا جریان آب رودخانه و کارایی انتقال آب که بر عرضه‌کننده‌ی آب و مقدار آب قابل تخصیص اثر می‌گذارند. هزینه‌ی تولید، مقدار نیروی کار لازم، کارایی تولید، قیمت فروش محصولات و تعامل بخش‌های متقاضی آب با یکدیگر نیز از عواملی هستند که بر تقاضای آب و به‌تبع آن بر تخصیص آب اثر می‌گذارند.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود عوامل متعددی بر تخصیص منابع آب در سطح حوضه‌ی آبریز اثر می‌گذارند. ساخت مدلی که بتواند تأثیر این عوامل را به‌صورت توأمان در تخصیص منابع آب لحاظ کند، برای ارزیابی اثر سیاست‌های مختلف آبی و اقتصادی - اجتماعی بر تخصیص آب و منافع ذی‌نفعان در سطح حوضه از اهمیت ویژه‌ی دارد. در این تحقیق مدل تخصیص منابع آبی ساخته می‌شود که تأثیر توأمان بسیاری از عوامل یادشده را در تخصیص بهینه‌ی منابع آب در سطح حوضه‌ی آبریز لحاظ می‌کند. بدین‌وسیله تأثیر بسیاری از سیاست‌ها - مانند تغییر اولویت تخصیص، تغییر قوانین تخصیص، تغییر کارایی انتقال آب، تغییر نرخ بهره و تورم، تغییر قیمت‌ها، کارایی تولید بر مقدار آب تخصیص یافته، جریان رودخانه، وضعیت مخازن، رشد تقاضاهای آبی، تولید، اشتغال نیروی کار و درآمد بخش‌های کشاورزی و صنعت، درآمد عرضه‌کننده‌ی آب و تخصیص تقاضای زیست‌محیطی - قابل پیگیری می‌شود. بدین‌وسیله سیاست‌های گوناگون بر مبنای اثرات بلندمدت بر

یادشده، مدل دیگری در هریک از بخش‌ها قابل فرمول‌بندی و تحلیل خواهد بود که جزئیات رشد تولید کشاورزی و صنعت را در چارچوب پتانسیل‌های تعیین‌شده مشخص می‌کند.

۶. تقاضای آب زیست‌محیطی به صورت جریان کمینه زیست‌محیطی رودخانه و با توجه به سری زمانی جریان رودخانه تعیین شده و به صورت قید در مدل تخصیص منابع آب لحاظ می‌شود.

۷. در این مدل فرض بر این است که بهینه‌سازی تخصیص منابع آب برای باقی‌مانده‌ی جریان رودخانه پس از برداشت حق‌آبه‌ها صورت می‌گیرد.

۵. فرمول‌بندی و روش‌شناسی حل مسئله

در مسئله‌ی تخصیص منابع آب سه بخش عمده وجود دارد: تأمین، تقاضا و تعامل تأمین و تقاضا. فرمول‌بندی مسئله با مدل‌سازی این سه بخش و در قالب نمودار گردش‌ی شکل ۱ صورت می‌پذیرد.

بر اساس این مدل مفهومی عمده‌ترین بخش‌های فرمول‌بندی عبارت است از: تأمین آب، تقاضای آب و اندرکنش بین تأمین و تقاضای آب. البته تأثیر عوامل اقتصادی - اجتماعی بر بخش‌های یادشده نیز در این فرمول‌بندی می‌گنجد:

- تأمین آب: بیلان آب در رودخانه، مخزن، مقدار مجاز برداشت از سفره‌ی آب زیرزمینی و درآمد عرضه‌کننده‌ی آب عمده‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تأمین آب هستند.

- تقاضاهای آبی: جمعیت، سطح زیرکشت، کارایی تولید، نیروی کار مورد نیاز، درآمد بخش‌های کشاورزی و صنعت عمده‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تقاضاهای آبی هستند. این عوامل از طریق تابع تولید و سود به یکدیگر و تقاضاهای آبی مرتبط می‌شوند.

- اندرکنش عرضه و تقاضای آب: تأمین و تقاضای آب از طریق معادله‌ی بیلان عرضه و تقاضای آب با یکدیگر تعامل داشته و بر هم اثر می‌گذارند.

وضعیت حوضه‌ی آبریز قابل ارزیابی و اولویت‌بندی شده و مبنایی برای تصمیم‌گیری می‌شوند.

۴. فرضیات مسئله‌ی تخصیص منابع آب در این تحقیق

فرضیات به‌کارگرفته شده در این مسئله عبارت‌اند از:

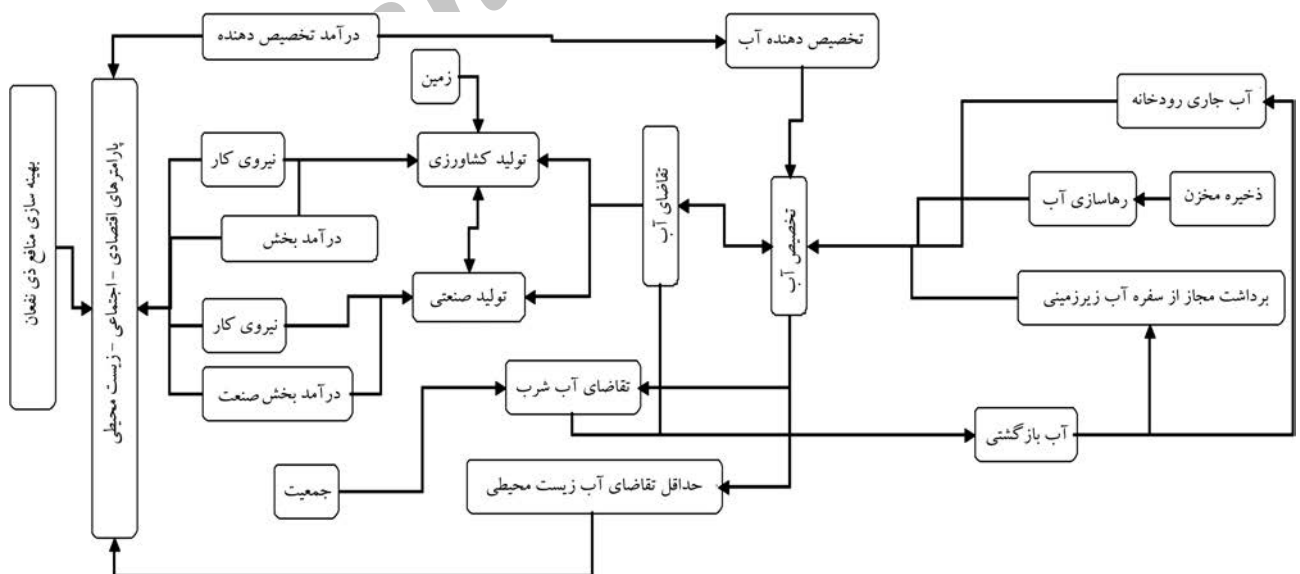
۱. برای ایجاد سازگاری در مقیاس بخش‌های مختلف مسئله‌ی تخصیص منابع آب، ابتدا مسئله در مقیاس سالانه فرمول‌بندی و حل می‌شود. از پاسخ‌های به دست آمده در این مقیاس می‌توان به‌عنوان آرمانی برای مسائلی در مقیاس‌های کوچک‌تر (ماهانه) استفاده کرد. در این تحقیق مسئله در مقیاس حوضه‌ی آبریز، برای گام‌های سالانه و در افق بلندمدت فرمول‌بندی و حل می‌شود.

۲. مسئله ابتدا از دید کمی فرمول‌بندی و بهینه می‌شود. سپس با توجه به مقادیر جریان، مصارف گوناگون و آب‌های بازگشتی کیفیت آب شبیه‌سازی می‌شود. در این تحقیق فرمول‌بندی و حل کمی مسئله مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳. مسئله از دید سیاست‌گذاران بخش آب فرمول‌بندی و حل می‌شود. وظیفه‌ی این سیاست‌گذاران در سطح حوضه‌ی آبریز بیشینه‌کردن منافع ذی‌نفعان کشاورزی، صنعت، تخصیص‌دهنده‌ی آب و محیط‌زیست در بحث تخصیص منابع آب است.

۴. پتانسیل رشد تولید کشاورزی، سطح زیرکشت، اشتغال نیروی کار و تقاضای آب در این مدل برآورد و در تحلیل لحاظ می‌شود. علاوه بر این، در این مدل فرض می‌شود تولید کشاورزی به صورت تجمیعی و تابعی از سطح زیرکشت، آب مصرفی و نیروی کار قابل بیان است (رویکرد اقتصاد کلان).

۵. در این مدل پتانسیل رشد تولید صنعتی، اشتغال نیروی کار و تقاضای آب برآورد و در مدل‌سازی لحاظ می‌شود. تولید صنعتی به صورت تجمیعی و تابعی از آب مصرفی، نیروی کار و درصدی از تولید کشاورزی در سطح حوضه در نظر گرفته می‌شود. فرض بر این است که با تعیین این پتانسیل‌ها از حیث محدودیت‌های



شکل ۱. مدل مفهومی تخصیص منابع آب با توجه به پارامترهای اقتصادی - اجتماعی - زیست‌محیطی و تعامل تخصیص و تقاضای آب.

- تابع هدف جمع وزنی شاخص‌های مختلف مبین منافع ذی‌نفعان است. در این مدل تابع هدف بیشینه می‌شود.
- دیگر قیود مسئله: برخی از قیودی که شرایط خاص مد نظر سیاست‌گذار را بر مسئله تحمیل می‌کند، در این بخش توضیح داده شده‌اند.

۱.۵. تأمین آب

تأمین آب متأثر از دسترسی به منابع آب در سطح حوضه‌ی آبریز، مقدار جریان رودخانه، آب ذخیره‌شده در مخازن و آب قابل برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی هستند. آب‌های بازگشتی نیز به آب جاری رودخانه یا سفره‌ی آب زیرزمینی وارد می‌شوند و منابع آب را تغذیه می‌کنند. معادلات تعادل آبی در مخازن و رودخانه عمده‌ترین بخش تأمین آب را تشکیل می‌دهند.

۱.۱.۵. تعادل و تخصیص آب از مخزن

معادله‌ی تعادل آب در مخزن، وضعیت منابع آب ذخیره‌شده در مخزن را با توجه به ورودی‌های به مخزن، تخصیص‌ها و تلفات نشان می‌دهد (معادله‌ی ۱):

$$Sto_{r,y} + Inf_{r,y} - AloIndSto_{r,y} - AloAgrSto_{r,y} - AloDomSto_{r,y} - Spi_{r,y} - eva_{r,y} = Sto_{r,y+1} \quad (1)$$

که در آن $Inf_{r,y}$ معرف جریان ورودی به مخزن پس از برداشت حق‌آبه از آن - در صورت وجود - است. مقدار تخصیص سالانه‌ی آب از مخزن در هر سال برابر با حاصل جمع $AloIndSto_{r,y}$ ، $AloAgrSto_{r,y}$ و $AloDomSto_{r,y}$ است.

۲.۱.۵. جریان رودخانه

بخشی از آب تولیدشده‌ی هر منطقه که وارد مخزن نمی‌شود به‌علاوه‌ی سرریز از مخزن، آب جاری رودخانه را در آن منطقه تشکیل می‌دهند.

$$RivFlo_{r,y} = RivFeeSur_{r,y} + Spi_{r,y} \quad (2)$$

در معادله‌ی ۲، $RivFeeSur_{r,y}$ معرف جریان رودخانه پس از برداشت حق‌آبه از آن - در صورت وجود - است.

۳.۱.۵. تخصیص سفره‌ی آب زیرزمینی

در این تحقیق مقدار برداشت مجاز از سفره‌ی آب زیرزمینی به‌علاوه‌ی آب‌های بازگشتی به سفره، آب قابل تخصیص سفره‌ی آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند.

$$RetGroDom_{r,y} + RetGroInd_{r,y} + RetGroAgr_{r,y} + AloWit_{r,y} \geq AloIndGro_{r,y} - AloAgrGro_{r,y} - AloDomGro_{r,y} \quad (3)$$

۴.۱.۵. آب خروجی از هر منطقه

آن بخش از آب رودخانه که به تقاضاهای شرب، کشاورزی و صنعت تخصیص داده نشده است، آب خروجی از هر منطقه را تشکیل می‌دهد. آب خروجی از هر منطقه باید کمینه تقاضای زیست‌محیطی رودخانه را تأمین کند.

$$Outflo_{r,y} = RivFlo_{r,y} - AloIndRiv_{r,y} - AloAgrRiv_{r,y} - AloDomRiv_{r,y} + RetSurInd_{r,y} + RetSurAgr_{r,y} + RetSurDom_{r,y} \quad (4)$$

معادلات مهم بیان‌کننده‌ی بیلان منابع آب در سطح حوضه‌ی آبریز و تخصیص آب از آن‌ها در این بخش معرفی شد. در بخش بعدی تقاضاهای آبی و معادلات مهم مربوط به آنها معرفی می‌شود.

۵.۱.۵. تأمین آب برای تقاضای آب صنعت

در این مدل تقاضای آبی صنعت به‌طور کامل تأمین می‌شود. معادله‌ی که تأمین آب صنعت را بیان می‌کند اندرکنش بین عرضه و تقاضای آب صنعت را نشان می‌دهد:

$$AloRivInd_{r,y} + AloGroInd_{r,y} + AloStoInd_{r,y} = IndWatDem_{r,y} \quad (5)$$

در این معادله بخش سمت چپ وابسته به عملکرد عرضه‌کننده‌ی آب، و بخش سمت راست وابسته به عملکرد تقاضای آب است. بدین ترتیب در فرایند تخصیص منابع آب، تقاضای آب و تخصیص آب باید در تعادل باشند.

۶.۱.۵. تأمین آب برای تقاضای آب کشاورزی

تقاضای آب کشاورزی نیز در این مدل به‌صورت کامل تأمین می‌شود. معادله‌ی بیلان تقاضای آب کشاورزی (معادله‌ی ۶) مبین اندرکنش عرضه و تقاضای آب کشاورزی است:

$$AloRivAgr_{r,y} + AloGroAgr_{r,y} + AloStoAgr_{r,y} = AgrWatDem_{r,y} \quad (6)$$

معادلات ۵ و ۶ اندرکنش مستقیم عرضه و تقاضای آب را برای بخش‌های صنعت و کشاورزی بیان می‌کنند. بیلان آبی مخزن باعث می‌شود اثرات عملکرد مخزن از زمان کنونی به زمان (زمان‌های) بعد منتقل شود. بدین ترتیب مقدار آب قابل تخصیص از مخازن، متأثر از عملکرد مخازن در زمان‌های قبل هستند. معادله‌های ۵ و ۶ این اثرات را به تقاضاهای آبی در دوره‌های بعد منتقل می‌کنند. بدین ترتیب مقدار آب تأمین‌شده برای تقاضا در دوره‌ی کنونی به‌صورت غیرمستقیم بر تقاضاهای آبی در دوره‌های بعدی تأثیر می‌گذارد. این تأثیر از رهگذر حل یک پارچه‌ی معادلات مدل در نظر گرفته شده و در مدل لحاظ می‌شود.

۷.۱.۵. تأمین تقاضای آب شرب

تقاضای آب شرب براساس جمعیت و سرانه‌ی مصرف در هر منطقه تعیین شده و تخصیص به آن به‌صورت کامل صورت می‌گیرد. در واقع تخصیص به تقاضای آب شرب یکی از قیود مسئله تلقی می‌شود.

$$DomWatDem_{r,y} = DWf_{r,y} \cdot Pop_{r,y} \quad (7)$$

$$AloRivDom_{r,y} + AloGroDom_{r,y} + AloStoDom_{r,y} = DomWatDem_{r,y} \quad (8)$$

علاوه بر قید تخصیص منابع آب به تقاضای شرب، قید تخصیص منابع آب به تقاضای زیست‌محیطی رودخانه نیز وجود دارد.

۸.۱.۵. تأمین تقاضای آب زیست‌محیطی

تقاضای زیست‌محیطی در این تحقیق، حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه در نظر گرفته شده است. در این مدل بهره‌برداری از سیستم آبی ممکن است به‌گونه‌ی صورت پذیرد که تأمین تقاضای زیست‌محیطی به‌طور کامل انجام نشود. کمبود در تأمین تقاضای زیست‌محیطی رودخانه با هزینه‌ی همراه است که از سود بقیه‌ی ذی‌نفعان کاسته می‌شود.

$$OutFlo_{r,y} + OutFloSla_{r,y} \geq MinRivFlo_{r,y} \quad (9)$$

۹.۱.۵. سود عرضه‌کننده آب

عرضه‌کننده‌ی آب در حوضه‌ی آبریز، براساس منافع اقتصادی حاصل از تخصیص منابع آب به متقاضیان و اولویت‌های تخصیص، بر تخصیص منابع آب تأثیر گذارده و اقدام به تخصیص می‌کند. درآمد عرضه‌کننده‌ی آب از تخصیص آب براساس قیمت متوسط فروش آب به متقاضیان و حجم آب تخصیصی، طبق معادله‌ی ۱۰ تعیین می‌شود.

$$\begin{aligned} AloBen_{r,y} = & WatPriInd_y IndWatDem_{r,y} + \\ & WatPriAgr_y AgrWatDem_{r,y} + \\ & WatPriDom_y DomWatDem_{r,y} \end{aligned} \quad (10)$$

هزینه‌ی تخصیص آب به متقاضیان نیز برحسب حجم آب تخصیصی قابل بیان است.

$$\begin{aligned} AloCos_{r,y} = & WatCosInd_y IndWatDem_{r,y} + \\ & WatCosAgr_y AgrWatDem_{r,y} + \\ & WatCosDom_y DomWatDem_{r,y} \end{aligned} \quad (11)$$

عرضه‌کننده‌ی آب با توجه به بیشینه‌سازی درآمد خالص حاصل از تخصیص آب و اولویت تقاضاهای آبی بر مبنای قیمت فروش آب به آنها، بر تخصیص آب تأثیر می‌گذارد.

در این مدل مقدار تخصیص‌ها به صورت سالانه تعیین می‌شود. برای دست‌یابی به مقادیر ماهانه باید گونه‌ی مدل تخصیص آب ماهانه ساخته شود که با توجه به توزیع درون‌سال تقاضاهای سالانه، هزینه‌ی عدم دست‌یابی به آنها و مقادیر سالانه‌ی تخصیص، تخصیص ماهانه را به نحوی بهینه‌سازی کند که تقاضاهای آبی تأمین شده و هزینه‌ی عدم تأمین تقاضاها نیز کمینه شود. این مقادیر تقاضا (تخصیص) به عنوان هدف در تخصیص آب ماهانه، عملکرد مدل را در جهتی که بهینه‌گی بلندمدت آن تضمین شده باشد، سوق می‌دهند. توجه به این نکته ضروری است که در این مدل مقدار تقاضا و تخصیص آب با توجه به معادلات بیلان عرضه و تقاضا با یکدیگر برابرند.

۲.۵. تقاضاهای آبی

تقاضاهای آبی یکی از بخش‌های بسیار مهم و تأثیرگذار در مسئله‌ی تخصیص آب هستند. اندرکنش این تقاضاها با مقدار آب عرضه‌شده که منجر به تغییر تقاضاها به واسطه‌ی اثر متقابل تقاضاهای آبی و تخصیص منابع آب می‌شود، در این مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. البته در این تحقیق فقط تعامل تقاضاهای آبی بخش‌های کشاورزی و صنعت با تخصیص آب در نظر گرفته شده است. تقاضاهای آبی شرب و محیط زیست تعاملی با مقدار آب تأمین شده ندارند. در حقیقت، این تقاضاها قیودی برای مسئله‌ی تخصیص آب هستند که باید تأمین شوند.

۱.۲.۵. تقاضای آبی بخش صنعت

تقاضای آب صنعت براساس زیرمدلی تعیین می‌شود که تولید صنعتی، نیروی کار، آب مورد نیاز برای تولید، درآمد حاصل از فروش تولید صنعت و هزینه‌ی تولید صنعت را در نظر می‌گیرد. تولید صنعت در این تحقیق به دو بخش تقسیم شده است: تولید صنعت وابسته به کشاورزی و تولید صنعت غیروابسته به کشاورزی. بخش وابسته به کشاورزی، وابسته به کل تولید کشاورزی در سطح حوضه‌ی آبریز در نظر گرفته شده است. علت این امر نیز امکان وابستگی تولید صنعت به کشاورزی برون‌منطقه‌ی

درون حوضه‌ی آبریز است. بنابراین، تولید صنعتی هر منطقه با کل تولید کشاورزی در سطح حوضه‌ی آبریز رابطه‌ی منطقی‌تری خواهد داشت تا تولید کشاورزی در همان منطقه که تولید صنعتی صورت می‌گیرد.

$$IndPro_{r,y} = (NonAgrIndPro_{r,y} + AgrSha_{r,y} \cdot TotAgrPro_y) \quad (12)$$

مقدار تولید صنعتی متغیر تصمیم بوده و با توجه به آن تقاضای آب و اشتغال نیروی کار تعیین می‌شود. نیروی کار مورد نیاز صنعت تابعی از تولید صنعتی است. مقدار نیروی کار مورد نیاز صنعت در این تحقیق به صورت یک تابع خطی در نظر گرفته شده است.

$$IndLab_{r,y} = IndLabFac_y IndPro_{r,y} \quad (13)$$

مقدار تقاضای آب صنعت نیز برحسب تولید قابل برآورد است. با فرض برقراری رابطه‌ی خطی بین تقاضای آب و تولید صنعتی، مقدار تقاضای آب صنعت طبق معادله‌ی ۱۴ برآورد می‌شود:

$$IndWatDem_{r,y} = IndWatDemFac_y IndPro_{r,y} \quad (14)$$

هزینه‌ی تولید و درآمد حاصل از فروش تولید صنعتی با فرض خطی بودن به صورت نمایش داده شده در معادلات ۱۵ و ۱۶ بیان می‌شوند:

$$IndProBen_{r,y} = IndProAvePri_y IndPro_{r,y} \quad (15)$$

$$IndProCos_{r,y} = IndProAveCos_y IndPro_{r,y} \quad (16)$$

زیرمدلی که در این بخش برای صنعت معرفی شد، تولید صنعت را به صورت تجمیعی در نظر می‌گیرد و مشخصات آن را بیان می‌کند. در این زیرمدل، تولید به صورت تجمیعی و قیمت فروش و هزینه‌ها به صورت متوسط در نظر گرفته شده است. ملاحظه می‌شود که عوامل مختلفی مانند اشتغال نیروی کار، تولید و درآمد بخش صنعت بر مقدار تقاضای آب صنعت تأثیر مستقیم دارند. در تابع هدف حاصل جمع اشتغال نیروی کار و درآمد بخش صنعت در کل دوره‌ی برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده و بیشینه می‌شود. بنابراین، عملکرد بخش صنعت در یک دوره بر عملکرد بخش صنعت و بخش‌های دیگر در بقیه‌ی دوره‌ها در قالب تابع هدف و به صورت ضمنی اثر می‌گذارد. بدین ترتیب، تقاضای آب صنعت و کشاورزی در دوره‌ی کنونی، علاوه بر عملکرد سیستم آبی، بر تقاضای آب کشاورزی و بخش صنعت در دوره‌های بعدی نیز اثرگذار است. این تأثیر به واسطه‌ی چند دوره‌ی بودن مدل‌سازی و تحلیل در مدل قابل پیگیری است.

۲.۲.۵. تقاضای آبی بخش کشاورزی

تقاضای آبی بخش کشاورزی به صورت تجمیعی برای هر منطقه، و براساس زیرمدلی که سطح زیرکشت، نیروی کار، آب مورد نیاز، هزینه تولید کشاورزی و درآمد حاصل از فروش محصولات را در نظر می‌گیرد، تعیین می‌شود. تولید کشاورزی را می‌توان به صورت تابعی از کارایی متوسط تولید و سطح زیرکشت بیان کرد:

$$AgrPro_{r,y} = AgrProEff_{r,y} CulLan_{r,y} \quad (17)$$

تقاضای آب کشاورزی به صورت تابعی از تبخیر و تعرق متوسط منطقه برحسب الگوی کشت و سطح زیرکشت (معادله‌ی ۱۸) قابل بیان است. تأمین آب لازم برای تبخیر و تعرق متوسط باعث تولید با کارایی نشان داده شده در معادله‌ی ۱۷ می‌شود.

$$AgrWatDem_{r,y} = EvaTra_{r,y} CulLan_{r,y} \quad (18)$$

شرب در زمان کنونی، در معادله ی ۲۴ معرفی شده است.

$$IndProNetBen_y = \frac{(\lambda + InfRat_y)^y \sum_r IndProBen_{r,y} - IndProCos_{r,y}}{(\lambda + IntRat_y)^y} \quad (22)$$

$$AgrProNetBen_y = \frac{(\lambda + InfRat_y)^y \sum_r AgrProBen_{r,y} - AgrProCos_{r,y}}{(\lambda + IntRat_y)^y} \quad (23)$$

$$AloNetBen_y = \frac{(\lambda + InfRat_y)^y \sum_r AloBen_{r,y} - AloCos_{r,y}}{(\lambda + IntRat_y)^y} \quad (24)$$

۲.۳.۵. اشتغال نیروی کار بخش های کشاورزی و صنعت در سطح حوضه ی آبریز

اشتغال نیروی کار به عنوان پارامتر اقتصادی - اجتماعی مهمی در بیان منافع ذی نفعان متقاضی آب مورد توجه قرار گرفته و در تابع هدف لحاظ شده است.

$$TotEmp_y = \sum_r AgrLab_{r,y} + IndLab_{r,y} \quad (25)$$

۳.۳.۵. شکل تابع هدف مسئله ی تخصیص منابع آب

با توجه به اهداف متعدد مسئله ی چندمنظوره ی «تخصیص منابع آب»، از رویکرد تجمیع وزنی برای تبدیل این اهداف به هدفی واحد استفاده شده است. به همین منظور ابتدا مقادیر بیشینه ی هر یک از پارامترها - با توجه به قیود مسئله و با فرض وجود آن پارامتر به عنوان هدف واحد مسئله - تعیین می شود. سپس از این مقدار بیشینه برای هر پارامتر، برای بی بعد کردن پارامترهای تابع هدف و تجمیع وزنی آنها استفاده می شود (معادله ی ۲۶):

$$ProObj = w_1 \frac{\sum_y IndProNetBen_y}{\sum_y MaxIndProNetBen_y} + w_2 \frac{\sum_y AgrProNetBen_y}{\sum_y MaxAgrProNetBen_y} + w_3 \frac{\sum_y TotEmp_y}{\sum_y MaxTotEmp_y} + w_4 \frac{\sum_r \sum_y OutFlo_{r,y}}{\sum_r \sum_y MinRivFlo_{r,y}} + w_5 \frac{\sum_y AloNetBen_y}{\sum_y MaxAloNetBen_y} \quad (26)$$

با بیشینه سازی این تابع هدف، منافع ذی نفعان تخصیص آب تا حد امکان تأمین می شود. بدین ترتیب تخصیص ها از مقبولیت اجتماعی - اقتصادی - زیست محیطی بیشتری برخوردار خواهند بود.

۴.۵. دیگر قیود مسئله

دو قید مهم دیگر در مسئله لحاظ شده اند که ذکر آنها لازم به نظر می رسد: ۱. بهبود درآمد کلی در سطح حوضه ی آبریز؛ ۲. افزایش اشتغال نیروی کار. وجود این دو قید به مدل تأکید می کند که با در نظر گرفتن ورودی های مسئله تا انتهای افق برنامه ریزی تخصیص منابع آب را به گونه یی انجام دهد که پارامترهای اقتصادی - اجتماعی در سطح حوضه ی آبریز با زمان بهبود پیدا کنند. قید بهبود ارزش کنونی درآمد کلی در

اشتغال نیروی کار در تولید کشاورزی، یکی از پارامترهای اقتصادی - اجتماعی بیان کننده ی منافع بخش کشاورزی است. نیروی کار مورد نیاز برای تولید بخش کشاورزی به صورت خطی و تابعی از تولید کشاورزی در نظر گرفته شده است.

$$AgrLab_{r,y} = AgrLabFac_{r,y} AgrPro_{r,y} \quad (19)$$

درآمد حاصل از فروش محصولات کشاورزی و هزینه ی تولید از دیگر پارامترهای اقتصادی - اجتماعی هستند که منافع بخش کشاورزی را بیان می کنند:

$$AgrProBen_{r,y} = AgrProAvePri_y AgrPro_{r,y} \quad (20)$$

هزینه ی تولید کشاورزی نیز به صورت تابعی خطی از تولید و هزینه ی متوسط تولید در نظر گرفته شده است:

$$AgrProCos_{r,y} = AgrProAveCos_y AgrPro_{r,y} \quad (21)$$

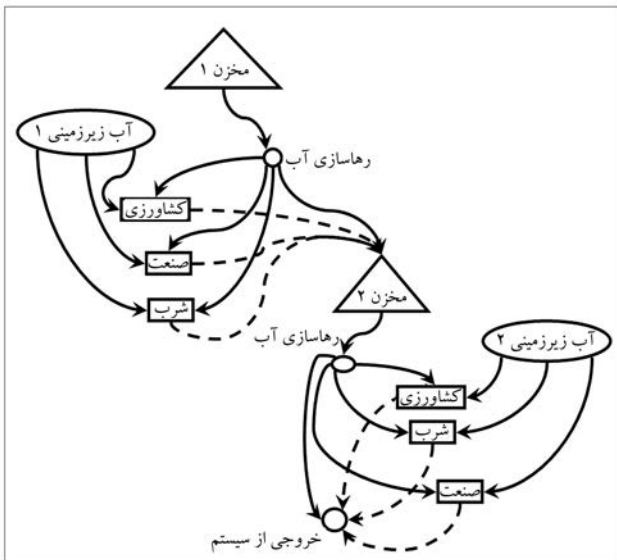
معادلات ۱۷ تا ۲۱ زیرمدلی را تشکیل می دهند که تعیین کننده ی تقاضای آب کشاورزی است. چنان که پیش تر نیز ذکر شد، تعامل زمانی تقاضای آبی از طریق تابع هدف صورت می گیرد. علاوه بر این، مخازن به واسطه ی قابلیت ذخیره سازی خود نقش بسیار مهمی در انتقال اثرات زمانی از یک دوره به دوره ی دیگر بازی می کنند؛ همچنین اثر تخصیص به تقاضای آبی را از دوره ی کنونی به صورت ضمنی به تقاضای آبی و تخصیص آب در دوره های زمانی بعد منتقل می کنند.

۳.۵. تابع هدف

در این مسئله هدف بیشینه سازی منافع ذی نفعان مختلف از تخصیص منابع آب است. به همین علت، این مسئله شامل اهداف مختلفی است که مبین منافع ذی نفعان مختلف مسئله است. این اهداف توسط رویکرد جمع وزنی در قالب یک هدف بیشینه می شوند. وزن ها بیان گر اهمیت هر یک از پارامترها در تابع هدف نسبت به یکدیگر است. پارامترهای اقتصادی - اجتماعی - زیست محیطی لحاظ شده در تابع هدف شامل: درآمد خالص حاصل از فروش تولیدات و اشتغال نیروی کار برای بخش های کشاورزی و صنعت، درآمد خالص تخصیص دهنده ی آب و آب تخصیص یافته به تقاضای زیست محیطی رودخانه است. نحوه ی در نظر گرفتن این پارامترها در تابع هدف در ادامه توضیح داده می شود.

۱.۳.۵. درآمد خالص ذی نفعان مسئله ی تخصیص منابع آب

ذی نفعانی که درآمد خالص آنها از تخصیص منابع آب یا کاربرد آب به عنوان متقاضی تأمین می شود عبارتند از: تخصیص دهنده ی آب، بخش کشاورزی و بخش صنعت. درآمد خالص بخش صنعت از فروش تولید صنعت در معادله ی ۲۲، درآمد خالص بخش کشاورزی از فروش تولید کشاورزی در معادله ی ۲۳، و درآمد خالص تخصیص دهنده ی آب از تخصیص آب به بخش های کشاورزی، صنعت و



شکل ۲. شماتیک سیستم آبی حوضه‌ی آبریز با دو مخزن.

سیستم آبی و مشخصات آن در شکل ۲ و جداول ۱ تا ۴ معرفی شده است. مدل‌سازی و تحلیل سیستم برای سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۱۶ صورت می‌پذیرد. در این مورد مطالعاتی، هدف اصلی نشان‌دادن نحوه‌ی کار مدل و کاربرد آن در تحلیل و ارزیابی سیاست‌ها است. دو عامل اقتصادی مهم - نرخ بهره و نرخ تورم - برای مقایسه‌ی ارزش درآمدها در زمان ابتدای تحلیل و تعیین قیمت‌ها در آینده به ترتیب ۱۴٪ و ۱۶٪ در نظر گرفته شده است. این سیستم آبی با استفاده از فرمول‌بندی خطی مدل‌سازی، و توسط نرم‌افزار GAMS تحلیل شده است. شکل‌های ۳ تا ۹ خروجی‌های پردازش‌یافته‌ی مدل است. در این شکل‌ها، عملکرد سیستم آبی در تخصیص منابع آب و کارایی تخصیص منابع آب در بهبود پارامترهای اقتصادی - اجتماعی - زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفته است.

شکل ۳ و ۴ عملکرد مخازن را در صورت کاربرد دو سیاست مختلف نشان می‌دهد. برای سیستمی با مشخصات ذکر شده، عملکرد مخازن در بخش عمده‌ی از دوره‌ی برنامه‌ریزی تفاوت قابل ملاحظه‌ی ندارد. نحوه‌ی تخصیص آب در سطح حوضه‌ی آبریز نیز با توجه به تأثیر زیاد مخازن در بخش عمده‌ی از دوره‌ی برنامه‌ریزی مشابه یکدیگر است. البته تفاوت‌هایی نیز در اثرات دو سیاست در بخش‌های کشاورزی و صنعت وجود دارد که در شکل‌های ۸ و ۹ این تفاوت‌ها نشان داده شده است. با توجه به این که در سیاست A1 کارایی تولید در بخش‌های کشاورزی و صنعت به میزان ۵٪ در سال بهبود می‌یابد، میزان تولید و به تبع آن درآمد در این دو بخش نسبت به سیاست پایه بیشتر است؛ این تفاوت در بخش کشاورزی بیشتر است. بهبود کارایی در سیاست A1، مصرف آب، نیاز به نیروی کار و درآمد عرضه‌کننده‌ی آب را کاهش داده است (شکل‌های ۵، ۷ و ۸)، اما درآمد بخش‌های صنعت و کشاورزی را افزایش داده است. کل درآمد ذی‌نفعان، به‌جز در دوره‌ی آخر، برای سیاست A1

جدول ۱. مشخصات مخازن سیستم آبی.

	حجم (میلیون متر مکعب)		
	حجم اولیه	حجم حداقل	حجم نرمال
مخزن ۱	۳۵۰۰	۸۵۰	۴۵۸۰
مخزن ۲	۲۵۰۰	۵۵۰	۳۵۶۰

سطح حوضه‌ی آبریز (معادله‌ی ۲۷ و ۲۸)، درآمد بخش‌های صنعت، کشاورزی و تخصیص‌دهنده‌ی آب در سطح حوضه‌ی آبریز را در دوره‌ی فعلی و بعدی مقایسه می‌کند.

$$TotNetBen_y = AloNetBen_y + AgrProNetBen_y +$$

$$IndProNetBen_y \quad (27)$$

$$TotNetBen_{y+1} \geq TotNetBen_y \quad (28)$$

علاوه بر درآمد، بهبود اشتغال نیروی کار در سطح حوضه‌ی آبریز نیز یکی از عوامل مهم اقتصادی - اجتماعی مبین منافع ذی‌نفعان در سطح حوضه‌ی آبریز است. مدل تخصیص آب موظف است به نحوی تخصیص آب را بهینه کند که میزان اشتغال نیروی کار در بخش‌های کشاورزی و صنعت در هر دوره بهبود یابد. این قید در رابطه‌ی ۲۹ نشان داده شده است.

$$TotEmp_{r,y+1} \geq TotEmp_{r,y} \quad (29)$$

این دو قید بر این موضوع تأکید دارند که تخصیص منابع آب در سطح حوضه‌ی آبریز باید به‌گونه‌ی باشد که پارامترهای اقتصادی - اجتماعی با زمان بهبود یابند. این مسئله با فرمول‌بندی خطی در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار GAMS، برنامه‌نویسی و حل می‌شود.

۶. حل مثال

یکی از کاربردهای مدل‌هایی از نوع مدل ساخته‌شده در این تحقیق، تحلیل ارزیابی سیاست‌های آبی در سطح حوضه‌ی آبریز است. از آنجا که این مدل تخصیص آب در نظرگیرنده‌ی اندرکنش عرضه و تقاضای آب است، بررسی اثر سیاست‌های مختلف بر عرضه و تقاضای آب امکان‌پذیر خواهد بود. در این بخش دو سیاست مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند: ۱. سیاست A1 که ۵٪ بهبود سالانه در تولید بخش‌های کشاورزی، صنعت و مصرف آب را مد نظر دارد؛ ۲. سیاست پایه‌ی A2 که فرض می‌کند روندهای کنونی تا انتهای دوره‌ی برنامه‌ریزی ادامه یابد. تفاوت عمده‌ی این دو سیاست علاوه بر اختلاف کارایی تولید بخش‌های کشاورزی، صنعت و مصرف آب، هزینه‌ی بهبود کارایی در سیاست‌های A1 و A2 است. چنانچه سود حاصل از اجرای سیاست A1 در مقایسه با سیاست پایه‌ی A2 توجیه‌کننده‌ی اختلاف هزینه‌ی آنها باشد، آنگاه سیاست A1 نسبت به سیاست پایه‌ی A2 در اولویت قرار می‌گیرد.

این دو سیاست در یک حوضه‌ی آبریز فرضی - که مشخصه‌های اصلی آن چند مخزنی بودن، داشتن جمعیت بالای دو میلیون نفر، داشتن فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی است - توسط مدل تخصیص آب ساخته‌شده در این تحقیق تحلیل می‌شود. در این بخش نحوه‌ی استفاده از چنین مدلی، که قابلیت نشان‌دادن تأثیر بلندمدت سیاست‌ها بر منافع ذی‌نفعان و شرایط حوضه‌ی آبریز را دارد، ارائه می‌شود. حوضه‌ی آبریز مورد نظر شامل دو مخزن بزرگ به‌صورت متوالی (سری) است تا تأثیر عملکرد بالادست بر پایین‌دست با وضوح بیشتری قابل بررسی شود. هر یک از مخازن دارای اهداف تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت هستند. در این مثال هدف تعیین تأثیر سیاست‌های ذکر شده بر تقاضای آبی، تولید کشاورزی و صنعت، اشتغال نیروی کار، درآمد عرضه‌کننده‌ی آب، بخش کشاورزی و صنعت و تأمین کم‌ترین جریان زیست‌محیطی رودخانه است. شماتیک حوضه‌ی آبریز مورد نظر در شکل ۲ نشان داده شده است. دیگر مشخصات این سیستم در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات سیستم آبی و بخش‌های متقاضی آب در سال ۱۳۸۶.

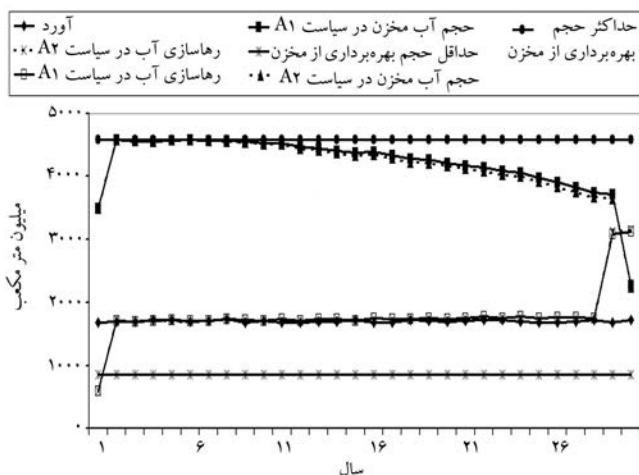
جمعیت اولیه	ضریب رشد جمعیت	سطح زیرکشت اولیه (هکتار)	تولید اولیه صنعتی (تن)	اشتغال اولیه صنعت (نفر)	اشتغال اولیه کشاورزی (نفر)	
۱۴۰۰۰۰۰	۰٫۲۵	۷۵۶۰۶	۷۸۰۰۰۰۰	۳۰۱۵۹	۲۷۳۸۱	زیرحوضه ۱
۱۲۰۰۰۰۰	۰٫۲۵	۱۷۳۳۴۶	۹۹۵۰۰۰۰	۷۱۱۹۲	۵۵۶۷۷٫۴	زیرحوضه ۲

جدول ۳. مشخصات سالانه‌ی تقاضاهای آبی در ابتدای دوره‌ی برنامه‌ریزی.

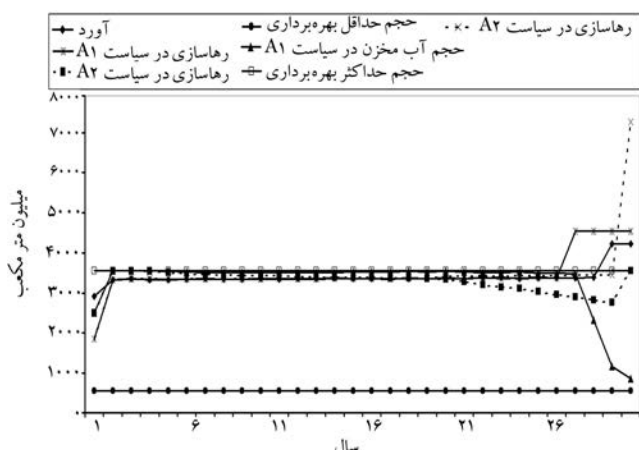
۰٫۰۰۰۰۴۸	تقاضای شرب برحسب میلیون متر مکعب در نفر
۰٫۰۰۰۰۱۱۳	تقاضای آبی صنعت برحسب تولید (میلیون متر مکعب در تن)
۵	کارایی تولید کشاورزی (تن در هکتار)
۰٫۰۱۵	ضریب AgrSh _{avg} ، (برای تمام حوضه آبریز یکسان فرض شده است)
۰٫۳۹۵	مقدار متوسط تبخیر و تعرق (متر در هکتار)
۰٫۰۰۳۸	اشتغال برحسب تولید صنعتی (نفر در تن)
۱٫۸۱	اشتغال برحسب تولید کشاورزی (نفر در تن)

جدول ۴. هزینه و درآمد سالانه‌ی حاصل از تخصیص منابع آب در ابتدای دوره‌ی برنامه‌ریزی.

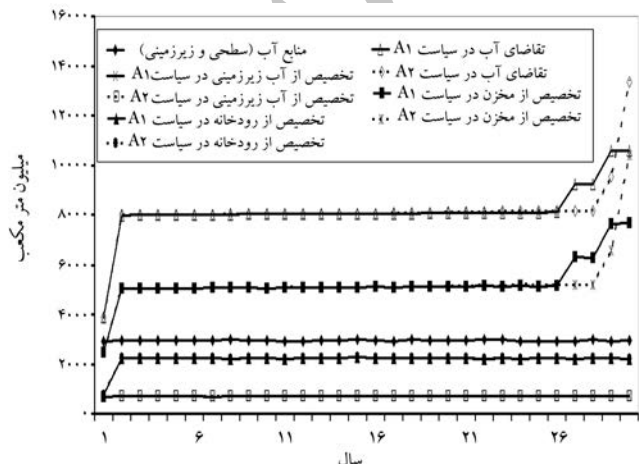
۳	هزینه‌ی تامین آب (دلار در متر مکعب)
۶	درآمد تامین آب برای شرب (دلار در متر مکعب)
۱۲	درآمد تامین آب برای صنعت (دلار در متر مکعب)
۴٫۸	درآمد تامین آب برای کشاورزی (دلار در متر مکعب)
۴۵	هزینه تولید کشاورزی (دلار در تن)
۶۷۰	هزینه تولید صنعت (دلار در تن)
۶۷	درآمد تولید کشاورزی (دلار در تن)
۱۵۰۰	درآمد تولید صنعتی (دلار در تن)



شکل ۳. عملکرد مخزن شماره ۱ در طی دوره‌ی برنامه‌ریزی.



شکل ۴. عملکرد مخزن شماره ۲ در طی دوره‌ی برنامه‌ریزی.



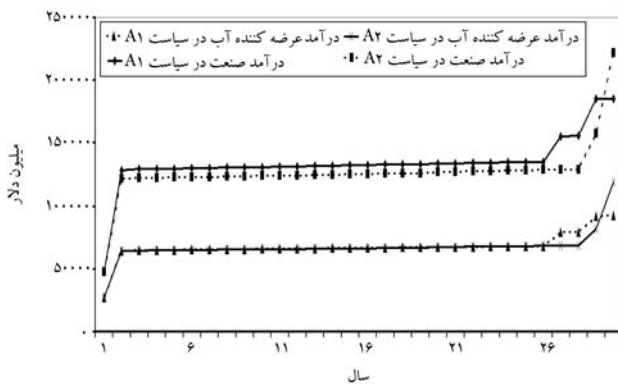
شکل ۵. جزئیات تخصیص آب به تفکیک منابع در سطح حوضه‌ی آبریز.

افزایش ۵۰۰۰ دلاری را نسبت به سیاست پایه حفظ می‌کند، که در دوره‌های انتهایی این تفاوت بیشتر نیز می‌شود. شایان ذکر است که در تحلیل هر دو سیاست، کم‌ترین تقاضای زیست‌محیطی به‌طور کامل تأمین شده است.

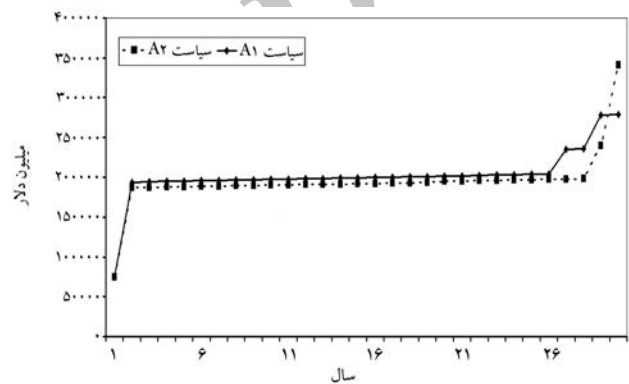
برای ارزیابی و مقایسه‌ی بهتر دو سیاست نسبت به یکدیگر، شاخص‌هایی تعریف شده که وضعیت بلندمدت حوضه‌ی آبریز و ذی‌نفعان را نشان می‌دهد. مقادیر این شاخص‌ها برای هر یک از سیاست‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. براساس این جدول کاربرد سیاست A1 بهبود معنی‌داری نسبت به کاربرد سیاست A2 در بلندمدت نخواهد داشت. به عبارت دیگر، هزینه‌های عملی ساختن سیاست A1 در مقایسه با سودی که از کاربرد آن به دست می‌آید، این سیاست را در مقایسه با سیاست A2 در اولویت دوم قرار می‌دهد. در این بخش بیشتر نحوه‌ی کاربرد این مدل در ارزیابی سیاست‌ها با توجه به قابلیت در نظر گرفتن اندرکنش عرضه و تقاضای آب نشان داده شد. توسط این مدل تخصیص آب، تأثیر کاربرد یک سیاست خاص در رشد تقاضاها، مقدار درآمد ذی‌نفعان، اشتغال نیروی کار، عملکرد مخازن از منظر رهاسازی آب و پر بودن در بلندمدت قابل تحلیل و ارزیابی است.

جدول ۵. شاخص‌های بلندمدت ارزیابی سیاست‌های A۱ و A۲.

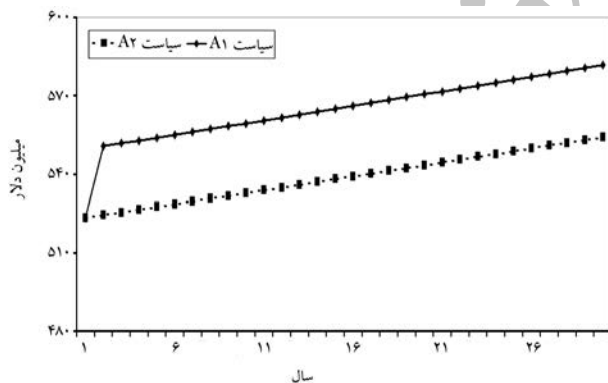
شاخص ارزیابی	سیاست A۲	سیاست A۱
متوسط تولید کشاورزی برحسب تن در متر مکعب	۰/۰۰۱۲۷	۰/۰۰۱۳۹
متوسط درآمد خالص کشاورزی برحسب دلار در متر مکعب	۰/۵۴۸	۰/۶۰۲
متوسط تولید صنعت برحسب تن در متر مکعب	۰/۰۰۶۸۲	۰/۰۰۷۱۴
متوسط درآمد خالص صنعت برحسب دلار در متر مکعب	۱۸/۱۲۱	۱۸/۹۸۹
متوسط درآمد خالص عرضه کننده آب از تامین آب برحسب دلار در متر مکعب	۸/۲۲۱	۸/۲۷۲
متوسط اشتغال برحسب متر مکعب آب تحویلی به کشاورزی و صنعت	۴۲/۲۹۹	۴۲/۰۰۸
مقدار اولیه تقاضای آب قابل تامین برحسب میلیون متر مکعب	۳۸۸۰/۱	۳۸۸۰/۱
مقدار نهایی تقاضای آب قابل تامین برحسب میلیون متر مکعب	۱۳۳۴۰/۴	۱۰۵۸۲/۷
متوسط درآمد خالص بر آب تخصیصی برحسب دلار بر متر مکعب	۲۳/۷۶	۲۴/۶۹
قابلیت اعتماد پر بودن حجم مخزن در دوره برنامه ریزی	۰/۹۲	۰/۹۲



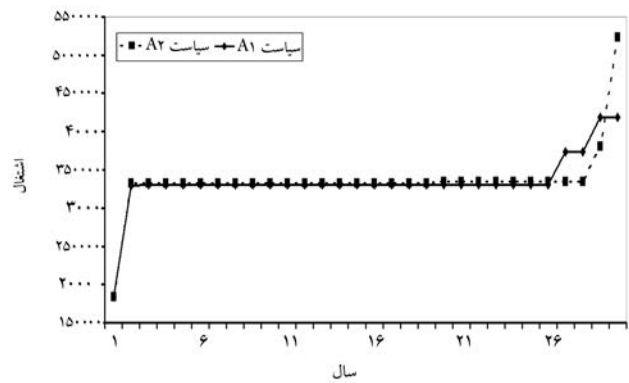
شکل ۸. درآمد بخش‌های صنعت و عرضه‌کننده‌ی آب در سطح حوضه‌ی آبریز.



شکل ۶. کل درآمد خالص در سطح حوضه‌ی آبریز.



شکل ۹. درآمد بخش کشاورزی در سطح حوضه‌ی آبریز.



شکل ۷. اشتغال نیروی کار بخش صنعت و کشاورزی در سطح حوضه‌ی آبریز.

۷. نتیجه‌گیری

تخصیص‌های داده شده در قالب پارامترهایی مانند درآمد ذی‌نفعان یا اشتغال نیروی کار در بخش‌های متقاضی آب فراهم شد. این مدل‌سازی علاوه بر این که امکان بررسی اثر متقابل عملکرد بخش عرضه و تقاضای آب را برای تحلیل‌گر به وجود می‌آورد، امکان جهت‌دهی به تخصیص‌ها در یک فضای تعاملی، که منافع تمام ذی‌نفعان تا حد امکان بیشینه می‌شود، را نیز فراهم می‌کند. نتایج کاربرد این مدل‌سازی در ارزیابی سیاست‌های آبی اثرات بلندمدت کاربرد سیاست‌ها را به تحلیل‌گر نشان می‌دهد. از این اثرات می‌توان برای اولویت‌بندی سیاست‌ها بهره جست. البته فرضیات انجام

در این تحقیق مدل‌سازی تخصیص بلندمدت منابع آب به بخش‌های کشاورزی، صنعت، شرب و محیط‌زیست با توجه توأمان به تعامل تقاضاهای آبی بخش صنعت و کشاورزی با تخصیص منابع آب و پارامترهای اقتصادی - اجتماعی - زیست‌محیطی تأثیرگذار بر تخصیص منابع آب ارائه شد. به‌وسیله‌ی این مدل‌سازی امکان بررسی تأثیر تخصیص منابع آب در منافع ذی‌نفعان و تعبیر اقتصادی - اجتماعی - زیست‌محیطی

شده در فرمول‌بندی مسئله که بعضاً به بخشی از واقعیت حاضر در سیستم آبی و تقاضاهای آبی توجه نمی‌کند، منجر به پاسخ‌های نزدیک بهینه می‌شوند. در همین راستا پیشنهادهای برای بهبود تحقیق‌اخیر و مدل‌سازی واقعی‌تر سیستم آبی قابل بیان است:

۱. تقاضای آبی بخش شرب در تعامل با تأمین آب و پارامترهای اقتصادی - اجتماعی است. در مدل فعلی این تعامل به صورت یک‌طرفه در قالب قید تأمین آب شرب وارد مدل شده است. لحاظ این تعامل در مدل تخصیص آب می‌تواند نقاط بهینه‌ی جدیدی را به تحلیل‌گر ارائه کند.

۲. مدل تخصیص کنونی مقدار تخصیص‌ها و تقاضاها را به صورت سالانه تعیین می‌کند. عوامل متعددی وجود دارند که ممکن است دست‌یابی کامل به اهداف سالانه‌ی تعیین‌شده توسط مدل تخصیص بلندمدت را با کمبود مواجه کنند. مهم‌ترین این عوامل تغییرات فصلی عرضه و تقاضاهای آبی است. ساخت یک مدل تخصیص ماهانه که در جهت و تعامل با تصمیم‌های مدل سالانه عمل می‌کند به واقعی‌تر شدن تصمیم‌ها کمک می‌کند.

۳. مدل‌سازی آب زیرزمینی به صورت دقیق‌تر و لحاظ اندرکنش آن با آب سطحی به واقعی‌تر شدن منابع آب بسیار کمک می‌کند.

۴. لحاظ عدم قطعیت آوردها به مخزن، قیمت‌ها و هزینه‌ها در مدل برای تحلیل بلندمدت نیز بر قابلیت اعتماد تصمیم‌های مدل خواهد افزود.

۸. توضیح علائم و اختصارات به کار رفته

AgrLab: نیروی کار در بخش کشاورزی

AgrLabFac: نیروی کار برای تولید واحد در بخش کشاورزی

AgrPro: تولید کشاورزی

AgrProAveCos: هزینه متوسط تولید واحد در بخش کشاورزی

AgrProAvePri: متوسط قیمت فروش واحد محصولات کشاورزی

AgrProBen: درآمد ناخالص فروش محصولات کشاورزی

AgrProCos: هزینه تولید محصولات کشاورزی

AgrProEff: کارایی تولید کشاورزی در واحد زمین زیرکشت

AgrProNetBen: درآمد خالص فروش محصولات کشاورزی

AgrSha: ضریب نشان‌دهنده سهم تولید کشاورزی در تولید صنعت

AgrWatDem: تقاضای آب کشاورزی

AlluWit: مقدار برداشت مجاز از سفره آب زیرزمینی

AloAgrGro: آب تخصیصی به تقاضای بخش کشاورزی از آب زیرزمینی

AloAgrRiv: آب تخصیصی به تقاضای بخش کشاورزی از رودخانه

AloAgrSto: آب تخصیصی به تقاضای بخش کشاورزی از مخزن

AloBen: درآمد ناخالص حاصل از تخصیص آب به تقاضاهای آبی برای تخصیص‌دهنده آب

AloCos: هزینه تخصیص آب به تقاضاهای آبی برای تخصیص‌دهنده آب

AloDomGro: آب تخصیصی به تقاضای شرب از آب زیرزمینی

AloDomRiv: آب تخصیصی به تقاضای شرب از رودخانه

AloDomSto: آب تخصیصی به تقاضای شرب از مخزن

AloIndGro: آب تخصیصی به تقاضای صنعت از آب زیرزمینی

AloIndRiv: آب تخصیصی به تقاضای صنعت از رودخانه

AloIndSto: آب تخصیصی به تقاضای صنعت از مخزن
AloNetBen: درآمد خالص حاصل از تخصیص منابع آب برای تخصیص‌دهنده آب

CulLan: سطح زیرکشت

DomWatDem: تقاضای آب شرب

DWf: سرانه مصرف آب شرب در ابتدای دوره برنامه‌ریزی

Eva: تبخیر از مخزن

EvaTra: تبخیر و تعرق متوسط

Inf: آورد به مخزن

InfRat: نرخ تورم

IntRat: نرخ بهره

IndLab: نیروی کار بخش صنعت

IndLabFac: نیروی کار در تولید واحد بخش صنعت

IndPro: تولید صنعت

IndProAveCos: هزینه متوسط تولید صنعتی

IndProAvePri: متوسط قیمت فروش محصولات صنعتی

IndProBen: درآمد ناخالص فروش تولیدات صنعتی

IndProCos: هزینه تولید صنعتی

IndProNetBen: درآمد خالص فروش تولیدات صنعتی

IndWatDem: تقاضای آب صنعت

IndWatDemFac: تقاضای آب در تولید واحد بخش صنعت

MaxAgrProNetBen: حداکثر درآمد خالص قابل حصول برای بخش

کشاورزی در سطح حوضه‌ی آبریز

MaxAloNetBen: حداکثر درآمد خالص قابل حصول برای تخصیص‌دهنده

آب در سطح حوضه‌ی آبریز

MaxIndProNetBen: حداکثر درآمد خالص قابل حصول برای بخش صنعت

در سطح حوضه‌ی آبریز

MaxTotEmp: حداکثر اشتغال قابل حصول نیروی کار بخش صنعت و کشاورزی

در سطح حوضه‌ی آبریز

MinRivFlo: حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه

NonAgrIndPro: تولید صنعتی غیروابسته به کشاورزی

OutFlo: آب جاری در رودخانه پس از برداشت تخصیص‌ها به تقاضاهای آبی

OutFloSta: مقدار کمبود در تأمین قید تخصیص آب به حداقل جریان

زیست‌محیطی رودخانه

Pop: جمعیت

ProObj: تابع هدف

RivFlo: جریان آب رودخانه

RivFeeSur: تغذیه جریان رودخانه از رواناب سطحی

RetGroAgr: آب بازگشتی به آب زیرزمینی از مصرف آب کشاورزی

RetGroDom: آب بازگشتی به آب زیرزمینی از مصرف آب شرب

RetGroInd: آب بازگشتی به آب زیرزمینی از مصرف آب صنعت

RetSurAgr: آب بازگشتی به آب رودخانه از مصرف آب کشاورزی

RetSurDom: آب بازگشتی به آب رودخانه از مصرف آب شرب

RetSurInd: آب بازگشتی به آب رودخانه از مصرف آب صنعت

Spi: سرریز از مخزن

$WatPriInd$: قیمت فروش واحد آب به بخش صنعت
 $WatCosAgr$: هزینه تخصیص واحد آب به بخش کشاورزی
 $WatCosDom$: هزینه تخصیص واحد آب به بخش شرب
 $WatCosInd$: هزینه تخصیص واحد آب به بخش صنعت
 w : ضرایب اهمیت پارامترهای تابع هدف
 y : شمارنده سال
 T : شمارنده زیرحوضه

Sto : حجم آب مخزن
 $TotAgrPro$: کل تولید کشاورزی در سطح حوضه آبریز
 $TotEmp$: اشتغال نیروی کار بخش صنعت و کشاورزی در سطح حوضه آبریز
 $TotNetBen$: کل درآمد خالص بخش‌های صنعت، کشاورزی و تخصیص دهنده آب در سطح حوضه آبریز
 $WatPriAgr$: قیمت فروش واحد آب به بخش کشاورزی
 $WatPriDom$: قیمت فروش واحد آب به متقاضی شرب

پانویس

1. holistic

منابع

- Loucks, D.P. and van beek, E. "Water resources systems planning and management: An introduction to methods, models and applications", 1st ed. UNESCO (2005).
- McKinney, D.; Cai, x.; Rosegrant, M.; Ringler, C. and Scott, C "Modeling water resources management at basin level: Review and future directions", IWMI (1999).
- Howitt, R. and Sunding, D., *Water Infrastructure and Water Allocation in California*, Department of Agriculture and Resources Economics, University of California, Davis, USA (2005).
- Burton, J. "Integrated water resources management on a basin level: A training manual", UNESCO (2003).
- Rosegrant, M.W.; Ringler, C.; McKinney, D.C.; Cai, X.; Keller, A. and Donoso, G. "Integrated economic-hydrologic water modeling at basin scale: the Maipo river basin", *Elsevier, Agricultural Economics*, **24** (2000).
- Cai, X.; McKinney, D.C. and Lasdon, L.S. "Integrated hydrologic- agronomic- economic model for river basin management", *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*, **129**(1) (2003).
- Ward, F.A.; Booker, J.F. and Michelsen A.M. "Integrated economics, hydrologic, and institutional analysis of policy responses to mitigate drought impacts in rio grande basin", *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*, **132**(6) (2006).
- Lange, G.M.; Mungatana, E. and Hassan, R. "Water accounting for the Orange River Basin: An economic perspective on managing a trans-boundary resource", Elsevier, *Ecological Economics*, DOI:10.1016/j.ecolecon.2006.07.032 (2006).
- Johansson, R., *Micro and Macro-Level Approach for Assessing the Value of Irrigation Water*, World Bank Policy Research Working Paper 3778, (2005).
- Bazargan-Lari, M.R.; Kerachian, R. and Mansoori, A. "A conflict-resolution model for the conjunctive use of surface and groundwater resources that considers water-quality issues: A case study", *Environmental management*, **43**(3), pp. 470-482 (2009).
- Shirangi, E.; Kerachian, R. and Bajestan, M.S. "A simplified model for reservoir operation considering water quality issues: Application of the Young conflict resolution theory", *Environmental Monitoring Assessment*, **146**, (1-3), pp. 77-89 (2008).
- Ganji, A.; Khalili, D.; Karamouz, M.; Ponnambalam, K. and Javan, M. "A fuzzy stochastic dynamic nash game analysis of policies for managing water allocation in a reservoir system", *Water Resources Management*, **22**, pp. 51-66, DOI 10.1007/s11269-006-9143-y (2008).