

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال بیست و چهارم، شماره ۹۶، زمستان ۱۳۹۵

بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن با تأکید بر بهره‌وری آب کشاورزی

محمدحسن طرازکار^۱، منصور زیبایی^۲، غلامرضا سلطانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۲۲

چکیده

در این مطالعه الگوی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن به همراه تعیین الگوی کشت بهینه، با تأکید بر بهره‌وری آب در بخش کشاورزی برای یک دوره سه ساله از ۱۳۸۹-۹۰ تا ۱۳۹۱-۹۲ تدوین شد. به این منظور، از یک مدل هیدرو-اقتصادی چندهدفه با بازه‌های زمانی ۱۰ روزه استفاده شد. توابع هدف مدل شامل حداکثرسازی بهره‌وری آب آبیاری و حداکثر سازی بازده برنامه‌ای تولیدات کشاورزی محدوده مورد مطالعه می‌باشند. همچنین به منظور حل مدل چندهدفه از روش قاموسی^۴ و نرم‌افزار GAMS استفاده شد. در ادامه، سناریوهای متفاوتی شامل اعمال کم آبیاری در دوره‌های مختلف رشد گیاه، استفاده از سیستم های نوین آبیاری،

۱. استادیار بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول)

e-mail: tarazkar@shirazu.ac.ir

۲. استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳. استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

سیاست کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی تا حد مجاز تعیین شده، ذخیره آب شرب، استفاده از رقم‌های جدید و اصلاح شده، رهاسازی و عدم رهاسازی حقایق زیست محیطی در مدل اعمال شدند. نتایج مدل بهینه نشان داد که در صورت اعمال کلیه سناریوهای فوق، بهره‌وری آب ۶۲ درصد افزایش و به‌طور متوسط ۱۵ درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد. در مقابل، الگوی پیشنهادی بازده برنامه‌ای منطقه را تنها ۰/۲ درصد افزایش می‌دهد. الگوی کشت بهینه، کاشت دو محصول گندم رقم سیروان با ۴۰ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن (۵۰۹۹۴ هکتار) و ذرت سینگل کراس ۷۰۳ بدون اعمال کم آبیاری (۹۴۷۶ هکتار) را از میان محصولات با رقم‌های مختلف پیشنهاد می‌نماید. در پایان نیز منحنی فرمان مخزن سد درودزن تحت سناریوهای فوق ارائه شد. مدیریت و نظارت بر چاه‌های کشاورزی و جلوگیری از بهره‌برداری و انسداد چاه‌های غیر مجاز و کنترل آنها از جمله اقدامات پیشنهادی است.

طبقه‌بندی JEL: Q15، Q25

کلیدواژه‌ها:

الگوی کشت بهینه، کم آبیاری، روش قاموسی، استان فارس

مقدمه

امروزه کمبود آب یکی از مشکلات عمده در اکثر کشورهاست (وانگ و همکاران، ۲۰۰۸، ۷۹۹) و برآورد می‌شود که در حدود ۲/۸ میلیارد نفر از جمعیت جهان در ۴۳ کشور تحت تأثیر کمبود آب باشند که از این تعداد ۱/۲ میلیارد نفر حتی به آب شرب کافی نیز دسترسی ندارند (UNWWAP، ۲۰۱۵). علت اصلی این مشکلات نیز افزایش تقاضای آب در اثر افزایش جمعیت، توسعه اقتصادی کشورها، آلودگی منابع آبی، کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و به‌ویژه منابع آب سطحی (دیواکار، ۲۰۱۱، ۲۳) و همچنین کاهش عرضه آب در اثر مدیریت ناپایدار منابع آبی می‌باشد (UNCSD، ۱۹۹۴). ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و منابع آبی همواره به‌عنوان یکی از کمیاب‌ترین منابع و به‌ویژه به‌عنوان محدودترین عامل

بهره‌برداری بهینه.....

تولید در بخش کشاورزی مطرح بوده است. عوامل مختلفی از جمله تغییر و تحولات در جمعیت کشور، اقلیم خشک و نیمه خشک، توزیع نامناسب زمانی و مکانی آب در کشور (محمدی و بوستانی، ۱۳۸۸) موجب کاهش میزان سرانه آب تجدید پذیر و افزایش بحران آب در ایران شده است. همچنین بالا بودن نرخ بهره و به دنبال آن، بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی شرایط مذکور را تشدید کرده است (شوشتریان و همکاران، ۱۳۸۹، ۲). برای نمونه سرانه آب تجدیدپذیر سالانه کشور از حدود ۱۳ هزار متر مکعب در سال ۱۳۰۰ به حدود ۱۹۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۸۵ (بیران و هنر بخش، ۱۳۸۷، ۱۹۸) و ۱۳۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۹۱ تقلیل یافته (فرزین و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۶۶) و پیش بینی می‌شود این مقدار در سال ۱۴۳۰ به کمتر از هزار متر مکعب برسد (بیران و هنر بخش، ۱۳۸۷، ۱۹۳).

علاوه بر موارد یاد شده، اعمال سیاست‌های مختلف شامل سیاست‌های قیمت گذاری، تجاری، پولی و ارزی نیز بر تشدید بحران آب تأثیر گذار بوده و با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد منابع آب استحصالی به دلیل بهره‌وری پایین آب و مصرف بالای آب در واحد سطح، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (شهرستانی، ۱۳۹۳، ۳۷)، اعمال سیاست‌های مؤثر بر بخش کشاورزی، تأثیر بیشتری بر بحران آب در کشور داشته است. از جمله تأکید بر تولید بیشتر به منظور قطع وابستگی و تکیه بر خودکفایی در دهه‌های گذشته از طریق اعمال سیاست‌های خرید و قیمت تضمینی، موجب افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و به دنبال آن، فشار بیشتر بر منابع آبی شده است (صبوحی و همکاران، ۱۳۸۶). این در حالی است که خودکفایی در تولید محصولات کشاورزی و به‌ویژه محصولاتی که نیاز آبی بالایی دارند، با هدف ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی مبتنی بر مزیت نسبی، در تضاد است (سلطانی، ۱۳۹۱، ۱۵). از سوی دیگر، سیاست‌های پرداخت یارانه به نهاده‌های بخش کشاورزی از جمله یارانه‌های پرداختی به کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و علف‌کش در جهت افزایش تولید، نه تنها در جهت افزایش مصرف و تقاضای آب بوده، بلکه افزایش آلودگی محیط زیست را نیز به دنبال داشته است (شوشتریان و همکاران، ۱۳۸۹، ۲). از این رو، مدیریت

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

بهره‌برداری از منابع و امکانات آبی موجود تحت عنوان مدیریت عرضه و همچنین مدیریت تقاضای آب از طریق تخصیص بین بخشی منابع آبی و همچنین تخصیص آب کشاورزی میان محصولات مختلف از طریق تعیین الگوی بهینه کشت و اعمال کم آبیاری و استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

با این حال مطالعات صورت گرفته در این زمینه، معمولاً یک بعد از مدیریت منابع آب کشاورزی یعنی مدیریت عرضه یا مدیریت تقاضای آب را مورد توجه قرار داده‌اند. در این مطالعات یا صرفاً مدیریت عرضه آب از طریق تعیین سیاست بهره‌برداری از مخزن با فرض ثابت و مشخص بودن تقاضای آب پایین دست مخازن سدها بررسی شده است (ترابی حقیقی و همکاران، ۱۳۸۳؛ بلوری یزدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ مقدسی و همکاران، ۱۳۸۷؛ ساعی و همکاران، ۱۳۸۸؛ برهانی داریان و مرادی، ۱۳۸۹) و یا با فرض ثابت بودن میزان عرضه آب، مدیریت تقاضای آب کشاورزی از طریق تعیین الگوی کشت، اعمال کم آبیاری و نصب سیستم‌های آبیاری تحت فشار بررسی شده است (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ صبوچی و همکاران ۱۳۸۵؛ فتحی و زیبایی، ۱۳۸۹؛ محسن پور و زیبایی، ۱۳۸۹). حال آنکه لازم است مدیریت عرضه و تقاضای آب به‌طور هم‌زمان و در قالب مدل‌های هیدرولوژیکی-اقتصادی^۱ مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور در چند سال اخیر محققین زیادی اقدام به بررسی مدیریت هم‌زمان عرضه و تقاضای آب به‌ویژه در بخش کشاورزی نموده‌اند. از جمله تکسریا و ماریانو (۲۰۰۲)، با هدف حداکثر کردن سود کشاورزی، سیاست بهره‌برداری از مخزن دو سد موازی را با استفاده از روش برنامه ریزی ریاضی تعیین کردند. در این مطالعه علاوه بر میزان آب رها شده از مخزن، الگوی کشت بهینه نیز تعیین شد.

کومار و همکاران (۲۰۰۶)، با استفاده از روش برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک، عملکرد مخزن یک سد تک منظوره را برای آبیاری گیاهان زراعی پایین دست بهینه سازی کردند. در این مطالعه علاوه بر تعیین مدل بهره‌برداری از مخزن، الگوی کشت نیز تعیین شد.

1. Hydrologic-Economic

بهره‌برداری بهینه.....

نتایج مطالعه نشان داد که عملکرد برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک تفاوت چندانی در توزیع آب بین مراحل مختلف رشد گیاه ندارند.

مرادی جلال و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از برنامه ریزی خطی، مدل بهینه بهره‌برداری از مخزن سد جهت تأمین آب کشاورزی به همراه الگوی کشت بهینه را مورد بررسی قرار دادند. تابع هدف مطالعه حداکثر سود ناخالص سالانه در پایین دست سد می باشد. در این مطالعه سناریوهای مختلفی شامل تأمین تمام آب مورد نیاز کشاورزی و شرایط مختلف آب و هوایی در نظر گرفته شد. در پایان حساسیت مدل به تغییرات جریان ورودی و سیاست‌های آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

سرینواسا پراساد و همکاران (۲۰۱۳)، مدل بهره‌برداری کوتاه مدت از مخزن سد ناگارجونا را با استفاده از برنامه ریزی ریاضی مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی این مطالعه تعیین منحنی فرمان جهت تأمین آب کشاورزی محصولات مختلف پایین دست سد می باشد. همچنین میزان ورودی به مخزن بر اساس یک مدل خود رگرسیو میانگین متحرک پیش بینی و مدل بهره‌برداری برای سال‌های آتی تدوین شد.

بیرهونا و همکاران (۲۰۱۴) سیاست بهره‌برداری از مخزن سد کوگا در کشور اتیوپی را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی تدوین کردند. در این مطالعه پنج سناریوی مختلف شامل الگوهای متفاوتی از محصولات منطقه شامل پیاز، سیب زمینی، فلفل، گندم و یونجه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد آب مخزن برای الگوهای مختلف کفایت نمی‌کند و تنها از طریق افزایش راندمان آبیاری می‌توان این کمبود را جبران کرد.

مقدسی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی، الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک، تخصیص آب تحت شرایط کم‌آبی را در شبکه آبیاری زاینده رود و سد چادگان بررسی کردند. مدل‌سازی مطالعه در چهار لایه سد، شبکه، محصولات و دور آبیاری صورت پذیرفت. نتایج مطالعه حاکی از برتری روش برنامه‌ریزی غیر خطی نسبت به این روش‌ها بوده و الگوی پیشنهادی قادر است درآمد را تا ۳۶ درصد افزایش دهد.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

سد مخزنی درودزن در ۱۰۰ کیلومتری شمال غربی شیراز در محل گذر رودخانه کر از تنگه‌ای در نزدیکی روستای درودزن احداث شده است. هدف اصلی احداث سد درودزن تأمین آب کشاورزی حدود ۶۵ هزار هکتار از اراضی دشت‌های رامجرد، کربال و همچنین تأمین قسمتی از آب شرب شهرهای شیراز و مرودشت می باشد (شاهرخ‌نیا و جوان، ۲۰۰۹، ۱۶۵). در کنار این دو هدف اصلی، اهداف دیگری نظیر کنترل سیلاب، تولید انرژی برق آبی نیز در نظر گرفته شده است. البته تولید انرژی در این نیروگاه تابع خروج آب کشاورزی است. در این نیروگاه آب کشاورزی به‌عنوان اولویت اصلی مطرح می‌باشد. سد خاکی درودزن دارای دو واحد نیروگاه با قدرت تولید ۱۱ مگاوات ساعت است. در این سد تنها در شرایطی نیروگاه وارد مدار می‌شود که به منظور تأمین آب کشاورزی، آب از سد رها گردد (ترابی حقیق و همکاران، ۱۳۸۳).

در منطقه درودزن در طول سال، اراضی پایین دست سد هم برای کشت‌های پاییزه و هم برای کشت‌های بهاره مورد استفاده قرار می‌گیرند و معمولاً از ۱۵ فروردین لغایت ۱۵ مهر هر سال در صورت وجود شرایط مناسب، تخلیه آب از مخزن سد انجام می‌گیرد. علاوه بر آن تخلیه در ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند کاملاً وابسته به ریزش‌های جوی می‌باشد و در صورت وجود ریزش‌های مناسب نیازی به تخلیه آب نیست (کشاورزی و نبوی، ۲۰۰۷، ۱۵۹). علاوه بر موارد یاد شده، مهم‌ترین منبع تأمین آب دو دریاچه بختگان و طشک، رودخانه کر است، لذا رها سازی آب از سد درود زن تأثیر مهمی در میزان جریان آب رودخانه و در نهایت حجم آب دریاچه بختگان دارد. اما متأسفانه در سال‌های اخیر با توجه به تغییر اقلیم و کاهش نزولات جوی و در پی کاهش ورودی آب رودخانه کر به دریاچه بختگان به دلیل کاهش میزان رها سازی از سد های احداث شده بر روی رودخانه، ورودی آب دریاچه تنها محدود به سیلاب های منطقه شده و در نهایت کاهش سطح آب دریاچه و خشک شدن آن را موجب گردیده است (مهتاب قدس، ۱۳۸۹، جلد پنجم، ۳۳).

بهره‌برداری بهینه.....

خشک شدن دریاچه در اقلیم منطقه تأثیر منفی می‌گذارد. از جمله به علت کمبود بخار آب محصولات کوهی شهرستان نیریز و استهبان به شدت کاهش خواهد یافت. همچنین وجود زمین های شوره زاری که به جای دریاچه به جای می‌ماند، به زمین‌های کشاورزی کشیده شده و در نتیجه زمین های شوره زار که استعداد چندانی برای کشاورزی ندارند، در منطقه گسترش خواهد یافت. بر این اساس انجام مطالعه در خصوص تخصیص آب سد درودزن با توجه به نیاز آبی بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت و همچنین نیاز زیست محیطی دریاچه بختگان بسیار ضروری به نظر می‌رسد. در این میان تدوین الگوی کشت سازگار با شرایط منطقه و افزایش بهره‌وری آب آبیاری نیز اهمیت فراوانی دارد.

در محدوده مطالعاتی، ترکیبی از منابع آب سطحی و آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب‌های زیرزمینی از طریق برداشت از ۲۰۰۸ حلقه چاه فعال در منطقه صورت می‌پذیرد. اطلاعات میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های موجود در منطقه به‌همراه میزان برداشت مجاز در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی و حد مجاز برداشت

(میلیون متر مکعب)				
نوع مصرف	میزان تخلیه	درصد	میزان مجاز تخلیه	اضافه برداشت
کشاورزی	۲۴۱/۸۷	۹۹		
شرب	۱/۲۳	۱	۱۸۸/۵۶	۵۴/۶۴
صنعت	۰/۱	صفر		
مجموع	۲۴۳/۲	۱۰۰		

مأخذ: مه‌اب قدس (۱۳۸۹، جلد سوم، ۲۴)

با توجه به اطلاعات جدول فوق، مصرف کشاورزی بیشترین میزان برداشت از چاه‌های منطقه را دارد. همچنین در منطقه مورد مطالعه میزان برداشت اضافی از چاه‌های موجود ۵۴/۶۴ میلیون متر مکعب می‌باشد. بر این اساس در مطالعه حاضر سناریوهای مختلفی در خصوص برداشت از آب‌های زیرزمینی تدوین شد. این سناریوها شامل برداشت تحت شرایط فعلی (بیش از حد مجاز) و برداشت بر اساس میزان مجاز از آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و عدم رهاسازی بهینه آب از مخزن سد درودزن (محسن‌پور و زیبایی، ۱۳۸۹، ۱) و همچنین خشکسالی‌های اخیر، در این مطالعه الگوی بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن به‌همراه تعیین الگوی کشت، با تأکید بر بهره‌وری آب آبیاری در بخش کشاورزی تدوین شد. همچنین سناریوهای مختلفی مبنی بر ذخیره آب شرب، برداشت مجاز از منابع آب زیرزمینی، رهاسازی حقابه دریاچه بختگان، اعمال کم آبیاری و نصب سیستم‌های نوین آبیاری در الگو مورد بررسی قرار گرفت.

روش تحقیق

علی‌رغم پیشرفت‌های اخیر در زمینه علوم کامپیوتری و همچنین روش‌های حل مسئله، استخراج سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از مخزن سد همچنان مورد چالش باقی مانده است. تعیین سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن سدها از اواخر دهه ۵۰ و به‌خصوص اوایل دهه ۶۰ میلادی موضوع تعداد زیادی از تحقیقات بوده است (برهانی داریان و مرادی، ۱۳۸۹، ۸۲) و روش‌های متنوعی در این زمینه ابداع شده است.

در مدل‌های بهره‌برداری بهینه از سد که در آن نیاز آبی پایین دست مشخص نیست و به عبارتی این نیاز توسط مدل تعیین می‌شود، با توجه به هدف اصلی طراحی سد، می‌توان توابع هدف مختلفی را برای مدل در نظر گرفت. اما یکی از مهم‌ترین اهداف در مدل‌های بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن، حداکثر کردن بازده برنامه‌ای تولید محصولات کشاورزی پایین دست سد می‌باشد. می‌توان هدف بهره‌برداری بهینه از سد را برای کشت n محصول کشاورزی در پایین دست سد به صورت رابطه ۱ نشان داد (مرادی جلال و همکاران، ۲۰۰۷، ۱۵۷).

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^n GA_i X_i \quad (1)$$

در رابطه فوق، GA بازده برنامه‌ای در هکتار، X سطح زیر کشت و i محصولات مورد بررسی است. اما میزان تولید محصولات مختلف به دو عامل مقدار آب و زمان آبیاری وابسته است. بر

بهره‌برداری بهینه.....

این اساس در بیشتر مطالعات به دلیل پیچیدگی ارتباط میان زمان و مقدار آبیاری با میزان تولید از تابع تولید دارای زمان^۱ در این زمینه استفاده می‌شود (راوو و همکاران، ۱۹۸۸). بر این اساس تابع هدف مدل به صورت رابطه ۲ قابل بیان است (مییر و همکاران، ۱۹۹۳):

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^n A_i \left[P_i \prod (1 - k(1 - \frac{W_a}{W_p})_i) - TC_i \right] \quad (2)$$

که در آن، P_i قیمت محصول i ام، TC_i هزینه تولید و A_i سطح زیر کشت محصول i ام در پایین دست مخزن سد را نشان می‌دهد. همچنین W_a مقدار آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های مختلف رشد و W_p حداکثر آب مورد نیاز گیاه در دوره‌های مختلف رشد است و در شرایط آبیاری کامل $W_a = W_p$ می‌باشد. اما در صورت اعمال کم آبیاری، مقدار W_a برای هر گیاه از رابطه زیر به دست می‌آید (قهرمان و سپاسخواه، ۱۹۹۷):

$$W_a = (1 - h)W_p \quad (3)$$

که در رابطه فوق، h مقدار کاهش نسبی مصرف آب در دوره‌های مختلف رشد گیاه بوده و مقدار آن بین صفر تا یک است و در شرایط آبیاری کامل مقدار h برابر با صفر می‌باشد. در این پژوهش کم آبیاری در خصوص محصولات مختلف صرفاً در یکی از دوره‌های مشخص رشد گیاه شامل استقرار، رشد رویشی، گلدهی، شکل‌گیری و رسیدن اعمال شد به صورتی که اگر کم آبیاری در یک دوره اعمال شده باشد، در سایر مراحل رشد، آبیاری کامل صورت می‌گیرد. همچنین بر اساس مطالعات پیشین، میزان تنش آبی در هر دوره از ۱۰ درصد شروع و با افزایش ۵ درصدی تا حداکثر مقدار مجاز، اعمال شد (صبحی و همکاران، ۱۳۸۵؛ فتحی و زیبایی، ۱۳۸۹؛ محسن پور و زیبایی، ۱۳۸۹؛ قهرمان و سپاسخواه، ۱۹۹۷؛ قهرمان و سپاسخواه، ۲۰۰۲). ضرایب واکنش عملکرد گیاه به آب از مطالعه درون‌بند و کاسام (۱۹۷۹) و حداکثر مقدار مجاز کاهش آب مصرفی (h) نیز از مطالعات مختلف از جمله آراین و سپاسخواه (۱۳۷۰) و شعبانی و همکاران (۱۳۸۷) استخراج شد.

1. Dated Water Production Function

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

در مطالعه حاضر محصولات مختلفی شامل گندم، جو، ذرت، برنج، گوجه فرنگی و چغندر قند به عنوان متغیرهای تصمیم مدل جهت تعیین الگوی کشت بهینه در نظر گرفته شدند. همچنین در خصوص گندم، جو و ذرت، رقم‌های مختلف این محصولات شامل ۵ رقم مختلف گندم (چمران، شیرودی، پیشتاز، سیروان و یاواروس)، ۲ رقم جو (والفجر و نیمروز)، ۶ رقم ذرت (سنگل کراس ۷۰۳، ۷۰۴، ۷۰۵، ۷۰۶، فجر و دهقان) نیز در مدل منظور گردید. با توجه به استراتژی‌های اعمال کم آبیاری، برای هر وارسته گندم و جو ۳۶ متغیر، ذرت ۲۶ متغیر، گوجه فرنگی و چغندر قند ۱۳ متغیر تعریف شد.

در مطالعه حاضر علاوه بر هدف فوق، هدف دیگری شامل حداکثر سازی بهره‌وری آب در بخش کشاورزی نیز به صورت رابطه ۴ در نظر گرفته شد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲):

$$MaxZ_2 = BPD = \frac{GM}{TWC} \quad (4)$$

که در آن، BPD شاخص بهره‌وری واحد حجم آب، TWC مقدار (حجم) آب مصرف شده، GM بازده برنامه‌ای است که از تفاوت درآمد و هزینه‌های متغیر (به‌جز هزینه‌های مربوط به نهاده آب) به دست می‌آید. به منظور حل مدل چندهدفه از روش قاموسی استفاده شد.

روش قاموسی

از روش قاموسی جهت حل مدل‌های چندهدفه در مواردی استفاده می‌شود که توابع هدف قابلیت رتبه بندی داشته باشند (اوجها و بیساوال، ۲۰۰۹، ۲۰). به بیان دیگر اگر مدلی دارای چندین هدف مختلف باشد که می‌بایست این اهداف به ترتیب تأمین شوند، می‌توان از یک الگوریتم رتبه‌ای تحت عنوان روش قاموسی استفاده کرد. برای حل مدل چندهدفه به روش قاموسی می‌بایست مراحل زیر را انجام داد (اوجها و بیساوال، ۲۰۰۹):

بهره‌برداری بهینه.....

$$\text{Max} = \begin{cases} Obj1 \\ Obj2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Objn \end{cases} \quad \text{Subject To :} \begin{cases} C1 \\ C2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Cm \end{cases} \quad (5)$$

ابتدا مدل با اولین هدف، یعنی هدفی که می‌بایست ابتدا تأمین شود و دارای اهمیت بیشتری است، به صورت تک هدفی حل می‌شود. در ادامه با توجه به مقدار به دست آمده از مرحله قبل ($g1$)، هدف اول به عنوان یک محدودیت وارد مدل شده ($Obj1 \leq g1$) و مدل با هدف دوم به همراه محدودیت اضافه شده حل می‌شود. این فرایند تا حل مدل برای آخرین هدف ادامه می‌یابد. در این مطالعه به دلیل اهمیت بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، ابتدا مدل با هدف حداکثر سازی بهره‌وری آب آبیاری و سپس با هدف حداکثر سازی بازده برنامه‌ای، بهینه سازی شد. در ادامه محدودیت‌های مختلف اقتصادی و هیدرولوژیکی بر مدل اعمال گردید.

۱. محدودیت اول معادله پیوستگی^۱ مخزن سد است که بر اساس قانون بقای جرم^۲ بوده و بدین مفهوم می‌باشد که در تمام مراحل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن باید موازنه بین مقادیر ورودی و خروجی و حجم ذخیره مخزن برقرار باشد. این محدودیت برای مخزن سد درودزن، به صورت رابطه ۶ آورده شده است (لوکس و همکاران، ۱۹۸۱):

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - Evp_t - Dis_t - Spill_t \quad (6)$$

در رابطه ۶، S_{t+1} حجم ذخیره مخزن در دوره $t+1$ ام، S_t حجم ذخیره مخزن در دوره t ام، I_t ورودی به مخزن سد در دوره t ام، R_t خروجی (میزان رهاسازی) از مخزن در دوره t ام، $Spill_t$ میزان نشت در دوره t ام، Evp_t میزان تبخیر از سطح مخزن در دوره t ام و Dis_t میزان سرریز از مخزن سد درودزن در دوره t ام می‌باشند.

-
1. Continuity Equation
 2. Mass Balance

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

۲. محدودیت دوم به محدودیت حجم ذخیره مخزن^۱ معروف است، بدین مفهوم که در تمام مراحل بهینه‌سازی بهره برداری از مخزن، حجم ذخیره بایستی بین مقادیر حداقل و حداکثر آن مخزن باشد. بر این اساس محدودیت حجم مخزن برای سد درودزن به صورت رابطه ۷ منظور گردید (بازرگان و همکاران، ۲۰۱۱):

$$S_{\min} < S_t < S_{\max} \quad (7)$$

در رابطه فوق S_{\min} حداقل حجم مخزن یا حجم مرده سد و S_{\max} حداکثر ظرفیت مخزن می‌باشد.

۳. محدودیت سوم، محدودیت خروجی مخزن است. بر اساس این محدودیت، میزان خروجی بهینه‌سازی شده در هر دوره بایستی علاوه بر اینکه مثبت باشد، برابر یا کمتر از میزان نیاز پایین دست هر سد باشد و به صورت رابطه ۸ بیان شده است (قهرمان و سپاسخواه، ۲۰۰۲):

$$0 \leq R_t \leq D_t \quad (8)$$

۴. محدودیت چهارم محدودیت ظرفیت کانال‌هاست. بر این اساس میزان رها سازی در هر دوره نباید از ظرفیت کانال‌های درجه یک پایین دست سد بیشتر باشد. این محدودیت را می‌توان به صورت رابطه ۹ نشان داد (لوکس و همکاران، ۱۹۸۱):

$$R_t \leq C_{Max} \quad (9)$$

که در آن C_{Max} حداکثر ظرفیت کانال سد است.

۵. محدودیت پنجم، محدودیت زیست محیطی است که کمتر در مدل‌های بهره‌برداری از سد مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس این محدودیت باید میزان رهاسازی برابر و یا بیشتر از میزان حداقل نیاز زیست محیطی پایین دست باشد (بلوری یزدلی و همکاران، ۱۳۹۰). در این مطالعه حداقل نیاز زیست محیطی دریاچه بختگان معادل حقایه زیست محیطی آن در نظر گرفته شد (تیموری و همکاران، ۱۳۹۰، ۳۲):

$$R_t \geq MDT_t \quad (10)$$

بهره‌برداری بهینه.....

که در آن MDT_t حداقل نیاز آبی زیست محیطی پایین دست سد در دوره t ام می‌باشد. در این مطالعه نیاز زیست محیطی دریاچه بختگان معادل حبابه آن در نظر گرفته شد.

۶. محدودیت دیگر که به صورت رابطه ۱۱ بیان شده است، به محدودیت یا فرض پایداری^۱ معروف و تضمین کننده این موضوع است که حجم مخزن در دوره اول و در انتهای دوره آخر برابر خواهند بود (بلوری یزدلی و همکاران، ۱۳۹۰):

$$S_{T+1} = S_1 \quad (11)$$

در صورت عدم اعمال این قید، حجم انتهایی مخزن دوره آخر آزاد بوده و مستقل از حجم اولیه است. همچنین مدل با فرض ذخیره آب شرب شهر شیراز و مرودشت برای سه سال آبی و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی تحت شرایط موجود منطقه طراحی شد. در این مدل حجم اولیه مخزن بر اساس متوسط آن طی سال‌های گذشته، ۳۷۹ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد (مهتاب قدس، ۱۳۸۹، جلد ششم)، اما حجم ذخیره آب در پایان هر سال برابر با ۴۱۴ میلیون متر مکعب می‌باشد. به بیان دیگر ۳۵ میلیون متر مکعب آب به منظور اطمینان در عرضه آب شرب در مخزن ذخیره شد.

۷. محدودیت حداکثر میزان تولید انرژی یکی دیگر از محدودیت‌های مدل است. با توجه به قدرت محدود توربین در تولید برق، می‌توان محدودیت توربین‌های مولد انرژی الکتریکی سد درودزن را به صورت رابطه ۱۲ در نظر گرفت (براندو، ۲۰۱۰، ۳۱۰۵):

$$\rho R_t H_t \leq E_{Max} \quad (12)$$

که در آن E_{Max} حداکثر ظرفیت توربین سد درودزن بر حسب مگا وات ساعت، ρ ضریب تولید انرژی و H_t ارتفاع آب بالای توربین این سد در دوره t ام است. جهت محاسبه ارتفاع آب بالای هر توربین، با استفاده از داده‌های موجود، می‌توان رابطه‌ای به صورت زیر برآورد کرد که به رابطه ارتفاع-حجم معروف است (مهتاب قدس، ۱۳۸۹، جلد ششم، ۱۵).

$$H_t = \beta_0 + \beta_1 S_t + \beta_2 S_t^2 \quad (13)$$

1. Cary Over

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

۸. محدودیت زمین، محدودیت دیگری است که بر مدل اعمال می‌گردد و در آن باید سطح زیر کشت تمام محصولات کمتر از زمین‌های موجود در پایین دست سد باشد و به صورت رابطه ۱۴، قابل بیان است (بازرگان و همکاران، ۲۰۱۱):

$$\sum_{i=1}^n A_i \leq A_{Max} \quad (14)$$

که در آن A_i سطح زیر کشت هر محصول و A_{Max} کل اراضی قابل کشت حوزه سد درودزن می‌باشد.

۹. محدودیت آب در دسترس، محدودیت دیگری است که بر مدل اعمال می‌شود و به صورت رابطه زیر قابل بیان است (دیواکار و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۷):

$$W_{rt} + W_{int} + W_{et} + \sum_{i=1}^n A_i W_{ait} \leq R_t + GW_t \quad (15)$$

در رابطه فوق، باید آب مورد نیاز شرب (W_r)، صنعت (W_{in})، محیط زیست (W_e) و بخش کشاورزی (W_a) شامل مجموع محصولات در الگوی کشت بهینه در دوره‌های زمانی مورد بررسی، کمتر از مجموع آب رها شده از مخزن (R_t) و آب‌های زیرزمینی منطقه (GW_t) باشد.

منحنی فرمان^۱

یکی از اولویت‌های اساسی طرح‌های تأمین آب، بهره‌برداری مناسب و بهینه از مخازن ذخیره می‌باشد که از طریق کنترل خروجی از مخزن صورت می‌گیرد. میزان رها سازی آب از مخزن در هر ارتفاع یا حجم آب، با استفاده از یک راهنما، جدول و یا نمودار صورت می‌گیرد. این جداول و یا نمودارها به عنوان دستورالعمل‌های بهره‌برداری از مخازن سدها استفاده می‌شوند و به منحنی فرمان سد معروف هستند (ساعی و همکاران، ۱۳۸۸، ۲۲۳).

در اغلب مخازن دنیا، منحنی فرمان به عنوان الگوی بهره‌برداری تعیین کننده میزان رها سازی آب از مخازن می‌باشد. این منحنی‌ها میزان تغییرات مقادیر بهینه آب تأمینی یا

1. Rule Curve

بهره‌برداری بهینه.....

تحویلی سیستم به ازای وضعیت‌های مختلف ذخیره در ماه‌های مختلف را نشان می‌دهد (وتروبا و پروزا، ۱۹۸۹). معمول‌ترین شکل‌های منحنی فرمان شامل خطی و غیرخطی است.

منحنی فرمان خطی، که میزان رهاسازی به صورت خطی، با شیب کمتر از یک به آب موجود در مخزن (حجم ذخیره) یا میزان آورد رودخانه به مخزن سد (ورودی به مخزن) و یا مجموع هر دو می‌باشد، وابسته می‌گردد و معمولاً در سدهای چند منظوره مورد استفاده قرار می‌گیرد (کارآموز و همکاران، ۱۹۹۲؛ شین و رویل، ۱۹۹۴؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۱؛ نیکو و همکاران، ۲۰۱۳؛ بلوری یزدلی و همکاران، ۱۳۸۷). این منحنی‌ها به صورت روابط ۱۶ تا ۱۸ قابل بیان است.

$$R_t = \alpha + \beta In_t + e_t \quad (16)$$

$$R_t = \alpha + \beta S_{t-1} + e_t \quad (17)$$

$$R_t = \alpha + \beta_1 In_t + \beta_2 S_{t-1} + e_t \quad (18)$$

که در روابط فوق، In_t حجم آب ورودی به مخزن سد، S_{t-1} حجم آب مخزن در دوره قبل و R_t حجم آب رها شده از مخزن سد می‌باشند. α و β نیز ضرایب برآوردی منحنی فرمان هستند.

در منحنی فرمان غیر خطی (درجه دو)، میزان رهاسازی به صورت غیر خطی و در نقطه‌ای بالاتر از مبدأ، با شیب کمتر از یک به آب موجود یا آورد رودخانه و یا مجموع آنها وابسته می‌گردد (بایازیت و اونال، ۱۹۹۰؛ سیرینیواس و فیلیپوس، ۱۹۹۶). برای این منظور حجم ذخیره و آورد به صورت توابع درجه دوم در نظر گرفته می‌شوند و به صورت روابط ۱۹ تا ۲۱ قابل بیان هستند.

$$R_t = \alpha + \beta_1 In_t + \beta_2 In_t^2 + e_t \quad (19)$$

$$R_t = \alpha + \beta_1 S_{t-1} + \beta_2 S_{t-1}^2 + e_t \quad (20)$$

$$R_t = \alpha + \beta_1 In_t + \beta_2 In_t^2 + \beta_3 S_{t-1} + \beta_4 S_{t-1}^2 + e_t \quad (21)$$

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل ورودی به مخزن، خروجی از مخزن، حجم مخزن، میزان نشت و تبخیر از مخزن و ظرفیت کانال از سازمان آب منطقه‌ای فارس جمع آوری شد. همچنین اطلاعات مورد نیاز کشاورزی شامل هزینه‌ها و درآمد محصولات مختلف از طریق تکمیل پرسش‌نامه گردآوری شد.

نتایج و بحث

طی سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌های پیاپی در منطقه، آب صرفاً برای کشت پاییزه دو محصول گندم و جو از مخزن سد رها شده است. همچنین به دلیل حجم کم آب رها شده و عدم برنامه ریزی مناسب جهت توزیع آن، آب مورد نیاز زارعین بدون اندازه‌گیری و تنها در برخی از ماه‌های سال توزیع شده است. میزان آب رها شده طی سال‌های اخیر نوسانات زیادی داشته و از ۱۲۷ تا ۵۵۵ میلیون متر مکعب تغییر کرده است. این در حالی است که میزان آب رها شده جهت مصارف شرب و صنعت به دلیل ظرفیت ثابت سیستم انتقال آب برای شهر شیراز و مرودشت، تقریباً ثابت بوده است (مه‌اب قدس، ۱۳۸۹، جلد ششم، ۱۶). بر این اساس در این مطالعه میزان نیاز آبی بخش‌های صنعت و شرب ثابت و در طول محاسبات، آب مورد نیاز شرب و صنعت به‌طور کامل تأمین شده است. در جدول ۲ ترکیب کشت محصولات زراعی آبی تحت شرایط مختلف آب و هوایی آورده شده است.

جدول ۲. ترکیب کشت محصولات زراعی آبی تحت شرایط مختلف آب و هوایی

محصول	سال زراعی		نرمال (۸۶-۸۷)		الگوی کشت فعلی
	درصد	سطح (هکتار)	درصد	سطح (هکتار)	
گندم	۷۵	۳۸۷۶۴	۷۰	۴۰۰۱۹	
جو	۱۱	۵۴۸۸	۱۰	۵۶۲۱	
زراعت گوجه فرنگی	۳	۱۵۸۶	۴	۲۰۳۸	
آبی چغندر قند	صفر	۵۳	صفر	۱۷	
یونجه	۱	۵۶۰	صفر	۵۷۴	
سایر	۲	۷۴۸	۱	۸۲۷	

بهره‌برداری بهینه.....

ادامه جدول ۲

۲	۱۰۸۴	۴	۲۲۶۵	برنج	کشت
۶	۲۹۹۷	۱۰	۵۴۸۲	ذرت	مجدد
صفر	۱۴۰	۱	۶۵۹	سایر	
۱۰۰	۵۱۴۲۰	۱۰۰	۵۷۵۰۲	مجموع	
	۱۹۶	۶۴۰		حجم آب ورودی به مخزن	
	۶۴	۵۸۷		حجم آب رها شده از مخزن جهت مصارف	
	۲۱۲۶	۲۵۶۱		بازده برنامه ای (میلیارد ریال)	
	۳/۹	۳/۰۸		متوسط بهره وری آب	

مأخذ: مراکز خدماتی محدوده مورد مطالعه

در ادامه مدل بهره‌برداری بهینه از سد درودزن از طریق برنامه‌ریزی غیر خطی برای یک دوره سه ساله از سال زراعی ۹۱-۱۳۸۹ تا ۹۲-۱۳۹۱ به صورت فواصل زمانی ۱۰ روزه و با فرض آبیاری غرقابی (شرایط موجود منطقه) طراحی شد. همچنین مدل اولیه با فرض عدم رهاسازی حقابه دریاچه بختگان و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی تحت شرایط موجود (برداشت بیش از حد مجاز) طراحی شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. الگوی پیشنهادی با فرض ذخیره آب شرب (عدم رهاسازی حقابه بختگان و

برداشت تحت شرایط موجود)

درصد تغییر	سال نرمال (۸۷-۱۳۸۶)	متوسط	الگوی کشت بهینه			رقم	متغیر
			-۹۲	-۹۱	-۹۰		
			۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹		
+۳۱	۴۰۰۱۹	۵۲۶۲۸	۵۵۹۶۳	۶۴۳۵۹	۳۷۵۶۱	سیروان	سطح گندم
+۴۶	۵۴۸۲	۸۰۲۱	۵۰۳۷	۱۳۹۸۹	۵۰۳۷	۷۰۳	ذرت زیر
-	۱۲۰۰۱	-	-	-	-	-	سایر کشت
+۵	۵۷۵۰۲	۶۰۶۴۹	۶۱۰۰۰	۷۸۳۴۸	۴۲۵۹۸		مجموع (هکتار)
-۹	۲۵۶۱	۲۳۳۶	۲۵۰۴	۳۱۲۴	۱۳۸۰		بازده برنامه‌ای کشاورزی (میلیارد ریال)
-۲	۵۸۷	۵۷۵	۵۵۹	۷۶۷	۴۰۰		آب مصرفی کشاورزی (میلیون مترمکعب)
+۳۰	۳/۰۸	۴	۴/۵	۴/۱	۳/۴		متوسط بهره وری آب کشاورزی

مأخذ: یافته‌های تحقیق

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

بر اساس نتایج جدول ۳، مدل پیشنهادی به طور متوسط در مقایسه با شرایط نرمال ۲ درصد کمتر آب جهت مصارف کشاورزی از مخزن سد درودزن رها می‌نماید. اما بازده برنامه‌ای منطقه ۹ درصد کاهش می‌یابد. در مقابل در صورت اعمال الگوی پیشنهادی، بهره‌وری آب ۳۰ درصد افزایش می‌یابد. الگوی کشت بهینه، کاشت دو محصول گندم رقم سیروان (۵۲۶۲۸ هکتار) و ذرت سینگل کراس ۷۰۳ (۸۰۲۱ هکتار) را از میان محصولات با رقم‌های مختلف پیشنهاد می‌نماید. این الگو موجب افزایش سطح زیر کشت منطقه به اندازه ۶ درصد در مقایسه با سال نرمال می‌گردد.

از ویژگی‌های ذرت سینگل کراس ۷۰۳ می‌توان به کاهش رطوبت دانه در زمان برداشت در مقایسه با سایر ارقام، برداشت یک هفته زودتر از سایر رقم‌های موجود در منطقه، عملکرد بالا و نیمه حساس بودن به سیاهک اشاره کرد (دهقانپور، ۱۳۹۲). همچنین گندم سیروان از میان سایر ارقام گندم دارای عملکردی بالا، نیاز به کم آبیاری آخر فصل و کیفیت نانویی خوب می‌باشد. گندم سیروان دارای وزن هزار دانه زیاد، قدرت پنجه زنی بسیار بالا و مقاومت مناسب نسبت به خوابیدگی بوته و زنگ است. این رقم نسبتاً زود رس بوده و با اقلیم گرم و معتدل سازگار می‌باشد (نیکزاد و همکاران، ۱۳۹۲). در ادامه مدل با فرض رها سازی کل حقاچه دریاچه بختگان (۴۸ میلیون متر مکعب در هر سال)، ذخیره آب شرب شهر شیراز و مرودشت برای سه سال آتی و بهره برداری از منابع آب زیرزمینی تحت شرایط موجود منطقه طراحی شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

بهره برداری بهینه.....

جدول ۴. الگوی پیشنهادی با فرض رها سازی حقاچه دریاچه بختگان (ذخیره آب شرب و

برداشت تحت شرایط موجود)

متغیر	رقم	الگوی کشت بهینه			سال نرمال (۸۷-۱۳۸۶)	درصد تغییر	
		متوسط	-۹۲	-۹۱			-۹۰
			۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹		
سطح زیر کشت	گندم	سیروان	۳۱۷۹۶	۶۴۳۵۹	۵۰۴۳۱	۴۸۸۶۲	۲۲+
کشت	ذرت	۷۰۳	۵۰۳۷	۱۰۷۹۶	۵۰۳۷	۶۹۵۷	۲۷+
(هکتار)	سایر محصولات	-	-	-	-	-	۱۲۰۰۱
	مجموع (هکتار)	۳۶۸۳۳	۷۵۱۵۵	۵۵۴۶۸	۵۵۸۱۹	۵۷۵۰۲	۳-
	بازده برنامه‌های کشاورزی (میلیارد ریال)	۱۲۱۹	۲۸۸۲	۲۲۹۹	۲۱۳۴	۲۵۶۱	۱۷-
	آب مصرفی کشاورزی (میلیون متر مکعب)	۳۵۰	۷۱۹	۵۱۱	۵۲۶	۵۸۷	۱۰-
	متوسط بهره وری آب کشاورزی	۳/۴	۴	۴/۵	۴	۳/۰۸	۳۰+

مأخذ: یافته های تحقیق

همان‌طور که از نتایج جدول ۴ مشخص است، رها سازی حقاچه دریاچه بختگان و ذخیره آب شرب برای سه سال آینده شهرهای شیراز و مرودشت، منجر به کاهش ۱۰ درصدی مصرف آب کشاورزی می‌گردد. این کاهش مصرف آب، منجر به کاهش بازده برنامه‌ای بخش کشاورزی تا ۱۷ درصد می‌شود. با این حال بهره‌وری آب در بخش کشاورزی همچنان ۳۰ درصد نسبت به سال نرمال افزایش یافته است. الگوی پیشنهادی کشت دو محصول گندم رقم سیروان (۴۸۸۶۲ هکتار) و ذرت سینگل کراس ۷۰۳ (۶۹۵۷ هکتار) را پیشنهاد می‌نماید. این الگو، کشت محصول گندم را ۲۲ درصد و کشت محصول ذرت را ۲۷ درصد نسبت به سال نرمال افزایش می‌دهد. البته در الگوی کشت پیشنهادی به دلیل کاهش مصرف آب کشاورزی و اختصاص آن به مصارف شرب و محیط زیست، سطح زیر کشت منطقه ۳ درصد در مقایسه با سال نرمال کمتر است.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

در تمام سناریوها و مدل‌های فوق فرض بر آن است که بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی تحت شرایط موجود و بیش از حد مجاز تعیین شده است. در ادامه مدل بهره‌برداری از مخزن سد درودزن تحت سناریو برداشت بر اساس میزان مجاز و معادل ۱۸۸ میلیون متر مکعب در سال طراحی شد که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. لازم به ذکر است این مدل با فرض نگهداری و ذخیره آب شرب شهرهای شیراز و مرودشت برای ۳ سال آینده و رهاسازی حقابه دریاچه بختگان طراحی شده است.

جدول ۵. الگوی پیشنهادی با فرض برداشت از منابع آب زیرزمینی در حد مجاز (ذخیره آب

شرب برای سه سال آینده و رهاسازی حقابه دریاچه بختگان)

متغیر	رقم	الگوی کشت بهینه			سال نرمال (۱۳۸۶-۸۷)	درصد تغییر
		متوسط	-۹۲	-۹۱		
		۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹		
سطح گندم	سیروان	۳۰۳۲۳	۶۴۳۵۹	۴۸۷۰۹	۴۷۷۹۷	+۱۹
زیر کشت	۷۰۳	۳۸۵۲	۸۵۰۹	۳۸۵۲	۵۴۰۴	-۱
سایر محصولات (هکتار)	-	-	-	-	-	۱۲۰۰۱
مجموع (هکتار)		۳۴۱۷۵	۷۲۸۶۸	۵۲۵۶۱	۵۳۲۰۱	-۷
بازده برنامه‌ای کشاورزی (میلیارد ریال)	۱۱۰۰	۲۷۱۰	۲۱۳۳	۱۹۸۱	۲۵۶۱	-۲۲
آب مصرفی کشاورزی (میلیون متر مکعب)	۳۲۱	۶۸۴	۴۷۹	۴۹۵	۵۸۷	-۱۷
متوسط بهره وری آب کشاورزی	۳/۴	۴	۴/۴	۳/۹	۳/۰۸	+۲۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج جدول ۵، مدل پیشنهادی با کاهش آب مصرفی بخش کشاورزی به اندازه ۱۷ درصد به دلیل کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی تا حد مجاز تعیین شده، رهاسازی حقابه بختگان و ذخیره آب شرب برای سه سال آتی دریاچه بختگان، بازده برنامه‌ای منطقه را ۲۲ درصد نسبت به سال نرمال کاهش می‌دهد. البته متوسط بهره وری آب ۲۶ درصد افزایش یافته است.

بهره‌برداری بهینه.....

الگوی کشت بهینه، کاشت دو محصول گندم رقم سیروان (۴۷۷۹۷ هکتار) و ذرت سینگل کراس ۷۰۳ (۵۴۰۴ هکتار) را از میان محصولات با رقم‌های مختلف پیشنهاد می‌نماید. این الگو سطح زیر کشت را نسبت به سال نرمال ۷ درصد کاهش می‌دهد. لازم به ذکر است سطح زیر کشت ذرت نسبت به سال نرمال ۱ درصد کاهش یافته است. در مقابل سطح زیر کشت گندم ۱۹ درصد افزایش یافته است.

سیستم آبیاری در محدوده سد درودزن به صورت آبیاری غرقابی است. در این مطالعه راندمان انتقال ۸۰ درصد و راندمان آبیاری غرقابی ۵۰ درصد و در نهایت راندمان آبیاری ۴۰ درصد در نظر گرفته شد. اما کشاورزان می‌توانند از طریق تغییر سیستم آبیاری راندمان را افزایش دهند. بر این اساس در این مطالعه سناریوی نصب سیستم آبیاری بارانی در مزارع نیز در مدل در نظر گرفته شد. همچنین سناریوی اعمال مدیریت آب توسط کشاورزان از طریق اعمال کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه مورد نیز در مدل منظور شد که نتایج الگوی بهینه آن در جدول ۶ آورده شده است. بر این اساس برای هر وارسته گندم و جو ۳۶ متغیر، ذرت ۲۶ متغیر، گوجه فرنگی و چغندر قند ۱۳ متغیر تعریف شد. در خصوص محصول برنج نیز کم آبیاری در تمام مراحل رشد اعمال شد.

جدول ۶. الگوی پیشنهادی با اعمال کم آبیاری و نصب سیستم آبیاری بارانی (ذخیره سه سال آب شرب، برداشت از منابع آب زیرزمینی در حد مجاز و رها سازی حقاچه دریاچه بختگان)

متغیر	رقم	کم آبیاری	الگوی کشت بهینه			سال نرمال (۸۷-۱۳۸۶)	متوسط	درصد تغییر
			۱۳۹۱-۹۲	۱۳۹۰-۹۱	۱۳۸۹-۹۰			
سطح زیر کشت	گندم	۴۰ درصد در مرحله رسیدن	۵۸۷۲۳	۶۴۲۵۹	۲۹۹۰۰	۵۰۹۹۴	۴۰۰۱۹	+۲۷
ذرت	ذرت	صفر	۶۸۰۹	۱۵۷۹۱	۵۸۲۹	۹۴۷۶	۵۴۸۲	+۷۳
سایر (هکتار)	-	-	-	-	-	-	۱۲۰۰۱	-
مجموع (هکتار)								
			۶۵۵۳۲	۸۰۱۵۰	۳۵۷۲۹	۶۰۴۷۰	۵۷۵۰۲	+۵
بازده برنامه‌ای کشاورزی (میلیارد ریال)								
			۳۰۶۴	۳۴۲۰	۱۲۱۲	۲۵۶۶	۲۵۶۱	+۰/۲
آب مصرفی بخش کشاورزی (میلیون متر مکعب)								
			۴۸۶	۶۸۷	۳۲۷	۵۰۰	۵۸۷	-۱۵
متوسط بهره وری آب کشاورزی								
			۶/۳	۵	۳/۷	۵	۳/۰۸	+۶۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

همان‌طور که از جدول ۶ مشخص است، مدل پیشنهادی به‌طور متوسط در مقایسه با شرایط نرمال ۱۵ درصد آب جهت مصارف کشاورزی کمتر مصرف کرده است. در مقابل الگوی پیشنهادی بازده برنامه‌ای منطقه را ۰/۲ درصد افزایش داده است. همچنین در صورت اعمال الگوی پیشنهادی، بهره‌وری آب ۶۲ درصد افزایش می‌یابد. الگوی کشت بهینه، کاشت دو محصول گندم رقم سیروان با ۴۰ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن محصول (۵۰۹۹۴ هکتار) و ذرت سینگل کراس ۷۰۳ بدون اعمال کم آبیاری (۹۴۷۶ هکتار) را از میان محصولات با رقم‌های مختلف پیشنهاد می‌نماید. همچنین سطح زیر کشت منطقه نسبت به سال نرمال تنها ۵ درصد افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج جدول ۶ می‌توان گفت مدل پیشنهادی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن با رعایت حقابه دریاچه بختگان، کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی منطقه، ذخیره آب شرب شهر شیراز و مرودشت برای سه سال آینده، از طریق اعمال کم آبیاری و نصب سیستم آبیاری بارانی، قادر است با افزایش ناچیز در بازده برنامه‌ای، بهره‌وری آب کشاورزی را ۶۳ درصد افزایش دهد. همچنین مقایسه نتایج الگوی بهینه با الگوی فعلی منطقه که به‌عنوان شرایط خشکسالی مطرح می‌باشد، حاکی از افزایش ۱۷ درصدی بازده برنامه‌ای و افزایش ۲ درصدی در بهره‌وری آب آبیاری است. سپس از بهینه‌سازی میزان رها سازی آب از مخزن سد درودزن، منحنی‌های مختلف فرمان، با درجه‌های توانی مختلف از جریان ورودی و حجم ذخیره برآورد شدند که نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است.

بهره‌برداری بهینه.....

جدول ۷. منحنی فرمان سد درودزن

مدل	ضرایب							آماره‌های تشخیص		
	α	In_t	In_t^2	S_{t-1}	S_{t-1}^2	R^2	\bar{R}^2	F		
۱	۹/۹***	۰/۲۲**	-	-	-	۰/۰۴	۰/۰۳	۵/۱**		
۲	۵/۰۹*	۰/۷۵***	-۰/۰۰۶***	-	-	۰/۱۲	۰/۱۰	۷/۱۲***		
۳	-۵۸/۵***	-	-	۰/۱۵***	-	۰/۵۲	۰/۵۱	۱۱۳/۶***		
۴	۴۸/۵***	-	-	-۰/۴۱***	۰/۰۰۵***	۰/۶۰	۰/۵۹	۷۳/۴***		
۵	-۵۹/۶***	-۰/۰۶	-	۰/۱۵***	-	۰/۵۲	۰/۵۱	۵۶/۸***		
۶	۸۷/۵***	-۰/۱۶	۰/۰۰۵	-۰/۴۳***	۰/۰۰۶***	۰/۶۱	۰/۵۹	۳۹/۵***		

مأخذ: یافته‌های تحقیق ***، ** و * به ترتیب معنی داری در سطح اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد

با توجه به نتایج جدول ۷، مدل شماره ۴ به دلیل معنی‌داری تمام ضرایب و بالابودن ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده در مقایسه با سایر مدل‌ها، به عنوان منحنی فرمان سد درودزن انتخاب شد. منحنی فرمان سد درودزن به صورت زیر قابل بیان است:

$$R_t = 48.5 - 0.41S_{t-1} + 0.0005S_{t-1}^2$$

در این منحنی، میزان رها سازی آب از مخزن سد تابعی درجه دو از حجم مخزن در دوره قبل است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه سیاست بهره‌برداری از مخزن سد درودزن به همراه تعیین الگوی کشت بهینه، با تأکید بر بهره‌وری آب در بخش کشاورزی برای یک دوره سه ساله از ۹۰-۱۳۸۹ تا ۹۲-۱۳۹۱ تدوین شد. همچنین سناریوهای متفاوتی شامل اعمال کم آبیاری در دوره‌های مختلف رشد گیاه، استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری، سیاست کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی تا حد مجاز تعیین شده، استفاده از رقم‌های جدید و اصلاح شده، رها سازی و عدم رها سازی حقایه دریاچه بختگان و ذخیره آب شرب در مدل اعمال شدند.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

الگوی کشت بهینه پیشنهادی، کاشت دو محصول گندم رقم سیروان با ۴۰ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن (۵۰۹۹۴ هکتار) و ذرت سینگل کراس ۷۰۳ بدون اعمال کم آبیاری (۹۴۷۶ هکتار) را از میان محصولات با رقم‌های مختلف پیشنهاد می‌نماید. این نتایج با نتایج مطالعه شعبانی و همکاران (۱۳۸۷) و محسن پور و زیبایی (۱۳۸۹) نیز هم‌خوانی دارد، چرا که در مطالعات مذکور نیز کشت دو محصول گندم و ذرت در اراضی زیر سد درودزن پیشنهاد شده است.

همچنین نتایج مطالعه نشان داد که در صورت اعمال تمام سناریوها، شامل اعمال کم آبیاری به همراه استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری و رعایت حقایق دریاچه بختگان به همراه کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی تا حد مجاز و ذخیره آب شرب برای سه سال آینده شهرهای شیراز و مرودشت، بهره‌وری آب ۶۲ درصد افزایش می‌یابد و به‌طور متوسط ۱۵ درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد. در مقابل الگوی پیشنهادی، بازده برنامه‌ای منطقه را در حدود ۰/۲ درصد افزایش می‌دهد. در پایان منحنی فرمان جهت بهره‌برداری از مخزن سد درودزن نیز استخراج شد.

با توجه به نتایج فوق و همچنین با توجه به اینکه میزان رهاسازی از مخزن سد درودزن در سال‌های گذشته بهینه نبوده است (محسن پور و زیبایی، ۱۳۸۹، ۱) پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در زمینه مدیریت منابع آبی، با استفاده از مدل و منحنی فرمان پیشنهادی، نسبت به رهاسازی آب از سد درودزن اقدام نمایند. همچنین بر اساس الگوی کشت بهینه، می‌توان بهره‌وری آب در منطقه را افزایش داد. لذا اعمال الگوی کشت بهینه در مطالعه پیشنهاد می‌شود. در این زمینه اعمال سیاست عدم کشت برنج در منطقه و کشت ذرت به‌عنوان جایگزین برنج نیز از جمله سیاست‌های پیشنهادی است. همچنین می‌توان از طریق مدیریت و نظارت بر چاه‌های حفر شده در منطقه، اقدام لازم در جهت کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی تا حد مجاز منطقه را انجام داد. در این زمینه نصب کنتورهای هوشمند روی چاه‌های کشاورزی، از جمله سیاست‌های پیشنهادی است. همچنین به‌منظور افزایش کارایی

بهره‌برداری بهینه.....

آبیاری، اعطای تسهیلات مناسب جهت نصب سیستم‌های نوین آبیاری از جمله اقدامات ضروری است.

منابع

آرین، ا. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۷۰. معرفی و برازش مدل شبیه‌سازی محصولات زراعی و مدیریت آب و خاک (CRPSM). چهارمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه کرمان. ایران.
احسانی، م. و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول ۱۱۶ صفحه.

بران، ص. و هنریخش، ن. ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در ایران و جهان. فصلنامه راهبرد، شماره ۴۸: ۱۹۳-۲۱۹.

برهانی داریان، ع. و مرادی، الف. م. ۱۳۸۹. الگوریتم مورچگان پیوسته در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم چند مخزنی، مطالعه موردی: مخازن حوزه کرخه. مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۸: ۹۱-۴۸.

بلوری یزدلی، ی.، فلاح مهدی‌پور، الف. و بزرگ حداد، الف. ۱۳۸۷. استخراج منحنی فرمان سد دز بر اساس سیاست جیره بندی. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران.

بلوری یزدلی، ی.، بزرگ حداد، الف. و علیمحمدی، س. ۱۳۹۰. استخراج قواعد بهره‌برداری همزمان سیستم‌های چندمخزنه در شرایط کم آبی. مجله تحقیقات منابع آب، شماره ۲: ۱۵-۲۵.

تراپی حقیقی، ع.، زمردیان، س. م. و دهقانی، م. ۱۳۸۳. بهینه‌یابی شرایط بهره‌برداری از نیروگاه‌های آبی مطالعه موردی نیروگاه سد درودزن شیراز. اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران.

تیموری، الف.، احمد پور، الف.، حبیبی، ل. و سالاروندیان، ف. ۱۳۹۰. تعیین حقابه زیست محیطی دریاچه‌های طشک و بختگان با استفاده از روش طبقه بندی C- میانگین فازی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۷: ۲۱-۳۷.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و چهارم، شماره ۹۶

دهقانپور، ز. ۱۳۹۲. دستور العمل فنی کاشت، داشت و برداشت ذرت، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ساعی، و.، منتصری، م. و فتحی، پ. ۱۳۸۸. روش ماتریس احتمالی در تعیین منحنی فرمان بهره‌برداری مخازن سدها و مقایسه آن با روش SPA. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ص: ۲۲۱ - ۲۳۰.

سلطانی، غ. ۱۳۹۱. بررسی تطبیقی الگوی مصرف و مدیریت تقاضای آب کشاورزی در کشورهای منطقه (منا، خاورمیانه و شمال آفریقا). *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۴ (۲): ۱-۲۵. شعبانی، م. ک.، هنر، ت. و زیبایی، م. ۱۳۸۷. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی. *علوم و فنون کشاورزی*، ۴۴: ۵۳-۶۶. شوشتریان، آ.، زیبایی، م. و سلطانی، غ. ۱۳۸۹. بررسی پایداری سیستم های زراعی با توجه به اهداف اقتصادی و زیست محیطی: مطالعه ی موردی در منطقه ی کامفیروز استان فارس. *اقتصاد کشاورزی*، ۴ (۴): ۱-۲۸.

شهرستانی، ح. ۱۳۹۳. سازماندهی و مدیریت مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی. *فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴۵: ۳۷-۴۱. صبوحی صابونی، م.، سلطانی، غ.، زیبایی، م. و ترکمانی، ج. ۱۳۸۵. تعیین راهبرد مناسب کم آبیاری با هدف حداکثر سازی منافع اجتماعی. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، شماره ۵۶: ۱۶۷-۲۰۲. صبوحی صابونی، م.، سلطانی، غ. و زیبایی، م. ۱۳۸۶. ارزیابی راه کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت نریمان در استان خراسان. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۱ (۱): ۴۷۵-۴۸۵.

فتحی، ف. و زیبایی، م. ۱۳۸۹. عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه: مطالعه موردی دشت فیروزآباد. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، علوم آب و خاک، شماره ۵۳، ۱۶۴-۱۵۵.

بهره‌برداری بهینه.....

فرزین، م. ر.، حسینی، س. ش. و موحد نژاد، ع. ۱۳۹۱. مبانی طرح تحولات اقتصادی، با تأکید بر هدفمند کردن یارانه‌ها، وزارت امور اقتصادی و دارایی، معاونت امور اقتصادی. چاپ اول، ۲۸۸ صفحه.

محسن‌پور، ر. و زیبایی، م. ۱۳۸۹. تعیین الگوی کشت بهینه در اراضی زیر سد درودزن با استفاده از برنامه‌ریزی غیر خطی و استراتژی‌های کم آبیاری. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، شماره ۷۱: ۱-۲۲.

محمدی، ح. و بوستانی، ف. ۱۳۸۸. کاربرد برنامه ریزی چند هدفی در تعیین الگوی بهینه‌ی کشت در شهرستان مرودشت با تأکید بر محدودیت آب. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱ (۳): ۲۵-۴۶.

مقدسی، م.، مرید، س. و عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۷. بهینه سازی تخصیص آب در شرایط کم آبی با استفاده از روش های برنامه ریزی غیر خطی، هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی). *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۴ (۳): ۱-۱۳.

مهذب قدس ۱۳۸۹. مجموعه گزارشات طرح ارزیابی عملکرد و پایش مدیریت بهره‌بردار، نگهداری، بهبود، ترمیم و بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن. سازمان آب منطقه‌ای فارس.
نیکزاد، الف. ر.، دستفال، م. و ساریخانی خرمی، ش. ۱۳۹۲. رقم ها و لاین های گندم نان، گندم دوروم، جو و تریتیکاله مناسب کاشت در استان فارس، وزارت جهاد کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی فارس، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.

Bayazit, M., and Unal, N. E. 1990. Effects of hedging on reservoir performance. *Water Resource*, 26(4): 713-719.

Bazargan, J., Hashemi, H., Mousavi, S. M. and Zamani Sabzi, H. 2011. Optimal operation of Single-purpose reservoir for irrigation projects under deficit irrigation using particle swarm algorithms. *Canadian Journal on Environment, Construction and Civil Engineering*, 7(2): 164-171.

- Birhanu, K., Alamirew, T., Dinka, M. O., Ayalew, S., and Aklong, D. 2014. Optimization reservoir operation policy using chance constraint nonlinear programming for Koga irrigation dam. *Ethiopia. Water Resource Management*, 28:4957:4970.
- Brando, J. L. B. 2010. Performance of the equivalent reservoir modeling technique for multi-reservoir hydropower system. *Water Resource Manage*, 24:3101–3114.
- Divakar, L., Babel, M.S., Perret, S.R. and Gupta A.D. 2011. Optimal allocation of bulk water supplies to competing use sectors based on economic criterion – An application to the Chao Phraya River Basin. *Thailand. Journal of Hydrology*, 401: 22–35.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage paper, no 33.
- Ghahraman, B., and Sepaskhah, A. R. 2002. Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple. *Irrig. Sci.*, 21: 127-137.
- Ghahraman, B., and Sepaskhah, A. R. 1997. Optimum deficit irrigation of cotton and potato fields in a semi-arid region. Iran. *J. Sci. & Tech.* 21:395-405.
- Karamouz, M., Houck, M.H., Delleur, J, W. 1992. Optimization and simulation of multiple reservoir systems. *Journal of Water Resource Planning and Management*, 118(1): 71–81.

بهره‌برداری بهینه.....

- Keshavarzi, A. and Nabavi, S. H. 2007. Dominant discharge in the Kor river, upstream of Dorodzan dam, Fars Province, Iran. *Trend in Applied Science Research*, 2: 158-164. A.D.
- Kumar, D., Raju, K.S. & Ashok, B. 2006. Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crop using genetic algorithms, ASCE. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 132: 123-129.
- Liu, P., Guo, SH., Xu, X. and Chen, J. 2011. Derivation of aggregation-based joint operating rule curves for cascade hydropower reservoirs. *Water Resource Management*, 25: 3177–3200.
- Louks, D.P., Stedinger, J.R., and Haith D.A. 1981. Water resource systems planning and analysis. New Jersey: Prentice-Hall.
- Meyer, S.J., Hubbard, K.G., and Wilhite, D.A. 1993. A crop specific drought index for corn: Model development and validation. *Agronomy Journal*, 85: 388 -395.
- Moradi-Jalla, M., Bozorg Hadad, O., Karney, B. W., Marino, M. A. 2007. Reservoir operation in assigning optimal multi-crop irrigation areas. *Agricultural Water Management*, 90:149 –159.
- Nikoo, M. R., Karimi, A., Kerachiyani, R., Poorsepahy-Samian, H. and Daneshmand, F. 2013. Rules for optimal operation of reservoir-river-groundwater systems considering water quality targets: application of M5P model. *Water Resource Manage*, 27:2771–2784.

- Ojha, A. K., & Biswal, K. K., 2009. Lexicographic multi-objective geometric programming problem. *International Journal of Computer Science Issues*, 4 (2):, No.2: 20-24.
- Rao, N.H., Sarma, P.B.S., and Chander, S. 1988. A simple dated water production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 13:25-32.
- Shahrokhnia, A. M. and Javan, M. (2009). Influence of cross-regulator settings on the offtake discharge in a modern irrigation network. *Irrigation Science*. 27(2005):165-173.
- Shih, J. S., and Revelle, C. 1994. Water supply operation during drought: Continuous hedging rule. *Journal of Water Resource Planning & Management*, 120: 613-629.
- Srinivasan, K., and Philipose, M. C. 1996. Evaluation and selection of hedging policies using stochastic reservoir simulation. *Water Resource Management*, 10: 163-188.
- Srinivasa Prasad, A., Umamahesh, N. V., and Viswanath, G. K. 2013, Short-Term real time reservoir operation for irrigation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139:149-158.
- Teixeira, S. & Marino, A. 2002. Coupled Reservoir Operation-Irrigation Scheduling by Dynamic Programming. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128: 63-73.
- UNCSD (United Nations, Commission on Sustainable Development), 1994. Review of Sectoral Clusters, First Phase: Human Settlement and Fresh

بهره‌برداری بهینه.....

Water, Fresh Water Resources. Report to the Secretary General of the UN, New York.

UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. Facing the Challenges. Case Studies and Indicators. Paris, UNESCO.

Votruba, L., and Broza, V. 1989. Function in reservoirs. Water Management System. *Developments in Water Science*, 33: 343-367.

Wang, L., Fanf, L. and Hipel, K. W. 2008. Basin-wide cooperative water resource allocation. *European Journal of Operational Research*, 190: 798-817.