اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال بیست و چهارم، شمارهٔ 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 به‌همراه 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. 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 به‌منظور 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 (نویسندهٔ مسئول)
e-mail:tarazkar@shirazu.ac.ir
۲. استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۳. استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

4. Lexicographic

سیاست کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی تا حد مجاز تعیین شده، ذخیره آب شرب، استفاده از رقم‌های جدید و اصلاح شده، رهاسازی و عدم رهاسازی حقابه 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 ازبهره‌برداری 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

**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 در۴۳ 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 کمیاب ترین منابع و به‌ویژه به‌عنوان محدودترین عامل

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، بهره برداری بیش از حد از منابع طبیعی شرایط مذکور را تشدید کرده است (شوشتریان و همکاران، ۱۳۸۹، ۲). برای نمونه سرانه آب تجدیدپذیرسالانه کشور از حدود۱۳ هزار متر مکعب در سال ۱۳۰۰ به حدود۱۹۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۸۵ (ببران 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 (ببران و هنر بخش،۱۳۸۷، ۱۹۳).

علاوه بر موارد یاد شده، اعمال سیاست‌های مختلف شامل سیاست های قیمت گذاری، تجاری، پولی و ارزی نیز بر تشدید بحران آب تأثیرگذار بوده و با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد منابع آب استحصالی به‌دلیل بهره وری پایین آب و مصرف بالای آب در واحد سطح، در بخش کشاورزی مصرف می شود(شهرستانی، ۱۳۹۳، ۳۷)، اعمال سیاست های 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 دهه های 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 خود کفایی 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، سیاست های پرداخت یارانه به نهاده‌های بخش کشاورزی از جمله یارانه های پرداختی به کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و علف کش در جهت افزایش تولید، نه تنها در جهت افزایش مصرف و تقاضای آب بوده، بلکه افزایش آلودگی محیط زیست را نیز به‌دنبال داشته است (شوشتریان و همکاران، ۱۳۸۹، ۲). از این رو، مدیریت

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 سیستم های آبیاری تحت فشار بررسی شده است (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ صبوحی 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[1] 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 بهره برداری 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 بهره برداری از مخزن، الگوی کشت نیز تعیین شد.

1. Hydrologic-Economic

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 به‌همراه الگوی کشت بهینه را مورد بررسی قرار دادند. تابع هدف مطالعه حداکثر سود ناخالص سالانه در پایین دست سد می باشد. در این مطالعه سناریو های 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 سیاست های آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

سرینیواسا پراساد و همکاران (۲۰۱۳)، مدل بهره برداری 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 سال های آتی تدوین شد.

بیرهونا و همکاران (۲۰۱۴) سیاست بهره برداری 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 می توان این کمبود را جبران کرد.

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

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 پایین‌دست سد هم برای کشت‌های پاییزه و هم برای کشت های بهاره مورد استفاده قرار می گیرند 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 ریزش های 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 تغیر اقلیم و کاهش نزولات جوی و در پی کاهش ورودی آب رودخانه کر به دریاچه بختگان به‌دلیل 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 آن‌را موجب گردیده است (مهاب قدس، ۱۳۸۹، جلد پنجم، ۳۳).

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 آب های زیرزمینی و حد مجاز برداشت**

**(میلیون متر مکعب)**

| نوع مصرف | میزان تخلیه | درصد | میزان مجاز تخلیه | اضافه برداشت |
|---|---|---|---|---|
| کشاورزی | ۲۴۱/۸۷ | ۹۹ | ۱۸۸/۵۶ | ۵۴/۶۴ |
| شرب | ۱/۲۳ | ۱ | | |
| 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.

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 سیاست های بهره برداری 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 روش های متنوعی در این زمینه ابداع شده است.

در مدل‌های بهره برداری 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 به‌صورت رابطه ۱ نشان داد (مرادی جلال و همکاران، ۲۰۰۷، ۱۵۷).

$$Max \quad Z_1 = \sum_{i=1}^{n} GA_i \, X_i \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، GA بازده برنامه ای 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

این اساس در بیشتر مطالعات به‌دلیل پیچیدگی ارتباط میان زمان و مقدار آبیاری با میزان تولید از تابع تولید دارای زمان[1] در این زمینه استفاده می‌شود (راوو و همکاران، ۱۹۸۸). بر این اساس تابع هدف مدل به‌صورت رابطه ۲ قابل بیان است (میبر و همکاران ، ۱۹۹۳):

$$Max \quad Z_1 = \sum_{i=1}^{n} A_i \left[ P_i \prod (1 - k(1 - \frac{W_a}{W_p})_i - TC_i \right] \qquad (۲)$$

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 دوره های 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 به‌دست می‌آید (قهرمان و سپاسخواه، ۱۹۹۷):

$$W_a = (1 - h) W_p \qquad (۳)$$

که در رابطه فوق، $h$ مقدار کاهش نسبی مصرف آب در دوره های مختلف رشد گیاه بوده و مقدار آن بین صفر تا یک است و در شرایط آبیاری کامل مقدار $h$ برابر با صفر می باشد. در این پژوهش کم آبیاری در خصوص محصولات مختلف صرفاً در یکی از دوره‌های مشخص رشد گیاه شامل استقرار، رشد رویشی، گلدهی، شکل گیری و رسیدن اعمال شد به‌صورتی 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 (صبوحی و همکاران، ۱۳۸۵؛ فتحی و زیبایی، ۱۳۸۹؛ محسن پور و زیبایی۱۳۸۹؛ قهرمان و سپاسخواه، ۱۹۹۷؛ قهرمان و سپاسخواه، ۲۰۰۲). ضرایب واکنش عملکرد گیاه به آب از مطالعه درونباس و کاسام (۱۹۷۹) و حداکثر مقدار مجاز کاهش آب مصرفی ($h$) نیز از مطالعات مختلف از جمله آرین و سپاسخواه (۱۳۷۰) و شعبانی و همکاران (۱۳۸۷) استخراج شد.

1. Dated Water Production Function

در مطالعه حاضر محصولات مختلفی شامل گندم، جو، ذرت، برنج، گوجه فرنگی و چغندر قند به‌عنوان 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 واریته 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 به‌صورت رابطه ۴ در نظر گرفته شد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲):

$$MaxZ_2 = BPD = \frac{GM}{Twc} \qquad (۴)$$

که در آن، $BPD$ شاخص بهره وری واحد حجم آب، $Twc$ مقدار (حجم) آب مصرف شده، $GM$ بازده برنامه ای است که از تفاوت درآمد و هزینه‌های متغیر (به‌جز هزینه های مربوط به نهاده آب) به‌دست می‌آید. به‌منظور حل مدل چندهدفه از روش قاموسی استفاده شد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

**روش قاموسی**

پرتال جامع علوم انسانی

از روش قاموسی جهت حل مدل های چند هدفه در مواردی استفاده می شود که توابع هدف قابلیت رتبه بندی داشته باشند (اوجها و بیساوال، ۲۰۰۹، ۲۰). به بیان دیگر اگر مدلی دارای چندین هدف مختلف باشد که می بایست این اهداف به ترتیب تأمین شوند، می توان از یک الگوریتم رتبه ای تحت عنوان روش قاموسی استفاده کرد. برای حل مدل چند هدفه به روش قاموسی می بایست مراحل زیر را انجام داد (اوجها و بیساوال، ۲۰۰۹) :

$$Max = \begin{cases} Obj1 \\ Obj2 \\ . \\ . \\ Objn \end{cases} \qquad Subject\ To: \begin{cases} C1 \\ C2 \\ . \\ . \\ Cm \end{cases} \qquad (۵)$$

ابتدا مدل با اولین هدف، یعنی هدفی که می بایست ابتدا تأمین شود و دارای اهمیت بیشتری است، به‌صورت تک هدفی حل می شود. در ادامه با توجه به مقدار به‌دست آمده از مرحله قبل ( $g1$ )، هدف اول به‌عنوان یک محدودیت وارد مدل شده ( $Obj1 \le g1$ ) و مدل با هدف دوم به‌همراه محدودیت اضافه شده حل می شود. این فرایند تا حل مدل برای آخرین هدف ادامه می یابد. در این مطالعه به‌دلیل اهمیت بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، ابتدا مدل با هدف حداکثر سازی بهره وری 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[1] مخزن سد است که بر اساس قانون بقای جرم[2] بوده و بدین مفهوم می باشد 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، به‌صورت رابطه ۶ آورده شده است (لوکس و همکاران، ۱۹۸۱):

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - Evp_t - Dis_t - Spill_t \qquad (۶)$$

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 می باشند.

1. Continuity Equation
2. Mass Balance

۲. محدودیت دوم به محدودیت حجم ذخیره مخزن[1] 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 به‌صورت رابطه ۷ منظور گردید (بازرگان و همکاران، ۲۰۱۱):

$$S_{\min} < S_t < S_{\max} \qquad (۷)$$

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 به‌صورت رابطه ۸ بیان شده است (قهرمان و سپاسخواه، ۲۰۰۲):

$$0 \le R_t \le D_t \qquad (۸)$$

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 به‌صورت رابطه ۹ نشان داد (لوکس و همکاران، ۱۹۸۱):

$$R_t \le C_{Max} \qquad (۹)$$

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

۵. محدودیت پنجم، محدودیت زیست محیطی است که کمتر در مدل های 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 حقابه زیست محیطی آن در نظر گرفته شد (تیموری و همکاران، ۱۳۹۰، ۳۲):

$$R_t \ge MDT_t \qquad (۱۰)$$

1. Storage Bound

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 حقابه آن در نظر گرفته شد.

۶. محدودیت دیگر که به‌صورت رابطه ۱۱ بیان شده است، به محدودیت یا فرض پایداری[1] 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):

$$S_{T+1} = S_1 \qquad (۱۱)$$

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 آتی و بهره برداری 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 (مهاب 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 به‌منظور 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، می توان محدودیت توربین های مولد انرژی الکتریکی سد درودزن را به‌صورت رابطه ۱۲ در نظر گرفت (براندو، ۲۰۱۰، ۳۱۰۵):

$$\rho R_t H_t \le E_{Max} \qquad (۱۲)$$

که در آن $E_{Max}$ حداکثر ظرفیت توربین سد درودزن بر حسب مگا وات ساعت، $\rho$ 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 داده های موجود، می‌توان رابطه‌ای به‌صورت زیر برآورد کرد که به رابطه ارتفاع–حجم معروف است (مهاب قدس، ۱۳۸۹، جلد ششم، ۱۵).

$$H_t = \beta_0 + \beta_1 S_t + \beta_2 S_t^2 \qquad (۱۳)$$

1. Cary Over

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

$$\sum_{i=1}^{n} A_i \leq A_{Max} \qquad (۱۴)$$

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

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

$$W_{rt} + W_{\text{int}} + W_{et} + \sum_{i=1}^{n} A_i W_{ait} \leq R_t + GW_t \qquad (۱۵)$$

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 دوره های زمانی مورد بررسی، کمتر از مجموع آب رها شده از مخزن ($R_t$) و آب های زیرزمینی منطقه ($GW_t$) باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

**منحنی فرمان** [1]

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 به‌عنوان 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 به‌عنوان الگوی بهره‌برداری تعیین کننده میزان رهاسازی آب از مخازن می‌باشد. این منحنی‌ها میزان تغییرات مقادیر بهینهٔ آب تأمینی یا

1. Rule Curve

تحویلی سیستم به ازای وضعیت‌های مختلف ذخیره در ماه‌های مختلف را نشان می‌دهد (وتروبا و بروزا، 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 درمخزن (حجم ذخیره) یا میزان آورد رودخانه به مخزن سد (ورودی به مخزن) و یا مجموع هر دو می باشد، وابسته می گردد 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 به‌صورت روابط ۱۶ تا ۱۸ قابل بیان است.

$$R_t = \alpha + \beta\, In_t + e_t \qquad (۱۶)$$

$$R_t = \alpha + \beta\, S_{t-1} + e_t \qquad (۱۷)$$

$$R_t = \alpha + \beta_1 In_t + \beta_2\, S_{t-1} + e_t \qquad (۱۸)$$

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. $\alpha$ و $\beta$ 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 موجودیا آورد رودخانه و یا مجموع آنها وابسته می‌گردد (بایازیت و اونال، ۱۹۹۰؛ سیرینیواس و فیلیپوس، ۱۹۹۶). برای این منظور حجم ذخیره و آورد به‌صورت توابع درجه دوم در نظر گرفته می‌شوند و به‌صورت روابط ۱۹ تا ۲۱ قابل بیان هستند.

$$R_t = \alpha + \beta_1\, In_t + \beta_2\, In_t^2 + e_t \qquad (۱۹)$$

$$R_t = \alpha + \beta_1\, S_{t-1} + \beta_2\, S_{t-1}^2 + e_t \qquad (۲۰)$$

$$R_t = \alpha + \beta_1\, In_t + \beta_2\, In_t^2 + \beta_3\, S_{t-1} + \beta_4\, S_{t-1}^2 + e_t \qquad (۲۱)$$

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 به‌دلیل خشکسالی های پیاپی در منطقه، آب صرفاً برای کشت پاییزه دو محصول گندم و جو از مخزن سد رها شده است. همچنین به‌دلیل 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 سال های 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 به‌دلیل 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**

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

**ادامه جدول ۲**

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

مأخذ: مراکز خدماتی محدوده مورد مطالعه

در ادامه مدل بهره برداری بهینه از سد درودزن از طریق برنامه‌ریزی غیر خطی برای یک دوره سه ساله از سال زراعی ۹۱-۱۳۸۹ تا ۹۲-۱۳۹۱ به‌صورت 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 رها سازی حقابه بختگان و برداشت تحت شرایط موجود)**

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

مأخذ: یافته های تحقیق

بر اساس نتایج جدول ۳، مدل پیشنهادی به‌طور 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، بهره وری 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 می گردد.

از ویژگی‌های ذرت سینگل کراس ۷۰۳ می توان به کاهش رطوبت دانه در زمان برداشت در مقایسه با سایر ارقام، برداشت یک هفته زودتر از سایر رقم های 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 نانوایی خوب می باشد. 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 می باشد (نیکزاد و همکاران، ۱۳۹۲). در ادامه مدل با فرض رها سازی کل حقابه 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.

**جدول ۴. الگوی پیشنهادی با فرض رها سازی حقابه دریاچه بختگان (ذخیره آب شرب و برداشت تحت شرایط موجود)**

| متغیر | | رقم | الگوی کشت بهینه | | | متوسط | سال نرمال (۱۳۸۶-۸۷) | درصد تغییر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ۹۰-۱۳۸۹ | ۹۱-۱۳۹۰ | ۹۲-۱۳۹۱ | | | |
| سطح زیر کشت (هکتار) | گندم | سیروان | ۳۱۷۹۶ | ۶۴۳۵۹ | ۵۰۴۳۱ | ۴۸۸۶۲ | ۴۰۰۱۹ | +۲۲ |
| | ذرت | ۷۰۳ | ۵۰۳۷ | ۱۰۷۹۶ | ۵۰۳۷ | ۶۹۵۷ | ۵۴۸۲ | +۲۷ |
| | سایرمحصولات | - | - | - | - | - | ۱۲۰۰۱ | - |
| مجموع (هکتار) | | | ۳۶۸۳۳ | ۷۵۱۵۵ | ۵۵۴۶۸ | ۵۵۸۱۹ | ۵۷۵۰۲ | -۳ |
| بازده برنامه‌ای 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، رهاسازی حقابه 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 به‌دلیل 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.

در تمام سناریوها و مدل‌های فوق فرض بر آن است که بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی تحت شرایط موجود و بیش از حد مجاز تعین 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 رها سازی حقابه دریاچه بختگان)**

| متغیر | | رقم | الگوی کشت بهینه | | | متوسط | سال نرمال (۱۳۸۶-۸۷) | درصد تغییر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ۹۰-۱۳۸۹ | ۹۱-۱۳۹۰ | ۹۲-۱۳۹۱ | | | |
| سطح زیر کشت (هکتار) | گندم | سیروان | ۳۰۳۲۳ | ۶۴۳۵۹ | ۴۸۷۰۹ | ۴۷۷۹۷ | ۴۰۰۱۹ | +۱۹ |
| | ذرت | ۷۰۳ | ۳۸۵۲ | ۸۵۰۹ | ۳۸۵۲ | ۵۴۰۴ | ۵۴۸۲ | −۱ |
| | سایرمحصولات | − | − | − | − | − | ۱۲۰۰۱ | − |
| مجموع (هکتار) | | | ۳۴۱۷۵ | ۷۲۸۶۸ | ۵۲۵۶۱ | ۵۳۲۰۱ | ۵۷۵۰۲ | −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: یافته های تحقیق

بر اساس نتایج جدول ۵، مدل پیشنهادی با کاهش آب مصرفی بخش کشاورزی به اندازه ۱۷ درصد به‌دلیل 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.

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 به‌صورت 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 می توانند 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 واریته 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 حقابه دریاچه بختگان)**

| متغیر | | رقم | کم آبیاری | الگوی کشت بهینه | | | متوسط | سال نرمال (۱۳۸۶-۸۷) | درصد تغییر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ۱۳۸۹-۹۰ | ۱۳۹۰-۹۱ | ۱۳۹۱-۹۲ | | | |
| سطح زیر کشت | گندم | سیروان۳۶ | ۴۰ درصددر مرحله رسیدن | ۲۹۹۰۰ | ۶۴۳۵۹ | ۵۸۷۲۳ | ۵۰۹۹۴ | ۴۰۰۱۹ | +۲۷ |
| | ذرت | ذرت | صفر | ۵۸۲۹ | ۱۵۷۹۱ | ۶۸۰۹ | ۹۴۷۶ | ۵۴۸۲ | +۷۳ |
| | سایر | - | - | - | - | - | - | ۱۲۰۰۱ | - |
| مجموع (هکتار) | | | | ۳۵۷۲۹ | ۸۰۱۵۰ | ۶۵۵۳۲ | ۶۰۴۷۰ | ۵۷۵۰۲ | +۵ |
| بازده برنامه‌ای کشاورزی (میلیارد ریال) | | | | ۱۲۱۲ | ۳۴۲۰ | ۳۰۶۴ | ۲۵۶۶ | ۲۵۶۱ | +۰/۲ |
| آب مصرفی بخش کشاورزی (میلیون متر مکعب) | | | | ۳۲۷ | ۶۸۷ | ۴۸۶ | ۵۰۰ | ۵۸۷ | -۱۵ |
| متوسط بهره وری آب کشاورزی | | | | ۳/۷ | ۵ | ۶/۳ | ۵ | ۳/۰۸ | +۶۲ |

مأخذ: یافته‌های تحقیق

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، بهره وری 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 می یابد.

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 بهینه سازی 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.

**جدول ۷. منحنی فرمان سد درودزن**

| مدل | ضرایب | | | | | آماره‌های تشخیص | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\alpha$ | $In_t$ | $In_t^2$ | $S_{t-1}$ | $S_{t-1}^2$ | $R^2$ | $\overline{R}^2$ | $F$ |
| 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*** | ۰/۰۰۰۵*** | ۰/۶۰ | ۰/۵۹ | ۷۳/۴*** |
| ۵ | -۵۹/۶*** | -۰/۰۶ | – | ۰/۱۵*** | – | ۰/۵۲ | ۰/۵۱ | ۵۶/۸*** |
| ۶ | ۸۷/۵*** | -۰/۱۶ | ۰/۰۰۰۵ | -۰/۴۳*** | ۰/۰۰۰۶*** | ۰/۶۱ | ۰/۵۹ | ۳۹/۵*** |

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

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

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

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 بهره برداری از مخزن سد درودزن به‌همراه 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 سناریو های متفاوتی شامل اعمال کم آبیاری در دوره های مختلف رشد گیاه، استفاده از سیستم های نوین آبیاری، سیاست کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی تا حد مجاز تعیین شده، استفاده از رقم های جدید و اصلاح شده، رهاسازی و عدم رها سازی حقابه دریاچه بختگان و ذخیره آب شرب در مدل اعمال شدند.

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 به‌همراه استفاده از سیستم های نوین آبیاری و رعایت حقابه دریاچه بختگان به‌همراه 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 (محسن‌پور و زیبایی، ۱۳۸۹، ۱) پیشنهاد می شود برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در زمینه مدیریت منابع آبی، با استفاده از مدل و منحنی فرمان پیشنهادی، نسبت به رها سازی 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

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.

ببران، ص. و هنربخش، 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 بهینه سازی بهره برداری از سیستم چند مخزنی، مطالعه موردی: مخازن حوزه کرخه. *مجله آب و فاضلاب*، شماره ۴:۸۱-۹۱.

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.

ترابی حقیقی، ع.، زمردیان، س. م. و دهقانی، م. ۱۳۸۳. بهینه یابی شرایط بهره برداری از نیروگاه های 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.

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.

فرزین، م. ر.، حسینی، س. ش. و موحد نژاد، ع. ۱۳۹۱. مبانی طرح تحولات اقتصادی، با تاکید 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.

مهاب 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, Constructionand 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.

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., Kerachiyan, 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

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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی