



مدیریت منابع آبی از طریق تخصیص بهینه آب بین اراضی زیر سدها (مطالعه موردی سد بارزو شیروان)

• امیرحسین چیدری، عضو هیأت علمی گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
• علی کرامت‌زاده، دانشجوی دکترای اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: خرداد ماه ۱۳۸۴ تاریخ پذیرش: دی ماه ۱۳۸۴

Email: chizari@modares.ac.ir

چکیده

یکی از مسائل موجود در مدیریت آب، تخصیص بهینه آن بین بخش‌ها و مصارف مختلف می‌باشد. این مساله با افزایش جمعیت و تقاضا روز بروز حادث می‌شود. برای استفاده بهینه از آب یک سد بایستی بتوانیم به سوالات زیر پاسخ بدهیم: ۱- در هر فصل از سال چه میزانی از آب سد مصرف شود؟ ۲- آب مصرفی هر فصل چگونه در بین مناطق مختلف کشت تخصیص یابد؟ ۳- آب تخصیص داده شده به هر منطقه به چه محصولاتی اختصاص یابد؟ لذا این مطالعه در جهت بهبود مدیریت منابع آب بر روی اراضی زیر سد بارزوی شیروان با استفاده از مدل بهینه سازی خطی انجام شده و الگوی کشت بهینه هر منطقه حاصل گردیده است. سپس بر اساس مدل تخصیص بهینه، میزان آب قابل تخصیص به هر منطقه مشخص گردیده و درصد تغییرات آن با شرایط مدل کالیبره (شرایط فعلی) مقایسه گردیده است. برای جمع آوری اطلاعات مورد نیاز مطالعه حاضر از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای استفاده شده است. ضرایب تکنیکی هر منطقه از طریق متوسط گیری اطلاعات پرسشنامه ای حاصل گردیده است. در آمدخالص فعالیت‌های مختلف نیز بر حسب متوسط قیمت‌های نمونه گیری شده سال زراعی ۸۱-۸۲ محاسبه شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد بالاترین و پایین‌ترین تغییر در تخصیص فعلی آب نسبت به تخصیص بهینه به ترتیب مربوط به ماه‌های تیر و فروردین است که بایستی میزان آب تخصیصی در ماه تیر به میزان ۹۵ درصد نسبت به شرایط فعلی افزایش و در ماه فروردین حدود ۶۲ درصد کاهش یابد. بالاترین تغییرات تخصیص بهینه آب مناطق حاشیه رودخانه قلیج، زیارت و سه یک آب نیز به ترتیب در ماه‌های تیر ۱۹۶ درصد، تیر ۹۷ درصد و شهریور ۱۰۴ درصد نسبت به تخصیص فعلی مناطق می‌باشد. تجزیه و تحلیل اطلاعات نیز با استفاده از بسته نرم افزاری Lindo انجام گرفته است.

کلمات کلیدی: تخصیص بهینه، مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی خطی معمولی، الگوی کشت، سد بارزو، شیروان

Pajouhesh & Sazandegi No 69 pp: 40-52

Water resources management with optimal allocation among different sub-region of Dam, (A case study of Shirvan Barzo dam)

By: A.H. Chizari, Assistant Professor of Agricultural Economics, Tarbiat Modarres University and A. Keramatzadeh, Ph.D. Student of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University

Optimal allocation of irrigation water resources between different region and water consuming activities is the important problem in arid and semi-arid areas. This study has three main goals: 1- Optimal allocation in different seasons; 2-Optimal allocation among different regions; and 3- Optimal allocation among various crops. Therefore the basic principle of treating water as an economic good is to allocate it in its best use. This paper introduces a linear programming optimization model for analyzing the economic value of irrigation water and optimal cropping pattern in different regions. It uses data on available land, water requirement per unit land area for different crop, and net revenues per unit of land area generated by the growing of those crops in three different locations with 2002-2003 crop prices. This model have solved with Lindo package to Shirvan Barzo dam region in Shirvan that locate in North of Khorasan province. The results of this paper show that the current allocation of water must be increase about 95 percent in June and decrease about 62 percent in March. The highest change of current allocation of water in Hashieh Gholjogh, Ziyarat and Seyek Ab regions is 196 percent in June, 97 percent in June and 104 percent in August respectively.

Keywords: Optimal allocation, Water resources management, Linear programming, Cropping pattern, Shirvan Barzo dam.

مقدمه

کمبود آب یک مشکل جهانی روبه تزايد است. افزايش فشارهاي جمعيتي، بهبود سطح زندگي و تقاضاي در حال افزايش براي كيفيت محيط زيست، همه دولت‌ها را برانگيخته تا براي مديريت بهتر منابع آب موجود، راهكارهاي بهتري ارائه نمايند. يكي از راهكارهاي مديريت منابع آب تخصيص بهينه آن بين بخش‌ها و مصارف مختلف مي‌باشد. بديهي است كه فشارهاي ناشي از افزايش تصاعدي تقاضاي جهاني آب از يك طرف و كميايي منابع آب از طرف ديگر، تخصيص و استفاده بهينه منابع آب موجود را طلب مي‌نمايد. گرچه آب را هم مي‌توان مانند ديگر نهاده‌هاي توليد كشاورزي نظير كودشيميايي، سموم دفع آفات، سوخت و غيره خريد و فروش نمود و بعبارت ديگر تخصيص آن بين مصارف مختلف را به عهده بازار گذاشت، ولي در عمل مشكلاتي در راه انجام اين كار وجود دارد. اين مشكلات بطور عمده از طبيعت آن ناشي مي‌شود. اولاً؛ آب يك منبع طبيعي تجديد شديني است كه خوشبختانه هر سال پس از مصرف، از طريق نزولات جوي برمي‌گردد. ثانياً؛ آب يك ماده فرار مي‌باشد كه از طريق كانال‌ها و آبراهه‌هاي سطحي و آبخوان‌ها زيرزميني از يك منطقه به منطقه ديگر حركت مي‌كند. بنابر اين از نقطه نظر حقوق مالكيته تفاوت عمده‌اي بين آب و ساير نهاده‌هاي كشاورزي نظير زمين وجود دارد. زيرا آب يك منبع مشترك بوده كه در عين حاليكه در مالكيته همه است در مالكيته هيچكس نيست. بنابر اين تعيين حقوق مشخص و منحصر بفرد مالكيته در مورد آب مشكل بوده و بدين لحاظ آب مانند كالاهاي ديگر شرايط لازم را براي مبادله دارا نمي‌باشد. در عمل براي تخصيص آب مي‌توان از سه نظام يا تركيبی از آنها استفاده نمود:

الف) نظام تخصيص مبتني بر ضوابط اداري و سياسي؛ در اين نظام

كمتري از ضوابط و اصول اقتصادي استفاده مي‌شود. تنها ملاحظات اقتصادي در اين نظام، عبارت از توزيع درآمد و عدالت اجتماعي است و (نه كارايي مصرف).

ب) نظام تخصيص مبتني بر ضوابط فني؛ در اين نظام براي مالك زميني كه در آن محصولات مختلف كشت مي‌شود حق مصرف مقدار معيني آب در نظر گرفته مي‌شود. فرض ضمنی این نظام تخصيص آن است كه مالك زمين، خود به امر توليد اشتغال داشته و تمام توليد كنندگان (زارعين) داراي كارايي يكسان بوده و توزيع درآمد نیز مطرح نمی‌باشد.

ج) نظام تخصيص مبتني بر اصول اقتصادي؛ در اين نظام، تخصيص بر مبنای كارايي اقتصادي بوده و هدف آن تأمين حداكثر بازده اقتصادي از منابع آب می‌باشد (۲۹).

گفتني است كه نظام‌هاي موجود به صورت تركيبی از سه نظام فوق‌الذكر بوده و برحسب مورد درصد هر يك از نظام‌ها در اين تركيب متفاوت مي‌باشد. در ايران نظام تخصيص تاكنون به طور عمده، تركيبی از نظام‌هاي اول و دوم بوده و كمتر از ضوابط و اصول اقتصادي استفاده شده است. در سال‌هاي اخير به اهميت استفاده از اصول اقتصادي در تخصيص منابع آب بيشتر از گذشته پي‌برده شده است. لذا مطالعه حاضر در راستای به كارگيري اصول اقتصادي در تعيين ارزش اقتصادي آب و تخصيص بهينه آن می‌باشد كه مبتني بر استفاده از رويکرد سوم است.

تخصيص منابع آب زماني كارآمد است كه بتواند تحت شرايط تكنولوژی‌هاي موجود و مقادير منابع آبي در دسترس، منفعت خالص ايجاد شده را به حداكثر برساند (۶). به عبارت ديگر، كارايي تخصيص آب مي‌تواند به برابري منافع نهايي حاصل از استفاده منابع آب در بخش‌ها و مناطق

گردد. اگر غیر از این باشد، می‌توان با تخصیص بیشتر منابع آب به بخشی که سود بیشتری می‌دهد، رفاه کل جامعه را حداکثر نمود.

مکانیزم‌های تخصیص منابع آب

مکانیزم‌های مختلفی که جهت تخصیص منابع آبی وجود دارند به شرح زیر می‌باشند:

الف) مکانیزم تخصیص بر مبنای قیمت‌گذاری هزینه نهایی:

مکانیزم قیمت‌گذاری هزینه نهایی^۴ (MCP) اصولاً قیمتی را برای نهاده آب در نظر می‌گیرد که برابر با هزینه تهیه و تأمین آخرین واحد آب عرضه شده می‌باشد. مکانیزم تخصیصی که در آن ارزش نهایی آب^۵ (MVW) عرضه شده به منطقه مورد نظر، با هزینه نهایی (MC) تأمین آن برابر باشد، از لحاظ اقتصادی کارا^۶ و از نظر اجتماعی بهینه می‌باشد (۱۱).

ب) مکانیزم تخصیص عمومی (دولتی) آب^۷

دلایلی که دخالت دولت را در توسعه و تخصیص منابع آب ضروری می‌داند به شرح زیر می‌باشند:

الف) به علت طبیعت ذاتی نهاده آب که رفتار با آن مانند سایر کالاهای بازار مشکل است.

ب) به علت بالا بودن حجم سرمایه‌گذاری جهت تأمین و توسعه منابع آبی

در این مکانیزم تخصیص، مقادیر قابل تخصیص آب تحت تأثیر شرایط سیاسی و فیزیکی می‌باشند.

ج) مکانیزم تخصیص بر مبنای بازارهای آب^۸

در این تخصیص منابع آبی از مصارف با ارزش آب پایین به سمت مصارف با ارزش آب بالا انتقال می‌یابند. بنابراین تخصیص مبتنی بر بازار، کارایی اقتصادی^۹ را هم از نظر فردی و هم از نظر اجتماعی در نظر می‌گیرد،

مختلف به منظور به حداکثر رساندن ساختار رفاه اجتماعی تعبیر گردد. حقوق استفاده از آب مشخص می‌سازد که آب باید چگونه بین بخش‌های مختلف (مصارف صنعتی، خانگی و کشاورزی) و نیز در درون هر بخش تقسیم گردد. در اکثر کشورها حقوق آب مبتنی بر یکی از سه سیستم زیر است که عبارتند از:

۱ - حقوق ساحلی: که حق مالکیت آب را متناسب به زمین‌هایی که در ساحل رودخانه قرار دارند، می‌سازند. این نوع سیستم عموماً در شرایط آب فراوان یافت می‌شود.

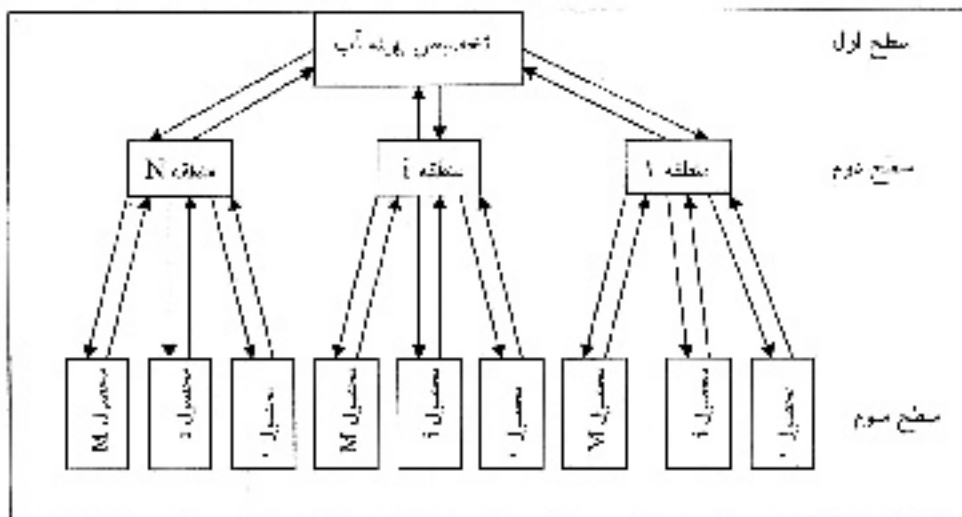
۲ - تخصیص عمومی: این نوع تخصیص بر مبنای اولویت‌هایی است که دولت مشخص می‌کند.

۳ - تخصیص از پیش تعیین شده: این نوع تخصیص بر اساس استفاده تاریخی تعیین می‌شود (۸).

جهت تخصیص بهینه آب در یک منطقه یا اراضی تحت پوشش یک حوزه آبریز بایستی به مساله بهینه‌سازی برنامه آبیاری^۱ در آن منطقه پرداخته شود. نمودار شماره ۱- بیانگر ساختار تخصیص بهینه آب در یک حوزه آبریز می‌باشد.

در هر مساله بهینه‌سازی برنامه آبیاری مطابق با نمودار شماره ۱- اولاً؛ بایستی مشخص گردد که آب به چه منطقه‌ای از اراضی زیر حوزه آبریز منتقل گردد (بهینه‌سازی منطقه‌ای)^۲، که این نوع بهینه‌سازی در ساختار فوق در سطح دوم نشان داده شده است. ثانیاً؛ آب انتقال یافته به هر منطقه، به چه محصولاتی تخصیص یابد (بهینه‌سازی محصولی)^۳، این نوع بهینه‌سازی نیز در ساختار فوق در سطح سوم ارائه گردیده است.

در تخصیص بهینه منابع از لحاظ اقتصادی، بایستی سود نهایی حاصل از استفاده منابع آب کمیاب در میان بخش‌های مختلف اقتصادی جهت حداکثر رساندن رفاه جامعه، با یکدیگر مساوی گردد. به عبارت دیگر سود حاصل از مصرف یک واحد اضافی از منبع محدود مورد نظر در یک بخش خاص بایستی با سود حاصل از مصرف آن در بخش‌های مختلف دیگر برابر



۹۰ درصد آب استحصال شده کشور را به خود اختصاص داده است می‌تواند با تولید محصولاتی که در قبال مصرف هر واحد آب، بالاترین ارزش بازده نهایی را تولید می‌کنند، موجب بهبود مدیریت تقاضای آب کشاورزی شده و سود بهره برداران منطقه را افزایش دهد (۴). اهداف مطالعه حاضر که در اراضی زیر سد بازروی شیروان انجام گرفته است نحوه تخصیص آب بین مناطق مذکور می‌باشد. یعنی:

الف) تخصیص بین مناطق مختلف محدوده آبخور سد (تخصیص مکانی)

ب) تخصیص بین محصولات مختلف یک منطقه (تخصیص محصولی)
ج) تخصیص در ماه‌ها یا فصل‌های مختلف سال (تخصیص زمانی)
به این ترتیب که اولاً؛ آب به مناطقی تخصیص یابد که ارزش اقتصادی آب در آن منطقه بالاتر است. ثانیاً؛ در هر منطقه به محصولاتی تخصیص یابد که بیشترین درآمد را ایجاد می‌کنند. ثالثاً؛ تخصیص آب در فصل‌ها و ماه‌های مختلف سال به گونه‌ای باشد که محصولات الگوی کشت منطقه، با مشکل کم آبی مواجه نگردند.

پیشینه تحقیق

در رابطه با بهینه سازی برنامه‌های آبیاری محصولات مختلف و تخصیص بهینه منابع آبی، فعالیت‌های تحقیقاتی خارجی زیادی انجام شده است که به چند نمونه از آنها اشاره می‌گردد:

Yuan و همکاران در سال ۱۹۹۱ در مطالعه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی غیر خطی و پویا (NLP-DP) مدل تخصیص بهینه منابع آبی را انجام داده‌اند (۱۴). Shangguan و همکاران در سال ۲۰۰۲ در چین نیز بر اساس برنامه‌ریزی پویا به تخصیص بهینه آب بین اراضی منطقه می‌پردازد (۹). Singh و همکاران نیز بر روی اراضی زیر یک کانال آبیاری در هند، از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده کرده‌اند تا الگوی بهینه کشت را با هدف حداکثر کردن درآمد خالص در منطقه تدوین نموده و میزان بهینه آب فصول مختلف سال را برآورد نمایند (۱۰). Doppler و همکاران در مطالعه‌ای که در کرانه رود اردن انجام داده‌اند، به بررسی تأثیر استراتژی‌های قیمت آب بر روی تخصیص بهینه آب آبیاری پرداخته‌اند (۵). این محققین برای رسیدن به اهداف مورد نظر از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی استفاده کرده‌اند. Wichelns در مطالعه‌ای به بررسی اقتصادی تخصیص و انتقال آب به بیابان‌های جنوبی منطقه سینای پنینسولا^{۲۲} مصر می‌پردازد. مدل شبیه سازی شده این مطالعه بررسی تأثیر بالقوه سیاست‌های تخصیص آب را بر روی درآمد خالص منطقه بیان می‌کند (۱۲).

Alweshah در سال ۲۰۰۱ به بررسی استفاده بهینه آب آبیاری دره اردن پرداخته و از یک روش عملی جهت مدیریت و بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری استفاده می‌نماید (۳). مطالعه ایشان نشان می‌دهد که کمیابی آب می‌تواند از طریق مدیریت منابع آب آبیاری به کمک انتخاب نسبی محصولات و الگوی کشت کشاورزان کاهش یابد. Kelman در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۲ به بررسی تخصیص آب در میان بخش‌های مختلف مناطق نیمه خشک برزیل پرداخته و بیان می‌کند، همچنانکه تقاضای آب از میزان منابع آب موجود پیشی می‌گیرد، بوجود آمدن مشکلاتی از قبیل اینکه، چه کسی موفق به استفاده از آب خواهد شد؟ و یا اینکه چه کسی در استفاده آب سهیم خواهد بود؟ و ... گریزناپذیر است (۷).

و عرضه آب را برای مصارفی که ارزش اقتصادی آب در آن بالاست، بدون نیاز به توسعه منابع جدید، تأمین و تضمین می‌نماید.

د) مکانیزم تخصیص مبتنی بر مصرف‌کننده^{۱۰}

سیستم‌های آبیاری با مدیریت کشاورزان^{۱۱}، یکی از واضح‌ترین مثال‌هایی است که در مورد تخصیص مبتنی بر مصرف‌کننده بکار می‌رود (۱۳).

تأثیر تخصیص مبتنی بر مصرف‌کننده منابع آب، بر روی محافظت و نگهداری منابع آبی، به میزان رضایت مصرف‌کنندگان و پیشرفت مؤسسات و نهادهای محلی بستگی دارد. اگر مصرف‌کنندگان در اثر وجود قوانین مخالف مصرف زیاد آب و قوانین مخالف هدر دادن و اسراف آن، تحت تأثیر قرار گرفته و از میزان فعالیت خود را کاهش دهند، می‌تواند در راستای محافظت و نگهداری منابع آب انگیزه داشته باشند.

برخی از معیارهایی که جهت مقایسه مکانیزم‌های مختلف تخصیص آب وجود دارد عبارتند از:

۱ - انعطاف پذیری^{۱۲}

انعطاف پذیری در تخصیص منابع باعث می‌شود که ارزش نهایی منبع مورد نظر برای تمام مصرف‌کننده‌ها و مصارف مختلف با حداقل هزینه تأمین یک واحد اضافی منبع کمیاب مورد نظر برابر گردد. یعنی اینکه:

$$\text{Marginal Value} = \text{Least cost}$$

۲ - اطمینان خاطر^{۱۳}

اطمینان خاطر مصرف‌کنندگان از اجاره و تأمین آب، باعث استفاده بهینه مصرف‌کنندگان از منابع کمیاب موجود می‌گردد.

۳ - هزینه فرصت واقعی^{۱۴}

هزینه فرصت واقعی که توسط مصرف‌کنندگان جهت تهیه منبع مورد نظر پرداخت می‌شود، باعث می‌گردد که تخصیص منابع جهت استفاده‌های مختلف مطابق با ارزش غیر بازاری صورت گیرد.

۴ - قابل پیش بینی بودن^{۱۵}

قابل پیش‌بینی بودن خروجی فرآیندهای تخصیص باعث تخصیص بهینه و کاهش عدم حتمیت می‌گردد.

۵ - عدالت (برابری)^{۱۶}

ملحوظ نمودن ملاحظات برابری در تخصیص منابع باعث ایجاد سود یکسان برای مصرف‌کنندگان مختلف می‌گردد.

۶ - قابلیت پذیرش عمومی و سیاسی^{۱۷}

تخصیص منبع بایستی بنحوی باشد که بوسیله افشار مختلف قابل پذیرش بوده و از لحاظ سیاسی قابل اجرا باشد.

۷ - کارایی^{۱۸}

مکانیزم تخصیص مورد استفاده بایستی موقعیت غیر مناسب موجود را تغییر داده و سیاست‌ها را به سمت اهداف مناسب و ثمربخش هدایت نماید.

۸ - پایداری و امکان اجرایی^{۱۹}

مکانیزم تخصیص بایستی از لحاظ اجرایی امکان پذیر بوده و قابلیت تداوم داشته باشد.

زمانی که آب آبیاری به اندازه کافی وجود نداشته باشد برنامه‌های تخصیص در بخش کشاورزی که بالاترین حجم تقاضای آب یعنی حدود

$$\max z = \sum_{j=1}^m c_j X_j$$

s.t:

رابطه - ۱

مطالعه حاضر نیز همانند مطالعات خارجی که به تخصیص بهینه آب پرداخته‌اند به تخصیص بهینه آب سد منطقه مورد نظر پرداخته است.

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j \leq b_i$$

i=۱,۲,۳...m

رابطه - ۲

روش تحقیق، جمع آوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل آن

از آنجا که هدف مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب بین مناطق مختلف اراضی زیر سد بارزو شیروان می‌باشد، لذا بهره‌برداران اراضی زیر سد که در سه منطقه حاشیه ای رودخانه قلجق، منطقه زیارت و منطقه سه یک آب پراکنده شده‌اند. مطابق با معیارهای مناسب متوسط منابع^{۲۱} و محدود کننده‌ترین عامل تولید^{۲۲} یعنی میزان آب قابل دسترس و فاصله بهره بردار تا محل سد، در یک گروه همگن قرار داده شده‌اند. بخشی از اطلاعات مورد نیاز مطالعه جاری با استفاده از روش میانگین گیری اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق مصاحبه حضوری و با تکمیل پرسشنامه به روش نمونه گیری طبقه ای به تعداد ۱۰۰ بهره‌بردار از کل ۱۱۶۵ بهره‌بردار زراعی، حاصل گردیده است. برای تخصیص تعداد نمونه به هر منطقه نیز از روش تخصیص نسبی (اصل تسهیم به نسبت) استفاده گردیده است. بخش دیگر اطلاعات مورد نیاز از مرکز آمار ایران، جهاد کشاورزی شهرستان شیروان، سازمان آب منطقه ای استان خراسان و شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس تهران وابسته به وزارت نیرو جمع آوری گردیده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات نیز با استفاده از بسته‌های نرم افزاری Excel و Lindo انجام گرفته است.

$$X_j \geq 0$$

رابطه - ۳

برنامه‌ریزی خطی، مدلی برای جستجو و انتخاب بهترین برنامه از میان مجموعه راه‌های ممکن می‌باشد، ولی از آنجا که تمامی روابط ریاضی مورد استفاده در این مدل از نوع درجه یک می‌باشند، لذا مدل خطی نامیده می‌شود. (۱۱)

j=1,2,3...n

رابطه - ۴

فرم استاندارد مدل برنامه‌ریزی خطی در حالت حداکثرسازی به صورت روابط زیر می‌باشد:

در مدل فوق رابطه ۱ نشان‌دهنده تابع هدف و روابط ۲ و ۳ بیانگر محدودیت‌های مدل می‌باشند. اولین گام در ساختن مدل یک مساله برنامه‌ریزی خطی مطابق فوق، تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری است. متغیرهای مورد نیاز در مدل‌های این مطالعه به شرح زیر می‌باشند:

i: متغیر مربوط به محصولات مختلف قابل کشت و تولید در مناطق سه‌گانه تحت شبکه آبیاری سد بارزو می‌باشد که i=۱, ۲, ۳, ..., ۱۰ به شرح زیر می‌باشد:

z: متغیر مربوط به مناطق سه‌گانه تحت شبکه آبیاری سد بارزو بوده که ۱=z به منطقه حاشیه قلجق، ۲=z به منطقه زیارت و ۳=z به منطقه سه یک آب اشاره می‌نماید.

k: متغیر مربوط به دوره آبیاری بوده که به صورت ماهانه و به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

m: متغیر مربوط به فصول مختلف سال جهت تأمین نیروی کار مورد نیاز فعالیت‌های مختلف می‌باشد که:

| | | | | | |
|-----|---------|------|----------|------|-------------|
| m=۱ | بهار | k=۱ | فروردین | i=۱ | گندم |
| m=۲ | تابستان | k=۲ | اردیبهشت | i=۲ | جو |
| m=۳ | پاییز | k=۳ | خرداد | i=۳ | ذرت دانه‌ای |
| m=۴ | زمستان | k=۴ | تیر | i=۴ | چغندر قند |
| | | k=۵ | مرداد | i=۵ | آفتابگردان |
| | | k=۶ | شهریور | i=۶ | پیاز |
| | | k=۷ | مهر | i=۷ | سیب زمینی |
| | | k=۸ | آبان | i=۸ | خیار آبی |
| | | k=۹ | آذر | i=۹ | گوجه فرنگی |
| | | k=۱۰ | زمستان | i=۱۰ | یونجه |

وجود دارد، لذا محدودیت‌های مربوط به زمین (سطح زیرکشت) به دو دوره تفکیک شده که این محدودیت‌ها به صورت زیر وارد مدل شده اند:

الف) محدودیت سطح زیر کشت آبی محصولات زراعی مناطق مختلف:

$$\sum_{i=1}^{10} X_{ij} - TXZ_j \leq 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3 \quad \text{رابطه - ۵}$$

ب) محدودیت سطح زیرکشت آبی محصولات کشت مجدد مناطق مختلف:

$$XM_j - \sum_{i=1}^2 X_{ij} \leq 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3 \quad \text{رابطه - ۶}$$

۲) محدودیت نیروی کار

تقاضا برای نیروی‌کار در فعالیت‌های تولیدی محصولات زراعی تابع عملیات مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت بوده و به دلیل تنوع کشت محصولات و متفاوت بودن دوره رشد آنها، تأمین نیروی کار مورد نیاز در فصول مختلف متفاوت خواهد بود لذا نیروی کار موردنیاز فعالیت‌های مختلف در چهار دوره فصلی به صورت زیر مدل بندی شده است:

$$\sum_{i=1}^{10} L_{im} X_{ij} - TL_m \leq 0 \quad \text{for } m=1, 2, 3, 4 \text{ and } j=1, 2, 3 \quad \text{رابطه - ۷}$$

۳) محدودیت سم و کود شیمیایی

به دلیل محدود بودن تولید و توزیع یاران‌های این نهاده‌ها، بین محصولات مختلف در مصرف این نهاده‌های محدود رقابت ایجاد می‌شود، به همین منظور در این مطالعه محدودیت میزان مصرف انواع مختلف کودهای شیمیایی یاران‌های نظیر کود اوره، فسفات، پتاس و سموم مختلف و کود حیوانی به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

الف) معادله محدودیت کود فسفات:

$$\sum_{i=1}^{10} f_{ij} X_{ij} - TF_j \leq 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3, 4 \quad \text{رابطه - ۸}$$

ب) معادله محدودیت کود اوره:

$$\sum_{i=1}^{10} o_{ij} X_{ij} - To_j \leq 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3, 4 \quad \text{رابطه - ۹}$$

ج) معادله محدودیت کود پتاس:

X_{ij} : سطح زیرکشت محصول نام در منطقه نام
 TXZ_j : کل اراضی قابل آبیاری و کشت محصولات زراعی منطقه نام
 FX_{ij} : سطح زیرکشت فعلی محصول نام در منطقه نام
 TXK_j : کل سطح زیر کشت محصولات منطقه نام جهت نیاز خودکفایی
 XM_j : سطح زیرکشت محصول خیار پاییزه (کشت مجدد) در منطقه نام
 Y_{itr} : سطح زیرکشت محصول نام در سال نام در تناوب نام
 TY_r : سطح زیرکشت محصول هر قطعه تناوبی در تناوب نام
 f_{ij} : میزان کود فسفات موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{ij} : میزان کل کود فسفات قابل دسترس محصولات منطقه نام
 O_{ij} : میزان کود اوره موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{oj} : میزان کل کود اوره قابل دسترس محصولات منطقه نام
 P_{ij} : میزان کود پتاس موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{pj} : میزان کل کود پتاس قابل دسترس محصولات منطقه نام
 h_{ij} : میزان کود حیوانی موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{hj} : میزان کل کود حیوانی قابل دسترس محصولات منطقه نام
 s_{ij} : میزان سموم موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{sj} : میزان کل سموم قابل دسترس محصولات منطقه نام
 t_{ij} : میزان ساعت تراکتور موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{tj} : کل ساعت بهره‌برداری از تراکتور قابل دسترس منطقه نام
 k_{ij} : میزان ساعت کمباین موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{kj} : کل ساعت بهره‌برداری از کمباین قابل دسترس منطقه نام
 d_{ij} : میزان ساعت دروگر موردنیاز هر هکتار محصول نام در منطقه نام
 T_{dj} : کل ساعت بهره‌برداری از دروگر قابل دسترس منطقه نام
 w_{ijk} : میزان آب موردنیاز (نیاز آبی) هر هکتار محصول نام منطقه نام در ماه k

Tw_{jk} : میزان آب تخصیص داده شده به منطقه نام در ماه k

L_{ijm} : نیروی کار موردنیاز هر هکتار محصول نام منطقه نام در فصل m

TL_{jm} : کل نیروی کار موجود منطقه نام در فصل m

c_{ij} : درآمد خالص هر هکتار محصول نام منطقه نام

T_{cj} : کل درآمد خالص حاصل از محصولات تولیدی منطقه نام

I_{ij} : هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقدی موردنیاز هر هکتار محصول نام منطقه نام

PI_j : کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقدی قابل دسترس منطقه نام

TXK_j : کل سطح زیر کشت محصولات منطقه نام جهت نیاز خودکفایی.

گام دوم، مشخص کردن تابع هدف مدل با توجه به طرز تفکر زارع یا مدیر واحد می‌باشد که در منطقه مورد بررسی تابع هدف حداکثر کردن سود کشاورزان مناطق می‌باشد.

در گام سوم، می‌بایستی محدودیت‌های مساله که ممکن است شامل محدودیت منابع، محدودیت بازار، محدودیت نهادی، محدودیت تناوبی و محدودیت بدیهی غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم‌گیری باشد، مشخص گردد. این محدودیت‌ها به شرح زیر می‌باشند:

۱) محدودیت زمین زراعی

در منطقه مطالعاتی علاوه بر محصولات اصلی امکان کشت بعضی از محصولات نظیر خیار پاییزه به صورت کشت مجدد پس از برداشت غلات

$$Y_{10r} - \sum_{i=1}^3 Y_{i2r} + Y_{10r} - 3TY_r = 0$$

رابطه - ۱۸
for r=۳

(د) معادله محدودیت مجموع سطح زیر کشت هر محصول در تناوبهای مختلف

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 Y_{ij} - X_i = 0$$

رابطه - ۱۹
for i=۱, ۲, ..., ۱۰

$$X_i - \sum_{j=1}^3 X_{ij} = 0$$

رابطه - ۲۰
for i=۱, ۲, ..., ۱۰

(ه) معادله محدودیت مجموع کل تناوبها

$$5TY_1 + 3TY_2 + 3TY_3 - \sum_{j=1}^3 TXZ_j = 0$$

رابطه - ۲۱

۶) محدودیت نیاز خودکفایی

محدودیت سطح زیر کشت محصولاتی نظیر گندم و جو جهت تأمین نیازهای غذایی اهالی، نیاز دام منطقه و بذر مورد نیاز کشت سال بعد، در منطقه به شرح زیر می باشد:

$$\sum_{j=1}^3 X_{1j} \geq 180$$

رابطه - ۲۲

$$\sum_{j=1}^3 X_{2j} \geq 144$$

رابطه - ۲۳

۷) محدودیت سرمایه گذاری نقدی:

از آنجا که درآمد بخش کشاورزی محدود است لذا محصولات تولیدی مختلف در بهره گیری از آن با یکدیگر رقابت داشته، بنابراین محدودیت سرمایه به صورت زیر وارد مدل شده است.

$$\sum_{j=1}^{10} I_j X_{ij} - TI_j \leq 0$$

رابطه - ۲۴
for j=۱, ۲, ۳

در سمت چپ این محدودیت، نیاز فعالیت های تولیدی به سرمایه نقدی که معادل میزان هزینه های متغیر آن در نظر گرفته شده درج و در سمت راست آن، مجموع میزان کل سرمایه نقدی قابل تخصیص به فعالیت های زراعی مناطق مختلف (TI_j) که از طریق تدوین الگوی کشت شرایط موجود

$$\sum_{i=1}^{10} p_{ij} X_{ij} - TP_j \leq 0$$

رابطه - ۱۰
for j=۱, ۲, ۳, ۴

(د) معادله محدودیت سموم شیمیایی:

$$\sum_{i=1}^{10} s_{ij} X_{ij} - Ts_j \leq 0$$

رابطه - ۱۱
for j=۱, ۲, ۳, ۴

(ه) معادله محدودیت کود حیوانی:

$$\sum_{i=1}^{10} h_{ij} X_{ij} - Th_j \leq 0$$

رابطه - ۱۲
for j=۱, ۲, ۳, ۴

۴) محدودیت ماشین آلات کشاورزی

دسترسی به ماشین آلات کشاورزی نیز به صورت محدودیت زیر در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{i=1}^{10} t_{ij} X_{ij} - Tt_j \leq 0$$

رابطه - ۱۳
for j=۲, ۱, ۳

$$\sum_{i=1}^{10} k_{ij} X_{ij} - Tk_j \leq 0$$

رابطه - ۱۴
for j=۲, ۱, ۳

$$\sum_{i=1}^{10} d_{ij} X_{ij} - Td_j \leq 0$$

رابطه - ۱۵
for j=۲, ۱, ۳

۵) محدودیت تناوب زراعی

تناوب های زراعی عمومی استفاده شده در منطقه به صورت زیر می باشند:

۱ - غلات، جالیز، غلات، غلات، چغندر قند

۲ - چغندر قند، غلات، یونجه

۳ - ذرت، غلات، چغندر قند

معادلات محدودیت های مربوط به تناوب زراعی به شرح زیر وارد مدل می گردند:

(الف) معادله تناوب اول:

$$\sum_{i=1}^2 Y_{i0r} + \sum_{i=2}^6 Y_{i0r} + \sum_{i=2}^2 Y_{i0r} + \sum_{i=2}^2 Y_{i0r} + Y_{10r} - 5TY_r = 0$$

رابطه - ۱۶
for r=۱

(ب) معادله تناوب دوم:

$$Y_{10r} + \sum_{i=1}^2 Y_{i2r} + Y_{10r} - 3TY_r = 0$$

رابطه - ۱۷
for r=۲

(ج) معادله تناوب سوم:

$$\sum_{j=1}^3 TW_{jk} - TW_k \leq 0 \quad \text{for } k=1, 2, \dots, 10$$

رابطه - ۳۲

$$\sum_{k=1}^{10} TW_k - TW \leq 0$$

رابطه - ۳۳

$$\sum_{i=1}^{10} L_{ij} X_{ij} - TL_{jm} = 0 \quad \text{for } m=1, 2, 3, 4 \text{ and } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۳۴

$$\sum_{i=1}^{10} f_{ij} X_{ij} - Tf_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۳۵

$$\sum_{i=1}^{10} o_{ij} X_{ij} - To_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۳۶

$$\sum_{i=1}^{10} p_{ij} X_{ij} - Tp_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۳۷

$$\sum_{i=1}^{10} s_{ij} X_{ij} - Ts_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۳۸

$$\sum_{i=1}^{10} h_{ij} X_{ij} - Th_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۳۹

$$\sum_{i=1}^{10} t_{ij} X_{ij} - Tt_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۴۰

$$\sum_{i=1}^{10} k_{ij} X_{ij} - Tk_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۴۱

$$\sum_{i=1}^{10} d_{ij} X_{ij} - Td_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه

منطقه (مدل کالیبره) به دست می آید، قرار می گیرد.

تعیین مدل تخصیص بهینه آب:

متفاوت بودن دوره کشت و نیاز آبی محصولات و میزان موجودی آب منطقه در ماههای مختلف سال باعث می گردد که محدودیت آب به صورت ماهانه و منفک از هم در نظر گرفته شود. ولی از آنجا که هدف مطالعه حاضر تخصیص بهینه منابع آب به هر منطقه در هر ماه از سال می باشد لذا با توجه به میزان آب ورودی ماهانه رودخانه به مخزن سد و حجم کل مخزن، میزان بهینه آب هر ماه از سال با استفاده از مدل تخصیص بهینه که به شرح زیر می باشد، به عنوان محدودیت منابع آبی وارد مدل می گردد:

رابطه - ۲۵

$$\sum_{i=1}^{10} W_{ijk} X_{ij} - TW_{jk} \leq 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3 \text{ and } k=1, 2, \dots, 10$$

رابطه - ۲۶

$$\sum_{j=1}^3 TW_{jk} - TW_k \leq 0 \quad \text{for } k=1, 2, \dots, 10$$

رابطه - ۲۷

$$\sum_{k=1}^{10} TW_k - TW \leq 0$$

با لحاظ روابط فوق در مدل برنامه ریزی خطی این امکان به مدل داده می شود که اولاً مدل بتواند حجم کل آب قابل دسترس مخزن سد را بنحو بهینه در بین ماههای مختلف سال و بین مناطق زیر سد تخصیص دهد. ثانیاً آب مازاد هر ماه قابلیت انتقال به ماههای دیگر را از طریق ذخیره سازی در مخزن سد داشته باشد.

تعیین مدل کالیبره و برآورد میزان منابع در شرایط موجود

مدل کالیبره از جمله مدل های برنامه ریزی خطی است که با توجه به شرایط کشت موجود منطقه صورت گرفته و متغیرهای تصمیم گیری عیناً معادل سطح کشت فعلی وارد مدل می گردند. این مدل در مطالعه حاضر به شرح زیر می باشد:

رابطه - ۲۸

$$\text{Max} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^{10} C_{ij} X_{ij}$$

..S.T

رابطه - ۲۹

$$\sum_{i=1}^{10} I_{ij} X_{ij} - TI_j = 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3$$

رابطه - ۳۰

$$\sum_{i=1}^{10} W_{ijk} X_{ij} - TW_{jk} \leq 0 \quad \text{for } j=1, 2, 3 \text{ and } k=1, 2, \dots, 10$$

رابطه - ۳۱

نتایج و بحث

جدول شماره ۱- سطوح کشت فعلی مناطق مختلف را در مدل کالیبره و جدول شماره ۲ نتایج میزان نهاده‌های برآورد شده مدل کالیبره را نشان می‌دهد. با استفاده از نتایج مدل کالیبره که در جدول شماره ۲- ارائه گردیده است، الگوی کشت بهینه مناطق مختلف با در نظر گرفتن محدودیت مدل تخصیص بهینه آب، مطابق جدول شماره ۳ و حجم آب بهینه تخصیصی به مناطق مختلف در هر ماه از سال نیز در جدول شماره ۴ برآورد گردیده است.

همانگونه که در جدول شماره ۲ ملاحظه می‌گردد میزان آب تخصیصی به مناطق مختلف در هر یک از ماه‌های سال برآورد گردیده است. این جدول نشان می‌دهد که بیشترین میزان مصرف آب در هر یک از مناطق در خرداد ماه و کمترین آن در آذر ماه می‌باشد. میزان برآوردی سایر نهاده‌ها نیز در این جدول ارائه گردیده است.

بر اساس نتایج مدل برنامه‌ریزی خطی، الگوی کشت بهینه مناطق مختلف اراضی زیر سد بارزو شیروان به شرح جدول شماره ۳ پیشنهاد می‌گردد. این جدول به کشت تخصیصی چندین محصول در الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی کشت فعلی اشاره می‌نماید و بیان می‌کند که با عدم کشت بعضی از محصولات و کشت سطح بالای محصولات دیگر سود منطقه افزایش می‌یابد. همانگونه که در این جدول ملاحظه می‌گردد نتایج مدل برنامه‌ریزی خطی، کشت محصولات ذرت دانه ای، خیار پاییزه و آفتابگردان را در منطقه حاشیه رودخانه قلجق، گوجه فرنگی و آفتابگردان را در منطقه زیارت و ذرت دانه ای، خیار پاییزه و پیاز را در منطقه سه یک آب به لحاظ اقتصادی پیشنهاد می‌کند. در مجموع در اثر اجرای الگوی کشت بهینه پیشنهادی، سطوح زیرکشت محصولات از ۵۲۵ به ۸۹۹ هکتار در منطقه حاشیه رودخانه قلجق، از ۱۸۲۵ هکتار به ۱۹۴۷ هکتار در منطقه زیارت و از ۷۲۲ به ۷۲۲/۳ در منطقه سه یک آب افزایش می‌دهد.

همانگونه که در جدول شماره ۴ نشان داده شده میزان آب تخصیصی هر منطقه در هر ماه از سال مشخص گردیده است. از نتایج این جدول مشاهده می‌گردد که میزان آب تخصیصی الگوی بهینه مدل برنامه‌ریزی خطی به منطقه حاشیه رودخانه قلجق در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، مهر و آبان، منطقه زیارت در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، شهریور، مهر و آبان و به منطقه سه یک آب در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و آبان نسبت به شرایط فعلی کاهش و در سایر ماه‌های سال افزایش می‌یابد. بیشترین درصد افزایش میزان آب تخصیصی به مناطق حاشیه رودخانه قلجق و زیارت در تیر ماه و منطقه سه یک آب در شهریور ماه می‌باشد که به ترتیب ۱۹۶، ۹۷ و ۱۰۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد. این نتایج به نوع محصولات الگوی کشت بهینه و نیاز آبی آنها بستگی دارد.

جدول شماره ۵ میزان آب بهینه ای که در هر ماه از سد بارزو شیروان به کل مناطق، بر اساس مدل‌های برنامه‌ریزی خطی معمولی تخصیص می‌یابد، و همچنین میزان آب ماهانه موجود شرایط فعلی را نشان می‌دهد. همانگونه که در این جدول ملاحظه می‌گردد میزان کل آب تخصیصی در این مناطق از ۳۵۵۳۰ هزار مترمکعب در شرایط فعلی به ۴۷۰۰۰ هزار مترمکعب در شرایط بهینه افزایش می‌یابد. بر اساس تخصیص بهینه بیشترین آب سد در ماه تیر و کمترین آن در فصل آذر به ترتیب با ۱۵۳۱۴ و ۱۷ هزار مترمکعب می‌باشد. بر اساس

$$\sum_{j=1}^3 X_{ij} - TXK_i \geq 0 \quad \text{for } i=1,2,3$$

رابطه - ۴۳

$$X_{ij} - FX_{ij} = 0 \quad j=1,2,3 \text{ for } i=1,2,\dots,10$$

رابطه - ۴۴

$$\sum_{i=1}^2 Y_{1i} + \sum_{i=2}^6 Y_{2i} + \sum_{i=7}^2 Y_{3i} + \sum_{i=10}^2 Y_{4i} + Y_{5i} - 5TY_r = 0 \quad \text{for } r=1$$

رابطه - ۴۵

$$Y_{4i} + \sum_{i=1}^2 Y_{12i} + Y_{10i} - 3TY_r = 0 \quad \text{for } r=2$$

رابطه - ۴۶

$$Y_{3i} + \sum_{i=1}^2 Y_{12i} + Y_{4i} - 3TY_r = 0 \quad \text{for } r=3$$

رابطه - ۴۷

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 Y_{ij} - X_i = 0 \quad \text{for } i=1,2,\dots,10$$

رابطه - ۴۸

$$X_i - \sum_{j=1}^3 X_{ij} = 0 \quad \text{for } i=1,2,\dots,10$$

رابطه - ۴۹

$$5TY_1 + 3TY_2 + 3TY_3 - \sum_{j=1}^3 TXZ_j = 0$$

جدول ۱- نتایج الگوی کشت مدل کالیبره محصولات زراعی مناطق اراضی زیر سد بارزو شیروان (واحد: هکتار)

| محصول | متغیر | منطقه حاشیه قلعج | منطقه زیارت | منطقه سه یک آب | جمع |
|-------------|-----------------|------------------|-------------|----------------|--------|
| گندم آبی | X ₁ | ۱۵۶/۸ | ۵۵۵/۲ | ۲۳۴/۲ | ۹۴۶/۲ |
| جو آبی | X ₂ | ۵۳/۹ | ۱۹۰/۹ | ۸۰/۵ | ۳۲۵/۳ |
| ذرت دانه ای | X ₃ | ۳۹/۲ | ۱۳۸/۸ | ۵۸/۶ | ۲۳۶/۶ |
| چغندر قند | X ₄ | ۷۳/۵ | ۲۶۰/۳ | ۱۰۹/۸ | ۴۴۳/۶ |
| خیار بهاره | X ₅ | ۲۴/۵ | ۸۶/۸ | ۳۶/۶ | ۱۴۷/۹ |
| خیار پاییزه | X _M | ۳۵ | ۹۰ | ۴۰ | ۱۶۵ |
| گوجه فرنگی | X ₆ | ۲۴/۵ | ۸۶/۸ | ۳۶/۶ | ۱۴۷/۹ |
| آفتابگردان | X ₇ | ۹/۸ | ۳۴/۷ | ۱۴/۶ | ۵۹/۱ |
| پیاز | X ₈ | ۹/۸ | ۳۴/۷ | ۱۴/۶ | ۵۹/۱ |
| سیب زمینی | X ₉ | ۴۹ | ۱۷۳/۵ | ۷۳/۲ | ۲۹۵/۷ |
| یونجه | X ₁₀ | ۴۹ | ۱۷۳/۵ | ۷۳/۲ | ۲۹۵/۷ |
| جمع | | ۵۲۵ | ۱۸۲۵ | ۷۷۲ | ۳۱۲۲/۱ |

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- نتایج میزان نهاده های برآورد شده از مدل کالیبره

| نهاده مصرفی | واحد | منطقه حاشیه قلعج | منطقه زیارت | منطقه سه ی آب | جمع |
|------------------------|--------------|------------------|-------------|---------------|---------|
| سرمایه نقدی | ده هزار ریال | 270220 | 943140 | 400220 | 1613580 |
| آب فروردین | مترمکعب | 352670 | 780330 | 225400 | 1358400 |
| آب اردیبهشت | مترمکعب | 786590 | 2226875 | 834870 | 3848335 |
| آب خرداد | مترمکعب | 1321315 | 4833970 | 1967320 | 8122600 |
| آب تیر | مترمکعب | 1253280 | 4586970 | 2028025 | 7868275 |
| آب مرداد | کعب | 1209900 | 4332550 | 1644180 | 7186630 |
| آب شهریور | مترمکعب | 760825 | 2813860 | 1073500 | 4648185 |
| آب مهر | مترمکعب | 250440 | 1079245 | 506330 | 1836015 |
| آب آبان | مترمکعب | 91335 | 352130 | 154650 | 598115 |
| آب آذر | مترمکعب | 3675 | 13010 | 0 | 16685 |
| آب زمستان | مترمکعب | 47000 | 0 | 0 | 47000 |
| نیروی کار بهار | نفرروز | 12000 | 38850 | 12390 | 0 |
| نیروی کار تابستان | نفرروز | 12790 | 40360 | 19205 | 0 |
| نیروی کار پاییز | نفرروز | 5405 | 27600 | 11765 | 0 |
| نیروی کار زمستان | نفرروز | 75 | 95 | 85 | 0 |
| کود شیمیایی فسفات | کیلوگرم | 84310 | 304550 | 126880 | 0 |
| کود شیمیایی اوره | کیلوگرم | 125530 | 706665 | 192500 | 0 |
| کود شیمیایی پتاس | کیلوگرم | 13230 | 40570 | 7000 | 0 |
| سموم شیمیایی | کیلوگرم | 1530 | 6225 | 1645 | 0 |
| کود حیوانی | تن | 6752 | 18225 | 10170 | 0 |
| متوسط ساعت کار تراکتور | ساعت | 13030 | 44085 | 19240 | 0 |
| متوسط ساعت کار کمباین | ساعت | 950 | 3360 | 1415 | 0 |
| متوسط ساعت کار دروگر | ساعت | 2905 | 8310 | 4240 | 0 |

منبع: نتایج تحلیل داده‌های تحقیق

جدول ۳: نتایج الگوی کشت مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی محصولات زراعی مناطق اراضی زیر سد بارزو شیروان (واحد: هکتار)

| محصول | متغیر | منطقه حاشیه قلجق | منطقه زیارت | منطقه سه یک آب | جمع |
|-------------|-----------------|------------------|-------------|----------------|---------|
| گندم آبی | X ₁ | ۴۸ | ۱۰۱ | ۳۱ | ۱۸۰ |
| جو آبی | X ₂ | ۳۶ | ۸۰ | ۲۷ | ۱۴۴ |
| ذرت دانهای | X ₃ | ۴۱۶/۸ | ۰ | ۴۳۵ | ۵۸۱/۸ |
| چغندر قند | X ₄ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خیار بهاره | X ₅ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| خیار پاییزه | X _M | ۶۴ | ۰ | ۰/۰۰۰۳ | ۶۴/۰۰۰۳ |
| گوجه فرنگی | X ₆ | ۰ | ۸۷۴/۸ | ۰ | ۸۷۴/۸ |
| آفتابگردان | X ₇ | ۲۸۴/۲ | ۷۱۷/۷ | ۰ | ۱۰۰۱/۹ |
| پیاز | X ₈ | ۰ | ۰ | ۱۵۶/۱ | ۱۵۶/۱ |
| سیبزمینی | X ₉ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| یونجه | X ₁₀ | ۴۹ | ۱۷۳/۵ | ۷۳/۲ | ۲۹۵/۷ |
| جمع | | ۸۹۹ | ۱۹۴۷ | ۷۲۲/۳ | ۳۵۶۸/۳ |

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۴: نتایج تخصیص بهینه ماهانه آب سد به مناطق مختلف در سناریوی کشت محصولات زراعی (واحد: مترمکعب)

| منطقه | ماه‌های سال | مدل کالیبره | مدل برنامه‌ریزی خطی قطعی | درصد تغییر |
|--------------------------|-------------|-------------|--------------------------|------------|
| منطقه حاشیه رودخانه قلجق | فروردین | 352673 | 190633 | 46/0 - |
| | اردیبهشت | 786587 | 687836 | 13/0 - |
| | خرداد | 1321314 | 2214334 | 68/0 |
| | تیر | 1253279 | 3704079 | 96/1 |
| | مرداد | 1209899 | 2872623 | 37/1 |
| | شهریور | 760824 | 1479416 | 94/0 |
| | مهر | 250444 | 237571 | 05/0 - |
| | آبان | 91336 | 56056 | 39/0 - |
| | آذر | 3675 | 3675 | 0 |
| | زمستان | 47000 | 19692 | 58/0 - |
| جمع | 6077031 | 11465915 | 89/0 | |
| منطقه زیارت | فروردین | 780330 | 256560 | 67/0 - |
| | اردیبهشت | 2226874 | 1673968 | 25/0 - |
| | خرداد | 4833966 | 6050109 | 25/0 |
| | تیر | 4586968 | 9022810 | 97/0 |
| | مرداد | 4332554 | 6353465 | 47/0 |
| | شهریور | 2813860 | 979794 | 65/0 - |
| | مهر | 1079247 | 353608 | 67/0 - |
| | آبان | 352131 | 208030 | 41/0 - |
| | آذر | 13012 | 13012 | 0 |
| | زمستان | 0 | 0 | 0 |
| جمع | 21018942 | 24911356 | 19/0 | |
| منطقه سه یک آب | فروردین | 225397 | 62479 | 72/0 - |
| | اردیبهشت | 834866 | 498331 | 40/0 - |
| | خرداد | 1967319 | 1699263 | 14/0 - |
| | تیر | 2028025 | 2587213 | 28/0 |
| | مرداد | 1644183 | 2966842 | 80/0 |
| | شهریور | 1073500 | 2187561 | 04/1 |
| | مهر | 506328 | 557466 | 1/0 |
| | آبان | 154646 | 63571 | 59/0 - |
| | آذر | 0 | 0 | 0 |
| | زمستان | 0 | 0 | 0 |
| جمع | 8434264 | 10622726 | 26/0 | |

منبع: یافته‌های تحقیق

- 5-Marginal value of water
- 6-Economically efficient
- 7-Public water allocation
- 8-Market- based allocation of water
- 9-Economically efficient.
- 10 - User- based allocation.
- 11-Farmer managed irrigation systems.
- 12-Flexibility
- 13-Security
- 14- Real opportunity
- 15- Predictability
- 16- Equity
- 17 -Political & public acceptability
- 18- Efficiency
- 19- Administrative feasibility & sustainability
- 20-Sinai peninsula

نتایج این جدول بیشترین درصد افزایش در ماه تیر و معادل ۹۵ درصد و بیشترین درصد کاهش در ماه فروردین و معادل ۶۲ درصد می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که میزان تخصیصی به این ماه‌ها بهینه نبوده و با تخصیص بهینه آن تحت شرایط اجرای الگوی کشت بهینه سود کل مناطق حاشیه رودخانه قلجی، زیارت و سه یک آب مطابق جدول شماره ۶ به ترتیب از ۲۵۴۸۷۶، ۷۸۱۷۲۳ و ۳۶۲۲۳۲ هزار ریال در شرایط فعلی به ۶۱۵۰۳۸، ۱۰۸۲۴۳۹ و ۷۳۹۱۵۹ هزار ریال در مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی به با افزایشی معادل ۱۴۱، ۳۸ و ۱۰۴ درصد مواجه می‌شود.

پاورقی‌ها

- 1-Irrigation scheduling optimization
- 2 -Regional optimization
- 3-Crop optimization
- 4-Marginal cost pricing

جدول ۵: تخصیص بهینه ماهانه آب سد بارزو شیروان به کل مناطق زیر سد در سناریوی کشت زراعی (هزار مترمکعب)

| ماه‌های سال | مدل کالیبره | مدل برنامه ریزی خطی قطعی | درصد تغییر |
|-------------|-------------|--------------------------|------------|
| فروردین | ۱۳۵۸ | ۵۱۰ | -۰/۶۲ |
| اردیبهشت | ۳۸۴۸ | ۲۸۶۰ | -۰/۲۶ |
| خرداد | ۸۱۲۳ | ۹۹۶۴ | ۰/۲۳ |
| تیر | ۷۸۶۸ | ۱۵۳۱۴ | ۰/۹۵ |
| مرداد | ۷۱۸۷ | ۱۲۱۹۳ | ۰/۷۰ |
| شهریور | ۴۶۴۸ | ۴۶۴۷ | ۰ |
| مهر | ۱۸۳۶ | ۱۱۴۹ | -۰/۳۷ |
| آبان | ۵۹۸ | ۳۲۸ | -۰/۴۵ |
| آذر | ۱۷ | ۱۷ | ۰ |
| زمستان | ۴۷ | ۲۰ | -۰/۵۷ |
| جمع | ۳۵۵۳۰ | ۴۷۰۰۰ | ۰/۳۲ |

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۶: سود اراضی مناطق مختلف زیر سد بارزو در مدل‌های مختلف (واحد: ۱۰ ریال)

| مدل‌های مختلف | مناطق مختلف | منطقه حاشیه رودخانه قلجی | منطقه زیارت | منطقه سه یک آب | سود کل |
|-------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------|------------|
| مدل کالیبره | | ۲۵۴۸۷۵۶۷۰ | ۷۸۱۷۲۳۴۴۰ | ۳۶۲۲۳۲۱۸۰ | ۱۳۹۸۸۳۱۲۹۰ |
| مدل برنامه ریزی خطی معمولی | | ۶۱۵۰۳۷۶۴۰ | ۱۰۸۲۴۳۹۰۹۰ | ۷۳۹۱۵۸۷۰۰ | ۲۴۹۱۱۲۰۵۰۰ |
| درصد تغییر نسبت به شرایط فعلی | | ۱۴۱ | ۳۸ | ۱۰۴ | ۷۴ |

منبع: نتایج تحلیل داده‌های تحقیق

economic production in a semi-arid region. *Water Resources Development*, 18: 391-407.

8- Sampath, R. 1992; Issues in irrigation pricing in developing countries. *World Development*, 20(7): 967-977.

9- Shangguan, Z., Shao, M. and Horton, R. 2002; A model for regional optimal allocation of irrigation and its applications. *Agricultural Water Management*, 52: 139-154.

10- Singh, D.K., Jaiswal, C.S., Reddy, K.S., Singh, R.M. and Bhandarkar, D.M. 2001; Optimal cropping pattern in a canal command area. *Agricultural Water Management*, 50: 1-8.

11- Spulber, N. and Sabbaghi, A. 1994; Economics of water resources. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts.

12- Wichelns, D. 2002; Economic analysis of water allocation policies regarding Nile River water in Egypt. *Agricultural Water management* 52: 155-175.

13- Yoder, R. 1994; Locally managed irrigation systems: Essential tasks and implications for assistance, management transfer and turnover programs. Colombo: International Irrigation Management Institute.

14- Yuan, H.H. Liu, Z.Y., Shao, Q. 1991; A study on the optimal allocation model of limited irrigation water. In: Proceeding of ICID, Vol. 1-B. Beijing, China.

21- Average Resource method

22- Most Limiting Resource Method

منابع مورد استفاده

۱ - بازار، م.ا، جارویس، ج.ج. و شرالی، ح. ۱۳۷۸؛ برنامه‌ریزی خطی. (مترجم: خرم، ا.). تهران: نشر کتاب دانشگاهی.

۲ - سلطانی، غ. ۱۳۷۲؛ تعیین آب بها و تخصیص بهینه آب در اراضی زیر سدها: مطالعه موردی سد درودزن شیراز. مجموعه مقالات دومین سمپوزیوم سیاست کشاورزی ایران، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز: ۲۱۱-۱۹۵.

3- Al-weshah, R.A. 2000; Optimal use of irrigation water in the Jordan valley: A case study. *Water Resource Management* 14: 327-338.

4- Campbell, D.E. 1987; Resource allocation mechanisms. The Press Syndicate of The University of Cambridge. USA.

5- Doppler, W., Salman, A.Z., Al – Karablieh, E.K. and Wolff, H.P. 2002; The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of The Jordan valley. *Agricultural Water Management*, 55:171-182.

6- Easter, K.W., Becker, N. and Tsur, Y. 1997; Economic mechanisms for managing water resources: Pricing, permits and markets. , in K.W. Easter (Ed.) *Water Resources: Environmental planning, management and development*, McGraw-Hill, New York.

7- Kelman, J. and Kelman, R. 2002; Water allocation for

