نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1847-1832

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1832-1847

# راهبردهای تخصیص بهینه آب سد وشمگیر با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای

الهام کلبعلی[1*] - محمود صبوحی صابونی[2] - محمود احمدپوربرازجانی[3]

تاریخ دریافت: 1394/02/02
تاریخ پذیرش: 1395/03/30

## چکیده

با توجه به اقلیم خشک و پراکنش نامناسب بارش در ایران، تولید مواد غذایی کافی و کشاورزی پایدار، منوط به استفاده صحیح و علمی از منابع آب است. هم اکنون بیش از 60 درصد منابع آب به دلیل عدم استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در مزارع ایران به هدر می‌رود و موجب کاهش سطح زیرکشت در برخی مناطق می‌شود. اهداف اصلی مطالعه حاضر، تعیین الگوی کشت، تعیین مقدار آب تخصیصی به هر بخش (کشاورزی، آبزی‌پروری و محیط زیست)، تعیین میزان کمبود آب هر بخش و تعیین مقدار سود خالص سیستم در سال 1393 تحت سناریوهای خشکسالی، نرمال‌سالی و ترسالی با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای می‌باشد. داده‌های مورد نیاز از شرکت آب منطقه‌ای گلستان و برای سال‌های 80 تا 92 جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که در اثر تخصیص آب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای میزان تقاضای آب هدف بخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی تأمین می‌شود و کمبود آبی برای این بخش‌ها تحت سناریوهای مورد مطالعه و راندمان‌های 37 درصد، 45 درصد و 51 درصد وجود ندارد. اما برای بخش کشاورزی در سناریوی خشک‌سالی تقاضای آب هدف تأمین نمی‌گردد و کمبود آب تحت راندمان‌های متفاوت به ترتیب به میزان 40/98، 23/67 و 7/ 14 میلیون متر مکعب وجود دارد. سود سیستم هم با افزایش راندمان آبیاری افزایش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** استان گلستان، شبیه‌سازی مونت کارلو، عدم قطعیت، مدیریت بهینه آب

## مقدمه

آب مهمترین عامل محدود کننده‌ی توسعه‌ی اقتصادی و نیز مهمترین نهاده‌ی کشاورزی در ایران است. طی دو دهه گذشته، به دلیل تغییر و تحولات در جمعیت، اقلیم و افزایش رفاه نسبی میزان سرانه‌ی تجدیدپذیر آب افزایش یافته است. کمیابی آب به عنوان بحران رو به افزایش در بیشتر کشورهای در حال توسعه باعث شده تا مصرف خردمندانه‌ی منابع آبی و سیاست‌های مناسب آبیاری برای تشویق به حفظ و نگهداری آب اتخاذ شود. پژوهش سازمان بین‌المللی مدیریت نشان داد که تا سال 2025 بسیاری از نواحی با مشکل کمبود آب شیرین روبه‌رو هستند (18).

رشد روزافزون جمعیت جهان و نیاز فزاینده به مواد غذایی، استفاده پایدار از منابع آب را برای تولید محصولات کشاورزی ضروری می‌سازد. در ایران نیز با توجه به اقلیم خشک و پراکنش نامناسب بارش، تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار، منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع آب و مدیریت صحیح و منطقی مصرف آن است.

با این حال، بیش از 80 درصد از منابع آب به دلیل عدم استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته به هدر می‌رود. تعدادی از کارشناسان معتقدند وضعیت مدیریت در کشور در شرایط فعلی مدیریت مناسبی نیست و موجب کاهش شدید و سطح زیرکشت کشاورزی در برخی مناطق شده است. مدیریت آب در کشور، راهکار مناسب و بهینه‌ای را می‌طلبد و نیازمند تحولی بزرگ می‌باشد (3).

مدل‌های ریاضی به عنوان ابزاری جهت تحقق اهداف مدیران و برنامه‌ریزان سیستم‌های مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان، مدل‌های شبیه‌سازی یکی از پرکاربردترین مدل‌ها است که به کمک قوانین فیزیکی و یکسری قوانین مربوط به بهره‌برداری از مخزن، واکنش سیستم را نسبت به سیاستی خاص پیش‌بینی می‌نماید (16).

تعیین سیاست‌های بهینه از مخازن یکی از بحث‌های مهم در زمینه مدیریت منابع آب به شمار می‌آید. به طوری که از اواخر دهه 50 و به خصوص اوایل دهه 60 موضوع تعداد زیادی از تحقیقات منابع آب در این ارتباط است. سیستم‌های طبیعی حوزه‌های آبریز و مخازن، علی‌رغم ظاهر ساده از پیچیدگی بسیاری برخوردارند. به نحوی که می‌توان آنها را در زمره پیچیده‌ترین سیستم‌های مطرح در

1 و3- دانشجوی دکتری و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: Email: elham_kalbali@yahoo.com)
2- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
DOI: 10.22067/jsw.v30i6.45120

مهندسی قلمداد نمود. این پیچیدگی به طور عمده حاصل تصادفی و غیرقطعی بودن متغیرهای دخیل در این سیستم‌ها است (1). مطالعات فراوانی در زمینه بهره‌برداری از سیستم‌های مخزنی به روش‌های بهینه‌سازی، شبیه‌سازی یا هر دو روش صورت گرفته است. در این مطالعه روش بهینه‌سازی مورد توجه قرارگرفته است. روش‌ها و مدل‌های مختلفی در مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه به مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته شده است.

قدمی و همکاران (4)، مدل الگوریتم ژنتیک قطعی برای بهره‌برداری بهینه از یک سیستم چندمخزنی منابع آب تک‌منظوره در شمال خراسان به جهت مصارف کشاورزی، تدوین کردند. هدف اصلی، حداکثر کردن سود خالص ناشی از کاشت تمامی گیاهان در یک الگوی کاشت انتخابی بود.

مومنی و رضایی (11)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویا، بهره‌برداری بهینه از مخزن سد ارس را تعیین و به مقایسه نتایج ناشی از برنامه‌ریزی پویای تصادفی و پویای قطعی پرداختند، نتایج نشان داد که مدل تصادفی مقدار آب در دسترس بیشتری در اکثر ماه‌های مختلف برای تأمین مصارف کشاورزی و برق آبی در اختیار می‌گذارد بنابراین مدل تصادفی بهتر است.

مسن مظفری و همکاران (12)، به بررسی مدیریت و تخصیص بهینه آب سد امیرکبیر پرداخت. در این مطالعه، سیستم حمایت تصمیم‌گیری با استفاده از دو روش برنامه‌ریزی خطی و آرمانی مدنظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که در برنامه‌ریزی آرمانی میزان آب بیشتری به بخش شرب تخصیص می‌یابد و با توجه به هدف اولیه سد که تأمین بخشی از آب شرب شهر تهران می‌باشد، برنامه‌ریزی آرمانی نتایج بهتری به تصمیم‌گیرندگان ارائه داد. در برنامه‌ریزی خطی سطح زیر کشت محصولات بیش از برنامه‌ریزی آرمانی بود.

صبوحی و مجرد (17)، در مطالعه‌ای به مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی نظریه بازی‌ها پرداختند نتایج نشان داد زمانی که به اهداف محیطی و اقتصادی وزن یکسانی داده شود بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بین 64 تا 117 میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. در نهایت تصمیم‌گیری بهینه در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی وابسته به اهمیت وزن‌های دو گروه هدف می‌باشد.

نورانی و همکاران (14)، در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم مخازن با سه هدف مختلف تأمین نیازهای آبی پایین‌دست، کنترل سیلاب و استفاده‌های تفریحی از مخازن برای سیستم دو مخزنه در حوضه آبریز سفیدرود (واقع در شمال ایران)، بر اساس برنامه‌ریزی آرمانی[1] پرداخته‌اند. نتایج تحقیق حاکی از موفقیت مدل بکار گرفته شده در مدیریت صحیح سیستم دو مخزنه مورد نظر می‌باشد.

نجفی و همکاران (13)، برای بهره‌برداری بهینه از سد مخزنی وشمگیر از برنامه‌ریزی خطی استفاده کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که سیاست بهره‌برداری مخزن در شرایط عادی و کنونی تنها در ماه‌های پرآب توانایی تأمین نیازها را دارد، در صورتی که ماه‌های بحرانی مصرف، ماه‌های کم‌آب هستند. ضمن این‌که در این سیاست روی سیلاب‌های احتمالی مدیریتی اعمال نشده و سرریزهای شدیدی در تعدادی از ماه‌ها و سال‌های آماری دیده می‌شود. میزان ذخیره مخزن با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در حدود 17 درصد بیشتر از روش‌های بهره‌برداری کنونی مخزن برآورد گردید در نتیجه میزان بهره‌برداری در این روش بیشتر از شرایط کنونی بهره‌برداری بود.

همایونی‌فر و رستگاری‌پور (5)، به تخصیص آب سد لتیان بین محصولات کشاورزی پرداختند. برای اعمال شرایط عدم حتمیت از مدل بهینه‌سازی دومرحله‌ای نادقیق و همچنین مدل برنامه‌ریزی فازی بازه‌ای در بهترین حالت (وقوع سطح جریان زیاد) به میزان 63 درصد، 69 درصد، 49 درصد و 33 درصد از آب مورد نیاز محصولات جو، صیفی‌جات، سبزی‌جات و ذرت علوفه‌ای تأمین می‌شود. اما، میزان تخصیص نهایی آب محصول گندم به طور دقیق مشخص نیست. همچنین، مقایسه دو مدل نشان داد که مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای فازی نادقیق به‌طور همزمان سود و قطعیت سیستم را افزایش می‌دهد.

اتکین و همکاران (2)، از برنامه‌ریزی تصادفی برای بهبود بهره‌برداری از سیستم چند مخزنی بارکینا فاسو در شرق آفریقا استفاده کردند. شبکه‌ای از این مخزن‌ها و ساختارهای انحرافی، آب مورد نیاز شهری و آبیاری محصولات کشاورزی را تأمین می‌کنند. براساس متغیر بودن بارندگی و جریان‌های ورودی به مخزن این ناحیه به دو قسمت فصلی و سالانه تقسیم شد. طبق سناریوهایی که در این مطالعه صورت گرفت پیش‌بینی‌های بارندگی فصلی ممکن است آزادی تصمیم‌گیری کارآمدتر را به ذینفعان مختلف در حوزه ارائه دهد.

هوانگ و همکاران (7)، مدلی را توسعه دادند که از اتصال مدل تصادفی دو مرحله‌ای با برنامه درجه دوم نادقیق (IQP)[2] ایجاد شده بود. در این مطالعه از روش هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی آب آبیاری در دسترس استفاده شد. هدف مطالعه حداکثر کردن سود سیستم برای مدیریت منابع آب بود.

لی و همکاران (9)، مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به‌کار گرفتند. آن‌ها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف

1- Goal Programming

2- Inexact Quadratic Program

محیطزیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها طی 81 سناریو برای سه مصرف‌کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد.

ستی و همکاران (19)، به بهینه‌سازی تخصیص منابع آب و الگوی‌کشت به صورت توأم در منطقه بالاسور در کشور هند پرداختند. برای اتخاذ سیاست‌های بلند مدت برای مدیریت پایدار زمین‌های کشاورزی و منابع آب موجود در منطقه از دو نوع برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های تصادفی (CCLP) و برنامه‌ریزی قطعی استفاده شد. سه سناریوی متفاوت برای الگوی کشت (20، 30 و 40 درصد انحراف از الگوی کشت فعلی) و چهار سناریو برای ترکیب آب سطحی و زیرزمینی با سطح ریسک متفاوت (10، 20، 30 و 40 درصد) در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که 20% آب سطحی و 30% آب زیرزمینی قابل دسترس، سطوح بهینه تخصیص آب را تشکیل می‌دهند. همچنین 40 درصد انحراف از الگوی کشت فعلی برای تأمین حداقل نیاز غذایی کافی است.

لی و همکاران (9)، به منظور مدیریت کیفیت آب در شرایط عدم حتمیت از مدل برنامه‌ریزی درجه 2 قوی با پارامترهای بازه‌ای استفاده کردند. این مدل از ادغام برنامه‌ریزی قوی و برنامه‌ریزی درجه 2 بازه‌ای در چارچوب یک بهینه‌سازی عمومی توسعه یافت. از این‌رو دارای تابع هدفی غیرخطی بود که می‌توانست اثرات بازده نسبت به مقیاس را منعکس کند. به دست آوردن سود بالا از سیستم منجر به تخطی از معیار محیط‌زیست شد و به همین دلیل، مدل بر اساس تصمیمات اقتصادی و زیست محیطی شکل گرفت و کسب یک درآمد اقتصادی با حفظ کیفیت آب، ساخته شد.

لی و گو (8)، در مطالعه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه در شرایط عدم حتمیت به تخصیص بهینه آب در چین پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه به منظور حمایت از راه‌اندازی الگوهای موجود آبیاری و شناسایی یک برنامه چندگانه تخصیص بهینه آب تحت شرایط عدم قطعیت ارزشمند بودند.

لو و همکاران (10) در سال 2009، با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی فازی دو مرحله‌ای با برش‌های α متناهی (TSIFP)[1] به تخصیص بهینه آب بین مزارع مختلف از دو منبع عرضه آب (رودخانه) در آمریکای شمالی پرداختند. نتایج نشان داد که پس از حل مدل، جواب‌های منطقی برای تخصیص بهینه آب بدست می‌آید و این مدل توانایی بالایی برای ایجاد جواب‌های انعطاف‌پذیر در تخصیص بهینه آب دارد.

محدودیت منابع آب، افزایش جمعیت و رشد اقتصاد، روند صنعتی شدن شهرها و متعاقب آن، روند روزافزون رشد تقاضا در زمینه‌های مختلف، شرایط بحرانی را برای منابع آب جهان به طور اعم و خاص برای کشور ایران رقم زده است که منابع آب استان گلستان از این مسئله مستثنی نبود. و چالش‌های ذکر شده برای حوضه گرگانرود نیز مسئله‌ساز خواهد بود. از طرفی اقتصاد استان گلستان وابسته به بخش کشاورزی است که وقوع دوره‌های خشکسالی، تولید محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد و به تبع آن اقتصاد منطقه دچار بحران می‌گردد (15). بنابراین انجام مطالعات به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استان گلستان و تخصیص آب در حاشیه سد وشمگیر واقع در حوضه گرگانرود دارای اهمیت است. لذا در این مطالعه سعی شد مسئله تخصیص اقتصادی آب سد وشمگیر بین مصرف‌کنندگان کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی در کنار سایر اهداف در نظر گرفته شود. با توجه به مسئله بحران آب در منطقه، برنامه‌ریزی در زمینه استفاده صحیح از این منبع حیاتی و کمیاب ضروری به نظر می‌رسد.

رشد جمعیت و رشد اقتصاد سبب تقاضای آب کشاورزی و آبزی‌پروری شده است. گروه‌های مختلف مصرف‌کننده آب باید بدانند چه مقدار آب برای تخصیص در فعالیت‌هایشان در دسترس خواهند داشت. هم‌چنین مصرف‌کنندگان باید بدانند چه مقدار از آب وعده داده شده به آن‌ها ممکن است تأمین نشود تا بتوانند در صورت لزوم آب را از منبع گران‌تر تهیه کرده و یا توسعه فعالیت‌های خود را کاهش دهند و یا سیاست‌هایی برای تأمین آب آبزی‌پروری، زیست‌محیطی و کشاورزی به وسیله سازمان آب منطقه‌ای برای آینده گرفته شود.

مسئله‌ی تخصیص منابع آب، به‌صورت بیشینه شدن ارزش سود خالص مورد انتظار سیستم ارایه می‌شود. بر اساس سیاست‌گذاری سازمان آب منطقه‌ای، یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریت آب سد وشمگیر، تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان رقیب می‌باشد. اگر مقدار آب وعده داده شده در آینده رها شود سود خالص سیستم افزایش و اگر رها نشود ضرر در سیستم رخ خواهد داد.

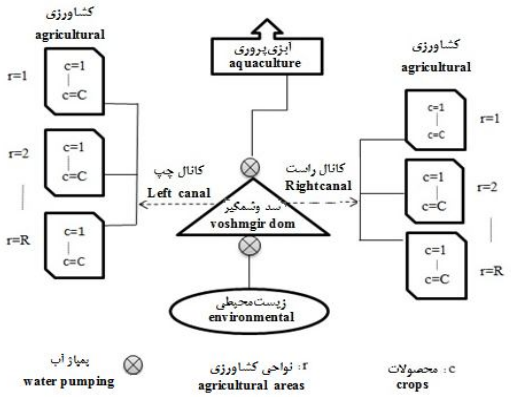
هدف مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب و تعیین حداکثر سود سیستم (بخش کشاورزی، زیست‌محیطی و آبزی‌پروری) با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای در شرایط عدم حتمیت، تعیین مقدار جریان تخصیصی آب به محصولات نواحی مختلف کشاورزی و تعیین الگوی کشت منطقه، و میزان کمبود آب برای هر بخش در سطح جریان‌های متفاوت زیاد، نرمال، کم و تحت راندمان‌های 35%، 45% و 51% است. اگر آب وعده داده شده به مصرف‌کننده در دوره مورد نظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش و در غیر این‌صورت، مصرف‌کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند و یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در هر دو حالت ضرر خواهد کرد. به منظور حل مدل از نرم‌افزار GAMS نسخه 22/9 استفاده شد.

1- Two-step Infinit α-cuts Fuzzy Linear programming

## مواد وروش‌ها

استان گلستان در شمال کشور واقع شده و مساحت آن بالغ بر 20437/7 کیلومتر مربع (1/3 درصد از کل مساحت کشور) می‌باشد. این استان تقریباً دارای 700 هزار هکتار اراضی کشاورزی می‌باشد که 370 هزار هکتار آن به محصولات آبی و 330 هزار هکتار به محصولات دیم اختصاص دارد. در استان گلستان به منظور بهره‌برداری بیشتر از آب برای توسعه کشاورزی، سد وشمگیر و گلستان 1 و 2 بر روی رود گرگان و شاخه های آن احداث شده است. فاصله سد از طریق جاده تا گرگان 62 کیلومتر، تا ساحل دریای خزر 70 کیلومتر تا مرز بین ایران و ترکمنستان 24 کیلومتر است که آبیاری اراضی کشاورزی ساحل راست و ساحل چپ گرگان‌رود از طریق سد وشمگیر صورت می‌گیرد. افزون بر آن، سد وشمگیر آبرسانی به زیربخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی را نیز برعهده دارد (20).

شکل 1، طرح کلی شبکه آبرسانی سد وشمگیر را نشان می‌دهد که در آن دو رشته کانال اصلی ( $k=1,2$ ) دو طرف این سد قرار دارد که محصولات زراعی $c=1,2,...,C$ موجود در مناطق ( $r=1,2,...,R$ ) در هر سمت این شبکه را آبرسانی می‌کنند، و فعالیت‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی نیز آب مورد نیاز خود را از سد مخزنی وشمگیر تأمین می‌کنند.




**شکل 1- طرح کلی شبکه آبرسانی وشمگیر**

**Figure 1- Outline of Water supply Voshmgir dam**

مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای از جمله تکنیک‌هایی است که در مدیریت منابع آب به‌کار می‌رود. در این مدل، تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان بر اساس نیازهای آن‌ها و بدون توجه به عدم حتمیت جریان آب را تصمیم‌گیری مرحله اول می‌گویند. در مرحله دوم، تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان مختلف بر اساس عدم حتمیت جریان رودخانه صورت می‌گیرد. این فرآیند تصمیم‌گیری منجر به مدل برنامه‌ریزی دومرحله‌ای تصادفی می‌شود هوانگ ولاکس (6). فرم کلی برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای به صورت زیر می‌باشد:

$$Max\, f = \sum_{i=1}^{m} NB_i T_i - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} P_j C_i D_{ij}$$

$$Subject\ to:$$

$$\sum_{i=1}^{m}\left(T_i - D_{ij}\right) \le q_j \quad \forall j$$

$$T_{i\max} \ge T_i \ge D_{ij} \quad \forall i, j$$

$$T_i, D_{ij} \ge 0 \qquad (1)$$

در فرمول (1)، $f$ سود خالص سیستم، $NB_i$ سود مصرف‌کننده $i$ به ازای هر واحد آب تخصیصی، $T_i$ آب وعده داده شده به مصرف‌کننده $i$ (متغیر تصمیم مرحله اول)، $C_i$ ضرر مصرف‌کننده $i$ به ازای هر واحد آبی که رها نشود، $D_{ij}$ کمبود آب برای مصرف‌کننده $i$ تحت سطح جریان $j$ (مقداری از $T_i$ که در هنگام بروز جریان $q_j$ رها نمی‌شود، متغیر تصمیم مرحله دوم)، $q_j$ متغیر تصادفی عرضه آب، $T_{i\max}$ بیشترین مقدار تخصیص آب برای مصرف‌کننده $i$، $P_j$ احتمال رخ دادن سطح جریان $j$ ، $m$ تعداد مصرف‌کنندگان آب، $n$ تعداد سطوح جریان می‌باشد.

### مدل تجربی

متغیرهای و پارامترهای مدل

| شاخص مجموعه | تعریف |
|---|---|
| $f$ | سود خالص سیستم حاصل از محصولات کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی از تخصیص بهینه آب سد وشمگیر |
| $k$ | تعداد کانال‌های اصلی سد وشمگیر مربوط به آبیاری نواحی کشاورزی اطراف سد |
| $r$ | نواحی کشاورزی که توسط هریک از کانال‌های اصلی آبیاری می‌شوند |
| $c$ | محصولات عمده هر یک از نواحی کشاورزی که شامل گندم، جو، یونجه، کلزا، پنبه، برنج، جالیزو ذرت علوفه‌ای می‌باشد |
| $s$ | تعداد سناریو که در این‌جا شامل نرمال، خشک و تر می‌باشد. |
| $A_{krc}$ | سطح زیرکشت محصول c در ناحیه $r$ از کانال $k$ (متغیر تصمیم) |
| $Y_{krc}$ | عملکرد محصول $c$ در ناحیه $r$ از کانال $k$ |
| $P_{krc}$ | میانگین قیمت محصول $c$ |
| $CG$ | هزینه‌های کشت محصول $c$ به غیر از هزینه‌های آب |
| $WI_{krc}$ | مقدار آب تخصیص داده شده به محصول c در ناحیه $r$ از کانال $k$ (متغیر تصمیم مرحله اول) |
| $CI$ | هزینه مربوط به استفاده هر متر مکعب آب برای تولید محصول $c$ در ناحیه $r$ از کانال $k$ |
| $WA$ | میزان آب تخصیص داده شده به بخش آبزی‌پروری (متغیر تصمیم مرحله اول) |
| $NA$ | میزان سودی حاصل از مصرف هر مترمکعب آب تخصیص داده شده به بخش آبزی‌پروری |
| $CA$ | میزان هزینه هر مترمکعب آب در در بخش آبزی‌پروری |
| $WEN$ | میزان آب تخصیص داده شده به بخش زیست‌محیطی (متغیر تصمیم مرحله اول) |
| $NEN$ | میزان سودی حاصل از مصرف هر مترمکعب آب تخصیص داده شده به بخش زیست‌محیطی |
| $CEN$ | میزان هزینه هر مترمکعب آب در در بخش زیست‌محیطی |
| $\Pr_s$ | احتمال رخ دادن سناریوی $s$ |
| $C_{WI_{krc}}$ | ضرر مصرف‌کننده بخش کشاورزی به ازای هر واحد آبی که رها نشده است |
| $De_{WI_{krc}s}$ | کمبود آب بخش کشاورزی تحت سناریوی $s$ (متغیر تصمیم مرحله دوم) |
| $C_{WA}$ | ضرر مصرف‌کننده بخش آبزی‌پروری به ازای هر واحد آبی که رها نشده است |
| $De_{WAS}$ | کمبود آب بخش آبزی‌پروری تحت سناریوی $s$ (متغیر تصمیم مرحله دوم) |
| $C_{WEN}$ | ضرر مصرف‌کننده بخش زیست‌محیطی به ازای هر واحد آبی که رها نشده است |
| $De_{WENs}$ | کمبود آب بخش زیست‌محیطی تحت سناریوی $s$ (متغیر تصمیم مرحله دوم) |
| $TA_{kr}$ | کل سطح زیر کشت محصولات $c$ در ناحیه $r$ از کانال $k$ |
| $waterloss_{kr}$ | مقدار آب هدر رفته برای هر ناحیه $r$ از کانال $k$ |
| $Ca_k$ | ظرفیت کانال $k$ |
| $NW_c$ | میزان آب خالص مورد نیاز محصول $c$ |
| $Rn$ | راندمان آبیاری |
| $S$ | ذخیره سد مخزنی در سال مورد مطالعه |
| $E$ | میزان تبخیر آب از سطح سد مخزنی |
| $w_s$ | متغیر تصادفی عرضه آب تحت سناریوی $s$ |
| $D_{\max}WEN$ | حداکثر آب مورد نیاز بخش زیست‌محیطی |
| $D_{\max}WI_{krc}$ | حداکثر آب مورد نیاز محصول $c$ مربوط به ناحیه $r$ از کانال $k$ در بخش کشاورزی |
| $D_{\max}WA$ | حداکثر آب مورد نیاز بخش آبزی‌پروری |
| $Ca_{reservoir}$ | ظرفیت سد مخزنی |

تابع هدف مدل حداکثر کردن سود سیستم (بخش کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی) و تخصیص بهینه آب در طی دوره برنامه‌ریزی است، اگر آب وعده داده شده به مصرف‌کننده در دوره مورد نظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش و اگر رها نشود، مصرف‌کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در دو حالت ضرر خواهد کرد. در این مطالعه عرضه آب به‌صورت تصادفی است. مصرف آب توسط بخش‌ها در مرحله اول با توجه به نیاز مصرف‌کنندگان در آینده و داده‌های گذشته برآورد و

بعد از حل مدل، تخصیص بهینه آب به مصرف‌کنندگان با توجه به هدف حداکثرسازی سود سیستم و حداکثرسازی تأمین آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان به‌دست خواهد آمد. فرم کلی مدل به‌صورت زیر می‌باشد:

$$f:\ MAX\ Z=[(\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}A_{krc}Y_{krc}P_{krc}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}A_{krc}CG-\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}WI_{krc}CI)+(WANA-WACA)+(WENNEN-WENCEN)]-[\sum_{s=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}\Pr_s C_{WI_{krc}}De_{WI_{krcs}}]-[\sum_{s=1}^{m}\Pr_s C_{WA}De_{WAs}]-[\sum_{s=1}^{m}\Pr_s C_{WEN}De_{WENs}] \quad (2)$$

$$subject\ to:$$

محدودیت میزان زمین در دسترس:

$$\sum_{c=1}^{C}A_{krct}\le TA_{kr}\qquad \forall k,r \quad (3)$$

محدودیت آب موجود در هریک از کانال‌های اصلی:

$$\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}WI_{krc}\ (1+waterloss_{kr})\le Ca_k\qquad \forall k \quad (4)$$

محدودیت میزان آب در دسترس:

$$\frac{NW_c}{Rn}A_{krc}\le WI_{krc}\qquad \forall k,r,c \quad (5)$$

محدودیت میزان جریان ورودی آب

$$\left[\begin{matrix}(\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}WI_{krc}-De_{WI_{krcs}})+\\(WEN-De_{WENs})+(WA-De_{WAs})\end{matrix}\right]-S+E\le w_s\qquad \forall s \quad (6)$$

محدودیت ظرفیت مخزن

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}WI_{krc}+WEN+WA+S+E\le Ca_{reservoir} \quad (7)$$

محدودیت مربوط به حداکثر و حداقل تقاضای آب برای بخش زیست‌محیطی

$$D_{\max}WEN\ge WEN\ge De_{WENs}\qquad \forall s \quad (8)$$

محدودیت مربوط به حداکثر و حداقل تقاضای آب محصولات زراعی

$$D_{\max}WI_{krc}\ge WI_{krc}\ge De_{krcs}\qquad \forall k,r,c,s \quad (9)$$

محدودیت مربوط به حداکثر و حداقل تقاضای آب برای پرورش ماهیان گرم‌آبی

$$D_{\max}WA\ge WA\ge De_{WAs}\qquad \forall s \quad (10)$$

مربوط به محدودیت غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم در مدل

$$A_{krc},\ WI_{krc},\ WA,\ WEN,\ S,\ De_{WI_{krcs}},\ De_{WENs},\ De_{WAs}\ge 0\quad \forall k,r,c,S \quad (11)$$

اهداف مطالعه حاضر چنان‌که گفته شد، تخصیص بهینه آب بین بخش‌های بهره‌بردار از آب سد وشمگیر، تعیین الگوی کشت منطقه، تعیین میزان کمبود آب هر بخش تحت سناریوهای متفاوت و تعیین حداکثر سود سیستم با استفاده از برنامه‌ریزی دومرحله‌ای تصادفی می‌باشد.

## نتایج و بحث

یکی از اهداف احداث سد وشمگیر تأمین آب کشاورزی اراضی حومه سد وشمگیر می‌باشد. مقداری از آب سد برای پروش ماهیان گرمابی این منطقه و رونق بخش شیلات اختصاص داده شده است و هم‌چنین مصرف آب برای تأمین نیازهای بخش زیست‌محیطی این منطقه می‌باشد، به‌طوری‌که در بین مصارف آب سد وشمگیر بیشترین مقدار به بخش کشاورزی اختصاص دارد. در دو سمت سد وشمگیر دو رشته کانال اصلی وجود دارد. طول کانال اصلی سمت راست این شبکه حدود 17/76 کیلومتر و طول کانال سمت چپ آن در حدود 21/338 کیلومتر است. در مطالعه حاضر $k=1$ برای کانال اصلی سمت راست و $k=2$ برای کانال سمت چپ در نظر گرفته شده است. اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری در سه ناحیه در نظر گرفته شده‌اند. نواحی ساحل راست و مزرعه نمونه جزء اراضی تحت پوشش شبکه در سمت راست شبکه هستند و ناحیه ساحل چپ جزء اراضی تحت پوشش شبکه در سمت چپ هستند. بنابراین، در سمت چپ این شبکه آبیاری یک ناحیه و در سمت راست آن دو ناحیه وجود دارد. جدول 1 محصولات عمده هر منطقه را نشان می‌دهد. علامت * نشان دهنده کشت آن محصول در آن منطقه است. نکته قابل توجه این است که در دو ناحیه ساحل راست و ساحل چپ محصولات عمده یکسانی کشت می‌شود.

برای محاسبه‌ی حجم آب ورودی به شبکه آبیاری به دلیل ماهیت تصادفی جریان رودخانه به سد، نمی‌توان از داده‌های ثابت و معین استفاده نمود به همین دلیل با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی، می‌توان رفتار سیستم هر مخزن در آینده را پیش‌بینی کرد. با فرض کافی بودن داده‌های گذشته برای ساخت داده‌های آینده از روش استفاده از داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده شد. برای هر سال از دوره مورد مطالعه اعداد تصادفی با استفاده از داده‌های گذشته صدبار انتخاب شد. شایان ذکر است 100 بار انتخاب تصادفی میزان عرضه برای حالت جریان کم‌آب، از سال‌های خشک و برای دو حالت دیگر به‌ترتیب از سال‌های نرمال و تر انتخاب شد جدول 2 سطوح احتمال و جریان ورودی آب را با استفاده از تابع توزیع تجمعی برای دوره مورد نظر را ارائه می‌دهد.

جدول 1- محصولات عمده کشت شده در شبکه آبیاری وشمگیر به تفکیک ناحیه

Table 1- The main crops cultivated in Voshmgir irrigation network according to each region

| منطقه (Region) | محصول (Crop) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | گندم Wheat | جو Barely | کلزا Canola | پنبه Cotton | یونجه Alfalfa | آفتابگردان Sunflower | برنج Rice | جالیز Cotton-Melon | ذرت علوفه‌ای Maize |
| ساحل‌راست Right Bank | * | * | * | * | | * | | | |
| ساحل‌چپ Left Bank | * | * | * | * | | * | * | | |
| مزرعه‌نمونه Representatitve Farm | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

جدول 2- اطلاعات مربوط به جریان ورودی آب و احتمال انواع سطح جریان (میلیون متر مکعب)

Table 2- Information about the water inflow and the possibility of different flow level (million cubic meters)

| سطح جریان Flow level | احتمال مربوطه Related possibility | جریان ورودی آب Water inflow |
|---|---|---|
| کم Low | 18% | 116.3 |
| نرمال Normal | 55% | 232.6 |
| زیاد High | 27% | 414.4 |

جدول 3- سطح زیرکشت محصولات زراعی سال 1392 اطراف سد وشمگیر (هکتار)

Table 3- Acreage of the crops around Voshmgir dam in 2013 (hectares per year)

| محصول Crop | ناحیه Region | | |
|---|---|---|---|
| | ساحل راست Right Bank | مزرعه نمونه Representatitve Farm | ساحل چپ Left Bank |
| گندم Wheat | 4807 | 3243 | 3840 |
| جو Barely | 427 | 288 | 340 |
| کلزا Canola | 107 | 72 | 15 |
| پنبه Cotton | 2441 | 674 | 774 |
| یونجه Alfalfa | 0 | 100 | 0 |
| آفتابگردان Sunflower | 1794.3 | 130 | 386 |
| برنج Rice | 0 | 40 | 1300 |
| جالیز Cotton-Melon | 0 | 30 | 0 |
| ذرت‌علوفه‌ای Maize | 0 | 730 | 0 |

سطح زیر کشت محصولات عمده آبیاری شده، از جمله مهمترین اطلاعات این قسمت می‌باشد. اطلاعات سطح زیرکشت محصولات در سال پایه به تفکیک در جدول 3 ارائه شده است. بر اساس اطلاعات این جدول، در سال زراعی 1392 کل سطح زیرکشت محصولات زراعی بیش از 21 هزار هکتار بوده است، که غلات 67 و پنبه 10 درصد سطح زیر کشت کل محدوده‌های مطالعاتی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

درآمد ناخالص، جزء اطلاعاتی است که در به دست آوردن ارزش اقتصادی آب کشاورزی نقش دارد. درآمد ناخالص از حاصلضرب عملکرد در واحد سطح و قیمت انتظاری در واحد عملکرد محصول به‌دست می‌آید. عملکرد در واحد سطح، بهای هر کیلوگرم، قیمت انتظاری، درآمد ناخالص، هزینه‌های مربوط به هر متر مکعب آب، هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت و میزان منافع حاصل از فعالیت کشاورزی در جدول 4، نشان داده شده است. نهایتاً، ارزش اقتصادی هر محصول، از تفریق درآمد ناخالص حاصله، از هزینه‌های مربوط به آن به‌دست می‌آید. هزینه‌های محصولی شامل هزینه‌های آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت و بازاریابی می‌باشد. این هزینه‌ها حاصل به‌کارگیری نهاده‌های مختلف از جمله ماشین‌آلات، بذر، کود، سم، نیروی کار و آب می‌باشند.

**جدول 4- درآمد خالص تولید محصولات زراعی سال 1392 در نواحی اطراف سد وشمگیر (مبالغ به ده ریال)**

**Table 4- Net income of crops production in areas around Voshmgir dam in 2013 (costs in 10 Riyals)**

| محصول Crop | عملکرد(کیلوگرم در هکتار) Yield (Kg Per ha.) | بهای هر کیلوگرم Cost Per Kg | هزینه هر مترمکعب آب Water Cost Per C.M | سایر هزینه‌ها Other Costs | درآمدناخالص Gross Income | درآمد خالص Net Income |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گندم Wheat | 2730 | 11550 | 666 | 16853640 | 31531500 | 12769860 |
| جو Barely | 2380 | 8580 | 605 | 16297000 | 20420400 | 2978806.4 |
| کلزا Canola | 2032 | 20900 | 1365 | 20666433 | 42468800 | 15388853.5 |
| پنبه Cotton | 1410 | 24200 | 821 | 27789977 | 34122000 | 9900131.1 |
| یونجه Alfalfa | 7000 | 5000 | 700 | 1830000 | 35000000 | 8451351.4 |
| آفتابگردان Sunflower | 1580 | 20350 | 220 | 19243000 | 32153000 | 1094189.9 |
| برنج Rice | 4417 | 30000 | 512 | 43837000 | 132510000 | 82570513.5 |
| جالیز Cotton-Melon | 23480 | 5500 | 910 | 95000000 | 129140000 | 27007567.6 |
| ذرت علوفه‌ای Maize | 36585 | 4233 | 550 | 16139025 | 154864305 | 134102307 |

در حالتی که آب وعده داده شده به هر یک از بخش‌ها، بطور کامل تخصیص داده نشود، دو حالت ممکن است اتفاق بیفتد؛ یا آب را از سایر منابع به قیمت بالاتر خریداری می‌کنند، یا سطح فعالیت خود را کاهش می‌دهند. از آن‌جا که خرید آب از منبع گران‌تر ضرر کمتری را نصیب هر یک از بخش‌ها می‌کند تفاوت بین قیمت خرید یک واحد آب از سایر منابع و قیمت حقابه به عنوان کاهش در سود هر یک از بخش‌ها محاسبه شد.

منافع بخش زیست‌محیطی با استفاده از داده‌های حاصل از ارزش‌گذاری اقتصادی منافع زیست‌محیطی آب در چارچوب مقادیر تمایل به پرداخت استفاده‌کنندگان و علاقه‌مندان محیط‌زیست به روش پیمایشی و ارزش‌گذاری زیست‌محیطی تعیین شد و میزان منافع زیست‌محیطی حاصل از سد وشمگیر 20 ریال بر متر مکعب برآورد گردید.

حجم آب مصرفی برای هر هکتار مزارع پرورش ماهی گرم‌آبی 250000 متر مکعب و در صورت وجود آب مازاد 5000 متر مکعب نیز به‌عنوان آب جبرانی تابستانه اختصاص می‌یابد. میزان منافع حاصل از پرورش آبزیان در جدول شماره 5، نشان داده شده است.

جدول 5- درآمد خالص پرورش ماهی گرم‌آبی در سال 1392 در نواحی اطراف سد وشمگیر (مبالغ به ده ریال)

Table 5- Net income of warm-water cultured fish in the region around Voshmgir dam in 2013 (costs in 10 Riyals)

| نوع منبع Type of source | آب‌های تنظیم‌شده (سدمخزنی - آببندان) Regulated Water (Dam-Wetland) | |
|---|---|---|
| نوع پرورش ماهی Type of fish culturing | گرم آبی یک منظوره (استخرها و مزارع) Single-purpose warm water (pools and farms) | گرم آبی دومنظوره (آببندان‌ها) Dual-purpose warm water (Wetland) |
| متوسط عملکرد در هکتار (کیلوگرم) Average Yield per hectare | 2500 | 2500 |
| متوسط قیمت هر کیلوگرم Average price per kg | 24000 | 24000 |
| قیمت هر متر مکعب آب Water price per c. m | 127.2 | 72.25 |
| درآمد خالص (ریال در هکتار) Net income (Riyal / ha) | 54900000 | 55000000 |
| درآمد خالص (ریال/متر مکعب) Net income (Riyal / m3) | 2196 | 2200 |

جدول 6، نتایج مدل برای سطح زیرکشت مربوط به محصول $c$ در منطقه $r$ از کانال $k$ سد مخزنی وشمگیر برای سال 1393 را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در 4 تخصیص آب از 20 تخصیص به بخش کشاورزی در هر سه راندمان صفر می‌باشد، به تبع این امر مقدار سطح زیرکشت این تخصیص‌ها نیز صفر است. همانطور که ملاحظه می‌شود تحت راندمان‌های متفاوت میزان سطح زیرکشت محصولات تغییری نداشته و تنها این تغییر در میزان آب تخصیصی به هر یک از محصولات مشهود است. دلیل این امر تأثیر افزایش راندمان بر نیاز آبی گیاه در واحد سطح می‌باشد، به‌عبارت دیگر هر چه راندمان آبیاری افزایش یابد میزان آب مورد نیاز محصول تحت آن راندمان کاهش می‌یابد. اما میزان سطح زیرکشت با سطح زیر کشت فعلی منطقه تفاوت‌هایی دارد در این الگوی کشت میزان سطح زیر کشت پنبه در ساحل راست و میزان سطح زیرکشت محصولات جو پنبه و آفتابگردان در ناحیه چپ صفر شده است. بیشترین سطح زیرکشت در این الگوی کشت در هر سه راندمان مورد مطالعه مربوط به گندم به میزان 6249/1 هکتار می‌باشد.

جدول‌های 7 و 8 و 9 تخصیص بهینه آب بین بخش‌های مصرف‌کننده آب سد وشمگیر در راندمان‌های آبیاری 37، 45 و 51 درصد تحت 9 سناریو در سال 1393 را با استفاده از مدل TSP[1] نشان می‌دهد. همانطور که در جدول 7 مشاهده می‌شود تقاضای هدف برای مصرف‌کنندگان کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی در راندمان 35 درصد به ترتیب 97/1، 19/2 و 11/9 میلیون متر مکعب می‌باشد که برای مصرف‌کننده آبزی‌پروری و زیست‌محیطی در سال‌های تر، خشک و نرمال کمبود آبی وجود نخواهد داشت. اما برای مصرف‌کننده کشاورزی در سال‌های تر و نرمال کمبود آبی وجود ندارد و در سال خشک به میزان 40/98 میلیون متر مکعب کمبود آب وجود دارد و این کمبود آب باعث شده که آب کمتر به محصول گندم در ناحیه راست و محصولات گندم، یونجه و ذرت علوفه‌ای در مزرعه نمونه و محصول گندم در ناحیه چپ اختصاص اگر تمام مصرف‌کنندگان تقاضای هدف خود را استفاده نکنند. کمبود آب کاهش می‌یابد اما تحت شرایط رسیدن به تقاضای هدف توسط سایر مصرف‌کنندگان، کمبود آب افزایش می‌یابد.

جدول 8 نشان می‌دهد که در حالت سطح جریان کم (18%)، کمبود آب برای مصرف‌کننده کشاورزی 23/67 میلیون متر مکعب است و نسبت به راندمان 37 درصد این میزان کاهش یافته است که این کمبود موجب کاهش مصرف آب برای محصول گندم، یونجه و ذرت علوفه‌ای برای مزرعه نمونه و محصول گندم ناحیه چپ شده است، در این راندمان میزان کمبود آبی برای محصول گندم در ناحیه راست وجود ندارد و با افزایش راندمان تقاضای هدف آب محصول گندم تأمین شده است. در راندمان 45 درصد میزان تقاضای آب هدف بخش کشاورزی کاهش یافته است و این باعث کاهش تخصیص آب به بخش کشاورزی شده است. در حالی‌که در بخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی کمبود آب تحت هر سه سناریوی ترسالی، نرمال و خشک‌سالی وجود ندارد و میزان تقاضای آب هدف این بخش‌ها تأمین می‌شود.

1- Tow Stage Stochastic Programming

**جدول 6- سطح زیرکشت محصولات تحت راندمان‌های متفاوت در سال 1393**

**Table 6- Acreage of the crops under different efficiencies in 2014**

| شاخص *krc* Index *krc* | سطح زیرکشت (هکتار) Acreage (ha) | | |
|---|---|---|---|
| | راندمان آبیاری Irrigation efficiency | | |
| | 37% | 45% | 51% |
| راست- ساحل راست- گندم Right- Right bank- wheat | 6249.1 | 6249.1 | 6249.1 |
| راست- ساحل راست- جو Right- Right bank- Barely | 555.1 | 555.1 | 555.1 |
| راست- ساحل راست- کلزا Right- Right bank- Canola | 139.1 | 139.1 | 139.1 |
| راست- ساحل راست- پنبه Right- Right bank- Cotton | 300.4 | 300.4 | 300.4 |
| راست- ساحل راست- آفتابگردان Right- Right bank- Sunflower | 2332.6 | 2332.6 | 2332.6 |
| راست- مزرعه نمونه- گندم Right Representatitve Farm- wheat | 4215.9 | 4215.9 | 4215.9 |
| راست- مزرعه نمونه- جو Right- Representatitve Farm- Barely | 374.4 | 374.4 | 374.4 |
| راست- مزرعه نمونه- کلزا Right- Representatitve Farm- Canola | 93.6 | 93.6 | 93.6 |
| راست- مزرعه نمونه- پنبه Right Representatitve Farm- Cotton | 0 | 0 | 0 |
| راست- مزرعه نمونه- یونجه Right- Representatitve Farm-alfalfa | 130.0 | 130.0 | 130.0 |
| راست- مزرعه نمونه- آفتابگردان Right - Representatitve Farm- Sunflower | 222.61 | 169.0 | 169.0 |
| راست- مزرعه نمونه- برنج Right- Representatitve Farm- Rice | 52.0 | 52.0 | 52.0 |
| راست- مزرعه نمونه- جالیز Right- Representatitve Farm- Cotton-Melon | 39.0 | 39.0 | 39.0 |
| راست- مزرعه نمونه- ذرت علوفه‌ای Right- Representatitve Farm- Maize | 179.5 | 233.1 | 233.1 |
| چپ- ساحل چپ- گندم Left- Left bank - wheat | 4949.5 | 4949.5 | 4949.5 |
| چپ- ساحل چپ- جو Left - Left bank - Barely | 0 | 0 | 0 |
| چپ- ساحل چپ- کلزا Left - Left bank - Canola | 9.5 | 9.5 | 9.5 |
| چپ- ساحل چپ- پنبه Left - Left bank - Cotton | 0 | 0 | 0 |
| چپ- ساحل چپ- آفتابگردان Left- Left bank - Sunflower | 0 | 0 | 0 |
| چپ- ساحل چپ- برنج Left - Left bank - Rice | 1690.0 | 1690.0 | 1690.0 |

**جدول 7- جریان تخصیصی آب به مصارف کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی تحت سناریوهای مختلف جریان تصادفی و راندمان 37% آبیاری**

**Table 7- Allocated flow of water to agricultural, aquaculture and environmental uses under different scenarios of random flow and 37% irrigation efficiency**

| سناریو Scenario | مصرف‌کننده Consumer | سطح جریان Level flow | احتمال وقوع سطح جریان Probability level flow | آب وعده داده شده (میلیون متر مکعب) Target water (M.C.M) | کمبود آب (میلیون متر مکعب) Deficit water (M.C.M) | تخصیص بهینه آب (میلیون متر مکعب) Optimal water Allocation (M.C.M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 111<br>111 | کشاورزی<br>Agricultural | زیاد<br>High | 27% | 97.1 | 0 | 97.1 |
| 211<br>211 | زیست‌محیطی<br>Environmental | زیاد<br>High | 27% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 311<br>311 | آبزی‌پروری<br>Aquaculture | زیاد<br>High | 27% | 19.2 | 0 | 19.2 |
| 112<br>112 | کشاورزی<br>Agricultural | نرمال<br>Normal | 55% | 97.1 | 0 | 7.1 |
| 212<br>212 | زیست‌محیطی<br>Environmental | نرمال<br>Normal | 55% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 312<br>312 | آبزی‌پروری<br>Aquaculture | نرمال<br>Normal | 55% | 19.2 | 0 | 19.2 |
| 113<br>113 | کشاورزی<br>Agricultural | کم<br>Low | 18% | 97.1 | 40.97 | 56.12 |
| 213<br>213 | زیست‌محیطی<br>Environmental | کم<br>Low | 18% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 313<br>313 | آبزی‌پروری<br>Aquaculture | کم<br>Low | 18% | 19.2 | 0 | 19.2 |

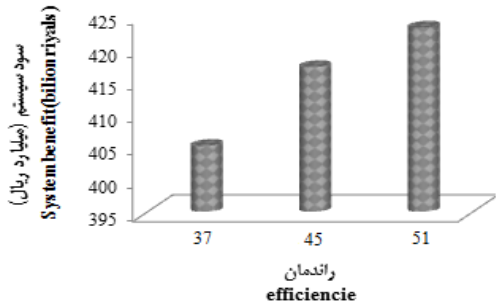
با توجه به جدول 9، میزان کمبود آب برای بخش کشاورزی در سال خشک به میزان 14/7 میلیون متر مکعب است. در راندمان 51 درصد و تحت سناریوهای متفاوت، میزان تقاضای آب هدف و تخصیص آب برای بخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی بدون تغییر باقی مانده است. با افزایش راندمان، میزان تقاضای آب هدف، کمبود آب و تخصیص آب بخش کشاورزی کاهش یافته است. دلیل این امر تأثیر مستقیم راندمان بر نیاز آبی محصولات می‌باشد. میزان کمبود آب بخش کشاورزی در راندمان 51 درصد مربوط به محصول گندم، یونجه در مزرعه نمونه و محصول گندم در ناحیه چپ می‌باشد و در این راندمان کمبود آبی برای ذرت علوفه‌ای در مزرعه نمونه وجود ندارد و میزان تقاضای آب هدف برای این محصول تأمین می‌شود و این باعث کاهش کمبود آب برای بخش کشاورزی در راندمان 51 درصد می‌گردد. به طور کلی هنگامی که سطح جریان متوسط یا زیاد باشد یا راندمان آبیاری افزایش یابد یا اینکه تقاضای آب هدف توسط یکی از بخش‌ها صورت نگیرد کمبود آب ممکن است کاهش یابد اما اگر تقاضای هدف صورت گیرد یا راندمان آبیاری کاهش یابد، کمبود آب تشدید می‌گردد.

نمودار 1، سود سیستم را در راندمان‌های متفاوت نشان می‌دهد همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش راندمان آبیاری که تأثیری مستقیم بر میزان مصرف آب در بخش کشاورزی دارد میزان کمبود آب بخش کشاورزی کاهش می‌یابد در نتیجه سود سیستم افزایش می‌یابد. در شرایطی که تقاضای آب هدف توسط مصرف‌کنندگان صورت گیرد، یک طرح با پایین‌ترین سود، بهتر می‌تواند در مقابل کم‌آبی مقاومت کند. تمایل برای رسیدن به سود سیستم بالاتر همراه با ریسک بالاتر است و برعکس. در حالتی که مصرف‌کننده کمتر از تقاضای آب هدف را استفاده کند میزان کمبود آب و تخصیص نهایی آب نسبت به حالت عادی کاهش می‌یابد در صورتی که تقاضای آب هدف به بالاترین حد خود برسد در این حالت هر دو متغیر کمبود آب و تخصیص نهایی آب افزایش می‌یابد. در این حالت با وقوع ترسالی و سال نرمال به احتمال زیاد، آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان تأمین می‌شود اما در سال‌های خشک، ریسک تأمین آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان بالا است و این باعث کاهش سود سیستم می‌گردد.

**جدول 8- جریان تخصیصی آب به مصارف کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی تحت سناریوهای مختلف جریان تصادفی و راندمان 45% آبیاری**

**Table 8- Allocated flow of water to agricultural, aquaculture and environmental uses under different scenarios of random flow and 45% irrigation efficiency**

| سناریو Scenario | مصرف‌کننده Consumer | سطح جریان Level flow | احتمال وقوع سطح جریان Probability level flow | آب وعده داده شده (میلیون متر مکعب) Target water (M.C.M) | کمبود آب (میلیون متر مکعب) Deficit water (M.C.M) | تخصیص بهینه آب (میلیون متر مکعب) Optimal water Allocation (M.C.M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 111<br>111 | کشاورزی<br>Agricultural | زیاد<br>High | 27% | 79.8 | 0 | **79.8** |
| 211<br>211 | زیست‌محیطی<br>Environmental | زیاد<br>High | 27% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 311<br>311 | آبزی‌پروری<br>Aquaculture | زیاد<br>High | 27% | 19.2 | 0 | 19.2 |
| 112<br>112 | کشاورزی<br>Agricultural | نرمال<br>Normal | 55% | 79.8 | 0 | 79.8 |
| 212<br>212 | زیست‌محیطی<br>Environmental | نرمال<br>Normal | 55% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 312<br>312 | آبزی‌پروری<br>Aquaculture | نرمال<br>Normal | 55% | 19.2 | 0 | 19.2 |
| 113<br>113 | کشاورزی<br>Agricultural | کم<br>Low | 18% | 79.8 | 23.7 | 56.1 |
| 213<br>213 | زیست‌محیطی<br>Environmental | کم<br>Low | 18% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 313<br>313 | آبزی‌پروری<br>Aquaculture | کم<br>Low | 18% | 19.2 | 0 | 19.2 |




**شکل 2- سود سیستم تحت راندمان‌های 37%، 45% و 51% آبیاری**

**Figure 2- System benefit under the irrigation efficiencies of 37%, 45% and 51%**

نتایج مطالعه نشان داد که در سناریوهای ترسالی و خشک‌سالی و نرمال برای بخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی کمبود آبی وجود ندارد و تقاضای آب هدف برای این بخش‌ها تأمین می‌گردد. اما، برای بخش کشاورزی در سال خشک با احتمال 18 درصد تحت راندمان‌های 37 درصد، 45 درصد و 51 درصد میزان کمبود آب به ترتیب 40/98، 23/67 و 14/7 می‌باشد. با افزایش راندمان، میزان تقاضای آب هدف بخش کشاورزی و کمبود آب و تخصیص نهایی آب به این بخش کاهش می‌یابد و باعث افزایش سود سیستم تحت راندمان‌های متفاوت می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده مورد توجه قرار دادن افزایش راندمان آبیاری و تخصیص حداقل تقاضای آب

بخش ها توصیه می شود.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر به بهینه‌سازی تخصیص آب در بین بخش‌های آبزی‌پروی و زیست محیطی، همچنین در بخش کشاورزی به تخصیص آب زمین‌های زراعی سد وشمگیر بین 3 منطقه و 7 محصول عمده در اراضی تحت پوشش دو سمت این سد پرداخته شد. با استفاده از داده‌های تاریخی و روش مونت کارلو، داده‌های تصادفی جریان آب ساخته شد. اطلاعات مربوط به تقاضای کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی برآورد و تعیین گردید.

**جدول 9- جریان تخصیصی آب به مصارف کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی تحت سناریوهای مختلف جریان تصادفی و راندمان 51% آبیاری**

**Table 9- Allocated flow of water to agricultural, aquaculture and environmental uses under different scenarios of random flow and 51% irrigation efficiency**

| سناریو Scenario | مصرف‌کننده Consumer | سطح جریان Level flow | احتمال وقوع سطح جریان Probability level flow | آب وعده داده شده (میلیون متر مکعب) Target water (M.C.M) | کمبود آب (میلیون متر مکعب) Deficit water (M.C.M) | تخصیص بهینه آب (میلیون متر مکعب) Optimal water Allocation (M.C.M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 111 111 | کشاورزی Agricultural | زیاد High | 27% | 72.3 | 0 | 72.3 |
| 211 211 | زیست‌محیطی Environmental | زیاد High | 27% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 311 311 | آبزی‌پروری Aquaculture | زیاد High | 27% | 19.2 | 0 | 19.2 |
| 112 112 | کشاورزی Agricultural | نرمال Normal | 55% | 72.3 | 0 | 72.3 |
| 212 212 | زیست‌محیطی Environmental | نرمال Normal | 55% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 312 312 | آبزی‌پروری Aquaculture | نرمال Normal | 55% | 19.2 | 0 | 19.2 |
| 113 113 | کشاورزی Agricultural | کم Low | 18% | 72.3 | 14.7 | 57.6 |
| 213 213 | زیست‌محیطی Environmental | کم Low | 18% | 11.9 | 0 | 11.9 |
| 313 313 | آبزی‌پروری Aquaculture | کم Low | 18% | 19.2 | 0 | 19.2 |

داده‌های سری زمانی سال‌های 1380 تا 1392 برای فرآوری داده‌های مورد نیاز در حل مدل جمع‌آوری و پردازش شد. اتلاف آب در کانال‌های اصلی شبکه به صورت کسر درصدی از مقدار جریان آب به ازای هرکیلومتر برای هر کانال از سد محاسبه شد. نتایج مطالعه نشان داد که در سناریوهای ترسالی و خشک‌سالی و نرمال‌سالی برای بخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی کمبود آبی وجود ندارد و تقاضای آب هدف برای این بخش‌ها تأمین می‌گردد اما برای بخش کشاورزی در سال خشک با احتمال 18 درصد تحت راندمان‌های 37 درصد، 45 درصد و 51 درصد میزان کمبود آب به ترتیب 40/98، 23/67 و 14/7 می‌باشد. با افزایش راندمان میزان تقاضای آب هدف بخش کشاورزی و کمبود آب و تخصیص نهایی آب این بخش کاهش می‌یابد و باعث افزایش سود سیستم تحت راندمان‌های متفاوت می‌شود.

با توجه به نتایج ارائه شده در این مطالعه، پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد.

1. افزایش راندمان آبیاری باعث افزایش سود ناخالص کشاورزان حاصل از انتقال آب خواهد شد. لذا سیاست‌هایی که موجب افزایش راندمان آب آبیاری می‌شود از قبیل سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های آب اندوز توصیه می‌شود.

2. در تخصیص آب سد توصیه می‌شود که کمترین تقاضای هدف

برای مصرف‌کنندگان در نظر گرفته شود تا کمبود آب کمتر رخ دهد.

3. با توجه به‌این‌که در مدیریت منابع آب نیاز به پیش‌بینی مقادیر قابل عرضه آب وجود دارد توصیه می‌شود بارندگی در محل سد و آب ورودی از رودخانه به سد، با استفاده از سایر روش‌ها پیش‌بینی شود.

## منابع


1- Borhani Darian A., and Mohammad Moradi A.M. 2010. Application of Ant-Colony-Based Algorithms to Multi-Reservoir Water Resources Problems.Journal of Water and Wastewater,4:81-91.(in Persion With English abstract)
2- Etkin D., Kirshen P., Watkins D., Roncoli C., Sanon M., Some L., and Dembele Y. 2015. Stochastic programming for improved multi-use reservoir operation In Barkina Faso, West Africa.Journal of WaterRresourcesPlanning and Management, 141:1-9.
3- Fall Suleiman M., and Chakoshi B. 2011. The role of optimal management of agriculture water use to increase the productivity and sustainability of waterresources in arid plains of iran case study west plains Birjand, Journal of Geography and Regional Development., 16: 199-218.(in Persion).
4- Ghadami S.M., Ghahraman B., Sharifi M.B., and Rajabi Mashhadi H. 2009. Optimization of Multireservoir Water Resources Systems Operation Using Genatic Algorithm, Iran-Water Resources Research, 2: 1-15. (in Persion With English abstract)
5- Homayounfar M., and Rastegari Pour F. 2010. Allocation of water Dam Latiyan between agricultural products the uncertainty, Journal of Agricultural Economics and Development, 2: 259-267. (in Persion)
6- Huang G.H., and Loucks D.P. 2000. An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Civil Engineer Environmental Systems, 17: 95-118.
7- Huanga Y., LiY P., Chenc X., and Ma Y.G. 2012. Optimization of the irrigation water resources for agricultural sustainability in Tarim river basin, China.Agricultural Water Management, 107: 74– 85.
8- Li M., and Guo P. 2014. A multi-objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties.Applied Mathematical Modeling, 19: 4897- 4911.
9- Li Y.P., Huang G.H., Ynng Z.F., and Nie S.L. 2008. IFMP: Interval-fuzzy multistage programming for water resources management under uncertainty. Journal of Resources Conservation and Recycling, 52: 800-812.
10- Lu H.W., Huang G.H., Lin Y.P., and He L. 2009. A two-step infinite α-cuts fuzzy linear programming method in agricultural irrigation systems. Journal of Water Resources Management, 23: 2249-2269.
11- Momeni M., and Rezai N. 2009. Operation Model of the Aras Dam Reservoir Using Dynamic programming, Journal of Industrial Management, 1:139-152. (in Persion)
12- Mosanan Mozaffari M., Sabouhi M., and Keykha A.A. 2009. Decision support model to Amirkabir dam water allocation For different use, Journal of Agricultural Economics, 4: 157-176. (in persion)
13- Najafi M.R., Hashempour J., and Khaiat-Kholghi M. 2005. Optimization of Reservoir Operation using linear programming and its application in Voshmgir reservoir. Journal of Agricultural and Natural Resource Sciences., 12: 27-35. (in Persion With English abstract)
14- Nourani V., Abolvaset N., and Salehi K. 2012. A hybrid Goal Programming method and Adaptive Neural-Fuzzy Inference System for Optimal Operation of a Multi-Objective TwoReservoir System, Iran-Water Resources Research, 2: 1-11. (in Persion With English abstract)
15- Regional Water Organization Golestan Province. 2014. Data and information dams.(in persion)
16- Revelle C., Joeres E., and Kirby W. 1969. The linear decision rule in reservoir management and design: 1, Development of the stochastic model.Water Resources Research., 5(4): 767-777.
17- Sabouhi M., and Mojarad A. 2010. Application of Game Theory In the management of groundwater resources the upper watershed, Journal of Agricultural Economics and Development, 1: 1-12. (in Persion)
18- Seckler D., Amarasinghe U., Molden D., Silva R., and Baker R. 1998. World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. International Water Management Institute.
19- Sethi L.N., Panda S.N., and Nayak M.K. 2006. Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. Journal of Agricultural Water Management, 83:209-220.
20- Website Governorate of Golestan. 2013. Gonbad.golestanp.ir.(in Persion)

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1832-1847

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1847-1832

# Strategies of Voshmgir Dam Water Allocation using Two-Stage Stochastic Programming

**E. Kalbali[1*]- M. Sabuhi Sabuni[2]- M. Ahmadpur Borazjani[3]**

Received: 22-04-2015
Accepted: 19-06-2016

**Introduction:** In the present study, dealing with water deficit challenges for Gorgan River Basin has been considered. Golestan province's economy is dependent on agriculture but the occurrence of drought periods reduced the agricultural production and consequently the region's economy is in crisis. Therefore, performing studies for programming and management of the water resources of the province and the water allocation in the margin of Voshmgir dam in Gorganrood basin has a great deal of importance. The issue of the allocation of water resources is proposed in order to maximize the expected profit of the water system. According to the regional water organization policy, one of the main goals of Voshmgir dam water management is the allocation of water between the competing consumers. If the amount of promised water is released in the future, the expected net profit of the system will be realized and if it is not released, the system will experience losses.

**Materials and Methods:** In this studyWater supply is considered stochasticand objective function of the model is to maximize the system (Agriculture, Aquaculture and Environment) profit and optimal allocation of water during the programming period using a two-stage stochastic model as follows:

$$f:\ MAX\ Z = [(\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} A_{krc} Y_{krc} P_{krc} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} A_{krc} CG - \sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} WI_{krc} CI)$$

$$+ (WANA - WACA) + (WENNEN - WENCEN)] - [\sum_{s=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} \Pr_s\ C_{WI_{krc}}\ De_{WI_{krc}s}]$$

$$- [\sum_{s=1}^{m} \Pr_s\ C_{WA}\ De_{WAS}] - [\sum_{s=1}^{m} \Pr_s\ C_{WEN}\ De_{WENs}]$$

*subject to :*

Constraint of the available land:

$$\sum_{c=1}^{C} A_{krct} \le TA_{kr} \qquad \forall k, r$$

Constraint of the available water in each of the main canals:

$$\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} WI_{krc}\ (1 + waterloss_{kr}) \le Ca_k \qquad \forall k$$

Constraint of the available water:

$$\frac{NW_c}{Rn} A_{krc} \le WI_{krc} \qquad \forall k, r, c$$

Constraint of the amount of inflow water

$$\left[\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} WI_{krc} - De_{WI_{krcs}}\right) + (WEN - De_{WENs}) + (WA - De_{WAs})\right] - S + E \le w_s \qquad \forall s$$

Reservoir capacity constraint

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} WI_{krc} + WEN + WA + S + E \le Ca_{reservoir}$$

1 and 3- Ph.D. Student and Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Zabol (*- Corresponding Author Email: elham_kalbali@yahoo.com)

2- Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi University of Mashhad

Constraint on the maximum and minimum water demand for environmental sector

$D_{\max} WEN \geq WEN \geq De_{WENs} \qquad \forall s$

Constraint on the maximum and minimum water demand for crops

$D_{\max} WI_{krc} \geq WI_{krc} \geq De_{krcs} \qquad \forall k,r,c,s$

Constraint on the maximum and minimum water demand for warm-water fish

$D_{\max} WA \geq WA \geq De_{WAs} \qquad \forall s$

Constraint on non-negativity of the decision variables in the model

$A_{krc},\ WI_{krc}, WA, WEN, S, De_{WI_{krc}s}, De_{WENs}, De_{WAs} \geq 0 \ \ \forall k,r,c,S$

**Results and Discussion:** The length of the right main canal of this network is about 17.76 km and the length of the left main canal is about 21.338 km. In this study, $k=1$ is considered for the right main canal and $k=2$ is considered for left main canal. Lands under irrigation network are considered in three regions. Right bank regions and sample farm are covered by the network in the right part of the network and the left bank regions are covered by the network on the left. Thus, there is one region in the left side of the network and there are two regions on the right. The major crops cultivated in the agricultural lands of the network include wheat, barley, canola, cotton, alfalfa, sunflower, rice, cotton-melon, and maize. Due to the random nature of the river flow to the dam, fixed and determined data cannot be used to calculate the volume of water entering the irrigation system, for this reason, using simulation techniques, we can predict the future behavior of the system for each reservoir. The results of the study showed that only agriculturalsector suffers from water deficit and target water demand of the other sectors is supplied and there is no deficit of water for these sectors and target water demand, lack of water and the final allocation of water in the agricultural sector are declined under different efficiencies of irrigation. If other sectors are remained unchanged and irrigation efficiency did not affect them, it is because irrigation efficiency has a direct impact on the water use in agriculture and decreases by increasing the efficiency of the allocated water to this sector and the amount of water stored in the reservoir for the coming year is added. By increasing the efficiency of irrigation which has a direct impact on water use in agriculture sector, the amount of water deficit reduced as a result of the increased system profit.

**Conclusion:** The results showed that there is no water deficit for aquaculture and environmental sectors in the scenarios of dry, wet and normal years and the target water demand of these sectors is supplied. However, the amount of water deficit in agricultural sector in dry year with the probability of 18% and under the efficiencies of 37, 45 and 51 percent would be 40.98, 23.67 and 14.07, respectively. With the increase in efficiency, water demand in agriculture, water deficit and ultimate allocation of water to this sector are decreased and system profit under different efficiencies is increased. Based on the obtained results, highlighting the irrigation efficiency and allocating the minimum water demand of the sectors is recommended.

**Keywords:** Golestan Province, Monte Carlo simulation, **U**ncertainty, Water resources management