بهره‌برداری بهینه منابع آب تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای

الهام کلبعلی، سمیرا امیرزاده مرادآبادی، حمید محمدی[1]
elham_kalbali@yahoo.com

چکیده

آب کالایی محدود و در عین حال ضروری برای جوامع بشری و سیستم‌های اکولوژی وابسته به آن است. با رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، منابع آب به شکل فزاینده رو به کاهش است. طی دو دهه گذشته، به دلیل تغییر و تحولات در جمعیت، اقلیم و افزایش رفاه نسبی، میزان مصرف سرانه‌ی آب افزایش یافته است. بنابراین استفاده بهینه از منابع آبی در دسترس اجتناب ناپذیر است. در مطالعه حاضر مدیریت آب سد وشمگیر با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفت. اهداف اصلی مطالعه حاضر، تعیین الگوی کشت، تعیین میزان کمبود آب هر بخش (کشاورزی، آبزی پروری و محیط زیست) و تعیین مقدار سود خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی سه ساله (۹۷-۱۳۹۵) تحت راندمان ۳۷ درصد است. داده‌های مورد نیاز از سازمان آب منطقه‌ای گرگان و برای سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴ جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد در سناریوهای تر سالی، خشک سالی و نرمال برای بخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی کمبود آبی وجود ندارد و تقاضای آب هدف برای این بخش‌ها تأمین می‌گردد اما در بدترین شرایط، هنگامی که سطح جریان در تمام دوره برنامه‌ریزی کم باشد ۳۱/۹۷ میلیون مترمکعب کمبود آب برای بخش کشاورزی وجود دارد. همچنین میزان سطح زیرکشت در افق سه ساله با سطح زیر کشت فعلی منطقه تفاوت‌هایی دارد و سود خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی سه ساله برابر با ۱۷۲۳ میلیارد ریال است، لذا توصیه می‌شود که مدیران در جهت افزایش راندمان آبیاری و آموزش کشاورزان در این جهت گام بردارند.

طبقه‌بندی JEL : C02 ، Q15، C61، Q24، Q25

کلیدواژگان: برنامه ریزی تصادفی ،روش چندمرحله‌ای، مدیریت منابع آب، عدم قطعیت

۱ـ به ترتیب دانشجویان دکتری و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

مقدمه

بحران آب از چالش‌های مهم زیست محیطی منطقه‌ی خاورمیانه و از جمله ایران است. محدودیت منابع آب، افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، و متعاقب آن، روند روزافزون رشد تقاضا در زمینه‌های مختلف، شرایط بحرانی را برای منابع آب رقم زده است که استان گلستان نیز از این مسأله مستثنی نبود. تعیین سیاست‌های بهینه از مخازن یکی از بحث‌های مهم در زمینه مدیریت منابع آب به شمار می‌آید. به طوری که از اواخر دهه ۵۰ و به خصوص اوایل دهه ۶۰ 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 مهندسی قلمداد نمود. این پیچیدگی به طور عمده حاصل تصادفی و غیرقطعی بودن متغیرهای دخیل در این سیستم‌ها است (برهانی داریان و مرادی، ۱۳۸۹). مطالعات فراوانی در زمینه بهره‌برداری از سیستم‌های مخزنی به روش‌های بهینه‌سازی، شبیه‌سازی یا هر دو روش صورت گرفته است. در این مطالعه روش بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت مورد توجه قرارگرفته است.

در تحقیق حاضر، مقابله با چالش‌های کم‌آبی برای حوضه گرگان‌رود مدنظر قرارگرفته است. اقتصاد استان گلستان وابسته به بخش کشاورزی است که وقوع دوره‌های خشکسالی، تولید محصولات کشاورزی را کاهش داده و به تبع آن اقتصاد منطقه را دچار بحران نموده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی، این استان دارای رودخانه‌های پرآب و مهمی است که از ارتفاعات رشته‌کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرند. در استان گلستان به منظور بهره‌برداری بیشتر از آب برای توسعه کشاورزی، سد وشمگیر و گلستان ۱ و ۲ بر روی رود گرگان و شاخه‌های آن احداث شده است. . افزون برآن، سد وشمگیر آبرسانی به زیربخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی را نیز برعهده دارد (سازمان آب منطقه ای استان گلستان، ۱۳۹۳). در زمینه مدیریت منابع آبی و مدل‌های عدم قطعیت تاکنون مطالعاتی انجام شده است. برای مثال، قدمی و همکاران (۱۳۸۸)، یک مدل الگوریتم ژنتیک قطعی برای بهره‌برداری بهینه از یک سیستم چندمخزنی منابع آب تک‌منظوره در شمال خراسان به جهت مصارف کشاورزی، تدوین کردند. مومنی و رضایی (۱۳۸۷)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویا، بهره‌برداری بهینه از مخزن سد ارس را تعیین و نتایج ناشی از برنامه‌ریزی پویای تصادفی و پویای قطعی را مقایسه کردند. مسنن مظفری (۱۳۸۶)، مدیریت و تخصیص بهینه آب سد امیرکبیررا بررسی کرد. نورانی و همکاران (۱۳۹۱)، 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] پرداختند.

لی و همکاران (۲۰۰۹) مدل برنامه‌ریزی فازی تصادفی درجه دوم چند مرحله‌ای[2] را جهت مدیریت آب در کانادا با تأکید بر کشاورزی پایدار به‌کارگرفتند. عدم‌حتمیت‌ها به دو شکل فازی و تصادفی در یک درخت سناریو چند لایه در مدل بکار برده شدند، تا در هر مرحله براساس ارزش‌های قابل تحقق آن دوره تصمیم‌گیری صورت گیرد. نتایج به مدیران جهت تعیین ساختار تخصیص آب برای حمایت از کشاورزی پایدار، به‌ویژه زمانی که منابع آب محدود در دسترس جهت عرضه به چندین رقیب مصرف‌کننده، موجود باشد، کمک کرد. اتکین و همکاران (۲۰۱۳)، از برنامه‌ریزی تصادفی برای بهبود بهره‌برداری از

[1] Goal Programming

[2] A Multistage Fuzzy-Stochastic Quadratic Programming Model

سیستم چند مخزنی بارکینا فاسو[1] در شرق آفریقا استفاده‌کردند. 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 صورت‌گرفت پیش‌بینی‌های بارندگی فصلی ممکن است آزادی تصمیم‌گیری کارآمدتر را به ذینفعان مختلف در حوزه ارائه دهد. هوانگ و همکاران (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای مدلی را که از ترکیب مدل تصادفی دو مرحله‌ای با برنامه درجه دوم نادقیق (IQP)[2] ایجاد شده بود، توسعه دادند. 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. لو و همکاران (۲۰۱۰) در سال به توسعه روش برنامه‌ریزی خطی فازی با ارزشگذاری بازه‌ای ($IVFL$)[3] بر اساس برش‌های α نامتناهی برای بهینه‌سازی تخصیص آب به زمین‌های زراعی موجود بین دو رودخانه در آمریکای شمالی پرداختند. نتایج نشان داد که تابع هدف (سود خالص سیستم) با افزایش انحراف ریسک[4] افزایش می‌یابد. هم چنین، استفاده از روش $IVFL$ باعث ایجاد گزینه‌های متفاوت در انتخاب طرح‌های تصمیم‌گیری مرتبط با ترجیحات و شرایط عملی می‌شود. لی و همکاران (۲۰۰۸)، مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به‌کارگرفتند. آن‌ها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط‌زیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها طی ۸۱ سناریو برای سه مصرف‌کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد.

در مطالعه حاضر روش بهینه‌سازی مورد توجه قرارگرفته و تخصیص بهینه آب سد وشمگیر و تعیین حداکثر سود سیستم (بخش کشاورزی، زیست‌محیطی و آبزی‌پروری) با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای در شرایط عدم قطعیت، تعیین الگوی کشت منطقه و تعیین میزان کمبود آب برای هر بخش در سطح جریان‌های متفاوت زیاد، نرمال، کم در طی افق سه ساله و تحت راندمان ۳۷٪ مورد بررسی قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای که برای یک دوره زمانی صورت می‌گیرد 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 مراحل بعدی تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان مختلف بر اساس عدم حتمیت جریان رودخانه صورت می‌گیرد. (هوانگ و لوکاس، ۲۰۰۰). این مدل مقادیر کمبود آب در طی دوره برنامه‌ریزی را ارائه و به مدیر سیستم و مصرف‌کنندگان فرصت سیاست‌گذاری برای رویارویی با بحران آب را می‌دهد. از طرف دیگر تخصیص نهایی آب بین مصرف‌کنندگان رقیب را با توجه به هدف حداکثرسازی سود کل سیستم ارائه می‌دهد. این مدل

[1] Burkina Faso
[2] Inexact Quadratic Program
[3] Interval- Valued Fazzy Linear Programming
[4] Violation Risk

رابطه‌ای بین اهداف اولیه بهره‌برداری از سد (تأمین آب مورد نیاز بخش‌ها تا حد امکان) و اهداف اقتصادی ایجاد می‌کند. این مدل به‌صورت زیر فرموله می‌شود (وانگ و هوانگ، ۲۰۱۲).

$$Max\ f = \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} NB_{it}\, T_{it} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{k_t} P_{tk}\, C_{it} S_{itk} \qquad (۱)$$

Subject to

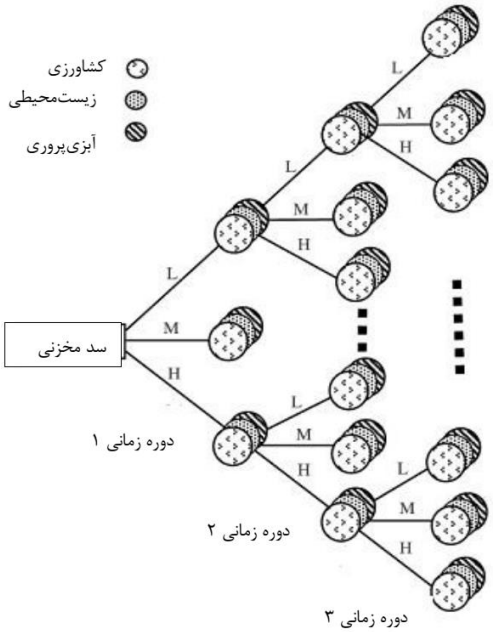
$$\sum_{i=1}^{I}\left(T_{it} - S_{it}\right)\left(1+\delta\right) \le q_{ht} + \varepsilon_{(t-1)k} \qquad \forall t,h;\ k = 1,2,\ldots,k_t \qquad (۲)$$

$$\varepsilon_{(t-1)k} + \sum_{i=1}^{I}\left(T_{i(t-1)} - S_{i(t-1)k}\right)\left(1+\delta\right) \le q_{h(t-1)} + \varepsilon_{(t-2)k} \quad \forall t-1,h;\ k = 1,2,\ldots,k-1 \qquad (۳)$$

$$T_{i\max} \ge T_{it} \ge S_{itk} \ge 0 \qquad \forall i,t,k \qquad (۴)$$

که در این مدل f سود خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی، NB_{it} سود مصرف‌کننده i در دوره t به ازای هر واحد آب تخصیصی، T_{it} آب وعده داده‌شده به مصرف‌کننده i در طی دوره t، C_{it} زیان مصرف‌کننده i به ازای هر واحد آب وعده داده‌شده رها نشده در دوره t، S_{itk} کمبود آب برای مصرف‌کننده i در زمان t تحت سناریوی k (به عبارت دیگر مقداری از T_{it} که در هنگام عرضه q_{ht} رها نمی‌شود)، q_{ht} متغیر تصادفی عرضه آب در سطح جریان h $H = 1,2,\ldots$ که $h=1$ پایین‌ترین سطح جریان و $h = H$ بالاترین سطح جریان در دوره t، $T_{it\max}$ بیشترین مقدار تخصیص آب برای مصرف‌کننده i در زمان t، P_{tk} احتمال وقوع سناریوی k در دوره t، ε_{tk} مازاد آب سد بعد از رها شدن آب تحت سناریوی k در دوره t، I کل تعداد مصرف‌کنندگان، δ نرخ اتلاف آب در طی انتقال از سد می‌باشد.

شکل ۱ نشان‌دهنده درخت سناریوی چندمرحله‌ای است که گره‌ها نشان‌دهنده تصمیمات اتخاذ شده برای تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان رقیب و شاخه‌ها نشان‌دهنده احتمال وقوع جریان آب (زیاد، متوسط و کم) می‌باشد. بنابراین یک درخت با t دوره، $t+1$ مرحله برای هر مصرف‌کننده ایجاد می‌شود. به این ترتیب در دوره اول ۳ سناریو، در دوره دوم ۹ سناریو و برای دوره t، 3^t سناریو ایجاد می‌شود.



شکل ۱. ساختاردرخت سناریو چندمرحله‌ای

در مطالعه ی حاضر یک درخت با سه دوره (پنج مرحله) برای هر مصرف‌کننده ایجاد می‌شود. به این ترتیب در دوره‌های اول تا سوم به ترتیب ۹- ۲۷- ۸۱ سناریو وجود دارد که در مجموع ۱۱۷ سناریو ایجاد می‌شود. فرم کلی مدل به‌صورت زیر می‌باشد:

$$f:\ MAX\ Z=[(\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}A_{krct}Y_{krct}P_{krct}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}A_{krct}CG-\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}WI_{krct}CI_t) \quad (۵)$$

$$+\sum_{t=1}^{T}(WA_tNA_t-WA_tCA_t)+\sum_{t=1}^{T}(WEN_tNEN_t-WEN_tCEN_t)]-[\sum_{S=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}P_{St}C_{WI_{krct}}De_{WI_{krctS}}]$$

$$-[\sum_{S=1}^{m}\sum_{t=1}^{T}P_{St}C_{WAt}De_{WASt}]-[\sum_{s=1}^{m}\sum_{t=1}^{T}P_{st}C_{WENt}De_{WENst}]$$

$$subject\ to:$$

$$\sum_{c=1}^{C}A_{krct}\le TA_{krt}\qquad \forall k,r,t \quad (۶)$$

$$\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}WI_{krct}(1+waterloss_{krt})\le Ca_{kt}\qquad \forall k,t \quad (۷)$$

$$\frac{NW_c}{Rn}A_{krct}\le WI_{krct}\qquad \forall k,r,c,t \quad (۸)$$

$$[(\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C}WI_{krct}-De_{WI_{krctS}})+(WEN_t-De_{WENjt})+(WA_t-De_{WASt})]-S_t\le w_{ts}\qquad \forall t,S \quad (۹)$$

$$[(\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R}\sum_{c=1}^{C} WI_{krct} - De_{WI_{krct}S}) + (WEN_t - De_{WENSt}) + (WA_t - De_{WASt})] - S_t \le w_{ts} \quad \forall t,s \qquad (10)$$

$$D_{\max} WI_{krct} \ge WI_{krct} \ge D_{\min} WI_{krct} + D_{WI_{krct}S} \quad \forall S,k,r,c,t \qquad (11)$$

$$D_{\max} WEN_t \ge WEN_t \ge D_{\min} WEN_t + D_{WENSt} \quad \forall S,t \qquad (12)$$

$$D_{\max} WA_t \ge WA_t \ge D_{\min} WA_t + De_{WASt} \quad \forall S,t \qquad (13)$$

$$A_{krct},\ WI_{krct}, WA_t, WEN_t, S_t, De_{WI_{krct}S}, De_{WEN_tS}, De_{WA_tS} \ge 0 \quad \forall k,r,c,t,S \qquad (14)$$

که در این مدل f سود خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی، W_t میزان کل جریان ورودی مخزن بوده که به صورت متغیر تصادفی در نظرگرفته‌شده‌است، 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 ذرت‌علوفه‌ای 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، CI هزینه مربوط به استفاده هر مترمکعب آب برای تولید محصول c در ناحیه r از کانال k، 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، 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 ، $C_{WI_{krct}}$ ، C_{WAt} و C_{WENt} زیان مصرف‌کننده بخش کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی به ازای هر واحد آبی که در دوره tرها نشده است. W_{krct}، W_{At} و W_{ENt} میزان آب وعده داده شده به مصرف‌کنندگان بخش کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی (متغیرهای تصمیم مرحله اول)، متغیرهای $De_{WI_{krct}S}$ ، De_{WASt} و De_{WENSt} به ترتیب نشان‌دهنده کمبود آب بخش‌های کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی تحت سناریوی Sدر دوره t به عبارت دیگر مقداری از W_{krct}، W_{It} و W_{ENt} که در هنگام بروز جریان w_{ht} رها نمی‌شود (متغیرهای تصمیم مرحله دوم)، w_{ht} متغیر تصادفی عرضه آب در دوره tو سطح جریان h، P_{St} احتمال وقوع سناریوی S در دوره t، h سطح جریان در دسترس ($h=low$ جریان کم، $h=normal$ جریان متوسط و $h=high$ جریان زیاد) می‌باشد. در مطالعه حاضر از مدل تصادفی چندمرحله‌ای جهت تصمیم‌گیری به منظور تخصیص بهینه سد وشمگیر بین مصرف‌کنندگان استفاده شده است. فرض شود که مدیر سیستم با مسأله تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان رقیب بخش کشاورزی، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی رو به رو است. عرضه آب به‌صورت تصادفی برای آینده در نظرگرفته می‌شود. مقدارتقاضای آب نیز با توجه به نیاز گروه‌های مختلف برآورد می‌شود. بخش کشاورزی در صورتی که بداند آب کمتری در دسترس دارد فعالیت‌هایش را کاهش خواهد داد و یا به نحوی تغییر خواهد دادکه نیاز به آب کمتری داشته باشد. در هنگام وجود عدم حتمیت مدیر باید طرحی را ایجاد کند که در آن علاوه برتخصیص کارای آب، سود سیستم حداکثر و ریسک سیستم نیز کاهش یابد.

هدف این مدل حداکثرکردن سود سیستم و تخصیص بهینه آب در طی دوره برنامه‌ریزی است. 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.

نتایج و بحث:

برای بدست آوردن احتمال وقوع سطح جریان آب (جریان آب کم، متوسط و زیاد) براساس داده‌های بارندگی ۳۰ سال گذشته در محل سد و با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد درصد سال‌های خشک، متوسط و تر محاسبه و از این درصدها برای احتمال وقوع سطح جزیان کم، متوسط و زیاد جریان خروجی آب سد استفاده می‌شود. شاخص بارندگی استاندارد به صورت زیر تعریف می‌شود (نجفی و همکاران، ۱۳۸۵).

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{S} \qquad (۱۵)$$

که در آن P_i بارندگی سال مد نظر، P میانگین بارندگی بلندمدت و S انحراف معیار بلندمدت بارندگی می باشد. اگر شاخص مذکور بیشتر از ۱ باشد ترسالی، کمتر از ۱- خشکسالی و اگر بین ۱ و ۱- باشد نرمال‌سالی وجود دارد. نتایج نشان داد که در ۱۸ درصد حالات طی ۲۰ سال گذشته در محل سد وشمگیر خشکسالی، در ۵۵ درصد نرمال‌سالی و در ۲۷ درصد ترسالی بوده است.

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. از آن‌جا که عرضه آب برای ۳ سال آینده یک متغیر تصادفی است، با استفاده از شبیه سازی و کاربرد اعداد تصادفی برای سال‌های مختلف، ۱۰۰ بار عرضه آب به صورت تصادفی شبیه‌سازی شد. شایان ذکر است ۱۰۰ 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 ۱ سطوح احتمال و جریان ورودی آب برای دوره مورد نظر را ارائه می‌دهد.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به جریان ورودی آب و احتمال انواع سطح جریان (میلیون مترمکعب)

سطح جریان	احتمال مربوطه	جریان ورودی آب		
		$t=1$	$t=2$	$t=3$
کم	۰/۱۸	۱۱۶/۳۳۴۳	۱۱۶/۰۷۱۲	۱۱۶/۱۱۵۱
متوسط	۰/۵۵	۲۳۲/۶۱۷۸	۲۳۳/۰۷۴	۲۳۲/۴۲۷
زیاد	۰/۲۷	۴۱۴/۳۷۵	۴۱۴/۵۱۲۳	۴۱۷/۰۳۸۹

ماخذ: داده‌های مطالعه

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 ۲ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات این جدول، در سال زراعی ۱۳۹۴ کل

سطح زیرکشت محصولات زراعی بیش‌از ۲۱ هزار هکتار بوده است. غلات با ۶۷ درصد و پنبه با ۱۰درصد بیشترین سهم را در تشکیل سطح زیر کشت کل محدوده‌های مطالعاتی مورد مطالعه می‌باشند.

جدول ۲. سطح زیرکشت محصولات زراعی اطراف سد وشمگیر (هکتار در سال)

محصول	ناحیه		
	ساحل راست	مزرعه نمونه	ساحل چپ
گندم	۴۸۰۷	۳۲۴۳	۳۸۴۰
جو	۴۲۷	۲۸۸	۳۴۰
کلزا	۱۰۷	۷۲	۱۵
پنبه	۲۴۴۱	۶۷۴	۷۷۴
یونجه	۰	۱۰۰	۰
آفتابگردان	۱۷۹۴/۳	۱۳۰	۳۸۶
برنج	۰	۴۰	۱۳۰۰
جالیز	۰	۳۰	۰
ذرت علوفه‌ای	۰	۷۳۰	۰

ماخذ: داده‌های مطالعه

درآمدناخالص، جزءاطلاعاتی 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. 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.

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 ۲۰ ریال برمترمکعب برآورد گردید.

حجم آب مصرفی برای هر هکتار مزارع پرورش ماهی گرم‌آبی ۲۵۰۰۰۰ مترمکعب و در صورت وجود آب مازاد ۵۰۰۰ مترمکعب نیز به‌عنوان آب جبرانی تابستانه اختصاص می‌یابد. میزان منافع حاصل از پرورش آبزیان در جدول شماره ۳، نشان داده شده است.

جدول ۳. درآمد خالص پرورش ماهی گرم‌آبی در سال ۱۳۹۴ درنواحی اطراف سد وشمگیر (مبالغ به ریال)

نوع منبع	آبهای تنظیم شده(سد مخزنی-آبندان)	
نوع پرورش ماهی	گرم آبی یک منظوره(استخرهاو مزارع)	گرم آبی دومنظوره(آبندان‌ها)
متوسط‌عملکرددر هکتار(کیلوگرم)	۲۵۰۰	۲۵۰۰
متوسط‌قیمت‌هرکیلوگرم	۲۴۰۰۰	۲۴۰۰۰
قیمت‌هر مترمکعب‌آب	۱۲۷/۲	۷۲/۲۵
درآمدخالص(ریال/هکتار)	۵۴۹۰۰۰۰۰	۵۵۰۰۰۰۰۰
درآمدخالص(ریال/ مترمکعب)	۲۱۹۶	۲۲۰۰

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴، نتایج مدل برای سطح زیرکشت مربوط به محصول c در منطقه r از کانال k برای سد مخزنی وشمگیر برای سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶را نشان می‌دهد. میزان سطح زیرکشت در افق سه ساله با سطح زیر کشت فعلی منطقه تفاوت‌هایی دارد در این الگوی کشت میزان سطح زیر کشت پنبه در سمت راست و میزان سطح زیرکشت محصولات جو، پنبه و آفتابگردان در ناحیه چپ و سطح زیر کشت پنبه در مزرعه نمونه صفر شده است. بیشترین سطح زیرکشت در این الگوی کشت در هر سه سال مورد مطالعه مربوط به گندم می‌باشد.

جدول ۴. سطح زیرکشت محصولات تحت راندمان۳۷٪ در افق برنامه‌ریزی سه ساله

شاخص $krct$	سطح زیرکشت (هکتار)		
	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶
راست- ساحل راست- گندم	۶۳۴۱/۰۰	۶۸۲۹/۸۴	۷۳۱۷/۶۸
راست- ساحل راست- جو	۵۶۳/۳۵	۰	۰
راست- ساحل راست- کلزا	۱۴۱/۱۷	۷/۶۱	۱۶۲/۸۹
راست- ساحل راست- پنبه	۰	۰	۰
راست- ساحل راست- آفتابگردان	۲۳۶۷/۲۶	۲۳۶۷/۲۶	۲۰۹۵/۷۳
راست - مزرعه نمونه- گندم	۴۲۷۸/۶	۴۶۰۷/۶۹	۴۹۳۶/۸۱
راست- مزرعه نمونه- جو	۳۷۹/۹۶	۱۸۰/۹۲	۰
راست- مزرعه نمونه- کلزا	۹۴/۹۹	۱۰۲/۳	۱۰۹/۶۱
راست- مزرعه نمونه- پنبه	۰	۰	۰
راست- مزرعه نمونه- یونجه	۱۳۱/۹۳	۱۳۱/۹۳	۱۳۱/۹۳
راست - مزرعه نمونه- آفتابگردان	۲۲۵/۹۲	۱۸۴/۷۱	۲۵/۱۴
راست- مزرعه نمونه- برنج	۵۲/۷۷	۵۶/۸۳	۶۰/۸۹
راست- مزرعه نمونه- جالیز	۳۹/۵۸	۴۲/۶۲	۴۲/۶۲
راست- مزرعه نمونه- ذرت‌علوفه‌ای	۱۰۳/۲۷	۰	۰
چپ- ساحل چپ - گندم	۴۹۲۰/۰۹	۴۷۸۶/۶۳	۴۶۵۳/۱۸
چپ - ساحل چپ - جو	۰	۰	۰
چپ - ساحل چپ - کلزا	۱۹/۷۹	۲۱/۳۱	۲۲/۸۳

چپ - ساحل چپ - پنبه	۰	۰	۰
چپ- ساحل چپ - آفتابگردان	۰	۰	۰
چپ - ساحل چپ - برنج	۱۷۱۵/۱۲	۱۸۴۷/۰۵	۱۹۷۸/۹۹

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جداول شماره ۵ تا ۶ نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای را در راندمان ۳۷ درصد نشان می‌دهد. همان‌طوری که در جداول نشان داده شده است هنگامی که آب قابل دسترس منبع نتواند تقاضای بخش‌ها را در هر دوره تأمین نماید کمبود آب ایجاد خواهد شد. در نتیجه میزان کمبود آب نیز با میزان تقاضای بخش‌ها و میزان آب قابل دسترس در ارتباط است.

جدول ۵ تخصیص بهینه آب تحت ۹ سناریو در دوره اول را نشان می‌دهد همان‌طوری که مشاهده می‌شود، تقاضای هدف برای مصرف‌کننده کشاورزی، زیست‌محیطی و آبزی‌پروری به‌ترتیب برابر با ۹۳/۰۰، ۱۱/۳۱ و ۱۹/۱۷میلیون مترمکعب است. در حالتی که سطح جریان زیاد است (ترسالی کمبود آبی برای مصرف‌کننده کشاورزی وجود ندارد). و اگر سایر 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. میزان کمبود آب برای بخش کشاورزی در دوره اول و در شرایط خشکسالی تحت سناریوی۱۱۳ به میزان ۳۷/۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد به این معناست که در حالت سطح جریان کم (۱۸٪)، کمبود آب برای مصرف‌کننده بخش کشاورزی ۳۷/۰۰ میلیون مترمکعب است. در حالت‌کلی وقتی که سطح جریان آب متوسط یا زیاد بوده و تقاضای آب هدف توسط یکی از بخش‌ها صورت نگیرد کمبود آب ممکن است کاهش یابد اما، اگر تقاضای هدف صورت گیرد کمبود آب تشدید خواهد شد.

جدول ۵. حل مدل MSLP دردوره اول تحت راندمان ۳۷٪

سناریو	مصرف‌کننده	سطح جریان آب	احتمال وقوع سطح جریان	آب وعده داده شده (میلیون مترمکعب)	کمبود آب (میلیون مترمکعب)	تخصیص بهینه آب (میلیون مترمکعب)
۱۱۱	کشاورزی	زیاد	۰/۲۷	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۱۱	زیست‌محیطی	زیاد	۰/۲۷	۱۱/۹۰	۰	۱۱/۹۰
۳۱۱	آبزی‌پروری	زیاد	۰/۲۷	۱۹/۱۷	۰	۱۹/۱۷
۱۱۲	کشاورزی	نرمال	۰/۵۵	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۱۲	زیست‌محیطی	نرمال	۰/۵۵	۱۱/۹۰	۰	۱۱/۹۰
۳۱۲	آبزی‌پروری	نرمال	۰/۵۵	۱۹/۱۷	۰	۱۹/۱۷
۱۱۳	کشاورزی	کم	۰/۱۸	۹۳/۶۴	۳۷/۰۰	۵۶/۶۴
۲۱۳	زیست‌محیطی	کم	۰/۱۸	۱۱/۹۰	۰	۱۱/۹۰
۳۱۳	آبزی‌پروری	کم	۰/۱۸	۱۹/۱۷	۰	۱۹/۱۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول شماره ۶ تخصیص بهینه آب را تحت ۲۷ سناریو در دوره دوم نشان می‌دهد. و در این دوره تحت سناریوهای ۱۲۴، ۱۲۸ و ۱۲۹به ترتیب ۱۶/۶۳، ۱۶/۲۳ و ۶۶/۶۴ میلیون مترمکعب کمبود آب برای مصرف‌کننده کشاورزی وجود دارد در صورتی که اگر سطح جریان در دوره اول زیاد باشد کمبود آبی برای مصرف‌کننده کشاورزی وجود ندارد. و در این دوره هم برای مصرف‌کنندگان آبزی‌پروری و زیست‌محیطی کمبود آبی وجود ندارد و همان میزان تقاضای هدف به این دو بخش تخصیص داده می‌شود.

جدول ۶. حل مدل MSLP دردوره دوم تحت راندمان ۳۷٪

سناریو	مصرف‌کننده	سطح جریان آب	احتمال وقوع سطح جریان	آب وعده داده شده (میلیون مترمکعب)	کمبود آب (میلیون مترمکعب)	تخصیص بهینه آب (میلیون مترمکعب)
۱۲۱	کشاورزی	زیاد-زیاد	۰/۰۷	۹۳/۴۹	۰	۹۳/۴۹
۲۲۱	زیست‌محیطی	زیاد-زیاد	۰/۰۷	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۱	آبزی‌پروری	زیاد-زیاد	۰/۰۷	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۲	کشاورزی	زیاد- نرمال	۰/۱۵	۹۳/۴۹	۰	۹۳/۴۹
۲۲۲	زیست‌محیطی	زیاد- نرمال	۰/۱۵	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۲	آبزی‌پروری	زیاد- نرمال	۰/۱۵	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۳	کشاورزی	زیاد-کم	۰/۰۵	۹۳/۴۹	۰	۹۳/۴۹
۲۲۳	زیست‌محیطی	زیاد-کم	۰/۰۵	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۳	آبزی‌پروری	زیاد-کم	۰/۰۵	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۴	کشاورزی	نرمال- زیاد	۰/۱۵	۹۳/۴۹	۱۶/۶۳	۷۶/۸۶
۲۲۴	زیست‌محیطی	نرمال- زیاد	۰/۱۵	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۴	آبزی‌پروری	نرمال- زیاد	۰/۱۵	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۵	کشاورزی	نرمال- نرمال	۰/۳	۹۳/۴۹	۰	۹۳/۴۹
۲۲۵	زیست‌محیطی	نرمال- نرمال	۰/۳	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۵	آبزی‌پروری	نرمال- نرمال	۰/۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۶	کشاورزی	نرمال- کم	۰/۱	۹۳/۴۹	۰	۹۳/۴۹
۲۲۶	زیست‌محیطی	نرمال- کم	۰/۱	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۶	آبزی‌پروری	نرمال- کم	۰/۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۷	کشاورزی	کم- زیاد	۰/۰۵	۹۳/۴۹	۰	۹۳/۴۹
۲۲۷	زیست‌محیطی	کم- زیاد	۰/۰۵	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۷	آبزی‌پروری	کم- زیاد	۰/۰۵	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۸	کشاورزی	کم- نرمال	۰/۱	۹۳/۴۹	۱۶/۲۳	۱۷/۲۶
۲۲۸	زیست‌محیطی	کم- نرمال	۰/۱	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱
۳۲۸	آبزی‌پروری	کم- نرمال	۰/۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۱۲۹	کشاورزی	کم-کم	۰/۰۳	۹۳/۴۹	۶۶/۶۴	۲۶/۸۵
۲۲۹	زیست‌محیطی	کم-کم	۰/۰۳	۱۱/۳۱	۰	۱۱/۳۱

ماخذ:	۳۲۹	آبزی‌پروری	کم-کم	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱

یافته‌های پژوهش

جدول شماره ۷ تخصیص بهینه آب برای سه مصرف‌کننده را تحت ۸۱ سناریو در دوره سوم نشان می‌دهد. در این دوره اگر سطح جریان آب در هر سه دوره کم باشد کمبود آب برای مصرف کننده کشاورزی در هر سه دوره وجود دارد. اگر جریان آب در یکی از سه دوره زیاد باشد تحت هر سطح جریان دو سال دیگر کمبود آبی برای مصرف‌کننده کشاورزی وجود نخواهد داشت. اگر جریان آب در سال سوم متوسط و در هر دو سال گذشته سطح جریان کم آب وجود داشته باشد کمبود آب برای بخش کشاورزی پیش خواهد آمد. هم‌چنین اگر در سال سوم جریان آب کم باشد در صورتی که در دو سال گذشته و یا در یک سال سطح جریان آب زیاد باشد، باز هم کمبود آب قابل توجهی در سال سوم وجود نخواهد داشت.

جدول ۷. حل مدل MSLP دردوره سوم تحت راندمان ۳۷٪

سناریو	مصرف‌کننده	سطح جریان آب	احتمال وقوع سطح جریان	آب وعده داده شده (میلیون مترمکعب)	کمبود آب (میلیون مترمکعب)	تخصیص بهینه آب (میلیون مترمکعب)
۱۳۱	کشاورزی	زیاد- زیاد- زیاد	۰/۰۲	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۱	زیست‌محیطی	زیاد- زیاد- زیاد	۰/۰۲	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱	آبزی‌پروری	زیاد- زیاد- زیاد	۰/۰۲	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲	کشاورزی	زیاد-زیاد- نرمال	۰/۰۴	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۲	زیست‌محیطی	زیاد-زیاد- نرمال	۰/۰۴	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲	آبزی‌پروری	زیاد-زیاد- نرمال	۰/۰۴	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۳	کشاورزی	زیاد- زیاد- کم	۰/۰۱	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۳	زیست‌محیطی	زیاد- زیاد- کم	۰/۰۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۳	آبزی‌پروری	زیاد- زیاد- کم	۰/۰۱	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۴	کشاورزی	زیاد- نرمال- زیاد	۰/۰۴	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۴	زیست‌محیطی	زیاد- نرمال- زیاد	۰/۰۴	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۴	آبزی‌پروری	زیاد- نرمال- زیاد	۰/۰۴	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۵	کشاورزی	زیاد- نرمال- نرمال	۰/۰۸	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۵	زیست‌محیطی	زیاد- نرمال- نرمال	۰/۰۸	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۵	آبزی‌پروری	زیاد- نرمال- نرمال	۰/۰۸	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۶	کشاورزی	زیاد- نرمال- کم	۰/۰۳	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۶	زیست‌محیطی	زیاد- نرمال- کم	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۶	آبزی‌پروری	زیاد- نرمال- کم	۰/۰۳	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۷	کشاورزی	زیاد- کم- زیاد	۰/۰۱	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۷	زیست‌محیطی	زیاد- کم- زیاد	۰/۰۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۷	آبزی‌پروری	زیاد- کم- زیاد	۰/۰۱	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۸	کشاورزی	زیاد- کم- نرمال	۰/۰۳	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۸	زیست‌محیطی	زیاد- کم- نرمال	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱

۳۳۸	آبزی‌پروری	زیاد- کم- نرمال	۰/۰۳	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۹	کشاورزی	زیاد- کم- کم	۰/۰۱	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۹	زیست‌محیطی	زیاد- کم- کم	۰/۰۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۹	آبزی‌پروری	زیاد- کم- کم	۰/۰۱	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۰	کشاورزی	نرمال- زیاد- زیاد	۰/۰۴	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۱۰	زیست‌محیطی	نرمال- زیاد- زیاد	۰/۰۴	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۰	آبزی‌پروری	نرمال- زیاد- زیاد	۰/۰۴	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۱	کشاورزی	نرمال- زیاد- نرمال	۰/۰۸	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۱۱	زیست‌محیطی	نرمال- زیاد- نرمال	۰/۰۸	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۱	آبزی‌پروری	نرمال- زیاد- نرمال	۰/۰۸	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۲	کشاورزی	نرمال- زیاد- کم	۰/۰۳	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۱۲	زیست‌محیطی	نرمال- زیاد- کم	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۲	آبزی‌پروری	نرمال- زیاد- کم	۰/۰۳	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۳	کشاورزی	نرمال- نرمال- زیاد	۰/۰۸	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۱۳	زیست‌محیطی	نرمال- نرمال- زیاد	۰/۰۸	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۳	آبزی‌پروری	نرمال- نرمال- زیاد	۰/۰۸	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۴	کشاورزی	نرمال- نرمال- نرمال	۰/۱۶	۹۳/۶۴	۲/۱۴	۹۱/۵۰
۲۳۱۴	زیست‌محیطی	نرمال- نرمال- نرمال	۰/۱۶	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۴	آبزی‌پروری	نرمال- نرمال- نرمال	۰/۱۶	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۵	کشاورزی	نرمال- نرمال- کم	۰/۰۵	۹۳/۶۴	۱۱/۳۹	۸۱/۲۵
۲۳۱۵	زیست‌محیطی	نرمال- نرمال- کم	۰/۰۵	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۵	آبزی‌پروری	نرمال- نرمال- کم	۰/۰۵	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۶	کشاورزی	نرمال- کم- زیاد	۰/۰۳	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۱۶	زیست‌محیطی	نرمال- کم- زیاد	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۶	آبزی‌پروری	نرمال- کم- زیاد	۰/۰۳	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۷	کشاورزی	نرمال- کم- نرمال	۰/۰۵	۹۳/۶۴	۱۱/۶۷	۸۱/۹۷
۲۳۱۷	زیست‌محیطی	نرمال- کم- نرمال	۰/۰۵	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۷	آبزی‌پروری	نرمال- کم- نرمال	۰/۰۵	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۸	کشاورزی	نرمال- کم- کم	۰/۰۲	۹۳/۶۴	۲۸/۵۵	۶۵/۰۹
۲۳۱۸	زیست‌محیطی	نرمال- کم- کم	۰/۰۲	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۸	آبزی‌پروری	نرمال- کم- کم	۰/۰۲	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۱۹	کشاورزی	کم- زیاد- زیاد	۰/۰۱	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۱۹	زیست‌محیطی	کم- زیاد- زیاد	۰/۰۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۱۹	آبزی‌پروری	کم- زیاد- زیاد	۰/۰۱	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۰	کشاورزی	کم- زیاد- نرمال	۰/۰۳	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۲۰	زیست‌محیطی	کم- زیاد- نرمال	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲۰	آبزی‌پروری	کم- زیاد- نرمال	۰/۰۳	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۱	کشاورزی	کم- زیاد- کم	۰/۰۱	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۲۱	زیست‌محیطی	کم- زیاد- کم	۰/۰۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱

۳۳۲۱	آبزی‌پروری	کم- زیاد- کم	۰/۰۱	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۲	کشاورزی	کم- نرمال- زیاد	۰/۰۳	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۲۲	زیست‌محیطی	کم- نرمال- زیاد	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲۲	آبزی‌پروری	کم- نرمال- زیاد	۰/۰۳	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۳	کشاورزی	کم- نرمال- نرمال	۰/۰۵	۹۳/۶۴	۱۱/۴۴	۹۳/۶۴
۲۳۲۳	زیست‌محیطی	کم- نرمال- نرمال	۰/۰۵	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲۳	آبزی‌پروری	کم- نرمال- نرمال	۰/۰۵	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۴	کشاورزی	کم- نرمال- کم	۰/۰۲	۹۳/۶۴	۲۸/۲۲	۶۵/۴۲
۲۳۲۴	زیست‌محیطی	کم- نرمال- کم	۰/۰۲	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲۴	آبزی‌پروری	کم- نرمال- کم	۰/۰۲	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۵	کشاورزی	کم- کم- زیاد	۰/۰۱	۹۳/۶۴	۰	۹۳/۶۴
۲۳۲۵	زیست‌محیطی	کم- کم- زیاد	۰/۰۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲۵	آبزی‌پروری	کم- کم- زیاد	۰/۰۱	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۶	کشاورزی	کم- کم- نرمال	۰/۰۲	۹۳/۶۴	۲۸/۶۲	۶۵/۰۲
۲۳۲۶	زیست‌محیطی	کم- کم- نرمال	۰/۰۲	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲۶	آبزی‌پروری	کم- کم- نرمال	۰/۰۲	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷
۱۳۲۷	کشاورزی	کم- کم- کم	۰/۰۱	۹۳/۶۴	۶۸/۶۷	۳۱/۹۷
۲۳۲۷	زیست‌محیطی	کم- کم- کم	۰/۰۱	۱۱/۵۱	۰	۱۱/۵۱
۳۳۲۷	آبزی‌پروری	کم- کم- کم	۰/۰۱	۲۰/۴۷	۰	۲۰/۴۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

حل مدل هم‌چنین نشان می‌دهد که تحت بدترین شرایط وقتی که سطح جریان در تمام دوره برنامه‌ریزی کم باشد، کل آب تخصیصی ۳۱/۹۷ میلیون مترمکعب برای مصرف‌کننده کشاورزی و میزان تقاضای هدف برای این بخش ۹۳/۶۴ میلیون مترمکعب می‌باشد. این مسئله نشان می‌دهد که ۳۱/۹۷ میلیون مترمکعب کمبود آب برای بخش کشاورزی وجود دارد. بنابراین، مصرف‌کننده برای برآورد نمودن نیاز ضروری باید آب را از منابع دیگر به‌دست آورده و یا مصرف را کاهش دهد. مصرف‌کنندگان باید بین تهیه آب از منبع گران‌تر و یا کاهش تقاضای آب توازن برقرار کنند. در حالت بهترین سناریو هنگامی که سطح جریان آب در طی افق برنامه‌ریزی زیاد است، کل تخصیص آب برابر با ۹۳/۶۴ میلیون مترمکعب می‌باشد که نشان می‌دهد تقاضای آب سه مصرف‌کننده راحت‌تر از دوحالتی که تمام دوره‌ها سطح جریان کم یا نرمال باشد تأمین می‌شود. اگرچه احتمال وقوع بدترین سناریو (کم- کم- کم) پایین است اما ضرری که در ازای وقوع این سناریو در سیستم به وجود خواهد آمد بالاست. بنابراین، در سیاست‌گذاری برای بهینه‌سازی تخصیص آب نه تنها سود بلکه ریسک موجود در سیستم نیز باید در نظر گرفته شود.

سود خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی سه ساله برابر با ۱۷۲۳ میلیارد می‌باشد. 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 بالای سیستم همراه با رسیدن به ریسک بالاتر می‌باشد و بالعکس. به طور کلی یک رابطه مستقیم بین سود کل و ریسک سیستم وجود دارد.

اگر میزان تقاضای هر بخش کاهش داده شود، میزان تقاضای هدف کمتری به هر بخش وعده داده می‌شود. این مسئله موجب می‌شود هر دو متغیر کمبود آب و تخصیص نهایی آب کاهش یابد. هم‌چنین با افزایش راندمان آبیاری میزان تقاضای آب برای بخش کشاورزی کاهش می‌یابد در نتیجه میزان آب وعده داده شده توسط سیستم و میزان تخصیص و کمبود آب برای بخش کشاورزی کاهش می‌یابد.

در شرایطی که میزان تقاضای مورد نیاز هر بخش افزایش یابد، تقاضای آب هدف (میزان آب وعده داده شده) به بیشترین مقدار خود می‌رسد در نتیجه مدیر به صورت خوشبینانه آب را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. در نتیجه هر دو متغیر کمبود آب و تخصیص نهایی آب نسبت به حالت قبل افزایش می‌یابد. در این وضعیت با وقوع ترسالی به احتمال زیاد آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان تأمین و در سال‌های خشک ریسک تأمین آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

درمطالعه حاضر، تخصیص آب بین بخش‌های کشاورزی، آبزی‌پروی و زیست محیطی بهینه‌سازی شد. هم‌چنین در بخش کشاورزی به تخصیص آب زمین‌های زراعی سد وشمگیر بین ۳ منطقه و ۷ محصول عمده در اراضی تحت پوشش دو سمت این سد پرداخته شد. نتایج مطالعه نشان داد که در سناریوهای تر سالی و خشک سالی و نرمال برای بخش‌های آبزی‌پروری و زیست‌محیطی کمبود آبی وجود ندارد و تقاضای آب هدف برای این بخش‌ها تأمین می‌گردد. میزان کمبود آب در دوره اول در سطح جریان کم (۱۸٪)، برای مصرف‌کننده بخش کشاورزی ۳۷/۰۰ میلییون مترمکعب است. در دوره دوم برنامه‌ریزی ۲۷ سناریو برای تخصیص بهینه آب بود و در این دوره تحت سناریوهای ۱۲۴، ۱۲۸ و ۱۲۹به ترتیب ۱۶/۶۳، ۱۶/۲۳ و ۶۶/۶۴ میلیون مترمکعب کمبود آب برای مصرف‌کننده کشاورزی وجود داشت. در دوره سوم برنامه‌ریزی اگر سطح جریان آب در هر سه دوره کم باشد، کمبود آب برای مصرف کننده کشاورزی در هر سه دوره وجود دارد. اگر جریان آب در یکی از سه دوره زیاد باشد، تحت هر سطح جریان دو سال دیگر کمبود آبی برای مصرف‌کننده کشاورزی مشاهده نمی‌شود. تحت بدترین شرایط وقتی که سطح جریان در تمام دوره برنامه‌ریزی کم باشد، ۳۱/۹۷ میلیون مترمکعب کمبود آب برای بخش کشاورزی وجود دارد. در الگوی کشت بدست آمده از مدل مورد مطالعه میزان سطح زیر کشت پنبه در سمت راست و میزان سطح زیرکشت محصولات جو، پنبه و آفتابگردان در ناحیه چپ و سطح زیر کشت پنبه در مزرعه نمونه صفر شده است. با افزایش ۱۸ درصدی راندمان، میزان تقاضای آب هدف بخش کشاورزی و کمبود آب و تخصیص نهایی آب به این بخش کاهش می‌یابد و باعث افزایش سود سیستم از ۱۷۲۰ به ۱۷۶۰ میلیارد ریال می‌شود. باتوجه به نتایج بدست آمده مورد توجه قراردادن افزایش راندمان آبیاری، استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن و تخصیص حداقل تقاضای آب بخش ها توصیه می شود. اصلاح قیمت‌گذاری به نحوی که قیمت آب انعکاسی از قیمت‌گذاری واقعی باشد نیز راهکارهای مناسب در این زمینه است.

منابع

۱. برهانی داریان، ع. و مرادی، ا. م. (۱۳۸۹) الگوریتم مورچگان پیوسته در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چندمخزنی مطالعه موردی: مخازن حوزه کرخه. مجله آب و فاضلاب. ۴: ۹۱-۸۱.

۲. سازمان آب منطقه ای استان گلستان. ۱۳۹۳. آمار و اطلاعات سدها.

۳. قدمی، م. قهرمان، ب. شریفی، م.ب. و رجبی مشهدی، ح. (۱۳۸۸) بهینه سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چندمخزنی منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک. تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۵ ، (۲): ۹۴-۱۰۸.

۴. مسنن مظفری، م. (۱۳۸۶) تعیین مدل حمایت تصمیم‌گیری به منظور مدیریت آب سد امیرکبیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

۵. مومنی، م. و رضایی، ن. (۱۳۸۷) مدل بهره برداری از مخزن سد ارس با استفاده از برنامه ریزی پویا. نشریه مدیریت صنعتی، (۱): ۱۵۲ –۱۳۹.

۶. نجفی حاجیور، م.، کوهپیما، ا. و طهماسبی، ا. (۱۳۸۵) بررسی شاخص‌های تعیین خشکسالی در استان چهار محال بختیاری. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهر کرد.

۷. نورانی، و. ابوالواسط، ن. و صالحی،ک. (۱۳۹۱) ترکیب مدل برنامه‌ریزی آرمانی سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی در بهره‌برداری بهینه چندهدفه از سیستم دو مخزنی . تحقیقات منابع آب ایران، (۲): ۱-۱۱ .

8. Etkin, D., Kirshen, P., Watkins, D., Roncoli, C., Sanon, M., Some, L.and Dembele, Y. (2013) Stochastic programming for improved multi-use reservoir operation in Barkina Faso, West Africa. Journal of Water Resources Planning and Management.
9. 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.
10. Huanga,Y., Li b, Y.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.
11. Li, Y. P., Huang, G. H. and Zhou, H. D. (2009). A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting water-resources allocation and management. Environmental Modelling and Software, 24: 786-797.
12. Li, Y. P., Huang, G. H., Yung, Z. F. and Nie, S. L. (2008). IFMP: Interval-fuzzy multistage programming for water resources management under uncertainty. Resources Conservation and Recycling, 52: 800-812.
13. Lu, H.W., Huang, G.H. and He, L. (2010). Development of an interval-valued fuzzy linear-programming method based on infinite α-cuts for water resources management. Journal of Environmental Modelling and Software, 25: 354-361.

14. Wang, S. and Huang, G.H. (2012). Identifying optimal water resources allocation strategies through an interactive multistage stochastic fuzzy programming approach. Water Resource Management, 26: 2015-2038.

Optimal Utilization of Water Resources under Uncertainty Using Multistage Stochastic Programming

Abstract

Water is an essential yet constrained commodity for human communities and ecological systems depend on it. With population growth and economic development, water resource is increasingly declining. Over the past two decades, because of changes in population and climate, and relative welfare increase, the per capita consumption of water has increased. Thus, optimal use of available water resources is inevitable. In this study, water management of Voshmgir dam was investigated using multi-stage stochastic programming. The main objectives of the present study was to determine the cropping pattern, the shortage of water in each sector (agriculture, aquaculture and environment), and the amount of gross revenue of the system in the three-year programming horizon (2017-2019) under 37% efficiency. The required data were collected from Gorgan Regional Water Organization for 1994 to 2016. The results showed that in the scenarios of wet, dry, and normal years, there was no water shortage in aquaculture and environmental sectors and the target water demand was provided for these sectors, but in the worst case, when the flow in the whole period of programming was low, there was a water shortage of 31.97 million cubic meters for agriculture sector. The acreage in the three-year horizon was different from the current acreage and gross revenue of the system in the three-year programming horizon was equal to1723 billion Riyals; therefore, it is recommended that the administrators take steps to increase irrigation efficiency and train farmers in this direction.

JEL Classification: ***C02 ،Q15 ،C61 ،Q24 ،Q25***

Keywords: stochastic programming, multi-stage method, water resources management, uncertainty