نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۸۰-۱۶۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 168-180

بهره‌برداری بهینه از منابع آب سد قلعه‌چای عجب‌شیر: کاربرد رهیافت برنامه‌ریزی تصادفی فازی

مریم جعفری ثانی[۱]، جواد نعمتیان*[۲]، باب‌اله حیاتی[۳]، محمد قهرمان‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۳

چکیده

بارش کم و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن در ایران و اهمیت تأمین امنیت غذایی و کشاورزی پایدار، لزوم استفاده صحیح و علمی از منابع آب را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. در مطالعه حاضر بهره‌برداری بهینه از منابع آب سد قلعه‌چای عجب‌شیر در بخش کشاورزی با کاربرد مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه‌داده شده و همین مدل با متغیرهای فازی مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز در سال ۹۵-۱۳۹۴ از شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی و از طریق تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان به صورت نمونه‌گیری تصادفی ساده گردآوری گردید و الگوریتم‌های لازم برای حل مدل، در بسته نرم افزاری GAMS نوشته شد. نتایج مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه‌داده شده نشان داد که در صورت استفاده از روش بهینه‌سازی، مقدار تخصیص نهایی آب در سطح جریان کم برای گندم و انگور، در جریان نرمال برای گندم، جو و انگور و در سطح جریان زیاد برای گندم و سیب‌زمینی صفر می‌باشد. همچنین در مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه‌داده شده با متغیرهای فازی در سطح جریان کم برای گندم و انگور، در سطح جریان نرمال برای گندم، جو و سیب‌زمینی و در سطح جریان زیاد برای گندم، جو و پیاز مقدار تخصیص نهایی آب، صفر و برای مابقی محصولات مقدار بهینه آب اختصاصی غیر صفر بدست می‌آید. مقایسه نتایج دو مدل نشان داد، در مدل فازی به طور همزمان سود و قطعیت سیستم افزایش می‌یابد لذا پیشنهاد می‌شود مسئولان کشاورزی شهرستان عجب‌شیر با ارائه مدل بهینه ضمن افزایش سودآوری کشاورزان، باعث کاهش ناپایداری در استفاده از منابع آبی شوند.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه یافته، برنامه‌ریزی فازی، عدم حتمیت، تخصیص آب، بهینه‌سازی

مقدمه

عمده نقاط ایران در پهنه‌بندی اقلیمی جز مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. تغییرات رشد جمعیت و پیشرفت و توسعه سریع در سیستم‌های کشاورزی منجر به افزایش تقاضای منابع آب گشته است. در عین حال، عرضه منابع آب محدود و متغیر بوده و به طور فزاینده در معرض خطر تغییر اقلیم و تخریب زیست‌محیطی قرار دارد. پیامد این امر، کمیابی فزاینده منابع آب در بخش‌های بزرگی از کشور و تشدید رقابت برای تصاحب آن در بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده شده است. با توجه به اهمیت آب در بخش کشاورزی، می‌توان به سادگی قضاوت کرد که کمبود آب در آینده بیش از پیش، این بخش را متاثر می‌سازد و با توجه به اینکه بخش کشاورزی، بخش زیربنایی توسعه کشور را بنیان می‌نهد، لزوم استفاده کارا یا به عبارتی مدیریت آب کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). مدیریت آب به‌ویژه در بخش کشاورزی، زمینه پیشرفت و توسعه هرکشوری را فراهم می‌کند و این مسئله در مورد ایران اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا از یکسو کشاورزی آن بخش مهمی از تولید ناخالص داخلی و اشتغال کشور را در بر می‌گیرد و از سوی دیگر با مشکل کم‌آبی روبروست (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). اما افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی بدون توجه به عوامل محدودکننده‌ای مانند آب قابل دسترس موجب استفاده غیر بهینه از منابع موجود در زمین‌های کشاورزی و در نهایت شکست برنامه‌ریزی زراعی می‌شود. علاوه بر وجود محدودیت در منابع تولید کشاورزی، مسئله عدم قطعیت در تأمین این منابع، از مسائل بسیار مهم است. منابع آب کشاورزی با متغیرهای غیرقطعی مانند رطوبت خاک، بارندگی، دما و تقاضای بازار در ارتباط است که غیر قابل کنترل می‌باشند (Regulwar & Gurav, 2011) و تصمیم‌گیری در مورد طرح‌های کشاورزی بدون توجه به عدم قطعیت موجب بروز مشکلات فراوانی برای کشاورزان و مدیران اجرایی می‌شود (مردانی و همکاران، ۱۳۹۰).

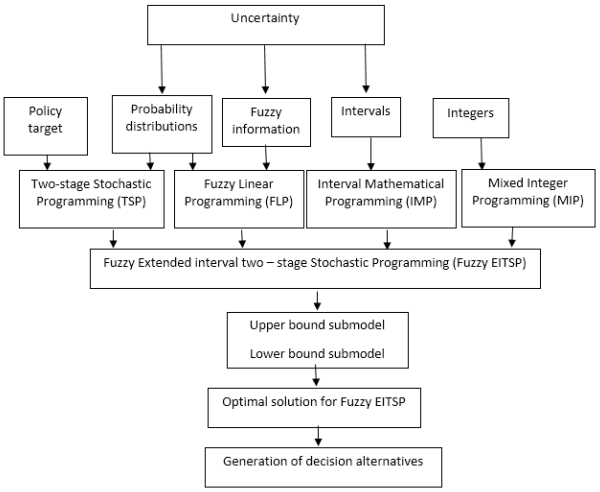
۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز
۳- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(* - نویسنده مسئول: (Email: jnematian@tabrizu.ac.ir

برنامه‌ریزی پارامتری بازه‌ای[1] یکی از جدیدترین تکنیک‌های بهینه‌سازی می‌باشد. به کارگیری پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم قطعیت و در نظر گرفتن سود و زیان مصرف کننده در هنگام تامین یا کمبود آب، از ویژگی‌های این تکنیک می‌باشد که موجب کاربرد متعدد این تکنیک در تصمیم‌گیری‌های سیاستگزاران شده است (Li et al., 2006). همچنین مدل مذکور مقادیر کمبود آب در طی دوره برنامه‌ریزی را ارائه و به مدیر سیستم و مصرف‌کنندگان، فرصت سیاست‌گزاری برای رویارویی با بحران آب را می‌دهد. افزون بر آن، این تکنیک تخصیص نهایی آب بین مصرف‌کنندگان رقیب را با توجه به هدف حداکثرسازی سود کل سیستم ارائه می‌دهد (Huang & Loucks, 2000). این روش در دهه‌های اخیر به طور وسیع در مطالعات مختلف مورد استفاده قرارگرفته است تعدادی از مطالعات در ادامه ارائه شده است. لی و هانگ(۲۰۰۸) برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای فازی بازه‌ای را برای بهینه‌سازی آب سد در کانادا به کار گرفتند. این مدل از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت به صورت مجموعه‌های فازی، پارامترهای بازه‌ای و تابع توزیع احتمال در چارچوب مدل بهینه‌سازی تشکیل شده است (Li and Huang., 2008). علاوه بر آن یک برنامه‌ریزی فازی تصادفی دو مرحله‌ای تعاملی[2] برای مدیریت منابع محدود آب توسط وانگ و هنگ ارائه شده است (Wang & Huang, 2011). هیو و همکاران (۲۰۱۱) رهیافت برنامه‌ریزی فازی دومرحله‌ای را برای مدیریت منابع آب در شرایط وجود چند عدم قطعیت به کار بردند و در مقایسه با مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای به این نتیجه رسیدند که مدل برنامه‌ریزی فازی دومرحله‌ای نتایج منطقی‌تری را ارائه می‌کند و نهایتا سود خالص سیستم افزایش می‌یابد (Hu et al., 2012). دای و لی (۲۰۱۳) از یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط عدم قطعیت در حوضه رودخانه ژانگ ونگ استفاده کردند (Dai & Li, 2013). در مطالعه دیگری نیو و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه رودخانه هیتائو چین مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای را برای تعیین الگوی کشت و تخصیص منابع آبی در شرایط عدم قطعیت و تحت سناریوهای مختلف به کار گرفتند و منافع اقتصادی حاصل از تخصیص بهینه آب را محاسبه کردند (Niu et al., 2016). صبوحی صابونی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی در شرایط عدم قطعیت، تخصیص بهینه آب سد طرق را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه دو نوع مصرف شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مدل نشان داد که سود بخش کشاورزی نسبت به تخصیص آب حساس‌تر است. همچنین با احتمال ۶۶ درصد مصرف‌کننده شهری و با احتمال ۱۸ درصد هر دو مصرف‌کننده دچار کمبود آب می‌شوند. همایونی‌فر و رستگاری‌پور (۱۳۸۹) به ارزیابی نحوه تخصیص بهینه آب سد لتیان بین محصولات کشاورزی مختلف پرداخته‌اند. آنها از دو نوع مدل بهینه‌سازی دو مرحله‌ای نادقیق و مدل برنامه‌ریزی فازی بازه‌ای استفاده کرده‌اند. بر اساس گزارش شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی، سد قلعه چای عجب‌شیر با حجم کل ۴۰ میلیون متر مکعب دارای حوزه آبریز با مساحت ۲۵۰ کیلومتر مربع است. متوسط بارندگی در این حوزه سالانه ۳۴۵ میلیمتر می‌باشد. محدوده مورد بررسی در حاشیه دریاچه ارومیه و در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی تبریز در استان آذربایجان‌شرقی است. شهرستان عجب‌شیر یکی از قطب‌های کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی است که با دارا بودن زمین‌های مرغوب و حاصلخیز از تولیدکنندگان عمده سیب‌زمینی، پیاز، غلات و محصولات باغی در استان و شمال‌غرب کشور است و بیشتر ساکنان ۴۰ روستای این شهرستان و حتی افراد ساکن در شهر عجب‌شیر نیز فقط از راه کشاورزی امرار معاش می‌کنند. با بروز پدیده خشک شدن دریاچه ارومیه، شهرستان عجب‌شیر و زمین‌های کشاورزی آن، بیشترین میزان خسارت را به جهت این که بیشترین سواحل را با این دریاچه دارد به خود دیده است و بحران کم‌آبی در سال‌های اخیر بیشتر زمین‌های کشاورزی این شهرستان را در معرض خطر جدی تبدیل به شوره‌زار قرار داده است و امکان تامین آب مورد نیاز برای کشت محصولات کشاورزی با مشکلی جدی مواجه ساخته است. با توجه به ضرورت و اهمیت توجه به عدم قطعیت در مطالعات مربوط به بهره‌برداری بهینه از منابع آب کشاورزی، در این مطالعه سعی شده است تا با تدوین الگویی مناسب و با در نظر گرفتن عدم قطعیت تخصیص بهینه آب در بخش کشاورزی اراضی پایاب سد قلعه چای مورد بررسی قرار گیرد. در مطالعات انجام گرفته معمولا از روش معمولی ITSP استفاده شده است در مطالعه حاضر برای جبران کمبود منابع آب با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح[3] استفاده شده و با آماده‌سازی یک مدل بهینه تأمین منابع آب، با کمترین هزینه می‌توان مقدار بهینه آب هدف را با کمترین هزینه به دست آورد. همچنین ترکیبی از برنامه‌ریزی صحیح و ITSP به همراه برنامه‌ریزی فازی ما را به روش EITSP رهنمون می کند که این مدل جهت پاسخ به محدودیتهای مدلITSP می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی از جمله روش‌هایی هستند که در مدیریت منابع آب به کار می‌روند و مربوط به تصمیماتی می‌شوند که در آنها برخی از داده‌های برنامه نامطمئن است.

1- Interval – parameter programming (IPP)
2- interactive two-stage stochastic fuzzy programming (ITSFP)
3- Mixed Integer programming (MIP)



شکل ۱- چارچوب مدل Fuzzy EITSP

در این رابطه، برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای[1] یکی از روش‌های رایج بهینه‌سازی می‌باشد. مدل مذکور مقادیر کمبود آب در طی دوره برنامه‌ریزی را ارائه و به مدیر سیستم و مصرف‌کنندگان، فرصت سیاست‌گذاری برای رویارویی با بحران آب را می‌دهد. افزون بر آن، این تکنیک تخصیص نهایی آب بین مصرف‌کنندگان رقیب را با توجه به هدف حداکثرسازی سود کل سیستم ارائه می‌دهد (Huang & Loucks, 2000). مسئله به صورت حداکثر نمودن ارزش مورد انتظار خالص سیستم می‌باشد. شکل (۱) چارچوب مدل را نشان می‌دهد.

بر پایه سیاست‌های مدیریت آب، یک مقدار از پیش تعیین شده برای آب مورد نیاز هر گیاه باید تعیین شود (نیاز آبی گیاه) و این همان مقدار آب وعده داده شده برای گیاه می‌باشد. اگر مقادیر وعده داده شده آب رها شود سبب سوددهی سیستم و در غیر اینصورت سیستم ضرر خواهد نمود. وقتی جریان آب کمتر از مقدار نیاز آبی گیاه باشد کشاورز با کمبود آب مواجه بوده لذا به دنبال منبع جایگزین برای جبران کمبود آب می‌باشند. در چنین مواردی مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه داده شده[2] طبق مدل ۱ کاربرد فراوانی دارد (Nematian, 2016).

$$\text{Maximize } f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} NB_i^{\pm} W_i^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l} E_{ik}^{\pm} \Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \quad (۱)$$

Subject to:

محدودیت مقدار آب موجود
$$\sum_{i=1}^{m} \left(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm}\right) \le q_j^{\pm}, \qquad \forall j$$

محدودیت مقدار آب اختصاصی مجاز
$$S_{ij}^{\pm} \le W_i^{\pm} \le W_{imax}^{\pm}, \qquad \forall i,j$$

محدودیت ظرفیت آلترناتیوها
$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \le 1\,, \qquad \forall i,k$$

محدودیت برای جبران کمبود آب
$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \ge S_{ij}^{\pm}\,, \qquad \forall i,j$$

محدودیت نامنفی بودن متغیرهای تصمیم
$$S_{ij}^{\pm} \ge 0, \qquad \forall i,j,k$$

محدودیت صفر و یک برای استفاده از آلترناتیوها
$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \qquad \forall i,j,k$$

که در این مدل $f^{\pm}$ بازه سود خالص سیستم، $NB_i^{\pm}$ بازه سود خالص محصول از هر متر مکعب آب تخصیصی، $W_i^{\pm}$ بازه مقدار آب وعده داده شده برای محصول i بر حسب متر مکعب (متغیر تصمیم مرحله اول)، $C_i^{\pm}$ بازه ضرر محصول i به ازای هر واحد آب وعده داده شده‌ای که تخصیص نیافته، $S_{ij}^{\pm}$ (متغیر تصمیم مرحله دوم) بازه کمبود آب برای محصولi وقتی مقدار جریان j می‌باشد. $q_j^{\pm}$ بازه متغیر تصادفی عرضه آب با احتمالات p_j (j=1, 2, …, n) می‌باشد، $\delta^{\pm}$ بازه نرخ اتلاف آب حین انتقال به مصرف کنندگان، $W_{imax}^{\pm}$ بازه بیشترین مقدار آب وعده داده شده برای محصول i، m تعداد کل محصولات، i نوع محصول، $i = 1,2,3, \dots, m$، $E_{ik}^{\pm}$ هزینه مصرف یک واحد آب از آلترناتیو k برای محصولi؛ l تعداد کل آلترناتیوها؛ $\Delta T_{ik}^{\pm}$ مقدار آب در دسترس برای محصول i از طریق آلترناتیو k؛ x_{ijk} متغیر تصمیم

1- Interval – parameter two-stage stochastic programming (IPTSP)
2- Extended Interval two - stage stochastic programming (EITSP)

صفر و یک می‌باشد که برابر یک است اگر برای محصول i، آلترناتیو k در سطح جریان j مورد استفاده قرار گیرد. این فواصل به صورت حد بالا و پایین می‌باشند ولی توزیع احتمالات آنها مشخص نمی‌باشد (Huang &locks, 2000. Li & Guo, 2014). در حل مدل‌شماره ۱ نمی‌توان به طور مستقیم از برنامه‌ریزی خطی ساده استفاده نمود زیرا متغیر $W_i^{\pm}$ به صورت بازه‌ای در مدل لحاظ شده است. برای حل این مسئله، مطابق روش هانگ و لوکس (۲۰۰۰)، متغیر تصمیم z_i به صورت معادله شماره ۲ تعریف می‌شود (Huang & Loucks, 2000):

$$W_i^{\pm} = W_i^{-} + \Delta W_i z_i, \quad z_i \in [0,1] \qquad (۲)$$

z_i به عنوان یک متغیر تصمیم برای تعریف بازه بهینه $W_i^{\pm}$ به کار می رود. وقتی که z_i در بالاترین حد خود قرار دارد ($z_i = 1$)، اگر آب مورد نیاز محصول تامین شود، سود سیستم به حداکثر می‌رسد و اگر تامین نشود، میزان ضرر بیشتری برای سیستم حاصل می‌شود. ولی اگر z_i در پایین‌ترین حد خود باشد ($z_i = 0$)، اگر آب مورد نیاز محصول تامین شود، ممکن است سود کمتری به دست آید و اگر تامین نشود ضرر کمتری حاصل میشود. با جایگذاری معادله شماره ۲ در مدل ۱، مدل شماره ۳ به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} Maximize\ f^{\pm} = & \sum_{i=1}^{m} NB_i^{\pm}\,(W_i^{-} + \Delta W_i z_i) \\ & - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{\pm} \\ & - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l} E_{ik}^{\pm}\,\Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \end{aligned} \qquad (۳)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(W_i^{-} + \Delta W_i z_i - S_{ij}^{\pm}\right)\left(1+\delta^{\pm}\right) \le q_j^{\pm}, \forall j$$

$$W_i^{-} + \Delta W_i z_i \le W_{imax}^{+}, \quad \forall i$$

$$-\Delta W_i z_i + S_{ij}^{\pm} \le W_i^{-}, \quad \forall i,j$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \le 1, \quad \forall i,k$$

$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \ge S_{ij}^{\pm}, \quad \forall i,j$$

$$S_{ij}^{-} \ge 0, \quad \forall i,j$$

$$0 \le z_i \le 1, \quad \forall i$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i,j,k$$

در مدل بالا $S_{ij}^{\pm}$ و z_i متغیرهای تصمیم می‌باشند. مدل شماره ۳ برای حل با استفاده از روش هانگ به دو زیرمدل قطعی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تبدیل خواهد شد (Haung, 1996). زمانی که هدف حداکثر کردن سود خالص سیستم است، ابتدا زیر مدلی که f^{+} را به دست می‌دهد تعریف می‌شود که ترکیبی از حد بالای ضرایب سود و متغیرهای تصمیم و حد پایین ضرایب ضرر می‌باشد و مقدار f^{-} ترکیبی از حد پایین ضرایب سود و متغیرهای تصمیم و حد بالای ضرایب ضرر را به دست خواهد داد.

برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه یافته با متغیرهای فازی[1]

بهینه‌سازی فازی یک روش انعطاف‌پذیر، در مقابله با مشکلات دنیای واقعی با وجود اطلاعات مبهم و غیر قطعی می‌باشد. عدد فازی LR[2] $\tilde{A}$ به صورت تابع عضویت شماره ۴ تعریف می‌شود (Puri & Ralescu, 1986):

$$\tilde{A}(X) = \begin{cases} L\left(\dfrac{A^0 - x}{A^-}\right) & if \quad A^0 - A^- \le x \le A^0 \\ 1 & if \quad A^0 \le x \le A^1 \\ R\left(\dfrac{x - A^1}{A^+}\right) & if \quad A^1 \le x \le A^1 + A^+ \end{cases} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، $[A^0, A^1]$ نشان‌دهنده حد بالا و پایین اعداد فازی می‌باشند و A^- و A^+ به ترتیب نشان‌دهنده گستره چپ و راست آن می‌باشند. مدل ITSP توسعه یافته فازی برای مسائل مربوط به مدیریت منابع آب به صورت مدل شماره ۵ می‌باشد:

$$\begin{aligned} Maximize\ \tilde{f}^{\pm} = & \sum_{i=1}^{m} \widetilde{NB}_i W_i^{\pm} \\ & - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \tilde{C}_i S_j^{\pm} \\ & - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l} \tilde{E}_{ik}\,\Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \end{aligned} \qquad (۵)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm})(1+\tilde{\delta}) \le \tilde{q}_{j,}\ \forall j$$

$$S_{ij}^{\pm} \le W_i^{\pm} \le W_{i,max}^{\pm}, \quad \forall i,j$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \le 1, \quad \forall i,k$$

$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{+} x_{ijk} \ge S_{ij}^{+}, \quad \forall i,j$$

$$S_{ij}^{+} \ge 0, \quad \forall i,j$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i,j,k$$

1- Extended ITSP with fuzzy variables
2- Left-Right

که $\widetilde{NB}_i = (NB_i^0, NB_i^1, \alpha_i, \lambda_i)_{LR}$ ،$\tilde{\delta} = (\delta^0, \delta^1, \beta, \gamma)_{LR}$ ،$\tilde{C}_i = (C_i^0, C_i^1, \rho_i, \varphi_i)_{LR}$ و $\tilde{q}_j = (q_j^0, q_j^1, \beta_i, \gamma_i)_{LR}$ اعداد فازی LR می‌باشند. برای حل مسئله فوق می‌توان از روش FCCP [1] براساس تئوری امکان‌پذیری استفاده کرده و محدودیت‌های اول و دوم مدل را به صورت محدودیت‌های قطعی درآورد. بر اساس اصل توسعه در برنامه‌ریزی فازی، $\tilde{f}^+ \geq f^+$، یک رویداد فازی در فضای امکان می‌باشد که درجه امکان‌پذیری آن به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود:

$$\mathrm{Pos}\left(\tilde{f}^{\pm} \geq f^{\pm}\right) = \sup\{min\{\mu_{\tilde{f}^{\pm}}(y_1), \mu_{\tilde{f}^{\pm}}(y_2)\} | y_1 \geq y_2\} \quad (۶)$$

از طرفی $\sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm})(1+\tilde{\delta}) \leq \tilde{q}_j$ نیز رویدادی فازی است که درجه امکان‌پذیری آن به صورت رابطه ۷ می‌باشد:

$$\mathrm{Pos}\left(\sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm})(1+\tilde{\delta}^{\pm}) \leq \tilde{q}_j^{\pm}\right) = \sup\left\{min\left\{\mu_{\tilde{\alpha}_j^{\pm}}(y_1), \mu_{\tilde{q}_j^{\pm}}(y_2)\right\} | y_1 \leq y_2\right\} \quad (۷)$$

که در آن: $\tilde{\alpha}_j^{\pm} = \sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm})(1+\tilde{\delta}^{\pm})$.

با استفاده از روش FCCP براساس تئوری امکان‌پذیری مدل ۵ را می‌توان به صورت مدل شماره ۸ نوشت:

$$\text{Maximize } f^{\pm} \quad (۸)$$

Subject to:

$$\mathrm{Pos}\left(\tilde{f}^{\pm} \geq f^{\pm}\right) \geq \eta^{\pm}$$

$$\mathrm{Pos}\left(\sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm})(1+\tilde{\delta}^{\pm}) \leq \tilde{q}_j^{\pm}\right) \geq h^{\pm}, \forall j$$

$$S_{ij}^{\pm} \leq W_i^{\pm} \leq W_{imax}^{\pm}, \quad \forall i,j$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i,k$$

$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \geq S_{ij}^{\pm}, \quad \forall i,j$$

$$S_{ij}^{\pm} \geq 0, \quad \forall i,j$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i,j,k$$

در [1] مدل قوق $\eta^{\pm}$ و $h^{\pm}$ ، سطوح قابل قبول امکان‌پذیری می‌باشند. با استفاده از قضیه زیر می‌توان محدودیت‌های اول و دوم مدل را به صورت محدودیتهای قطعی درآورد (Nematian, 2016).

قضیه ۱: برای هر بردار تصمیم گیری، اینگونه است که:

1) $Pos\left(\tilde{f}^{\pm} \geq f^{\pm}\right) \geq \eta^{\pm} \quad \Leftrightarrow$

$$\sum_{i=1}^{m}(NB_i^1 + R^*(\eta^{\pm})\lambda_i)\mathrm{W}_i^{\pm} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j(-C_i^0 + R^*(\eta^{\pm})\rho_i)\, S_{ij}^{\pm} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l}(-E_{ik}^0 + R^*(\eta^{\pm})\alpha_{ik})\,\Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \geq f^{\pm}$$

2) $Pos\left(\sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm})(1+\tilde{\delta}^{\pm}) \leq \tilde{q}_j^{\pm}\right) \geq h^{\pm} \quad \Leftrightarrow$

$$\sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm})(1+\delta^0 - L^*(h^{\pm})\beta) \leq q_j^1 + R^*(h^{\pm})\gamma_j$$

که در آن L^* و R^* توابعی معکوس به صورت زیر می‌باشند:

$$L^*(\lambda) = \sup\{t | L(t) \geq \lambda\} \text{ و } R^*(\lambda) = \sup\{t | R(t) \geq \lambda\}$$

با توجه به قضیه ۱ و با استفاده از روش هانگ (۱۹۹۶) مدل ۸ به دو زیرمدل قطعی زیر تبدیل خواهد شد، که هر کدام مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط می‌باشند (Haung, 1996):

$$Maximize\ f^+ \quad (۹)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{m}(NB_i^1 + R^*(\eta^-)\lambda_i)(W_i^- + \Delta W_i z_i) + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j(-C_i^0 + R^*(\eta^-)\rho_i)\, S_{ij}^- + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l}(-E_{ik}^0 + R^*(\eta^-)\alpha_{ik})\,\Delta T_{ik}^- x_{ijk} \geq f^+$$

$$\sum_{i=1}^{m}(W_i^- + \Delta W_i z_i - S_{ij}^-)(1+\delta^0 - L^*(h^-)\beta) \leq q_j^1 + R^*(h^-)\gamma_j, \forall j$$

$$S_{ij}^- \leq W_i^- + \Delta W_i z_i \leq W_{i,max}^+, \quad \forall i,j$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i,k$$

$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^- x_{ijk} \geq S_{ij}^-, \quad \forall i,j$$

$$S_{ij}^- \geq 0, \quad \forall i,j$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i,j,k$$

$$0 \leq z_i \leq 1, \quad \forall i$$

در مدل فوق η^- وh^-، سطوح قابل قبول امکان‌پذیری بوده و S_{ij}^-، z_i و x_{ijk} متغیرهای تصمیم می‌باشند و مقدار بهینه آب

1- Fuzzy Chance-constrained Programming (FCCP)

اختصاص یافته به وسیله فرمول $W_i^{+} = W_i^{-} + \Delta W_i z_i$ مشخص می‌شود. با حل مدل فوق مقادیر S_{ijopt}^{-}، z_{iopt} و $x_{ijkopt(f^+)}$ محاسبه شده و برای حل مدل ۱۰ به کار می‌روند.

$$Maximize\ f^{-} \qquad (۱۰)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m}(NB_i^1 + R^*(\eta^+)\lambda_i)(\mathrm{W_i^-} + \Delta W_i z_{iopt}) + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j(-C_i^0 + R^*(\eta^+)\rho_i)\, S_{ij}^{+} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l}(-E_{ik}^0 + R^*(\eta^+)\alpha_{ik})\,\Delta T_{ik}^{+} x_{ijk} \geq f^{-}$$

$$\sum_{i=1}^{m}\left(W_i^- + \Delta W_i z_{iopt} - S_{ij}^{+}\right)(1 + \delta^0 - L^*(h^+)\beta) \leq q_j^1 + R^*(h^+)\gamma_j, \qquad \forall j$$

$$S_{ij}^{+} \leq (W_i^- + \Delta W_i z_i) \leq W_{imax}^-, \qquad \forall i,j$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \leq 1\,, \qquad \forall i,k$$

$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{+} x_{ijk} \geq S_{ij}^{+}\,, \qquad \forall i,j$$

$$S_{ij}^{+} \geq 0, \qquad \forall i,j$$

$$x_{ijk} \geq x_{ijkopt(f^+)}, \qquad \forall i,j$$

$$S_{ij}^{+} \geq S_{ijopt}^{-}, \qquad \forall i,j$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \qquad \forall i,j,k$$

در مدل فوق S_{ij}^{+} و x_{ijk} متغیرهای تصمیم می‌باشند. مدل‌های ۶ و ۷ مدل‌های قطعی بوده و با روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح حل می‌شوند و نهایتا راه حل بهینه مشخص می‌شود.

$$S_{ijopt}^{\pm} = \left[S_{ijopt}^{-}, S_{ijopt}^{+}\right], \quad \forall i,j \qquad , \qquad (۱۱)$$
$$f_{opt}^{\pm} = [f_{opt}^{-}, f_{opt}^{+}]$$

که S_{ijopt}^{-} و f_{opt}^{+} مقادیر بهینه مدل ۶ و S_{ijopt}^{+} و f_{opt}^{-} مقادیر بهینه مدل ۱۰ می‌باشند. مقدار بهینه واقعی آب تخصیص یافته نیز بوسیله رابطه ۱۲ قابل محاسبه است:

$$A_{ijopt}^{\pm} = W_{iopt}^{\pm} - S_{ijopt}^{\pm}, \qquad \forall i,j \qquad (۱۲)$$

با توجه به ماهیت مطالعه، آمار و اطلاعات مربوط به عرضه آب، بارندگی ماهانه، هزینه‌ها و درآمدهای حاصل از تولید محصولات مختلف کشاورزی در حوضه سد قلعه‌چای عجب‌شیر از سازمان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی در سال ۹۵-۱۳۹۴ جمع‌آوری شده و در مواردی از طریق تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان به صورت نمونه‌گیری تصادفی ساده داده‌های مورد نیاز گردآوری گردید و با استفاده از این اطلاعات، الگوریتم‌های لازم برای حل مدل برنامه‌ریزی، در بسته نرم افزاری GAMS نوشته و محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از مدل ITSP توسعه یافته و مدل ITSP توسعه یافته فازی برای تخصیص بهینه آب سد قلعه چای عجب‌شیر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. جدول ۱ اطلاعات مربوط به عرضه آب و احتمال سطح جریان آب را بر اساس داده‌های بارندگی ۳۵ سال گذشته (۹۵- ۱۳۶۰) نشان می‌دهد که با استفاده از شاخص بارش استاندارد[1] حوزه سد در ۳۱ درصد حالات دارای خشکسالی (جریان کم)، ۴۲ درصد دارای سال نرمال (جریان متوسط) و در ۲۷ درصد حالات دارای ترسالی (جریان زیاد) بوده است.

مقادیر آب وعده داده شده برای محصولات مختلف، توسط نیاز ناخالص آبیاری[2] محاسبه و حد بالا و پایین آن با در نظر گرفتن حد بالا و پایین راندمان آبیاری منطقه بدست آمده است و متغیر حداکثر میزان تخصیص آب به محصولات مختلف با در نظرگرفتن نامطلوبترین راندمان آبیاری منطقه محاسبه گردید. راندمان آبیاری منطقه بر اساس گزارش کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای استان بین ۳۵ تا ۵۵ درصد می‌باشد. اگر آب وعده داده شده به کشاورز تامین نشود، او دو گزینه در پیش رو دارد یا اینکه آب را باید از منبع دیگر و به قیمت بالاتر خریداری کند و یا اینکه ضرر حاصل از کاهش محصول را انتخاب کند. تفاوت بین قیمت خرید یک واحد آب از سایر منابع و قیمت حقابه به عنوان کاهش در سود هر یک از محصولات در نظر گرفته شد و با استفاده از داده‌های درآمد – هزینه، کاهش در سود خالص به ازای یک واحد کاهش آب وعده شده و همچنین سود خالص به ازای یک واحد آب رها شده محاسبه گردیده و نتایج در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

برای حل مشکل مدیریت آب، مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده به کار برده می‌شود تا فاصله بین مقدار آب وعده داده شده و آب تخصیص یافته واقعی جبران شود. در این مدل کشاورز قصد دارد با انتخاب آلترناتیوهای مختلف همچون خرید سهم آب سد مزرعه همجوار (آلترناتیو ۱)، استفاده از آب چاه موجود در مزرعه (آلترناتیو ۲) و یا انتقال آب از چاه مزرعه همجوار (آلترناتیو ۳) نیاز آبی گیاه را تامین کند که باعث افزایش هزینه‌های تولید خواهد شد. جدول شماره ۳ هزینه تامین یک متر مکعب آب ($E_{ik}^{\pm}$) و مقدار آب قابل دسترس برای محصولات مختلف از سایر آلترناتیوها ($\Delta T_{ik}^{\pm}$) را نشان می‌دهد.

1- Standardized Precipitation Index (SPI)

۲- نیاز ناخالص آبیاری= نیازخالص آبیاری/ راندمان آبیاری

جدول ۱- عرضه آب در سطوح مختلف جریان و احتمال انواع سطح جریان در سد قلعه‌چای عجب‌شیر

سطح جریان	احتمال(٪)	عرضه آب (میلیون متر مکعب)
کم	۰/۳۱	[۴۳،۳۱]
متوسط	۰/۴۲	[۵۴،۴۵]
زیاد	۰/۲۷	[۶۵،۵۶]

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- اطلاعات اقتصادی مربوط به آب وعده داده شده بین محصولات کشاورزی در سد قلعه‌چای عجب‌شیر

محصول	آب وعده داده شده ($W_i^{\pm}$) (میلیون مترمکعب)	سود خالص به ازای یک متر مکعب آب تخصیصی ($NB_i^{\pm}$) (ریال)	کاهش در سود خالص به ازای یک متر مکعب کاهش آب وعده شده ($C_i^{\pm}$) (ریال)
گندم	[۹/۲۸ ،۷/۲]	[۲۷۱۰ ،۲۲۱۷]	[۲۰۹۳ ،۱۷۱۳]
جو	[۱/۹ ،۱/۴]	[۲۱۸۲ ،۱۷۸۵]	[۱۶۷۵ ،۱۳۷۰]
سیب زمینی	[۱۰/۴ ،۸/۱]	[۴۸۰۱ ،۳۹۲۸]	[۳۳۳۵ ،۲۷۲۸]
پیاز	[۲/۱ ،۱/۶]	[۵۷۴۱ ،۴۶۹۷]	[۴۴۷۹ ،۳۶۶۴]
انگور	[۱۳/۹ ،۱۰/۸]	[۲۷۶۷ ،۲۲۶۴]	[۳۱۷۴ ،۲۵۹۷]
گردو	[۱۱ ،۸/۵]	[۴۷۰۹۴ ،۳۸۵۳۲]	[۶۲۴۱ ،۵۴۲۶]
بادام	[۸/۹ ،۶/۹]	[۵۷۹۳۰ ،۴۷۳۹۷]	[۷۸۸۲ ،۶۴۴۹]
سیب	[۲/۸ ،۲/۱]	[۱۴۴۷ ،۱۱۸۴]	[۷۶۵۶ ،۶۳۷۱]

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- هزینه تامین یک متر مکعب آب و مقدار آب قابل دسترسی از سایر آلترناتیوها در سد قلعه چای عجب شیر

	$(E_{ik}^{\pm})$ (ریال/ متر مکعب)			$(\Delta T_{ik}^{\pm})$ (میلیون متر مکعب)		
	K=1	K=2	K=3	K=1	K=2	K=3
گندم	[۱۰۴۷ ،۱۰۲۸]	[۲۰۹۳ ،۱۷۱۳]	[۱۲۵۶ ،۸۵۷]	[۲۰ ،۱۵]	[۱۸ ،۱۵]	[۲۱ ،۱۷]
جو	[۱۰۰۵ ،۶۸۵]	[۱۶۷۵ ،۱۳۷۰]	[۸۳۸ ،۸۲۲]	[۴/۲ ،۳]	[۴ ،۳]	[۵ ،۳/۵]
سیب زمینی	[۱۶۶۸ ،۱۶۳۷]	[۳۳۳۵ ،۲۷۲۸]	[۲۰۰۱ ،۱۳۶۴]	[۲۰ ،۱۸]	[۱۸ ،۱۷]	[۲۱ ،۱۹]
پیاز	[۲۶۸۷ ،۱۸۳۲]	[۴۴۷۹ ،۳۶۶۴]	[۲۲۴۰ ،۲۱۹۸]	[۳ ،۲]	[۴ ،۳/۵]	[۵ ،۳/۵]
انگور	[۱۵۸۷ ،۱۵۵۸]	[۳۱۷۴ ،۲۵۹۷]	[۱۹۰۴ ،۱۲۹۸]	[۲۴ ،۲۲]	[۳۲ ،۲۷]	[۳۲ ،۲۷]
گردو	[۳۷۴۵ ،۲۷۱۳]	[۶۲۴۱ ،۵۴۲۶]	[۳۱۲۱ ،۳۲۵۶]	[۲۵ ،۲۲]	[۳۲ ،۳۰]	[۳۲ ،۳۰]
بادام	[۳۹۴۱ ،۳۸۶۹]	[۷۸۸۲ ،۶۴۴۹]	[۴۷۲۹ ،۳۲۲۵]	[۲۲ ،۱۹]	[۲۱ ،۱۸]	[۲۰ ،۱۷]
سیب	[۴۵۹۴ ،۳۱۸۶]	[۷۶۵۶ ،۶۳۷۱]	[۳۸۲۸ ،۳۸۲۳]	[۷ ،۵]	[۶ ،۵]	[۶ ،۴/۵]

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده در جدول (۴) ارائه شده است. کمبودها در سطوح مختلف جریان برای محصولات مختلف بر اساس مقدار آب وعده داده شده و مقدار تخصیص نهایی آب برای محصولات مختلف محاسبه شده است.

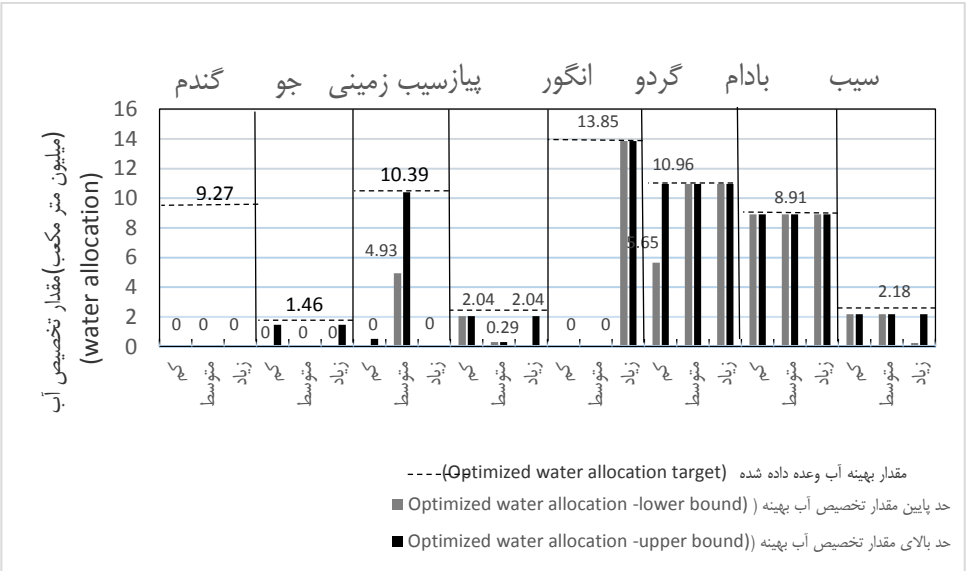
با توجه به نتایج مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده در سطح جریان کم برای گندم و انگورکمبود کامل وجود دارد و مقدار تخصیص نهایی آب برای آن صفر می‌باشد، برای جو مقدار کمبود و مقدار تخصیص [۱/۴۶، ۰] میلیون متر مکعب می‌باشد. برای سیب‌زمینی مقدار کمبود آب و مقدار تخصیص نهایی آب به ترتیب [۱۰/۳۹، ۹/۸۷] و [۰/۵۱، ۰] میلیون متر مکعب و همین موارد برای گردو به ترتیب [۵/۳۰، ۰] و [۱۰/۹۶، ۵/۶۵] میلیون متر مکعب است. برای پیاز، بادام و سیب کمبودی وجود ندارد و تخصیص کامل صورت می‌پذیرد. در سطح جریان نرمال برای گندم، جو و انگورکمبود کامل وجود دارد و مقدار تخصیص نهایی آب برای آن صفر می‌باشد، برای سیب‌زمینی مقدار کمبود آب و مقدار تخصیص نهایی آب به ترتیب [۵/۴۶، ۰] [۱۰/۳۹، ۴/۹۳] میلیون متر مکعب و همین موارد برای پیاز به ترتیب ۱/۷۵ و ۰/۲۹ میلیون متر مکعب

است. برای گردو، بادام و سیب کمبودی وجود ندارد و تخصیص کامل صورت می‌پذیرد. در سطح جریان زیاد برای گندم و سیب‌زمینی کمبود کامل وجود دارد و مقدار تخصیص نهایی آب برای این محصولات را می توان صفر در نظر گرفت. برای جو مقدار کمبود و مقدار تخصیص در فاصله [۱/۴۶، ۰] میلیون متر مکعب می‌باشد. در جریان زیاد مقدار کمبود برای محصولات جو، پیاز و سیب به ترتیب در فاصله [۱/۴۶، ۰]، [۲/۰۴، ۰] و [۱/۹۶، ۰] میلیون متر مکعب می‌باشد. مقدار تخصیص نهایی آب از کسر این فواصل از مقدار بهینه آب وعده داده شده به دست می‌آید که این مقادیر به ترتیب [۱/۴۶، ۰]، [۲/۰۴، ۰] و [۲/۱۸، ۰/۲۲] میلیون متر مکعب می‌باشد. برای انگور، گردو و بادام کمبودی وجود ندارد و تخصیص کامل صورت می‌پذیرد. بر اساس مدل برنامه‌ریزی در شرایط کم آبی و نرمال اگر محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی و انگور کشت نشوند سود سیستم حداکثر خواهد بود. نتایج مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده در شکل (۲) نمایش داده شده است.

جدول ٤- جواب‌های بهینه مدل ITSP توسعه یافته تحت مقدار بهینه آب وعده داده شده در سد قلعه چای عجب شیر (واحد: میلیون متر مکعب)

		گندم	جو	سیب زمینی	پیاز	انگور	گردو	بادام	سیب
مقدار بهینه آب وعده داده شده $(W_{iopt}^{\pm})$		۹/۲۷	۱/٤٦	۱۰/۳۹	۲/۰٤	۱۳/۸۵	۱۰/۹٦	۸/۹۱	۲/۱۸
کمبودها $(S_{ijopt}^{\pm})$	جریان کم	۹/۲۷	[۰ ،۱/۴۶]	[۹/۸۷ ،۱۰/۳۹]	۰	۱۳/۸۵	[۰ ،۵/۳۰]	۰	۰
	جریان متوسط	۹/۲۷	۱/۴۶	[۰ ،۵/۴۶]	۱/۷۵	۱۳/۸۵	۰	۰	۰
	جریان زیاد	۹/۲۷	[۰ ،۱/۴۶]	۱۰/۳۹	[۰ ،۲/۰۴]	۰	۰	۰	[۰ ،۱/۹۶]
تخصیص نهایی آب $(A_{ijopt}^{\pm})$	جریان کم	۰	[۰ ،۱/۴۶]	[۰ ،۰/۵۱]	۲/۰۴	۰	[۵/۶۵ ،۱۰/۹۶]	۸/۹۱	۲/۱۸
	جریان متوسط	۰	۰	[۴/۹۳ ،۱۰/۳۹]	۰/۲۹	۰	۱۰/۹۶	۸/۹۱	۲/۱۸
	جریان زیاد	۰	[۰ ،۱/۴۶]	۰	[۰ ،۲/۰۴]	۱۳/۸۵	۱۰/۹۶	۸/۹۱	[۰/۲۲ ،۲/۱۸]
سود خالص سیستم (میلیون ریال)		[۶۹۴۰۶۹/۴۵ ،۱۰۴۰۶۲۴/۷۹]							

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۲- الگوی تخصیص بهینه آب سد قلعه چای بر اساس مدل ITSP توسعه یافته بر اساس سطوح مختلف جریان

با توجه به کمبود آب موجود در سطوح مختلف جریان کشاورز می‌تواند از منابع کمکی برای جبران کمبود آب استفاده کند. نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه‌داده شده نشان می‌دهد که آلترناتیو اول در سطح جریان کم برای گندم و گردو، در سطح جریان نرمال برای جو، پیاز و انگور و در سطح جریان زیاد برای سیب‌زمینی مناسب می‌باشد. همچنین آلترناتیو دوم در سطح جریان کم برای سیب‌زمینی، در سطح جریان زیاد برای جو مناسب می‌باشد. نهایتا آلترناتیو سوم در سطح جریان کم برای جو، سیب‌زمینی و انگور، در سطح جریان نرمال برای گندم و در سطح جریان زیاد برای پیاز و سیب مناسب می‌باشد. آلترناتیوهای مورد استفاده برای محصولات در سطوح مختلف جریان در جدول ۵ گزارش شده است.

جدول ۵- تصمیم بهینه برای انتخاب آلترناتیوها در سطوح مختلف جریان برای محصولات مختلف در سد قلعه چای عجب شیر

		آلترناتیو K(Alternative)		
محصول (i)	سطح جریان (j)	K=1	K=2	K=3
گندم (i=1)	j=1	●	-	-
	j=2	-	-	●
	j=3	-	●	-
جو(i=2)	j=1	-	-	●
	j=2	●	-	-
	j=3	-	●	-
سیب زمینی(i=3)	j=1	-	-	●
	j=2	-	●	-
	j=3	●	-	-
پیاز(i=4)	j=1	-	-	-
	j=2	●	-	-
	j=3	-	-	●
انگور(i=5)	j=1	-	-	●
	j=2	●	-	-
	j=3	-	-	-
گردو(i=6)	j=1	●	-	-
	j=2	-	-	-
	j=3	-	-	-
بادام(i=7)	j=1	-	-	-
	j=2	-	-	-
	j=3	-	-	-
سیب(i=8)	j=1	-	-	-
	j=2	-	-	-
	j=3	-	-	●

منبع: یافته‌های تحقیق

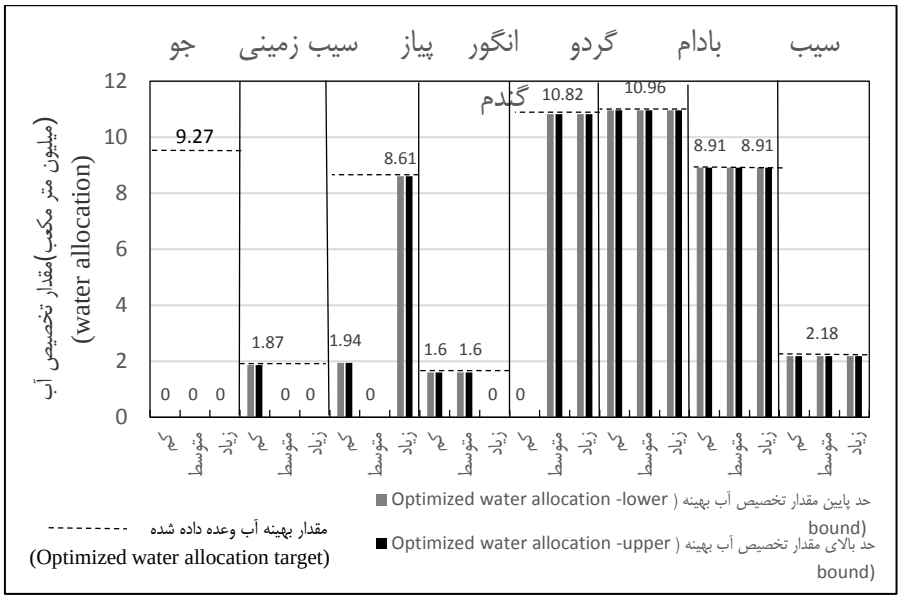
جدول ۶ نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی دومرحله‌ای فازی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج می‌توان گفت در سطح جریان کم برای گندم و انگورکمبود کامل وجود دارد که مقدار تخصیص نهایی آب برای این محصولات صفر است. مقدار کمبود برای سیب‌زمینی ۶/۶۷ میلیون مترمکعب و مقدار تخصیص نهایی آب برای این محصول برابر ۱/۹۴میلیون مترمکعب می‌باشد. برای جو، پیاز، گردو، بادام و سیب کمبودی وجود ندارد. در سطح جریان نرمال برای گندم، جو و سیب‌زمینی کمبود کامل وجود دارد و مقدار تخصیص نهایی آب برای این محصولات صفر است. برای پیاز، انگور، گردو، بادام و سیب کمبودی وجود ندارد. در سطح جریان زیاد و ترسالی برای گندم، جو و پیاز کمبود کامل وجود دارد و مقدار تخصیص نهایی آب برای این محصولات را می توان صفر در نظر گرفت و برای بقیه محصولات کمبودی وجود ندارد. بر اساس مدل برنامه‌ریزی در شرایط کم آبی اگر محصولات گندم و انگور و در شرایط نرمال گندم، جو و سیب‌زمینی کشت نشوند سود سیستم حداکثر خواهد بود. این مقادیر را می‌توان با استفاده از شکل ۳ به خوبی مقایسه نمود.

نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده با متغیرهای فازی نشان می‌دهد که آلترناتیو اول در سطح جریان کم برای گندم، سیب‌زمینی و انگور، در سطح جریان نرمال برای جو و در سطح جریان زیاد برای پیاز مناسب می‌باشد. همچنین آلترناتیو دوم در سطح جریان زیاد برای گندم، جو، سیب‌زمینی و انگور مناسب می‌باشد. نهایتا آلترناتیو سوم در سطح جریان کم برای جو، انگور و بادام، در سطح جریان نرمال برای گندم مناسب می‌باشد. آلترناتیوهای مورد استفاده برای محصولات در سطوح مختلف جریان در جدول ۷ گزارش شده است.

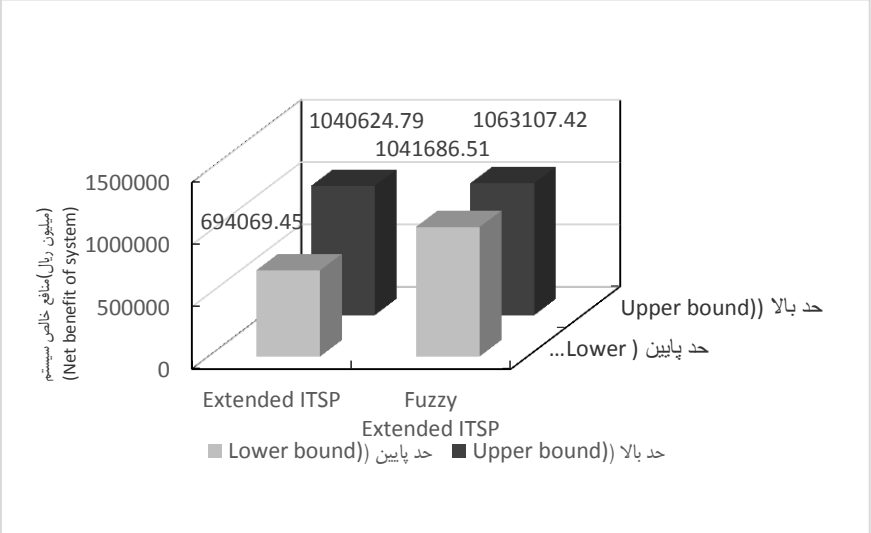
جدول ٦- جواب‌های بهینه مدل ITSP توسعه یافته فازی در سد قلعه چای عجب شیر (واحد: میلیون متر مکعب)

		گندم	جو	سیب زمینی	پیاز	انگور	گردو	بادام	سیب
مقدار بهینه آب وعده داده شده ($W_{iopt}^{\pm}$)		۹/۲۷	۱/۸۷	۸/٦۱	۱/٦۰	۱۰/۸۲	۱۰/۹٦	۸/۹۱	۲/۱۸
کمبودها ($S_{ijopt}^{\pm}$)	جریان کم	۹/۲۷	۰	۶/۶۷	۰	۱۰/۸۲	۰	۰	۰
	جریان متوسط	۹/۲۷	۱/۸۷	۸/۶۱	۰	۰	۰	۰	۰
	جریان زیاد	۹/۲۷	۱/۸۷	۰	۱/۶۰	۰	۰	۰	۰
تخصیص‌نهایی آب ($A_{ijopt}^{\pm}$)	جریان کم	۰	۱/۸۷	۱/۹۴	۱/۶۰	۰	۱۰/۹۶	۸/۹۱	۲/۱۸
	جریان متوسط	۰	۰	۰	۱/۶۰	۱۰/۸۲	۱۰/۹۶	۸/۹۱	۲/۸۱
	جریان زیاد	۰	۰	۸/۶۱	۰	۱۰/۸۲	۱۰/۹۶	۸/۹۱	۲/۱۸
سود خالص سیستم (میلیون ریال)		[۱۰۴۱۶۸۶/۵۱ ،۱۰۶۳۱۰۷/۴۲]							

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۳- الگوی تخصیص بهینه آب سد قلعه چای بر اساس مدل ITSP توسعه یافته فازی بر اساس سطوح مختلف جریان



شکل ٤- مقایسه سود خالص حاصل از دو مدل ITSP توسعه داده شده و ITSP توسعه داده شده فازی در سد قلعه چای عجب شیر

جدول ۷- تصمیم بهینه برای انتخاب آلترناتیوها در شرایط فازی در سد قلعه چای عجب شیر

		آلترناتیو K(Alternative)		
محصول (i)	سطح جریان (j)	K=1	K=2	K=3
گندم (i=1)	j=1	●	–	-
	j=2	-	–	●
	j=3	–	●	–
جو(i=2)	j=1	–	–	–
	j=2	●	–	–
	j=3	–	–	●
سیب زمینی (i=3)	j=1	●	–	–
	j=2	–	–	●
	j=3	–	–	–
پیاز(i=4)	j=1	–	–	–
	j=2	-	–	–
	j=3	●	–	–
انگور(i=5)	j=1	●	–	–
	j=2	–	–	–
	j=3	–	–	–
گردو(i=6)	j=1	–	–	–
	j=2	–	–	–
	j=3	–	–	–
بادام(i=7)	j=1	–	–	–
	j=2	–	–	–
	j=3	–	–	–
سیب(i=8)	j=1	–	–	–
	j=2	–	–	–
	j=3	–	–	–

منبع: یافته‌های تحقیق

مقایسه نتایج دو مدل برنامه‌ریزی نشان می‌دهد حد پایین سود در مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه‌داده شده و برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه‌داده شده با متغیرهای فازی به ترتیب ۶۹۴۰۶۹/۴۵ و ۱۰۴۱۶۸۶/۵۱میلیون ریال و حد بالای سود به ترتیب ۱۰۴۰۶۲۴/۷۹ و ۱۰۶۳۱۰۷/۴۲ میلیون ریال می‌باشد. با مقایسه این مقادیر می‌توان اظهار داشت در مدل ITSP توسعه یافته فازی سود بیشتربوده و فاصله لحاظ شده برای سود کمتر می‌باشد. به عبارت دیگر در مدل فازی به طور همزمان سود و قطعیت سیستم افزایش می‌یابد(شکل ۴).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر بهره‌برداری بهینه آب سد قلعه‌چای عجب‌شیر بین محصولات مختلف کشاورزی در شرایط عدم حتمیت با کاربرد مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه داده شده و برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه داده شده با متغیرهای فازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بهینه حاصل از مدل ITSP توسعه داده شده نشان داد که مقدار تخصیص نهایی آب در سطح جریان کم برای گندم و انگور، در سطح جریان نرمال برای گندم، جو و انگور و در سطح جریان زیاد برای گندم و سیب‌زمینی صفر می‌باشد و در سطح جریان کم برای پیاز، بادام و سیب، در سطح جریان نرمال برای گردو، بادام و سیب و نهایتا در جریان زیاد برای انگور، گردو و بادام به اندازه نیاز آبی گیاه آب اختصاص یافته و اصلا کمبودی وجود ندارد برای مابقی محصولات در برنامه بهینه آب اختصاص داده شده است. کشاورز می‌تواند برای جبران کمبود آب از منابع کمکی استفاده کند. نتایج مدل ITSP توسعه داده شده با متغیرهای فازی نیز نشان می‌دهد که مقدار تخصیص نهایی آب در سطح جریان کم برای گندم و انگور در سطح جریان نرمال برای گندم، جو و سیب‌زمینی و در سطح جریان زیاد برای گندم، جو و پیاز صفر می‌باشد. برای مابقی

محصولات در برنامه بهینه مقدار آب وعده داده شده به‌طور کامل اختصاص داده شده است. مقایسه نتایج حاصل از دو مدل نشان می‌دهد که در مدل ITSP توسعه یافته فازی نسبت به مدل ITSP توسعه داده شده سود بیشتربوده و فاصله لحاظ شده برای سود کمتر می‌باشد. به عبارت دیگر در مدل فازی به طور همزمان سود و قطعیت سیستم افزایش می‌یابد. لذا پیشنهاد می‌شود با توجه به کمبود منابع آب در بخش کشاورزی و نبود قطعیت، مسئولان کشاورزی شهرستان عجب‌شیر با ارائه مدل بهینه ضمن افزایش سودآوری کشاورزان، باعث کاهش ناپایداری در استفاده از منابع آبی شوند. همچنین کشاورزان و تصمیم‌گیرندگان در این حیطه می‌توانند با توجه به جداول مربوطه مناسب‌ترین آلترناتیو را برای جبران کمبود آب انتخاب کنند. رویکرد توسعه یافته در این مطالعه می‌تواند برای سایر موضوعات مدیریت منابع آب مانند برنامه‌ریزی کنترل سیلاب[1]، مدیریت رودخانه[2] و مسائل مربوط به محیط زیست و مدیریت انرژی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

صبوحی صابونی، م.، رستگاری‌پور، ف. و کیخا، ا.ع. ۱۳۸۷. تخصیص بهینه آب سد طرق بین مصارف شهری و کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی با پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم حتمیت. مجله اقتصاد و کشاورزی. ۳. ۱: ۳۳-۵۵.

صبوحی صابونی، م و مجرد، ع. ۱۳۸۹. کاربرد نظریه بازی‌ها در مدیریت حوزه آبریز اترک. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۲۴. ۱: ۱- ۱۲.

مردانی، م.، سخدری، ح. و صبوحی، م. ۱۳۹۰. کاربرد برنامه‌ریزی چند هدفه و پارامترهای کنترل‌کننده میزان محافظه‌کاری در برنامه‌ریزی زراعی؛ مطالعه موردی: شهرستان مشهد. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۳. ۲: ۱۶۳- ۱۸۰.

محمدی، ی. شعبانعلی فمی، ح. و اسدی، ع. ۱۳۸۸. تحلیل مولفه‌های موثر بر مدیریت آب کشاورزی در شهرستان زرین دشت از دیدگاه کشاورزان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۶. ۲.

محمدی، ی. شعبانعلی فمی، ح. و اسدی، ع. ۱۳۸۹. شناسایی و تحلیل مشکلات مدیریت آب کشاورزی در شهرستان زرین دشت، استان فارس. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. دوره ۲-۴۱. ۴: ۵۰۱-۵۱۱.

همایونی‌فر، م. و رستگاری‌پور، ف. ۱۳۸۹. تخصیص آب سد لیتیان بین محصولات کشاورزی در شرایط عدم حتمیت. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۱۴. ۴: ۲۵۹-۲۶۷.

Dai Z. Y., and Li Y. P. 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land use planning under uncertainty. Agricultural Water Management. 129: 69-79.

http://www.azarwater.ir (Regional Water Company of East Azarbaijan.).

Hu, Q., Huang, G., Liu, Z., Fan, Y., and Li, W. 2012. Inexact fuzzy two-stage programming for water resources management in an environment of fuzziness and randomness. Stochastic Environ. Res. Risk Assess. 26.2: 261-280. http://dx.doi.org/10.1007/s00477-011- 0503-7.

Huang, G. H. 1996. IPWM: an interval parameter water quality management model. Engineering Optimization. 26: 79–103.

Huang G. H., and Loucks D.P. 2000. An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Civil Engineering and Environmental Systems. 17.2: 95–118.

Li Y. P., and Huang G. H. 2008. Interval-parameter two-stage stochastic nonlinear programming for water resources management under uncertainty. Water Resources Management. 22.6: 681-698.

Li M., and Guo P. 2014. A multi- objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. Applied Mathematical Modelling. 19:4897-4911.

Nematian J. 2016. An extended two- stage stochastic programming approach for water resources management under uncertainty. Journal of Environmental Information. 27.2: 72-84.

Niu G., Li Y.P., Huang G.H., Liu J., and Fan Y.R. 2016. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. Agricultural Water Management. 166: 53-69.

Puri, M. L. and Ralescu, S. 1986. Limit theorems for random central order statistics. Institute of Mathematical Statistics Lecture Notes - Monograph Series. 447-475.

Regulwar D.G., Gurav J.B. 2011. Irrigation planning under uncertainty –a multi objective fuzzy linear programming approach. Water Resource Management, 25 .5: 1387–1416.

Wang, S., and Huang, G. H. 2011. Interactive two-stage stochastic fuzzy programming for water resources management. Journal of Environmental Management. 92.8: 1986-1995.

1- Flood diversion planning
2- River management

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 168-180

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۱۸۰-۱۶۸

Optimal Utilization of Water Resources of Ajbashir Qaleh Chay Dam
Fuzzy Stochastic Programming Approach

M. Jafari Sani[1], J. Nematian[2*], B. Hayati[3], M. Ghahremanzadeh[4]
Recived: Sep.22, 2019 Accepted: Nov.04, 2019

Abstract

Low participation and poor temporal and local distribution of rainfall in Iran and the importance of food security and sustainable agriculture make the need for proper and scientific use of water resources inevitable. In this study, optimal utilization of water resources of Ajbashir Qaleh Chay Dam in agricultural sector was investigated using extended Interval two - stage stochastic programming (ITSP) and extended ITSP with fuzzy variables. The data were collected from Regional Water Company and Agriculture Jihad Organization of East Azarbaijan in 2015-16, and in some cases, completed by a questionnaire. The model were written in the GAMS package. Results of extended ITSP showed that if the optimization method is used, the final allocation of water is zero, at low flow level for wheat and grape, at normal flow level for wheat, barley and grapes, and at high current levels for wheat and potato. The results of extended ITSP with fuzzy variables shows that the final water allocation at low flow level for wheat and grapes, at the normal flow level for wheat, barley and potato and at high current levels for wheat , barley and onion is zero. For the rest of the products, the optimal water allocation target is provided based on this optimized model. Comparing the total system profits of the two models shows that in the fuzzy model, the profit and system certainty increases simultaneously. Therefore, due to the lack of water resources in the agricultural sector and uncertainty, the officials of agriculture in Ajbashir by providing an optimal model while increasing farmers' profitability, reduce the unsustainability of water resources.

JEL Classification: C02, C61, Q25
Keywords*:* Extended interval two - stage stochastic programming, Fuzzy programming, Uncertainty, Water allocation, Optimization.

1- Ph.D. Student of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
2- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz
3- Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
4- Associate Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
(*- Corresponding Author Email: jnematian@tabrizu.ac.ir)