نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، ص. ۲۶۷-۲۵۹

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 24, No. 2, Summer 2010, p. 259-267

تخصیص آب سد لتیان بین محصولات کشاورزی در شرایط عدم حتمیت

مسعود همایونی فر [۱]- فاطمه رستگاری پور [۲*]

تاریخ دریافت:۸۹/۳/۳
تاریخ پذیرش:۸۹/۷/۲۱

چکیده

در مطالعه حاضر تخصیص آب سد لتیان بین محصولات کشاورزی با کاربرد مدل بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نهایی با مدل برنامه ریزی فازی بازه ای مقایسه شد. داده های مورد نیاز مطالعه از سازمان آب منطقه ای و جهاد کشاورزی استان تهران و برای سال های ۷۰ تا ۸۸ جمع آوری شد. نتایج نشان داد که با کاربرد برنامه ریزی فازی بازه ای در بهترین حالت (یعنی رخ دادن سطح جریان زیاد) به میزان ۶۳درصد، ۶۹ درصد، ۴۹ درصد و ۳۳ درصد از آب مورد نیاز محصولات جو، صیفی جات، سبزیجات و ذرت علوفه ای تأمین می شود، اما میزان تخصیص نهایی آب محصول گندم به طور دقیق مشخص نیست. همچنین با کاربرد مدل بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق در حالتی که تقاضای آب به پایین ترین مقدار خود برسد مدیر سیستم محافظه کارانه عمل می کند و حد پایین تقاضای آب هدف را به مصرف کنندگان وعده می دهد. این مسئله موجب می شود کمبود آب نسبت به حالت بهینه کاهش یابد. اما وقتی تقاضای آب هدف به بالاترین حد خود می رسد مدیر به صورت خوش بینانه آب را در اختیار مصرف کنندگان قرار می دهد. در این حالت متغیر کمبود آب نسبت به حالت بهینه افزایش می یابد. همچنین مقایسه دو مدل نشان داد که مدل برنامه ریزی تصادفی دومرحله ای فازی نادقیق به طور همزمان سود و قطعیت سیستم را افزایش می‌دهد.

واژه های کلیدی: برنامه ریزی نادقیق، برنامه ریزی فازی، تخصیص آب، سد لتیان

مقدمه

ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی متر در سال از کشورهای خشک جهان به شمار می رود و منابع آب محدودی نیز دارد (۱). در این شرایط رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای دستیابی به آب با کیفیت بهتر، رشد تقاضا و تشدید رقابت بین نیازمندیهای آبی بخشهای مختلف (کشاورزی، صنعت و شرب)، افزایش مصرف سرانه آب ناشی از ارتقا سطح رفاه و بهداشت مردم، بحران ناشی از خشکسالی ها و نوسانات جوی و برداشت بیش از حد آب سفره های زیر زمینی سبب اهمیت بهره برداری از منابع آبی شده است. لذا مدیریت صحیح آب های سطحی امری لازم به نظر می رسد.

سد لتیان بر روی رودخانه جاجرود در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار داشته و قابلیت تنظیم سالانه ۲۴۵ میلیون متر مکعب آب را دارد که برای تولید انرژی، تأمین آب شهر تهران و۳۰۰۰۰ هکتار زمین کشاورزی دشت ورامین مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۵). در این مطالعه فقط درصد آب عرضه شده سد که مربوط به بخش کشاورزی می باشد مورد بررسی قرار گرفته است. عمده ترین محصولاتی که در این منطقه کشت می شود شامل گندم، جو، پنبه، سبزی و صیفی جات می باشند (۳). برداشتهای بی رویه از سفره های زیر زمینی دشت ورامین باعث نشست این دشت به میزان سالانه ۱۰ سانتی متر شده است (۵). لذا برنامه ریزی در راستای بهینه سازی مصرف آب در این منطقه ضروری می باشد.

در زمینه مدیریت منابع آبی و مدل بازه ای تا کنون مطالعاتی انجام شده است. لی و همکاران (۱۱) مدل برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای با پارامترهای بازه ای[3] را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به کار گرفتند. آن ها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آن ها طی ۸۱ سناریو برای سه مصرف کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد. ویو و همکاران (۱۳) برنامه ریزی غیر خطی بازه ای را

۱- استادیار گروه اقتصاد ، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: Email: Rastegaripour@gmail.com)
۲- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

3 - Interval-parameter Multistage Stochastic Programming

در طراحی سیستم مدیریت ضایعات شهری در مناطقی از هاملتون، انتاریو و کانادا انجام دادند. این مدل از انعطاف پذیری بالایی برای حل مسائل برخوردار بوده و مجموعه جواب قابل قبولی برای مدیریت ضایعات در مناطق نامبرده ارائه داده است. جیانگ و همکاران (۱۰) روش برنامه ریزی بازه ای غیر خطی را برای حل مسائل بهینه سازی در شرایط عدم حتمیت معرفی نمودند. در این مدل عدم حتمیت در تابع هدف و محدودیت های غیر خطی وجود دارد. با استفاده از راهکارهای موجود در مطالعه تابع هدف نامطمئن به صورت دو تابع هدف قطعی ارائه می شود. صبوحی و توانا(۱۳۸۶) به بررسی آثار جانبی منفی ناشی از بهره برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی در شهرستان لارستان پرداختند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که با افزایش قیمت آب نمی توان به هدف کاهش مصرف آب دست یافت و هزینه استحصال آب تاثیر چندانی بر بازده خالص مزرعه و در نتیجه دسترسی اقتصادی به منابع آب زیرزمینی ندارد. رستگاری پور و صبوحی (۲) برنامه ریزی فازی خاکستری را در تعیین الگوی کشت بخش مرکزی قوچان بکار بردند. نتایج مطالعه آن ها نشان داد که سطح زیر کشت فعلی گندم آبی، جو آبی و یونجه بیشتر از حد بالای بازه سطح زیرکشت آن ها و جو دیم، کمتر از حد پایین بازه سطح زیرکشت آن می باشد. افزون بر آن، درجه خاکستری بودن مجموعه جواب حاصل از برنامه ریزی خاکستری با استفاده از راهکار برنامه ریزی فازی خاکستری به میزان ۴۸ درصد کاهش یافت.

هدف از انجام این مطالعه تخصیص کارای آب سد لتیان بین محصولات کشاورزی با کاربرد مدل بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق و فازی می باشد، همچنین به بررسی میزان عدم حتمیت سیستم تحت سناریو های مختلف پرداخته خواهد شد.

مواد و روش ها

فرض کنید مدیر سیستم با مسئله تخصیص آب بین محصولات کشاورزی رو به رو است. این مسئله به صورت حداکثر نمودن ارزش مورد انتظار سود خالص سیستم با کاربرد مدل بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق فرموله می شود. بر پایه سیاست های مدیریت آب یک مقدار از پیش تعیین شده برای آب مورد نیاز هر گیاه باید تعیین شود (نیاز آبی). اگر مقادیر خواسته شده آب رها شود سبب سود دهی در سیستم خواهد شد و در غیر این صورت سیستم ضرر خواهد نمود. هنگامی که در عرضه آب و همچنین در سود وزیان موجود در سیستم عدم حتمیت وجود داشته باشد سیاست های آب باید در جهت بهینه سازی سیستم تعدیل شود. بنابراین مسئله به صورت مدل بهینه سازی دومرحله ای نادقیق فرموله می شود (۱۲).

$$\max f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} B_i^{\pm} W_i^{\pm} - \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{\pm} \qquad (۱)$$

$$subject \quad to$$

$$\sum_{i=1}^{m} (W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm}) \le q_j^{\pm}, \quad \forall j$$

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

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

در فرمول شماره ۱، $f^{\pm}$ بازه سود خالص سیستم، $B^{\pm}$ بازه سود خالص محصول i به ازای هر واحد آب تخصیصی، $W_i^{\pm}$ بازه آب وعده داده شده برای محصول i ، ((متغیر تصمیم مرحله اول))، $C_i^{\pm}$ بازه ضرر کشاورز i به ازای هر واحد آبی که رها نشود، $S_{ij}^{\pm}$ بازه کمبود آب برای کشاورز i تحت سطح جریان j ، به عبارت دیگر مقداری از $W_i^{\pm}$ که در هنگام بروز جریان q_j رها نمی‌شود ((متغیر تصمیم مرحله دوم))، $q_j^{\pm}$ بازه متغیر تصادفی عرضه آب تحت سطح جریان j ، $W_{i\max}^{\pm}$ بازه بیشترین مقدار تخصیص آب برای کشاورز i ، p_j احتمال رخ دادن سطح جریان j ، m تعداد محصولات ، n کل تعداد سطوح جریان (در اینجا۵= n)، i محصول کشاورزی مورد نظر (۱= i ذرت علوفه ای و ۲= i سبزی جات، ۳= i صیفی جات، ۴= i جو و ۵= i گندم) و j سطح جریان(۱= j جریان بسیار کم، ۲= j جریان متوسط و ۳= j جریان زیاد) می‌باشد.

در مدل بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق در مواجهه با عدم حتمیت آینده جریان رودخانه ($q_j^{\pm}$)، تصمیم گیری برای تخصیص آب هدف($W_i^{\pm}$) گرفته خواهد شد. در این صورت متغیر کمبود آب ($S_{ij}^{\pm}$) برای برخی از حالات باید در نظر گرفته شود. در این مدل، تصمیم‌گیری در مورد تخصیص آب بین محصولات کشاورزی بر اساس نیازهای آن ها و بدون توجه به عدم حتمیت جریان رودخانه را تصمیم‌گیری مرحله اول می‌گویند. بعد از حل مدل و در مرحله بعد تصمیم‌گیری در مورد تخصیص آب بین محصولات کشاورزی بر اساس عدم حتمیت جریان رودخانه گرفته می شود که به آن تصمیم گیری مرحله دوم گویند (۱۶).

در حل مدل ITOM نمی توان به طور مستقیم از برنامه ریزی خطی ساده استفاده نمود زیرا متغیر $W_i^{\pm}$ به صورت نامطمئن در مدل لحاظ شده است (۹). اما می توان یک مجموعه جواب بهینه از ارزش مورد هدف با در نظر گرفتن z_i به عنوان متغیر تصمیم در مدل حاصل نمود. در اینجا z_i متغیر تصمیم است که برای تعیین یک مجموعه بهینه از ارزش هدف به کار می‌رود و برای تحلیل

سیاست‌گذاری ضروری به نظر می‌رسد. به عنوان مثال وقتی که $W_i^{\pm}$ به بالاترین حد خود برسد ($Z_i=1$) سود سیستم به حداکثر می‌رسد و تقاضای آب نیز به طور کامل تأمین می‌شود. ولی اگر آب وعده داده شده در این حالت رها نشود ضرر سیستم نیز به حداکثر خواهد رسید و برعکس. و این امر مسائل سیاست گذاری را با مشکل رو به رو می‌کند. با قرار دادن $W_i^{\pm} = W_i^{-} + \Delta W_i z_i$ به طوری که $W_i^{\pm}$ دارای ارزش تعیین شده و قطعی باشد و $\Delta W_i = W_i^{+} - W_i^{-}$ و $z_i \in [0,1]$ ، مدل شماره ۲ ارائه می شود (۹):

$$
\begin{aligned}
&\max f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} B_i^{\pm}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{+} \\
&\sum_{i=1}^{m}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i - S_{ij}^{\pm}) \le q_j^{\pm}, \quad \forall j, \\
&W_i^{-} + \Delta W_i z_i \le W_i^{+}{}_{\max}, \quad \forall j \\
&-\Delta W_i z_i + S_{ij}^{\pm} \le W_i^{-}, \quad \forall i, j \\
&S_{ij}^{\pm} \ge 0 \quad \forall i, j, \\
&0 \le z_i \le 1, \quad \forall i,
\end{aligned}
\tag{۲}
$$

در مدل بالا $S_{ij}^{\pm}$ و z_i متغیر تصمیم است. مدل شماره ۲ برای حل به دو زیر مدل تجزیه خواهد شد. زمانی که هدف حداکثر کردن سود خالص سیستم است، ابتدا زیر مدلی که f^{+} را به دست می دهد تعریف می شود. ترکیبی از حد بالای ضرایب سود و متغیرهای تصمیم و حد پایین ضرایب ضرر، مقدار f^{+} را به دست خواهد داد. مدل شماره ۳ حد بالای سود سیستم را نشان می دهد (۱۲).

$$
\begin{aligned}
&\max f^{+} = \sum_{i=1}^{m} B_i^{+}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{-} S_{ij}^{-} \\
&\sum_{i=1}^{m}(\Delta W_i z_i - S_{ij}^{-}) \le q_j^{+} - \sum_{i=1}^{m} W_i^{-}, \quad \forall j, \\
&\Delta W_i z_i \le W_i^{+}{}_{\max} - W_i^{-} \quad \forall j \\
&-\Delta W_i z_i + S_{ij}^{-} \le W_i^{-}, \quad \forall i, j \\
&S_{ij}^{-} \ge 0 \quad \forall i, j, \\
&0 \le z_i \le 1, \quad \forall i,
\end{aligned}
\tag{۳}
$$

که در آن S_{ij}^{-} ، z_i متغیر تصمیم است. از حل این زیر مدل متغیرهای S_{ij}^{-} ، Z_{iopt} به دست می آیند. تخصیص بهینه آب در زیر مدل اول با در نظر گرفتن $W_{iopt}^{\pm} = W_i^{-} + \Delta W_i z_{opti}$ حل خواهد شد و مقدار حد بالای سود سیستم تحت شرایط عدم حتمیت را نشان می دهد. زیر مدل ارائه دهنده f^{-} نیز به صورت زیر فرموله می‌شود (۱۱و۱۲).

$$
\begin{aligned}
&\max f^{-} = \sum_{i=1}^{m} B_i^{-}(W_i^{-} + \Delta W_i z_{iopt}) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{+} S_{ij}^{+} \\
&st \\
&\sum_{i=1}^{m}(\Delta W_i z_{iopt} - S_{ij}^{+}) \le q_j^{+} - \sum_{i=1}^{m} W_i^{-}, \quad \forall j, \\
&-\Delta W_i z_{iopt} + S_{ij}^{+} \le W_i^{-}, \quad \forall i, j \\
&S_{ij}^{+} \ge S_{ijopt}^{-} \quad \forall i, j,
\end{aligned}
\tag{۴}
$$

که در آن S_{ij}^{+} متغیر تصمیم است. با توجه به حل دو زیر مدل جواب مدل اصلی به صورت زیر بیان می شود.

$$
\begin{aligned}
&f_{opt}^{\pm} = \left[f^{-}{}_{opt}, f_{opt}^{+} \right] \\
&S_{ijopt}^{\pm} = \left[S^{-}{}_{ijopt}, S_{ijopt}^{+} \right] \quad \forall i, j \\
&S_{ijopt}^{\pm} = \left[\lambda^{-}{}_{ijopt}, \lambda_{ijopt}^{+} \right]
\end{aligned}
\tag{۵}
$$

که در آن $\lambda_{opt}^{\pm}$ و $f_{opt}^{\pm}$ و $S_{ijopt}^{\pm}$ به ترتیب حد بالا و پایین درجه تأمین بهینه سیستم، ارزش بهینه تابع هدف و کمبود بهینه آب برای مصرف کننده i در سطح جریان j می باشد. بنابراین تخصیص بهینه آب با کاربرد مدل ITOM از رابطه ۶ به دست می آید (۱۱و۱۲).

$$
A_{ijopt}^{+} = W_{iopt}^{\pm} - S_{ijopt}^{\pm} \quad \forall i, j \tag{۶}
$$

در ادامه برای بیان صحیح تر اهداف فازی و محدودیت ها، مدل قبل به صورت برنامه ریزی تصادفی دومرحله ای فازی با پارامترهای بازه ای ارائه می شود (۱۲).

$$
\begin{aligned}
&\max \lambda \\
&\sum_{i=1}^{m} B^{\pm} W_i^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{+-} \ge f^{-} + \Delta f \lambda, \\
&\sum_{i=1}^{m}(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm}) \le q_j^{-\pm} - \Delta q_j^{\pm} \lambda, \quad \forall i, \\
&W_i^{\pm} \le W_i^{+}{}_{\max} + \Delta W_{i\ \max} \lambda, \quad \forall i \\
&S_{ij}^{\pm} \le W_i^{\pm}, \quad \forall i, j, \\
&S_{ij}^{\pm} \ge 0 \quad \forall i, j \\
&0 \le \lambda \le 1,
\end{aligned}
\tag{۷}
$$

در فرمول بالا λ و $S_{ij}^{\pm}$ متغیر تصمیم هستند. پارامتر λ نشان دهنده درجه حصول به تابع هدف فازی یا محدودیت ها است که مقدار آن بین صفر و یک می باشد. ارزش های نزدیک به یک نشان دهنده رسیدن فواصل تعریف شده تابع و یا محدودیت های مورد نظر به حد بالا می باشد. برعکس ارزش های نزدیک به صفر راه حلی را ارائه می دهد که در آن فواصل تعریف شده برای تابع و محدودیت ها به حد پایین نزدیک می شوند. در مدل ارائه شده فوق $\Delta f = f^{+} - f^{-}$ و $\Delta W_{i\max} = W_{i\max}^{+} - W_{i\max}^{-}$ که $W_{i\max}^{+}$ و $W_{i\max}^{-}$ حد بالا و پایین حداکثر مقدار تخصیص آب برای مصرف کننده i می باشد.

همچنین

$$\Delta q_j^{\pm} = q_j^{-\pm} - q_{-j}^{\pm} = \left[q_j^{-}, q_j^{-+}\right] - \left[q_{-j}^{-}, q_{-j}^{+}\right] = \left[q_j^{-} - q_{-j}^{+}, q_j^{-+} - q_{-j}^{-}\right]$$

که q_{-j}^{-} فاصله پایینی از حد پایینی عرضه آب، q_{-j}^{+} فاصله بالایی از حد پایینی عرضه آب، q_j^{--} فاصله پایینی از حد بالایی عرضه آب و q_j^{-+} فاصله بالایی از حد بالایی عرضه آب تحت جریان سطحی j می باشد (۱۲).

اگر در مدل شماره ۷ ، $W_i^{\pm}$ به عنوان یک پارامتر قطعی شناخته شود، مدل مذکور با در نظر گرفتن حد بالا و پایین اهداف مورد تمایل می تواند به دو زیر مدل تبدیل شود (۸). نتایج حاصل از حل دو مدل ، بازه ای را برای تابع هدف و متغیر تصمیم با سطوح مختلفی از ریسک و با در نظر گرفتن محدودیت ها ارائه می دهد. این نتایج برای ایجاد گزینه های تصمیم گیری به کار می روند. با قرار دادن $W_i^{\pm} = W_i^{-} + \Delta W_i z_i$ به طوری که $W_i^{\pm}$ دارای ارزش تعیین شده و قطعی باشد و $\Delta W_i = W_i^{+} - W_i^{-}$ و $z_i \in [0,1]$ ، مدل شماره ۸ ارائه می شود (۹).

در اینجا z_i متغیر تصمیم است که برای تعیین یک مجموعه بهینه از ارزش هدف به کار می رود و برای تحلیل سیاست گذاری ضروری به نظر می رسد. به عنوان مثال وقتی که $W_i^{\pm}$ به بالاترین حد خود برسد (Z_i=۱) سود سیستم به حداکثر می رسد و تقاضای آب نیز به طور کامل تأمین می شود. ولی اگر آب وعده داده شده در این حالت رها نشود ضرر سیستم نیز به حداکثر خواهد رسید و برعکس. و این امر مسائل سیاست گذاری را با مشکل رو به رو می کند (۱۱).

اگر متغیر های $W_i^{\pm}$، Δf، $\Delta W_{i\max}$ و $\Delta q_j^{\pm}$ در مدل شماره ۷ قرار گیرند مدل شماره ۸ حاصل می شود (۱۲).

$$\begin{aligned}
&\max \lambda \\
&\sum_{i=1}^{m} B^{\pm}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{+-} - \lambda(f^{+} - f^{-}) \geq f^{-} \\
&\sum_{i=1}^{m}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i - S_{ij}^{\pm}) + \lambda\left[\overline{q}_j - \underline{q}_j, \overline{q}_j - \underline{q}_j\right] \leq \overline{q}_j^{\pm}, \quad \forall j, \\
&W_i^{-} + \Delta W_i z_i + \lambda(W_{i\max}^{+} - W_{i\max}^{-}) \leq W_{i\max}^{+}, \quad \forall i \\
&S_{ij}^{\pm} \geq 0 \quad \forall i, j, \\
&0 \leq z_i \leq 1, \quad \forall i, \\
&0 \leq \lambda \leq 1,
\end{aligned} \tag{۸}$$

در مدل بالا $S_{ij}^{\pm}$ ، z_i و λ متغیرهای تصمیم می باشند. مدل شماره ۸ برای حل به دو زیر مدل تجزیه خواهد شد. زمانی که هدف حداکثر کردن سود خالص سیستم است، ابتدا زیر مدلی که f^{+} را به دست می دهد تعریف می شود. ترکیبی از حد بالای ضرایب سود و متغیرهای تصمیم و حد پایین ضرایب ضرر، مقدار f^{+} را به دست خواهد داد. زیر مدل ارائه دهنده f^{+} به صورت زیر بیان می شود (۱۲).

$$\begin{aligned}
&\max \lambda \\
&\sum_{i=1}^{m} B^{+}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{-} S_{ij}^{-} - \lambda(f^{+} - f^{-}) \geq f^{-} \\
&\sum_{i=1}^{m}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i - S_{ij}^{-}) + \lambda\left[\overline{q}_j - \underline{q}_j\right] \leq \overline{q}_j, \quad \forall j, \\
&W_i^{-} + \Delta W_i z_i + \lambda(W_{i\max}^{+} - W_{i\max}^{-}) \leq W_{i\max}^{+}, \quad \forall i \\
&-\Delta W_i z_i + S_{ij}^{-} \leq W_i^{-}, \quad \forall i, j, \\
&S_{ij}^{-} \geq 0 \quad \forall i, j, \\
&0 \leq z_i \leq 1, \quad \forall i, \\
&0 \leq \lambda \leq 1,
\end{aligned} \tag{۹}$$

در فرمول بالا S_{ij}^{-} و z_i و λ متغیرهای تصمیم هستند که از حل این زیر مدل به دست می آیند. زیر مدل ارائه دهنده f^{-} نیز به صورت زیر فرموله می شود (۱۱و۱۲).

$$\max \lambda$$

$$\sum_{i=1}^{m} B^{-}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{+} S_{ij}^{+} - \lambda(f^{+} - f^{-}) \geq f^{-}$$

$$\sum_{i=1}^{m}(W_i^{-} + \Delta W_i z_i - S_{ij}^{+}) + \lambda\left[\bar{q}_j^{+} - \bar{q}_j^{-}\right] \leq \bar{q}_j^{-}, \quad \forall j, \qquad (10)$$

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

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

$$0 \leq \lambda \leq 1,$$

در فرمول بالا S_{ij}^{+} و λ متغیرهای تصمیم می باشند که از حل این زیر مدل به دست می آید. با توجه به حل دو زیر مدل فوق جواب مدل اصلی به صورت زیر بیان می شود.

$$S_{ijopt}^{\pm} = \left[S_{ijopt}^{-}, S_{ijopt}^{+}\right]$$
$$\lambda_{opt}^{\pm} = \left[\lambda_{opt}^{-}, \lambda_{opt}^{+}\right] \qquad (11)$$
$$f_{opt}^{\pm} = \left[f_{opt}^{-}, f_{opt}^{+}\right]$$

که در آن $\lambda_{opt}^{\pm}$ و $f_{opt}^{\pm}$ و $S_{ijopt}^{\pm}$ به ترتیب حد بالا و پایین درجه تأمین بهینه سیستم، ارزش بهینه تابع هدف و کمبود بهینه آب برای مصرف کننده i در سطح جریان j می باشد. به طور کلی تخصیص بهینه آب از فرمول زیر به دست می آید (۱۲).

$$A_{ijopt}^{+} = W_{iopt}^{\pm} - S_{ijopt}^{\pm} \quad \forall i, j \qquad (12)$$

در این فرمول $A_{ijopt}^{\pm}$ حد بالا و پایین تخصیص بهینه آب برای محصول کشاورزی i است که از کسر میزان کمبود بهینه آب (متغیر تصمیم مرحله دوم) از تخصیص بهینه هدف آب (متغیر تصمیم مرحله اول) به دست می آید . مهمترین مزیتی که دو مرحله ای کردن مدل در پی دارد این است که سیاست های مرتبط با منابع آب می تواند در مدل گنجانده شود. اما اگر $A_{ij}^{\pm}$ به طور مستقیم از حل یک مدل به دست آید نمی توان سیاست های مد نظر را در مدل ارائه نمود (۱۲).

در مدل های مذکور اگرآب وعده داده شده برای یک محصول رها نشود فرض بر این است که آب مورد نیاز کشت محصولات از منبع گران تر تهیه شود و یا مقداری از کشت محصول کاهش یابد که در حالت اول هزینه ها افزایش (به خاطر افزایش قیمت آب)و در حالت دوم سود کاهش (به خاطر کاهش کشت) می یابد.

داده های مطالعه

برای به دست آوردن احتمال شدت جریان آب (جریان آب کم، متوسط و یا زیاد) بر اساس داده های بارندگی ۳۶ سال گذشته (۱۳۸۸-۱۳۵۲) در محل سد (۱۵) و با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد درصد سال های خشک و متوسط و تر محاسبه شد و از این درصدها برای احتمال وقوع سطح جریان کم، متوسط و زیاد جریان خروجی آب سد استفاده شد (۶). نتایج نشان داد که حوزه سد لتیان در ۰,۵۸ در صد حالات دارای سال نرمال، ۰,۱۹ درصد ترسالی و ۰,۲۳ درصد خشکسالی بوده است. عرضه تصادفی آب برای سال آینده(۱۳۸۹)، با استفاده از روش شبیه سازی و کاربرد اعداد تصادفی برای سال های مختلف شبیه سازی و این اعداد با در نظر گرفتن یک بازه با استفاده از حداکثر و حداقل داده های گذشته و انحراف معیار آن ها در نظر گرفته شد (۷). شایان ذکر است که متوسط درصد آب اختصاصی به بخش کشاورزی برای سال های گذشته در این مطالعه در نظر گرفته شد. جدول ۱ نتایج حاصل را نشان می دهد.

میزان تخصیص هدف آب برای محصولات کشاورزی توسط نیاز ناخالص آبیاری محاسبه و حد بالا و پایین آن با در نظر گرفتن حد بالا و پایین راندمان آبیاری منطقه در نظر گرفته شد. متغیر حداکثر میزان تخصیص آب به محصولات مختلف با در نظر گرفتن نامطلوب ترین راندمان آبیاری منطقه به دست آمد.

از آنجا که محدود کننده‌ترین عامل کشاورزی منطقه آب است، با تغییر این محدودیت در الگوی کشت (۱۴)، رابطه‌ای بین سود کشاورز و مقدار آب مصرفی تخمین زده شد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به عرضه آب و احتمال انواع سطح جریان

سطح جریان	احتمال انواع سطح جریان	عرضه آب(میلیون متر مکعب)
کم	۰/۲۲	(۳۷۹و۳۴۱)
متوسط	۰/۵۹	(۵۲۳/۸و۳۲۹)
زیاد	۰/۱۹	(۵۷۳و۵۰۴)

منبع: یافته های مطالعه

با قرار دادن مقدار آب قابل دسترس کشاورز در سال آینده در این رابطه و تغییر ۱ واحدی آن، سود حاصل از محصول به ازای تغییر در میزان آب مصرفی به دست آمد. اگر آب وعده داده شده به کشاورز رها نشود او دو گزینه در پیش رو دارد. یا اینکه آب را باید از منبع دیگر به قیمت بالاتر خریداری کند و یا اینکه ضرر حاصل از کاهش محصول را انتخاب کند. از آن جا که خرید آب از منبع گران تر ضرر کمتری را نصیب کشاورز می‌کند تفاوت بین قیمت خرید ۱ واحد آب از سایر منابع و قیمت خرید حقابه، به عنوان ضرر کشاورز در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از سود و ضرر مصرف کننده کشاورزی از محصولات مختلف در جدول ۲ آمده است.

هدف مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب و تعیین حداکثر سود حاصل از محصولات کشاورزی با استفاده از روش بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق و برنامه ریزی دومرحله ای فازی بازه ای می باشد. از طرف دیگر به بررسی میزان عدم حتمیت سیستم تحت سناریو های مختلف می پردازد. حل فرآیند IFTSP[1] نسبت به ITOM[2] سود خالص میانی بیشتری را برای سیستم ارائه می دهد در حالی که به طور همزمان ریسک سیستم که توسط بازه های ارائه شده تعریف می شود را کاهش می دهد (۴و۱۲).

نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نتایج حاصل از مدل IFTSP برای حالت تقاضای آب مورد هدف بررسی و سپس مدل ITOM در سه سناریو تجزیه و تحلیل شده است. جدول شماره ۳ نتایج حاصل از مدل IFTSP را نشان می دهد. همان طور که در جدول مشاهده می شود مقادیر S_{11} ، S_{21}، S_{31}، S_{41} و S_{51} نشان می دهند که در سطح جریان کم (j=۱) با توجه به تقاضای آب هدف در حالات مختلف به ترتیب ۷۸/۶۱ ، ۱۰۰/۷۶، ۱۰۴/۸۹ و ۳۲۶/۸ میلیون متر مکعب کمبود آب برای کشت محصولات گندم، جو، صیفی جات و ذرت علوفه ای وجود خواهد داشت. همچنین بازه کمبود آب برای کشت سبزیجات (۱۶۷/۶و۱۲۹/۴) خواهد بود. از کسر این فواصل از مقدار تقاضای آب هدف، مقادیر تخصیص نهایی آب به دست می‌آید که این مقادیر برای محصولات گندم، جو، صیفی جات، سبزی جات و ذرت علوفه ای به ترتیب ۱۲۰/۴، ۷۱/۲۴، ۱۳۱/۱۱، (۱۲۶/۶و۸۸/۴) و ۲۵/۲ میلیون متر مکعب می باشد. در سطح جریان متوسط (j=۲) با توجه به تقاضای آب هدف در حالات مختلف به ترتیب ۷۶/۷۵، ۹۶/۸۳، ۹۹/۴۶، (۱۸۹و۱۱۹/۶) و ۲۵۳/۶ میلیون متر مکعب کمبود آب برای کشت محصولات گندم، جو، صیفی جات، سبزیجات و ذرت علوفه ای وجود خواهد داشت. همچنین مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات گندم، جو، صیفی جات، سبزی جات و ذرت علوفه ای به ترتیب ۱۲۲/۲۵، ۷۵/۱۷، ۱۳۶/۵۴، (۱۲۶/۶و۶۷) و ۹۸/۴ میلیون متر مکعب می باشد. در سطح جریان زیاد (j=۳) و با در نظر گرفتن کمبود آب های موجود، مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات مذکور به ترتیب (۱۹۹و۵)، ۱۱۰، ۱۶۵، ۱۲۵/۹و ۱۱۹/۵میلیون متر مکعب می باشد.

نتایج جدول ۳ همچنین نشان می دهد که در بهترین حالت (یعنی رخ دادن سطح جریان زیاد) به میزان ۶۳ درصد، ۶۹ درصد و ۴۹ درصد از آب مورد نیاز محصولات جو، صیفی جات و سبزیجات تأمین می شود، اما میزان تخصیص نهایی آب محصول گندم مشخص نیست و بین ۲ تا ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گندم متغیر می باشد. در مورد محصول ذرت علوفه ای با در نظر گرفتن تابع هدف مسئله بهینه سازی مشخص می شود که ۳۳ درصد آب مورد نیاز محصول تأمین خواهد شد که بیشترین میزان تأمین آب نسبت به دو حالت دیگر برای این محصول است. همچنین در بدترین شرایط (یعنی رخ دادن سطح جریان کم) به میزان ۶۰ درصد، ۴۱ درصد، ۵۵ درصد و ۷ درصد از آب مورد نیاز محصولات گندم، جو، صیفی جات و ذرت علوفه ای تأمین می شود و میزان تأمین آب برای سبزیجات نامعین و در بازه ۳۴ درصد و ۴۹ درصد قرار دارد.

جداول ۴ و ۵ و۶ نتایج حاصل از مدل ITOM را تحت سناریوهای مختلف تقاضای آب هدف ارائه می دهد. همان طور که در جدول ۴ ملاحظه می شود در حالت $W_i^{\pm} = W^-$ ، مدیر سیستم محافظه کارانه عمل می کند و حد پایین تقاضای آب هدف را به محصولات کشاورزی وعده می دهد. این مسئله موجب می شود هر متغیر کمبود آب $S_{ijopt}^{\pm}$ نسبت به جدول شماره ۳ کاهش یابد. نتایج جدول همچنین نشان می دهد که در بهترین حالت به میزان ۷۴ درصد، ۶۶ درصد، ۷۸ درصد و ۵۴ درصد از آب مورد نیاز محصولات گندم، جو، صیفی جات و ذرت علوفه ای تأمین می شود که در حالت سطح جریان کم این ارقام به ۶۵ درصد، ۵۰ درصد، ۴۴ درصد و ۳ درصد کاهش می یابد. نتایج نشان می دهد در حالت سطح جریان کم آب کشت ذرت علوفه ای بهتر است صورت نگیرد.

اما وقتی تقاضای آب هدف در جدول شماره ۵ به بالاترین حد خود می رسد ($W_i^{\pm} = W^+$) مدیر به صورت خوش بینانه آب را در اختیار محصولات کشاورزی مختلف قرار می دهد. در این حالت متغیر کمبود آب $S_{ijopt}^{\pm}$ نسبت به جدول شماره ۳ افزایش می یابد. نتایج جدول ۵ نشان می دهد که میزان تأمین آب گندم در بهترین و بدترین حالت به ترتیب ۶۶ درصد و ۵۷ درصد می باشد. به عبارت دیگر تقریباً ۶۰ درصد آب مورد استفاده گندم در هر شرایطی تأمین است.

1 - Interval Fuzzy Two Stage Stochastic Programming
2 - Interval Two Stage Optimization Model

جدول ۲- اطلاعات مربوط به تخصیص آب هدف بین محصولات کشاورزی در طی افق برنامه ریزی

داده	گندم	جو	صیفی جات	سبزی جات	ذرت علوفه ای
تخصیص آب هدف($W_i^{\pm}$) (میلیون متر مکعب)	(۱۴۲/۵و۲۱۰)	(۱۲۱/۵و۱۸۲)	(۱۷۱/۶و۲۴۸)	(۱۷۷و۲۵۶)	(۲۲۷و۳۵۲)
سود خالص به ازای یک واحد آب اضافی رها شده($B_i^{\pm}$)(ده ریال)	(۸۶/۶و۱۰۲/۹)	(۴۶/۵و۹۶/۸)	(۲۵/۲و۳۷/۸)	(۲۷/۶و۴۱/۴)	(۱۳/۶و۲۰/۴)
کاهش در سود خالص به ازای یک واحد کاهش آب وعده داده شده($C_i^{\pm}$)(ده ریال)	(۱۵/۸۳و۴۲/۲)	(۱۳/۵و۳۹)	(۱۸/۹و۵۰/۵)	(۱۹/۶و۵۲/۴)	(۲۵/۲و۶۷/۳)

منبع: یافته های مطالعه

جدول ۳ - نتایج حاصل از مدل IFTSP (واحد- میلیون متر مکعب)

	احتمال وقوع جریان آب	گندم	جو	صیفی جات	سبزیجات	ذرت علوفه ای
تقاضای آب هدف ($W_{iopt}^{\pm}$)		۱۹۹	۱۷۲	۲۳۶	۲۵۶	۳۵۲
کمبودها($S_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۷۸/۶۱	۱۰۰/۷۶	۱۰۴/۸۹	(۱۲۹/۴و۱۶۷/۶)	۳۲۶/۸
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۷۶/۷۵	۹۶/۸۳	۹۹/۴۶	(۱۱۹/۶و۱۸۹)	۲۵۳/۶
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	(۰و۱۹۴)	۶۲	۷۱	۱۳۰/۱	۲۳۲/۵
تخصیص نهایی آب($A_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۱۲۰/۴	۷۱/۲۴	۱۳۱/۱۱	(۸۸/۴و۱۲۶/۶)	۲۵/۲
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۱۲۲/۲۵	۷۵/۱۷	۱۳۶/۵۴	(۶۷و۱۲۶/۶)	۹۸/۴
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	(۵و۱۹۹)	۱۱۰	۱۶۵	۱۲۵/۹	۱۱۹/۵
سود خالص سیستم(ریال)			$10^{6}\times$ (۳۷۲۴۸۰و۴۴۹۲۴۰)			

منبع: یافته های مطالعه

جدول ٤- - نتایج حاصل از مدل ITOM تحت سناریوی $W_i^{\pm}=W^{-}$ (واحد- میلیون متر مکعب)

	احتمال وقوع جریان آب	گندم	جو	صیفی جات	سبزی جات	ذرت علوفه ای
تقاضای آب هدف ($W_{iopt}^{\pm}$)		۱۴۲/۵	۱۲۱/۵	۱۷۱/۶	۱۷۷	۲۲۷
کمبودها($S_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۴۸/۶۱	۵۹/۷۶	۹۴/۸۹	(۱۰۱/۴و۱۳۰/۶)	۲۱۸
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۸۵	۳۸	۶۰	۹۳/۱	۲۰۸
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	۳۶/۷۵	۴۰/۸	۳۶/۲	(۶۹/۶و۱۰۱)	۱۰۳/۶
تخصیص نهایی آب ($A_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۹۳/۸۹	۶۱/۷۴	۷۶/۷۱	(۴۶/۴و۷۵/۶)	۹
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۵۷/۵	۸۳/۵	۱۱۱/۶	۸۳/۹	۱۹
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	۱۰۵/۷۵	۸۰/۷	۱۳۵/۴	(۷۶و۱۰۷/۱)	۱۲۳/۴

مأخذ: داده های مطالعه

جدول ۵- نتایج حاصل از مدل ITOM تحت سناریوی $W_i^{\pm} = W^{+}$ (واحد- میلیون متر مکعب)

	احتمال وقوع جریان آب	گندم	جو	صیفی جات	سبزی جات	ذرت علوفه ای
تقاضای آب هدف ($W_{iopt}^{\pm}$)		۲۱۰	۱۸۲	۲۴۸	۲۵۶	۳۵۲
کمبودها($S_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۸۹	۱۱۸/۲	۱۲۹/۷	(۱۰۹/۴و۱۸۶/۶)	(۳۱۸و۳۲۶)
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۹۱	(۶۹و۸۱)	(۶۲و۷۸)	۱۳۴	۳۳۲
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	۷۱	۱۱۳/۶	(۹۷و۱۱۲/۳)	(۱۲۴/۵و۱۹۶)	۱۸۷/۶
تخصیص نهایی آب ($A_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۱۲۱	۶۳/۸	۱۱۸/۳	(۶۹/۴و۱۴۶٫۶)	(۲۶و۳۴)
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۱۱۹	(۱۰۱و۱۱۳)	(۱۷۰و۱۸۶)	۱۲۲	۲۰
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	۱۳۹	۶۸/۴	(۱۳۵/۷و۱۵۱)	(۶۰و۱۳۱/۵)	۱۶۴/۴

مأخذ: داده های مطالعه

جدول ٦- نتایج حاصل از مدل ITOM تحت سناریوی $W_i^{\pm} = W^{mid}$

	احتمال وقوع جریان آب	گندم	جو	صیفی جات	سبزی جات	ذرت علوفه ای
تقاضای آب هدف ($W_{iopt}^{\pm}$)		۱۷۶/۲	۱۵۱/۷	۲۰۹/۸	۲۱۶/۵	۲۸۹/۵
کمبودها($S_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۸۱	۱۰۲	(۹۸و۱۱۲/۶)	(۱۱۸و۱۵۶/۶)	۲۱۷
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۶۹/۸	(۶۸و۷۵)	۷۹	(۱۲۱/۲و۱۳۶)	۱۸۷/۶
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	(۵۹و۷۵)	(۸۹و۱۰۸)	(۸۹و۱۰۱)	(۱۰۷و۱۴۸)	۱۶۱
تخصیص نهایی آب ($A_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جریان کم	۰/۲۲	۹۲/۲۵	۴۹/۷	(۹۷/۲و۱۱۱/۸)	(۵۹/۹و۹۸/۵)	۷۲/۵
سطح جریان متوسط	۰/۵۹	۱۰۶/۴۵	(۷۶/۷و۸۳/۷)	۱۳۰/۸	(۸۰/۵و۹۵/۳)	۱۰۱/۹
سطح جریان زیاد	۰/۱۹	(۱۰۱/۲و۱۱۷/۲)	(۴۳/۷و۶۲/۷)	(۱۰۸/۸و۱۲۰/۸)	(۶۸/۵و۱۰۹/۵)	۱۲۸/۵
سود خالص سیستم(ریال)			10^{6} *(۳۵۰۴۳۰و۴۵۰۳۴۰)			

مأخذ: داده های مطالعه

همچنین در حالت سطح جریان متوسط فقط ۵ درصد آب مورد نیاز ذرت علوفه ای تأمین می شود که مقدار ناچیزی است در حالی که در سطح جریان زیاد این رقم به ۴۶ درصد افزایش می یابد. این مسئله نشان می دهد که در حالت سطح جریان کم آب، ذرت علوفه ای نباید کشت شود. تخصیص نهایی آب در مورد سه محصول جو، صیفی جات و سبزی یک رقم معین نیست بلکه در طول بازه می تواند تغییر کند.

هنگامی که تقاضای مورد هدف آب به صورت $W_i^{\pm} = W^{(mid)}$ باشد، مدیر سیستم در حالتی بین محافظه کاری و خوش بینانه بودن نسبت به منابع آب قرار دارد. جدول ۶ نتایج حاصل از این سناریو را نشان می دهد. در این حالت مقادیر کمبود آب نسبت به حالت حداکثر تقاضا کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در مطالعه حاضر تخصیص آب سد لتیان بین مصارف کشاورزی با کاربرد مدل بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نهایی سود با مدل برنامه ریزی فازی بازه ای مقایسه شد. دو هدف افزایش سود سیستم و افزایش دسترسی به منابع آب در این مدل ها به طور همزمان مد نظر قرار گرفت.

نتایج حاصل از مدل IFTSP نشان می دهد که مقادیر تخصیص نهایی آب در سطح جریان کم برای محصولات گندم، جو، صیفی جات، سبزی جات و ذرت علوفه ای به ترتیب ۱۲۰/۴، ۷۱/۲۴، ۱۳۱/۱۱، (۱۲۶/۶و۸۸/۴) و ۲۵/۲ میلیون متر مکعب می باشد. در سطح جریان متوسط (j=۲) به ترتیب ۱۲۲/۲۵، ۷۵/۱۷، ۱۳۶/۵۴، (۱۲۶/۶و۶۷) و ۹۸/۴ میلیون متر مکعب و در سطح جریان زیاد (j=۳)

و با در نظر گرفتن کمبود آب های موجود، مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات مذکور به ترتیب (۱۹۹و۵)، ۱۱۰، ۱۶۵، ۱۲۵/۹و ۱۱۹/۵میلیون متر مکعب است. به طور کلی نتایج نشان داد که مدل IFTSP نسبت به مدل ITOM دقت بیشتری دارد. زیرا حد بالا و پایین مدل را نیز به صورت نامطمئن در نظر می گیرد. مقایسه سود کل سیستم در دو مدل نشان می‌دهد که در مدل IFTSP نسبت به مدلITOM حد میانی سود بیشتر و فاصله لحاظ شده برای سود کمتر می‌باشد. به عبارت دیگر مدل IFTSP به طور همزمان سود و قطعیت سیستم را افزایش می‌دهد. همچنین با کاربرد مدل بهینه سازی دو مرحله ای نادقیق در حالت $W_i^{\pm} = W^{-}$ ، مدیر سیستم محافظه کارانه عمل می کند و حد پایین تقاضای آب هدف را به مصرف کنندگان وعده می دهد. این مسئله موجب می شود کمبود آب $S_{ijopt}^{\pm}$ نسبت به حالت بهینه کاهش یابد. اما وقتی تقاضای آب هدف به بالاترین حد خود می رسد ($W_i^{\pm} = W^{+}$) مدیر به صورت خوش بینانه آب را در اختیار مصرف کنندگان قرار می دهد. در این حالت متغیر کمبود آب $S_{ijopt}^{\pm}$ نسبت به حالت بهینه افزایش می یابد.

منابع

۱- تجریشی م. و ابریشم چی ا .۱۳۸۳. مدیریت تقاضای منابع آب در کشور. مجموعه مقالات همایش روش های پیشگیری از اتلاف منابع طبیعی. تهران: ۴۱-۲۴.

۲- رستگاری پور ف. و صبوحی صابونی م .۱۳۸۸. تعیین الگوی کشت با استفاده از برنامه ریزی فازی خاکستری، مطالعه موردی شهرستان قوچان. فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۸: ۴۱۳- ۴۰۵ .

۳- زهتابیان غ.، رفیعی امام ع.، علوی پناه س.ک.، و جعفری م. ۱۳۸۳. بررسی آب های زیر زمینی دشت ورامین. پژوهش های جغرافیایی ۴۸: ۹۱-۱۰۲.

۴- صبوحی م.، توانا ح. ۱۳۸۶. بررسی آثار جانبی منفی ناشی از بهره برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی شهرستان لارستان). اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۲۱(۲). ۷۷-۶۷.

۵- صبوحی م.، رستگاری پور ف. و کیخا ا.ع. ۱۳۸۸. تخصیص بهینه آب سد طرق بین مصارف شهری و کشاورزی با استفاده از روش برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای فازی با پارامترهای بازه ای در شرایط عدم حتمیت. اقتصاد کشاورزی. ۳(۱): ۵۳-۳۱.

۶- ملایی م. و سربی ع. ۱۳۸۶. بررسی وضعیت کمی آبهای زیرزمینی دشت ورامین در یک دوره ۵ ساله آبی. سومین همایش زمین شناسی کاربردی و محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

۷- نجفی حاجیور م .، کوهپیما ا. و طهماسبی ا .۱۳۸۵. بررسی شاخص های تعیین خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری. اولین همایش منطقه ای بهره برداری از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود. دانشگاه شهرکرد.

8- Hardaker J.B., Huirne B.M., Anderson R., Lien G. 2004. Copying with risk in agriculture. CABI publishing.

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

10- Jairaj P.G.,Vedula S. 2000. Multireservoir system optimization using fuzzy mathematical programming. Water Resources Management,14:457–472.

11- Jiang C., Han X., Liu G.R., and Liu G.P. 2008. A nonlinear interval number programming method for uncertain optimization problems. European Journal of Operational Research., Vol. 188. PP:1-13.

12- Li Y.P., Huang G.H., and Nie S.L. 2006. An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Advances in Water Resources. Vol. 29. PP: 776-789

13- Maqsood I., Huang G.H., and Yeomans J.S. 2005. An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty. European Journal of Operational Research., Vol. 167. PP: 208-225.

14- Wu X.Y., Huang G.H., Liu L., and Li J.B. 2006. An interval nonlinear program for the planning of water management systems with economies-of-scale effects-Acase study for the region of Hamilton, Ontario , Canada. European Journal of Operational Research., Vol. 171. PP: 349-372.

15- www.tehran.agri-jahad.ir.1389.

16- www.tw.org.ir. 1389.

17- Zhao G. 2001. A log-barrier method with benders decomposition for solving two-stage stochastic linear programs. Mathematical Programming,90:507-53.