



کاربرد مدل تصادفی فازی بازه‌ای چندمرحله‌ای در تخصیص آب (مطالعه موردی: سد لتیان)

فاطمه رستگاری پور^۱

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه

* نویسنده مسئول: f.rastegaripour@torbath.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۲

چکیده

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، توسعه صنایع و افزایش آلودگی منابع آب شیرین، دسترس به آب کافی و مناسب در برخی از کشورها به یک بحران جدی تبدیل شده است. تغییرات آب و هوای جهان در قرن اخیر نشان دهنده کاهش میزان بارش های جوی می باشد که خشکسالی های زیادی را به بار آورده است و بحران های آبی را افزایش داده است. در این مطالعه تخصیص آب سد لتیان بین مصارف شرب و کشاورزی با کاربرد برنامه ریزی تصادفی فازی بازه ای برای سه دوره مورد بررسی قرار گرفت. مدل برنامه ریزی تصادفی فازی بازه ای چندمرحله ای از ترکیب سه مدل خطی فازی، مدل بازه ای و مدل تصادفی چندمرحله ای تشکیل شده است. داده های مورد نیاز مطالعه از سازمان آب منطقه ای استان تهران و مدیریت سد لتیان و برای سال های ۷۰ تا ۹۵ جمع آوری شد. نتایج مطالعه نشان داد که تحت بدترین شرایط وقتی که سطح جریان در تمام دوره برنامه ریزی کم باشد، ۴۶/۸ میلیون متر مکعب کمبود آب در حد پایین تخصیص بهینه آب نسبت به تقاضای بخش ها وجود دارد که این مقدار در حالتی که سطح جریان آب در کل دوره متوسط باشد، به ۳۱ میلیون متر مکعب تغییر می یابد. در حالت بهترین سناریو هنگامی که سطح جریان آب در طی افق برنامه ریزی زیاد است کمبود آب وجود نخواهد داشت. حل تابع هدف دو حد نهایی ارزش مورد انتظار سود خالص سیستم را در طی افق برنامه ریزی نشان می دهد. با توجه به وضعیت بحرانی آب و خشکسالی های اخیر، در بخش کشاورزی افزایش راندمان آبیاری، استفاده از سیستم های آبیاری مدرن، تغییر الگوی کشت منطقه متناسب با آب موجود و در بخش شهری اصلاح شبکه آبرسانی، به کارگیری تکنولوژی های مدرن کاهنده آب، آموزش صرفه جویی در مصارف آب شهری و کاهش الگوی مصرف توصیه می شود.

واژه های کلیدی: برنامه ریزی فازی بازه ای، برنامه ریزی تصادفی چندمرحله ای، تخصیص آب، سد لتیان.

مقدمه

کمبود آب مشکلی جدی در سراسر خاورمیانه است. افزون بر آن، رشد جمعیت، ارتقای سطح زندگی، توسعه صنعتی و کشاورزی و حفاظت اکوسیستمها سبب افزایش تقاضای آب شده است. این عوامل و نقش مهم آب در توسعه پایدار سبب توجه بیش از پیش مسئولین به مدیریت تقاضا و عرضه آب در برنامه ریزی ها و سیاست گذاری های کلان و منطقه ای کشور شده است (خیابانی و همکاران، ۱۳۹۵).

دشت ورامین در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران قرار گرفته

امروزه مدیریت منابع آب کشور نقش مهمی در فرآیند توسعه پایدار کشور در حیطه هایی نظیر رشد اقتصادی، اعتدالی سلامت جامعه، امنیت غذایی، توسعه پایدار منابع آب، حفظ محیط زیست و تأمین نیازهای پایه ای و اساسی انسان داراست. براساس آمارهای اعلام شده از شوی نهادهای بین المللی، بین توان تأمین آب و شدت تقاضا برای آب در جهان شکافی وجود دارد که بحران آفرین است. مطالعات سازمان ملل متحد حاکی از آن است که

داد متغیرهای دوتایی و پیوسته به تصمیم گیرنده کمک می‌کند راهبردهای مطلوبی برای تخصیص و انتخاب فیلتر در شرایط مختلف ارائه دهد. باریک^{۴۵} و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه خود مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفی دو مرحله‌ای با محدودیت‌های خطی را بررسی نمودند علاوه بر این مفاهیم بهترین راه حل مطلوب و بدترین بهینه در برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس مدل چند هدفه قطعی با استفاده از روش وزن‌گیری حل و یک مثال کاربردی در این زمینه بررسی گردید. لی^{۴۶} و همکاران (۲۰۰۸) برنامه‌ریزی چندمرحله‌ای فازی بازه‌ای را برای بهینه‌سازی آب سد در کانادا به کار گرفتند. این مدل از روش برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای با در نظر گرفتن عدم حتمیت به صورت مجموعه‌های فازی، پارامترهای بازه‌ای و تابع توزیع احتمال در چارچوب مدل بهینه‌سازی تشکیل شده است. برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای فازی بازه‌ای پویایی مدل را به‌خوبی منعکس و برای حل مسائل بزرگ و چند مرحله‌ای بسیار مناسب است. در این مطالعه مدیریت منابع آب در طی سه دوره تحت ۸۱ سناریو مورد بررسی قرار گرفت. لی و همکاران (۲۰۰۶) مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به کار گرفتند. آن‌ها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها طی ۸۱ سناریو برای سه مصرف کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد. کارمکار و مومدمار^{۴۷} (۲۰۰۶) راهکار بهینه‌سازی غیردقیق را در مدیریت کیفیت آب رودخانه به کار بردند. تاکنون مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه فازی خاکستری برای مدیریت کیفیت منابع آب کاربرد داشته است. در این مطالعه، راهکار فازی خاکستری دو مرحله‌ای برای دستیابی به کل گزینه‌های موجود در مدل فازی خاکستری

است. کل وسعت این دشت حدود ۱۳۸ هزار هکتار است که بیش از ۶۰ هزار هکتار از آن جزء اراضی کشاورزی محسوب می‌شود. عمده ترین محصولات که در این منطقه به زیر کشت می‌روند عبارتند از: گندم، جو، پنبه، سبزی و صیفی جات. اصلی ترین رودخانه‌ای که در این دشت جریان دارد رودخانه جاجرود می‌باشد که از کوه های البرز سرچشمه گرفته است. عمده نیاز آبی دشت ورامین از این رودخانه تأمین می‌شود (سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، ۱۳۹۵). برداشت‌های بی‌رویه از سفره های زیرزمینی دشت ورامین باعث نشست این دشت به میزان سالانه ۱۲ سانتی متر شده است. لذا، کاربرد بهینه مصرف آب‌های سطحی در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد (شرکت آب و فاضلاب جنوب شهر تهران، ۱۳۹۵).

سد لتیان بر روی رودخانه جاجرود در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار داشته و قابلیت تنظیم سالانه ۵۴۲ میلیون مترمکعب آب را دارد که برای تأمین آب شهر تهران به میزان ۲۹۰ میلیون مترمکعب، حدود ۳۰۰۰۰ هکتار زمین کشاورزی و همچنین تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، دارای نیروگاه آبی با ظرفیت ۴۵ مگاوات می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای استان تهران- سد لتیان). احداث این سد در سال ۱۳۴۲ آغاز و از سال ۱۳۴۶ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این سد، بتونی وزنی با ارتفاع ۱۰۷ متر و ظرفیت مفید ۸۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. مساحت دریاچه در تراز نرمال آب معادل ۳۳۰ هکتار است. حجم آب تنظیم شده سالانه سد لتیان از جریان جاجرود حدود ۵۴۲ میلیون مترمکعب می‌باشد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۹۶).

در زمینه مدیریت منابع آبی و مدل فازی خاکستری تاکنون مطالعاتی انجام شده است. چن^{۴۴} و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه ای مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی را جهت مدیریت سیستم هیدرولیکی در شرایط نامطلوب را بکار بردند. نتایج نشان

46 . Li

47 .Karmakar and Mujumdar

44 . Chen

45 . Barik

زیرزمینی جزیره کیش را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی سناریوهای مختلف فرضی تغییرات محیطی نشان داد که اثر تغییرات خط ساحلی ناشی از افزایش سطح آب دریا به خصوص در مناطق پست، عامل مهم تأثیرگذار بر لنز آب شیرین است و تغییرات نرخ تغذیه نیز از عوامل بسیار مهم و موثر بر سیستم آب زیرزمینی تلقی می‌شود. همچنین لحاظ نمودن آثار تغییرات محیطی در مدیریت بهینه آبخوان جزیره کیش، منجر به کاهش بیش از ۲۰ درصدی مقدار مجاز برداشت شده است که نشان دهنده حساسیت بالای مدیریت منابع آب زیرزمینی جزایر کوچک به این تغییرات است.

ملکی و ترکمانی (۱۳۹۴) مدیریت خشکسالی را برای استفاده بهینه از منابع آب استان خراسان شمالی بررسی نمودند. نتایج نشان داد شدیدترین خشکسالی مربوط به زمستان ۱۳۷۹ با میزان SPI تجمعی $-2/85$ و خفیف ترین خشکسالی مربوط به پاییز ۱۳۸۶ با میزان SPI تجمعی $-0/54$ می‌باشد. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده، حدود ۶۰٪ از سطح زیر کشت آبی به غلات (گندم و جو) اختصاص یافته است که علت این امر در انطباق فصل رشد این محصولات با رژیم آبدهی رودخانه‌ها می‌باشد.

رستگاری پور و کرباسی (۱۳۹۳) بهره‌برداری بهینه از مخزن سد لار را با کاربرد برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در بدترین شرایط طی سه سال آینده در بخش شهری (۵۴ و ۰) و در بخش کشاورزی (۴۸ و ۰) میلیون مترمکعب کمبود آب رخ خواهد داد. کاهش ۰/۸ مترمکعب در الگوی مصرف ماهانه بخش شهری و افزایش ۱۲ درصد در راندمان آبیاری بخش کشاورزی تحت پوشش سد لار راهکارهای مناسبی برای رویارویی با بحران کم آبی در سه سال آینده می‌باشد. لذا توصیه می‌شود که مدیران در جهت افزایش راندمان آبیاری کشاورزی و آموزش کشاورزان در این جهت گام بردارند.

ارائه شده است. مدل بهینه‌سازی در مرحله اول دقیقاً شبیه مدل فازی خاکستری بوده و در مرحله دوم حد بالای سطوح قابل دسترس آلوده کننده را حداکثر و حد پایین حداقل می‌شد. ماسود^{۴۸} و همکاران (۲۰۰۵) روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی با پارامترهای بازه ای در شرایط عدم حتمیت را برای مدیریت منابع آب در کانادا به کار برده و سیاست‌های لازم برای مواجهه با کم آبی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند مدل IPP ^{۴۹} برخلاف مدل‌های ذکر شده عدم حتمیت سمت چپ مدل را به خوبی بیان می‌کند، اما قادر به بیان عدم حتمیت سمت راست مدل نیست.

علاوه بر این، در حالی که در مدل IPP پارامترهای اولیه با عدم حتمیت و به صورت بازه ای در مدل وارد می‌شوند، حد بالا و پایین این فواصل نیز ممکن است دارای عدم حتمیت باشد که در مدل ذکر شده در نظر گرفته نمی‌شود. در نتیجه عدم حتمیت دوگانه‌ای رخ می‌دهد. یک راهکار برای بیان تمام روش‌های عدم حتمیت ترکیب دو روش FP ^{۵۰} و IPP در چارچوب مدل TSP ^{۵۱} است. این مدل عدم حتمیت سمت راست و چپ مدل را همزمان در نظر می‌گیرد و اهمیت اقتصادی نقض فاکتورهای از پیش تعریف شده را نیز به خوبی بیان می‌کند.

در بخش مطالعات داخلی مظفری (۱۳۹۵) مدیریت تقاضای آب آبیاری در دشت اردلان را با تأکید بر سیاست قیمت‌گذاری بررسی نمود. نتایج نشان داد که افزایش قیمت آب آبیاری (تحت سناریوهای ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ ریال نسبت به شرایط سال پایه) منجر به کاهش سطح زیر کشت گندم آبی، یونجه، گوجه‌فرنگی و آفتابگردان و افزایش سطح زیر کشت جو آبی و هندوانه در الگوی کشت منطقه می‌شود. همچنین، اعمال این سیاست منجر به کاهش ۲/۰۴ تا ۷/۸۳ درصد آب مصرفی در الگوی کشت و کاهش ۱/۹۶ تا ۷/۶۵ درصد درآمد ناخالص کشاورزان در دشت اردلان می‌شود. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۵) مدیریت بهینه منابع آب

⁵⁰. Fuzzy Programming

⁵¹. Two Stage Programming

⁴⁸. Maqsood

⁴⁹. Interval Parameter Programming

بخش کشاورزی در صورتی که بدانند آب کمتری در دسترس دارد فعالیت هایش را کاهش خواهد داد و یا به نحوی تغییر خواهد داد که نیاز به آب کمتری داشته باشد.

در شرایط وجود عدم قطعیت مدیر باید طرحی را ایجاد کند که در آن علاوه بر تخصیص کارای آب، سود سیستم حداکثر و ریسک سیستم نیز کاهش یابد.

هدف این مدل حداکثر کردن سود سیستم (بخش شهری و کشاورزی) و تخصیص بهینه آب در طی دوره برنامه‌ریزی است، علاوه بر این، با کاربرد این روش درجه خاکستری بودن مجموعه جواب روش بازه ای نیز کاهش می‌یابد.

اگر آب وعده داده شده به مصرف کننده در دوره مورد نظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش و اگر رها نشود، مصرف کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند و یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در دو حالت سیستم ضرر خواهد کرد.

در این مطالعه عرضه آب به صورت تصادفی است. مصرف آب توسط بخش‌ها در مرحله اول با توجه به نیاز مصرف کنندگان در آینده و داده‌های گذشته برآورد و بعد از حل مدل، تخصیص بهینه آب به مصرف کنندگان با توجه به هدف حداکثر سازی سود سیستم و حداکثر سازی تأمین آب مورد نیاز مصرف کنندگان به دست خواهد آمد. فرم کلی مدل به صورت زیر می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۸، چن و همکاران، ۲۰۱۵، هیو و همکاران، ۲۰۱۴).

هدف مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب و تعیین حداکثر سود مصرف کننده شهری و کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای فازی بازه ای در شرایط عدم قطعیت است.

اگر آب وعده داده شده به مصرف کننده در دوره مورد نظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش و اگر رها نشود، مصرف کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند و یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در دو حالت مصرف کننده ضرر خواهد کرد (صبوحی و همکاران، ۱۳۸۸).

اگر آب وعده داده شده برای یک محصول رها نشود فرض بر این است که کشاورز آب را از منبع گران‌تر تهیه می‌کند و یا مقداری از کشت خود را در مورد آن محصول کاهش می‌دهد که در حالت اول هزینه‌ها افزایش (به خاطر افزایش قیمت آب) و در حالت دوم سود کاهش (به خاطر کاهش کشت) می‌یابد. برای کاهش زیان ناشی از محدودیت آب راندمان آبیاری باید افزوده شود.

مواد و روش‌ها

فرض کنید مدیر سیستم با مسئله تخصیص آب بین مصرف کنندگان رقیب بخش کشاورزی و شهری رو به رو است. عرضه آب به صورت تصادفی برای آینده در نظر گرفته می‌شود. مقدار تقاضای آب نیز با توجه به نیاز گروه‌های مختلف برآورد و برای تمامی داده‌ها یک بازه منطقی در نظر گرفته می‌شود.

$$\max \lambda^{\pm} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it}^{\pm} W_{it}^{\pm} - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{k_t} P_{tk} C_{it}^{\pm} D_{itk}^{\pm} \geq f^{-} + \lambda^{\pm} \Delta f$$

$$\sum_{i=1}^I (W_{it}^{\pm} - D_{itk}^{\pm}) \leq q_{th}^{+} - \lambda^{\pm} [\Delta q_{th}^{\pm}] + \varepsilon_{(t-1)k}^{\pm},$$

$$\forall h, t; \quad k = 1, 2, \dots, k_t$$

$$\varepsilon_{(t-1)k}^{\pm} = q_{(t-1)h}^{+} - \lambda^{\pm} \Delta q_{(t-1)h}^{\pm} - \sum_{i=1}^I [W_{i(t-1)}^{\pm} - D_{i(t-1)k}^{\pm}] + \varepsilon_{(t-2)k}^{\pm},$$

$$\forall h, t-1; \quad k = 1, 2, \dots, k_{t-1}$$

$$W_{it}^{\pm} - D_{itk}^{\pm} \geq W_{it}^{-} \min + \lambda^{\pm} \Delta W_{it} \min$$

$$\forall i, t; \quad k = 1, 2, \dots, k_t$$

$$W_{it}^{\pm} \leq W_{it}^{+} \max - \lambda^{\pm} \Delta W_{it} \max, \quad \forall i, t$$

$$W_{it}^{\pm} \geq D_{itk}^{\pm} \geq 0, \quad \forall i, t; \quad k = 1, 2, \dots, k_t$$

$$0 \leq \lambda^{\pm} \leq 1,$$

فازی و سایر محدودیت‌ها است که مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد. مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده رسیدن فواصل تعریف شده تابع و یا محدودیت‌های مورد نظر به حد بالا است. برعکس مقادیر نزدیک به صفر راه حلی را ارائه می‌دهد که در آن فواصل تعریف شده برای تابع و محدودیت‌ها به حد پایین نزدیک هستند. همچنین $\Delta f = f^{+} - f^{-}$ و

$$\Delta W_{i \max} = W_{i \max}^{+} - W_{i \max}^{-}$$

که در این فرمول

$$W_{i \max}^{-} \text{ و } W_{i \max}^{+} \text{ حد بالا و پایین حداکثر مقدار}$$

تخصیص آب برای مصرف کننده i می‌باشد.

$$\Delta W_{i \min} = W_{i \min}^{+} - W_{i \min}^{-}$$

و که در آن $W_{i \min}^{+}$

$$W_{i \min}^{-} \text{ حد بالا و پایین حداقل مقدار تخصیص آب}$$

برای مصرف کننده i می‌باشد، داریم (لی و همکاران،

۲۰۰۸، چن و همکاران، ۲۰۱۵، هیو و همکاران،

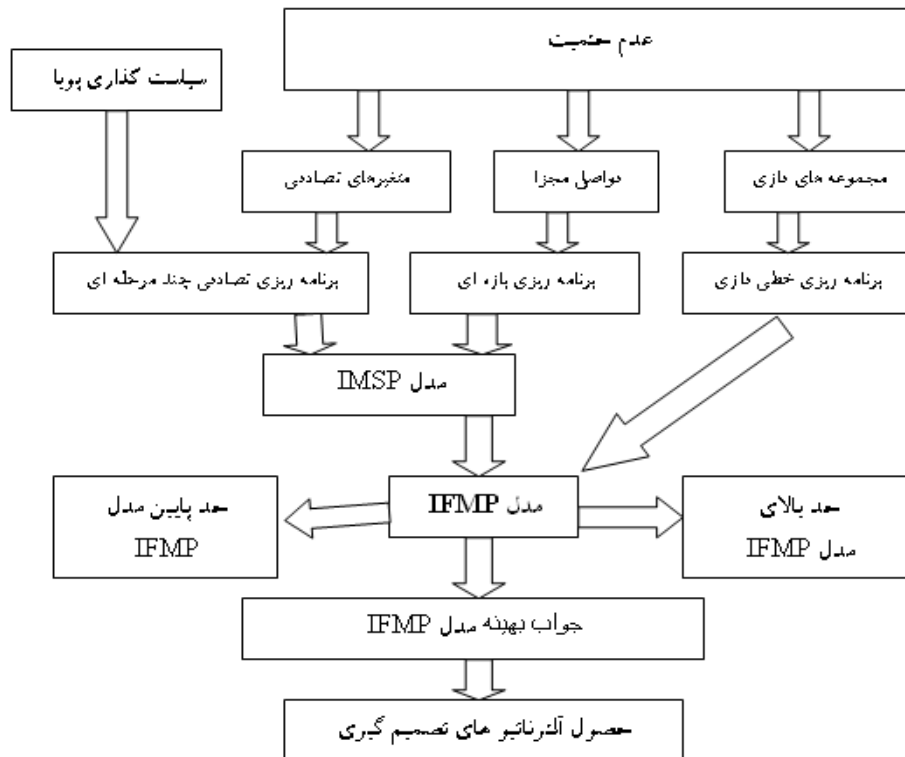
۲۰۱۴).

$$\Delta q_{th}^{\pm} = \left[\underline{q}_{th}^{+} - \underline{q}_{th}^{-}, \overline{q}_{th}^{+} - \overline{q}_{th}^{-} \right] \quad (2)$$

که در آن f^{\pm} بازه سود خالص سیستم، NB_{it}^{\pm} بازه سود مصرف کننده i در دوره t به ازای هر واحد آب تخصیصی، W_{it}^{\pm} بازه آب وعده داده شده به مصرف کننده i در طی دوره t ، C_{it}^{\pm} بازه ضرر مصرف کننده i به ازای هر واحد آب وعده داده شده رها نشده در دوره t ، D_{itk}^{\pm} بازه کمبود آب برای مصرف کننده i تحت سناریوی k در دوره t ، به عبارت دیگر مقداری از W_{it}^{\pm} که در هنگام عرضه q_{th} رها نمی‌شود، q_{th}^{\pm} بازه متغیر تصادفی عرضه آب در دوره t و سطح جریان h ، P_{tk} احتمال رخ دادن سناریو k در دوره t ، ε_{tk}^{\pm} بازه مازاد آب سد بعد از رها شدن آب تحت سناریوی k در دوره t ، t دوره مورد بررسی ($t = 1, 2, 3$) و k_t تعداد سناریو در دوره t می‌باشد. λ^{\pm} و D_{ij}^{\pm} متغیر تصمیم هستند. پارامتر λ نشان دهنده درجه ای از به حداکثر رسیدن بازه

مدل شماره ۳ ارائه می‌شود. در اینجا y_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 ($y_i=1$) سود سیستم حداکثر 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 این امر مسائل سیاست‌گذاری را با مشکل رو به رو می‌کند. اگر متغیرهای ΔW_i^\pm ، Δf ، W_i^\pm در مدل شماره ۱ قرار گیرند مدل شماره ۳ حاصل می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۸، چن و همکاران، ۲۰۱۵، هیو و همکاران، ۲۰۱۴). شمای کلی برنامه‌ریزی تصادفی فازی بازه‌ای چند مرحله‌ای به صورت رابطه ۳ می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۸، چن و همکاران، ۲۰۱۵، هیو و همکاران، ۲۰۱۴).

در فرمول شماره ۲ q_j^- فاصله پایینی از حد پایینی عرضه آب، q_j^+ فاصله بالایی از حد پایینی عرضه آب، q_j^+ فاصله بالایی عرضه آب و q_j^- فاصله بالایی از حد بالایی عرضه آب تحت جریان سطحی j می‌باشد. هنگامی که در مدل شماره ۱، W_i^\pm به عنوان یک پارامتر قطعی شناخته می‌شود، مدل مذکور با در نظر گرفتن حد بالا و پایین اهداف مورد تمایل می‌تواند به دو زیر مدل تقسیم شود (هانگ، ۱۹۹۶). نتایج حاصل، فاصله‌ای را برای تابع هدف و متغیر تصمیم با سطوح مختلفی از ریسک و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها ارائه می‌دهد. این نتایج برای ایجاد گزینه‌های تصمیم‌گیری به کار می‌روند. با قرار دادن $W_i^\pm = W_i^- + \Delta W_i y_i$ به طوری که W_i^\pm دارای ارزش تعیین شده و قطعی باشد و $\Delta W_i = W_i^+ - W_i^-$ و $y_i \in [0,1]$



شکل ۱- ساختار مدل IFMP

$$\max \lambda^{\pm} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it}^{\pm} (W_{it}^{-} + \Delta W_{it} y_{it}) - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{k_t} P_{tk} C_{it}^{\pm} D_{ik}^{\pm} \geq f^{-} + \lambda^{\pm} \Delta f$$

$$\sum_{i=1}^I (W_{it}^{-} + \Delta W_{it} y_{it} - D_{ik}^{\pm}) \leq q_{th}^{+} - \lambda^{\pm} [q_{th}^{+} - \bar{q}_{th}^{-}, \bar{q}_{th}^{+} - q_{th}^{-}] + \varepsilon_{(t-1)k}^{\pm},$$

$$\forall h, t; \quad k = 1, 2, \dots, k_t$$

$$\varepsilon_{(t-1)k}^{\pm} = q_{(t-1)h}^{+} - \lambda^{\pm} [q_{(t-1)h}^{+} - \bar{q}_{(t-1)h}^{-}, \bar{q}_{(t-1)h}^{+} - q_{(t-1)h}^{-}] - \sum_{i=1}^I [W_{i(t-1)}^{-} + \Delta W_{i(t-1)} y_{i(t-1)} - D_{i(t-1)k}^{\pm}] + \varepsilon_{(t-2)k}^{\pm},$$

$$\forall h, t-1; \quad k = 1, 2, \dots, k_{t-1}$$

$$W_{it}^{-} + \Delta W_{it} y_{it} - D_{ik}^{\pm} \geq W_{it}^{-} \min + \lambda^{\pm} \Delta W_{it} \min$$

$$\forall i, t; \quad k = 1, 2, \dots, k_t$$

$$W_{it}^{-} + \Delta W_{it} y_{it} \leq W_i^{+} \max - \lambda^{\pm} \Delta W_{it} \max, \quad \forall i, t$$

$$W_{it}^{-} + \Delta W_{it} y_{it} \geq D_{ik}^{\pm} \geq 0, \quad \forall i, t; \quad k = 1, 2, \dots, k_t$$

$$0 \leq \lambda^{\pm} \leq 1,$$

$$0 \leq \gamma_{it} \leq 1, \quad \forall i, t$$

بحث و نتایج

گرفتن یک بازه با استفاده از حداکثر و حداقل داده های گذشته و انحراف معیار آن‌ها در نظر گرفته شد. جدول ۱ نتایج حاصل را نشان می‌دهد. به علت عدم توسعه کشاورزی در منطقه در سه سال آینده داده های میزان تخصیص آب برای کشاورزان از میزان آب مورد تقاضای سال های قبل آن‌ها بابت سطح زیر کشت سال ۹۵ و با در نظر گرفتن یک بازه به دست آمد. در مورد مصرف کنندگان شهری ابتدا با استفاده از نرخ رشد جمعیت سالانه، جمعیت سه سال آینده تهران محاسبه شد. تقاضای آب مردم تهران و کرج از سد لتیان، از حاصل ضرب جمعیت تحت پوشش سد در الگوی مصرف انفرادی آب شهر تهران به دست آمد. جدول ۲ تخصیص آب هدف بین مصارف شهری و کشاورزی در طی افق برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد.

برای به دست آوردن احتمال شدت جریان آب (جریان آب کم، متوسط و یا زیاد) بر اساس داده های بارندگی ۳۶ سال گذشته در محل سد 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. نتایج نشان داد که حوزه سد لتیان در ۵۷٪ درصد حالات دارای سال نرمال، ۱۷٪ درصد ترسالی و ۲۶٪ درصد خشکسالی بوده است. عرضه تصادفی آب برای ۳ سال آینده، با استفاده از روش شبیه‌سازی و کاربرد اعداد تصادفی برای سال های مختلف شبیه‌سازی و این اعداد با در نظر

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

جریان آب (میلیون متر مکعب)			احتمال مربوطه	سطح جریان
دوره ۳ (t=3)	دوره ۲ (t=2)	دوره ۱ (t=1)		
(۳۴۸ و ۳۹۴)	(۳۵۲ و ۳۸۶)	(۳۴۵ و ۳۷۹)	۰/۲۶	کم
(۳۸۱ و ۵۴۵)	(۳۴۴ و ۵۳۱)	(۳۲۹ و ۵۲۳/۸)	۰/۵۷	متوسط
(۵۳۱ و ۵۸۹)	(۵۲۳ و ۵۸۹)	(۵۰۴ و ۵۷۳)	۰/۱۷	زیاد

جدول ۲- اطلاعات مربوط به تخصیص آب هدف بین مصارف شهری و کشاورزی در طی افق برنامه ریزی (میلیون متر مکعب)

افق برنامه ریزی			تقاضای آب هدف
دوره ۳ (t=3)	دوره ۲ (t=2)	دوره ۱ (t=1)	
(۲۸۹ و ۳۰۸)	(۲۴۱ و ۳۰۱)	(۲۴۱/۴ و ۲۹۲/۹)	مصرف کننده شهری
(۱۷۲ و ۲۶۴)	(۱۷۱ و ۲۸۵)	(۱۶۷ و ۲۹۷/۳)	مصرف کننده کشاورزی
(۴۱۲ و ۵۰۳)	(۳۵۸ و ۴۹۴)	(۳۴۱ و ۴۸۵)	حداکثر تقاضای آب
(۱۹۴ و ۳۳۸)	(۱۹۸ و ۳۵۴)	(۲۴۸ و ۳۶۸/۶)	مصرف کننده شهری
(۲۲۱ و ۲۷۴)	(۲۰۲ و ۲۳۸)	(۲۰۸ و ۲۴۲)	مصرف کننده کشاورزی
(۱۰۸ و ۱۶۸)	(۱۱۲ و ۱۵۴)	(۱۰۴ و ۱۷۲)	حداقل تقاضای آب

های گذشته به دست آمد و برای سه سال آینده با استفاده از روش *ARIMA* پیش بینی شد. نتایج حاصل از سود و زیان مصرف کننده شهری در جدول ۳ آمده است.

برای به دست آوردن سود و زیان مصرف کننده شهری به ازای یک واحد آب اضافی رها شده، با کاربرد تابع تقاضای آب شهر تهران (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۱) و مفهوم مازاد مصرف کننده، سود و زیان فرد شهری به ازای یک واحد تغییر در میزان آب مصرفی برای سال

جدول ۳- اطلاعات مربوط به سود و زیان مصرف کننده شهری به ازای یک واحد تغییر در مصرف آب (ریال)^۱

مصرف آب (ریال)			سود	ضرر
دوره ۳ (t=3)	دوره ۲ (t=2)	دوره ۱ (t=1)		
(۴۹۳ و ۵۸۱/۴)	(۴۸۵/۲ و ۵۹۳)	(۴۸۵/۲ و ۵۹۰/۶)		
(۳۹۱ و ۴۸۸)	(۳۹۷ و ۴۹۸)	(۳۸۴/۴ و ۴۹۶/۶)		

۱. منظور افزایش ۱ مترمکعب آب برای هر فرد شهری تحت پوشش سد

برای ۲۰ سال گذشته محاسبه و توسط مدل *ARIMA* برای سه سال آینده پیش بینی گردید. در حالت ضرر، تفاوت بین قیمت خرید ۱ واحد آب از سایر منابع و قیمت خرید حبابه به عنوان کاهش در سود کشاورز در سال های گذشته محاسبه و برای سه سال آینده پیش بینی شد.

برای حصول سود سه سال آینده کشاورزان، ابتدا الگوی کشت منطقه محاسبه و با تغییر ۱ واحدی آب، بازده ناخالص محاسبه شد. این عمل به دفعات تکرار گردید تا رابطه ای بین میزان آب مصرفی و سود حاصل از آن به دست آید. سپس با استفاده از این رابطه و آمار آب تخصیصی سد لتیان به بخش کشاورزی در طی ۲۰ سال گذشته، سود حاصل

نتایج حاصل از سود و ضرر مصرف کننده کشاورزی در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- اطلاعات مربوط به سود و زیان مصرف کننده کشاورزی به ازای یک واحد تغییر در مصرف آب (ریال)^۲

دوره ۱ (f=1)	دوره ۲ (f=2)	دوره ۳ (f=3)
سود (۱۰۵/۲ و ۱۴۵/۳)	(۱۳۲ و ۱۶۴)	(۱۳۸ و ۱۷۶)
ضرر (۸۰/۵ و ۹۱/۲)	(۸۴ و ۹۲)	(۹۱ و ۹۸/۶)

۲. افزایش ۱ مترمکعب آب برای هر هکتار از اراضی باغی تحت پوشش سد

مصرف کنندگان تمام تقاضای هدف خود را استفاده نکنند، کمبود آب کاهش می‌یابد اما، تحت شرایط رسیدن به تقاضای هدف توسط سایر مصرف کنندگان، کمبود آب افزایش می‌یابد. متغیرهای $D_{211} = (0, 44)$ و $D_{211} = (0, 32/2)$ نشان می‌دهد که در حالت سطح جریان کم (۲۲ درصد)، کمبود آب برای مصرف کننده شهری بین ۰ و ۴۴ میلیون مترمکعب و برای مصرف کننده کشاورزی بین ۰ و ۳۲/۲ میلیون مترمکعب است.

با کاربرد داده های اولیه و حل مدل نتایج حاصل گردید. جدول ۵ تخصیص بهینه آب تحت ۹ سناریو در دوره اول را با استفاده از مدل IFMP را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول مشاهده می‌شود تقاضای هدف برای مصرف کننده شهری و کشاورزی به ترتیب برابر با $W_{21} = 172$ و $W_{11} = 238$ است. متغیرهای $D_{213} = 0$ نشان می‌دهد که برای مصرف کننده کشاورزی در سال تر کمبود آبی وجود نخواهد داشت. در سایر حالات مسئله مبهم‌تر می‌شود و اگر سایر

جدول ۵- حل مدل IMSLP در دوره اول

سناریو	مصرف کننده	جریان آب (h)	احتمال وقوع سطح جریان (p)	تقاضای آب (w)	کمبود آب (D)	تخصیص (A)	بهینه
۱۱۱	شهری	کم	۰/۲۶	۲۳۸	(۰ و ۴۴)	(۱۹۴ و ۲۳۸)	
۲۱۱	کشاورزی	کم	۰/۲۶	۱۷۲	(۰ و ۳۲/۲)	(۱۳۹/۸ و ۱۷۲)	
۱۱۲	شهری	متوسط	۰/۵۷	۲۳۸	(۰ و ۳۸)	(۲۰۰ و ۲۳۸)	
۲۱۲	کشاورزی	متوسط	۰/۵۷	۱۷۲	(۰ و ۳۲)	(۱۴۰ و ۱۷۲)	
۱۱۳	شهری	زیاد	۰/۱۷	۲۳۸	(۰ و ۲۶)	(۲۱۲ و ۲۳۸)	
۲۱۳	کشاورزی	زیاد	۰/۱۷	۱۷۲	۰	۱۷۲	

در دوره دوم در بخش شهری و کشاورزی کمبود آبی وجود ندارد اگر سطح جریان آب در دوره اول نیز بالا باشد. مقادیر تخصیص بهینه $A_{127} = (222, 254)$ و $A_{227} = (158, 170)$ نشان می‌دهد که اگر سطح جریان در دوره اول زیاد و در دوره دوم کم باشد با توجه به مقادیر کمبود آب ایجاد شده در دو دوره، میزان آب تخصیصی در بخش شهری در بازه ۲۲۲ و ۲۵۴ میلیون متر مکعب و در بخش کشاورزی در بازه ۱۵۸ و ۱۷۰ میلیون متر مکعب قرار دارد.

جدول ۶ تخصیص بهینه آب را تحت سناریوهای ممکن در دوره دوم نشان می‌دهد. متغیرهای $D_{121} = [0, 44]$ ، $D_{122} = [0, 32/2]$ و $D_{123} = [0, 32]$ به این معناست که برای مصرف کننده ۱ (شهری)، تحت سطوح جریان پایین، متوسط و بالا در دوره ۲، کمبود آب برابر با (۰ و ۴۴)، (۰ و ۳۲/۲) و (۰ و ۳۲) است. مجموعه جواب $D_{129} = D_{229} = 0$ نشان می‌دهد که در حالت سطح جریان زیاد

جدول ۶- حل مدل *IMSLP* در دوره دوم

سناریو	مصرف کننده	جریان آب (<i>h</i>)	احتمال وقوع		
			سطح جریان (<i>p</i>)	تقاضای آب (<i>w</i>)	کمبود آب (<i>D</i>)
			تخصیص بهینه (<i>A</i>)		
۱۲۱	شهری	کم-کم	(۲۱۰ و ۲۵۴)	۲۵۴	(۰ و ۴۴)
۲۲۱	کشاورزی	کم-کم	(۱۳۷ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۳۳)
۱۲۲	شهری	کم-متوسط	(۲۲۱/۸ و ۲۵۴)	۲۵۴	(۰ و ۳۲/۲)
۲۲۲	کشاورزی	کم-متوسط	(۱۳۷/۲ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۳۲/۸)
۱۲۳	شهری	کم-زیاد	(۲۲۲ و ۲۵۴)	۲۵۴	(۰ و ۳۲)
۲۲۳	کشاورزی	کم-زیاد	(۱۴۲ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۲۸)
۱۲۴	شهری	متوسط-کم	(۲۱۶ و ۲۵۴)	۲۵۴	(۰ و ۳۸)
۲۲۴	کشاورزی	متوسط-کم	(۱۳۶ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۳۴)
۱۲۵	شهری	متوسط-متوسط	(۲۱۲ و ۲۵۲)	۲۵۴	(۰ و ۴۰)
۲۲۵	کشاورزی	متوسط-متوسط	(۱۵۸ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۱۲)
۱۲۶	شهری	متوسط-زیاد	(۲۲۲ و ۲۵۴)	۲۵۴	(۰ و ۳۲)
۲۲۶	کشاورزی	متوسط-زیاد	(۱۴۴ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۲۶)
۱۲۷	شهری	زیاد-کم	(۲۲۲ و ۲۵۴)	۲۵۴	(۰ و ۳۲)
۲۲۷	کشاورزی	زیاد-کم	(۱۵۸ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۱۲)
۱۲۸	شهری	زیاد-متوسط	(۲۲۳ و ۲۵۴)	۲۵۴	(۰ و ۳۱)
۲۲۸	کشاورزی	زیاد-متوسط	(۱۶۲ و ۱۷۰)	۱۷۰	(۰ و ۸)
۱۲۹	شهری	زیاد-زیاد	۲۵۴	۲۵۴	۰
۲۲۹	کشاورزی	زیاد-زیاد	۱۷۰	۱۷۰	۰

سوم وجود دارد. مقادیر $D_{۱۳۱۴} = [۰, ۳۱]$ ، $D_{۲۳۱۴} = [۰, ۲۲]$ به این معناست که اگر سطح جریان آب در هر سه دوره متوسط باشد، مقادیر (۰ و ۳۱) و (۰ و ۲۲) واحد کمبود آب به ترتیب برای مصرف کننده شهری و کشاورزی تحت دوره سوم وجود دارد. همچنین اگر جریان آب در دوره سوم زیاد باشد در اکثر موارد کمبود آبی برای مصرف کننده شهری و کشاورزی در دوره سوم وجود نخواهد داشت.

جدول ۷ تخصیص بهینه آب برای دو مصرف کننده را تحت تمام سناریوهای ممکن در دوره ۳ نشان می دهد. مقادیر $D_{۱۳۱} = [۰, ۴۶/۸]$ ، $D_{۲۳۱} = [۰, ۳۸]$ به این معناست که اگر سطح جریان آب در هر سه دوره کم باشد، مقدار (۰ و ۴۶/۸) و (۰ و ۳۸) واحد کمبود آب به ترتیب برای مصرف کننده شهری و کشاورزی تحت دوره

جدول ۷- حل مدل *IMSLP* در دوره سوم

سناریو	مصرف کننده	جریان آب (<i>h</i>)	احتمال وقوع سطح جریان (<i>p</i>)	تقاضای آب (<i>w</i>)	کمبود آب (<i>D</i>)	تخصیص بهینه (<i>A</i>)
۱۳۱	شهری	کم- کم- کم	۰/۰۱	۲۹۲	(۰ و ۴۶/۸)	(۲۴۵/۲ و ۲۹۲)
۲۳۱	کشاورزی	کم- کم- کم	۰/۰۱	۱۶۸	(۰ و ۳۸)	(۱۳۰ و ۱۶۸)
۱۳۲	شهری	کم- کم- متوسط	۰/۰۳	۲۹۲	(۰ و ۴۶)	(۲۴۶ و ۲۹۲)
۲۳۲	کشاورزی	کم- کم- متوسط	۰/۰۳	۱۶۸	(۰ و ۳۲)	(۱۳۶ و ۱۶۸)
۱۳۳	شهری	کم- کم- زیاد	۰/۰۱	۲۹۲	(۰ و ۲۸)	(۲۶۴ و ۲۹۲)
۲۳۳	کشاورزی	کم- کم- زیاد	۰/۰۱	۱۶۸	۰	۱۶۸
۱۳۴	شهری	کم- متوسط- کم	۰/۰۳	۲۹۲	(۰ و ۴۶/۸)	(۲۴۵,۲ و ۲۹۲)
۲۳۴	کشاورزی	کم- متوسط- کم	۰/۰۳	۱۶۸	(۰ و ۲۸)	(۱۴۰ و ۱۶۸)
۱۳۵	شهری	کم- متوسط- متوسط	۰/۰۸	۲۹۲	(۰ و ۳۴)	(۲۵۸ و ۲۹۲)
۲۳۵	کشاورزی	کم- متوسط- متوسط	۰/۰۸	۱۶۸	(۰ و ۲۹)	(۱۳۹ و ۱۶۸)
۱۳۶	شهری	کم- متوسط- زیاد	۰/۰۲	۲۹۲	(۰ و ۲۴)	(۲۶۸ و ۲۹۲)
۲۳۶	کشاورزی	کم- متوسط- زیاد	۰/۰۲	۱۶۸	۰	۱۶۸
۱۳۷	شهری	کم- زیاد- کم	۰/۰۱	۲۹۲	(۰ و ۳۴)	(۲۵۸ و ۲۹۲)
۲۳۷	کشاورزی	کم- زیاد- کم	۰/۰۱	۱۶۸	(۰ و ۲۴)	(۱۴۴ و ۱۶۸)
۱۳۸	شهری	کم- زیاد- متوسط	۰/۰۲	۲۹۲	(۰ و ۲۵)	(۲۶۷ و ۲۹۲)
۲۳۸	کشاورزی	کم- زیاد- متوسط	۰/۰۲	۱۶۸	(۰ و ۲۲)	(۱۴۶ و ۱۶۸)
۱۳۹	شهری	کم- زیاد- زیاد	۰/۰۰۷	۲۹۲	۰	۲۹۲
۲۳۹	کشاورزی	کم- زیاد- زیاد	۰/۰۰۷	۱۶۸	۰	۱۶۸
۱۳۱۰	شهری	متوسط- کم- کم	۰/۰۳	۲۹۲	(۰ و ۳۹)	(۲۵۳ و ۲۹۲)
۲۳۱۰	کشاورزی	متوسط- کم- کم	۰/۰۳	۱۶۸	(۰ و ۲۸)	(۱۴۰ و ۱۶۸)
۱۳۱۱	شهری	متوسط- کم- متوسط	۰/۰۳	۲۹۲	(۰ و ۳۱)	(۲۶۱ و ۲۹۲)
۲۳۱۱	کشاورزی	متوسط- کم- متوسط	۰/۰۳	۱۶۸	(۰ و ۱۸)	(۱۵۰ و ۱۶۸)
۱۳۱۲	شهری	متوسط- کم- زیاد	۰/۰۲	۲۹۲	۰	۲۹۲
۲۳۱۲	کشاورزی	متوسط- کم- زیاد	۰/۰۲	۱۶۸	۰	۱۶۸
۱۳۱۳	شهری	متوسط- متوسط- کم	۰/۰۸	۲۹۲	(۰ و ۳۳)	(۲۵۹ و ۲۹۲)
۲۳۱۳	کشاورزی	متوسط- متوسط- کم	۰/۰۸	۱۶۸	(۰ و ۲۶)	(۱۴۲ و ۱۶۸)
۱۳۱۴	شهری	متوسط- متوسط- متوسط	۰/۱۸	۲۹۲	(۰ و ۳۱)	(۲۶۱ و ۲۹۲)
۲۳۱۴	کشاورزی	متوسط- متوسط- متوسط	۰/۱۸	۱۶۸	(۰ و ۲۲)	(۱۴۶ و ۱۶۸)
۱۳۱۵	شهری	متوسط- متوسط- زیاد	۰/۰۵	۲۹۲	۰	۲۹۲
۲۳۱۵	کشاورزی	متوسط- متوسط- زیاد	۰/۰۵	۱۶۸	۰	۱۶۸
۱۳۱۶	شهری	متوسط- زیاد- کم	۰/۰۲	۲۹۲	۰	۲۹۲
۲۳۱۶	کشاورزی	متوسط- زیاد- کم	۰/۰۲	۱۶۸	(۰ و ۲۱)	(۱۴۷ و ۱۶۸)

جدول ۷ - حل مدل *IMSLP* در دوره سوم (ادامه)

سناریو	مصرف کننده	جریان آب (<i>h</i>)	جریان (<i>p</i>)	تقاضای آب (<i>w</i>)	کمبود آب (<i>D</i>)	تخصیص بهینه (<i>A</i>)	احتمال
							وقوع
۱۳۱۷	شهری	متوسط - زیاد - متوسط	۰/۰۵	۲۹۲	۰	۲۹۲	
۲۳۱۷	کشاورزی	متوسط - زیاد - متوسط	۰/۰۵	۱۶۸	(۰ و ۱۲)	(۱۵۶ و ۱۶۸)	
۱۳۱۸	شهری	متوسط - زیاد - زیاد	۰/۰۱	۲۹۲	۰	۲۹۲	
۲۳۱۸	کشاورزی	متوسط - زیاد - زیاد	۰/۰۱	۱۶۸	۰	۱۶۸	
۱۳۱۹	شهری	زیاد - کم - کم	۰/۰۱	۲۹۲	(۰ و ۲۶)	(۲۶۶ و ۲۹۲)	
۲۳۱۹	کشاورزی	زیاد - کم - کم	۰/۰۱	۱۶۸	(۰ و ۲۲)	(۱۴۶ و ۱۶۸)	
۱۳۲۰	شهری	زیاد - کم - متوسط	۰/۰۲	۲۹۲	(۰ و ۲۴)	(۲۶۸ و ۲۹۲)	
۲۳۲۰	کشاورزی	زیاد - کم - متوسط	۰/۰۲	۱۶۸	۰	۱۶۸	
۱۳۲۱	شهری	زیاد - کم - زیاد	۰/۰۰۷	۲۹۲	۰	۲۹۲	
۲۳۲۱	کشاورزی	زیاد - کم - زیاد	۰/۰۰۷	۱۶۸	۰	۱۶۸	
۱۳۲۲	شهری	زیاد - متوسط - کم	۰/۰۲	۲۹۲	(۰ و ۱۴)	(۲۷۸ و ۲۹۲)	
۲۳۲۲	کشاورزی	زیاد - متوسط - کم	۰/۰۲	۱۶۸	(۰ و ۸)	(۱۶۰ و ۱۶۸)	
۱۳۲۳	شهری	زیاد - متوسط - متوسط	۰/۰۵	۲۹۲	۰	۲۹۲	
۲۳۲۳	کشاورزی	زیاد - متوسط - متوسط	۰/۰۵	۱۶۸	۰	۱۶۸	
۱۳۲۴	شهری	زیاد - متوسط - زیاد	۰/۰۱	۲۹۲	۰	۲۹۲	
۲۳۲۴	کشاورزی	زیاد - متوسط - زیاد	۰/۰۱	۱۶۸	۰	۱۶۸	
۱۳۲۵	شهری	زیاد - زیاد - کم	۰/۰۰۷	۲۹۲	(۰ و ۸)	(۲۸۴ و ۲۹۲)	
۲۳۲۵	کشاورزی	زیاد - زیاد - کم	۰/۰۰۷	۱۶۸	۰	۱۶۸	
۱۳۲۶	شهری	زیاد - زیاد - متوسط	۰/۰۱	۲۹۲	۰	۲۹۲	
۲۳۲۶	کشاورزی	زیاد - زیاد - متوسط	۰/۰۱	۱۶۸	۰	۱۶۸	
۱۳۲۷	شهری	زیاد - زیاد - زیاد	۰/۰۰۴	۲۹۲	۰	۲۹۲	
۲۳۲۷	کشاورزی	زیاد - زیاد - زیاد	۰/۰۰۴	۱۶۸	۰	۱۶۸	

شرایطی تقاضای آب هدف توسط مصرف کنندگان صورت گیرد، یک طرح با پایین ترین سود، بهتر می تواند در مقابل کم آبی مقاومت کند. تمایل برای رسیدن به حد بالای سود سیستم مطابق با رسیدن به ریسک بالاتر می باشد و بالعکس. به طور کلی در حالت $W_i^{\pm} = W^-$ ، مدیر سیستم محافظه کارانه عمل می کند و حد پایین تقاضای آب

حل تابع هدف $f^{\pm} = [538951210, 625503150]$ دو حد نهایی ارزش مورد انتظار سود خالص سیستم (ریال) را در طی افق برنامه ریزی نشان می دهد. سود خالص سیستم نیز مانند سایر متغیرهای مدل بین دو حد بالا و پایین f^+ و f^- تغییر می کند. در

خواهد آمد بالاست. بنابراین در سیاست‌گذاری برای بهینه‌سازی آب نه تنها سود بلکه ریسک موجود در سیستم (فاصله بازه ای) نیز باید در نظر گرفته شود. در بخش کشاورزی افزایش راندمان آبیاری و در صورت امکان استفاده از سیستم های آبیاری مدرن، تغییر الگوی کشت منطقه متناسب با آب موجود و در بخش شهری اصلاح شبکه آبرسانی، به کار گیری تکنولوژی های مدرن کاهنده آب، آموزش صرفه‌جویی در مصارف آب شهری و کاهش الگوی مصرف و افزایش قیمت آب توصیه می‌شود. به عبارت دیگر اصلاح سیاست قیمت‌گذاری به نحوی که قیمت آب انعکاسی از قیمت‌گذاری واقعی باشد نیز راهکاری مناسب در این زمینه است.

منابع

- Barik SK, Biswal MO, Chakravarty D. **Multiobjective Two-Stage Stochastic Programming Problems with Interval Discrete Random Variables. Advances in Operations Research, 2012: 1-21.**
- Chen F, Huang GH, ASCE M, Fan YR. **Inexact Multistage Fuzzy-Stochastic Programming Model for Water Resources Management. Journal of Water Resources Planning and Management, 2015. 141(11): 14-26.**
- Huang GH. **IPWM: An interval-parameter water quality management model. Engineering Optimization, 1996. 26:79-103.**
- Hui JI, Songlin Nie, Huang Y. **An interval-fuzzy two-stage stochastic programming method for filter management of hydraulic systems. Journal of Mechanical Engineering Science, 2014. 9(15): 2788-2809.**
- Karmakar S, Mujumdar. **An inexact optimization approach for river water-quality management. Journal of Environmental Management, 2006. 81:233-248.**
- Khiabani N, Bagheri S, Bashiripour, A. **Economic Requirements for Water Resources Management. Water and Wastewater. 2017; 28(1): 42-56 [Persian].**
- Li YP, Huang GH, Nie S.L. **An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. 2006. Advances in Water Resources, 2006. 29:776-789.**
- Li YP, Huang GH, Yang ZF, Nie, SL. **IFMP: Interval-fuzzy multistage programming for water resource**

هدف را به مصرف کنندگان وعده می‌دهد. این مسئله موجب می‌شود هر دو متغیر کمبود آب D_{ijopt}^{\pm} و تخصیص نهایی آب A_{ijopt}^{\pm} نسبت به حالت عادی کاهش یابد. در صورتی که تقاضای آب هدف به بالاترین حد خود برسد ($W_i^{\pm} = W^+$) مدیر به صورت خوش‌بینانه آب را در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهد. در این حالت هر دو متغیر کمبود آب D_{ijopt}^{\pm} و تخصیص نهایی آب A_{ijopt}^{\pm} نسبت به حالت عادی افزایش می‌یابد. همان طور که ملاحظه می‌شود در این حالت با رخ دادن ترسالی به احتمال زیاد آب مورد نیاز مصرف کنندگان تأمین می‌شود اما در سال های خشک ریسک تأمین آب مورد نیاز مصرف کنندگان بالا است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تخصیص آب سد لتیان بین مصارف شرب و کشاورزی با کاربرد برنامه‌ریزی تصادفی فازی بازه ای برای سه دوره مورد بررسی قرار گرفت. حل مدل نشان داد که تحت بدترین شرایط وقتی که سطح جریان در تمام دوره برنامه‌ریزی کم باشد، کل آب تخصیص داده شده در کل دوره (۲۴۵/۲ و ۲۹۲) میلیون مترمکعب و کل آب مورد تقاضا از سوی ۲ مصرف کننده برابر ۲۹۲ میلیون مترمکعب است.

این مسئله نشان می‌دهد که ۴۶/۸ میلیون متر مکعب کمبود در حد پایین تخصیص بهینه آب نسبت به تقاضای بخش‌ها وجود دارد. در مقابل تحت سناریوی سطح جریان متوسط در کل طول دوره، کل آب تخصیص یافته (۲۶۱ و ۲۹۲) میلیون مترمکعب و تقاضای آب کل مصرف کنندگان ۲۹۲ میلیون مترمکعب است. این اطلاعات کمبود آب کمتری را نسبت به حالت قبل نشان می‌دهد. بنابراین مصرف کنندگان باید بین تهیه آب از منبع گران تر 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 ۱۶۸ میلیون مترمکعب می‌باشد که نشان می‌دهد تقاضای آب دو مصرف کننده خیلی راحت‌تر از دو حالت قبل تأمین خواهد شد.

اگر چه احتمال وقوع بدترین سناریو (کم- کم- کم) پایین است اما، ضروری که در ازای رخ دادن این سناریو در سیستم به وجود

- pricing policy. Protection of water and soil resources, 2016. 5(4): 47-68 [Persian].
- Rastegaripour F, Karbasi A. Optimal utilization of Lar dam reservoir using five stage stochastic programming. Agricultural Economics Research, 2014. 6(4): 21-33 [Persian].
- Tehran Agricultural Jihad Organization. Report of Tehran Agricultural Jihad Organization. 2016 [Persian].
- Tehran Regional Water Company. Report of Tehran Regional Water Company. 2017 [Persian].
- Water and Wastewater Company of South Tehran. Report of Water and Wastewater Company of South Tehran. 2016 [Persian].
- management under uncertainty. Resource Conservation Recycling, 2008. 52(5): 800-812.
- Mahmoudzadeh D, Ketabchi H, Ataei Ashtiani B. Optimal Management of Groundwater Resources in Kish Island: Sensitivity Analysis of Optimal Strategies to Different Environmental Variables. Water and Wastewater, 2016. 27(2): 61-74 [Persian].
- Maleki A, Torkamani MJ. Drought Management for Optimal Use of Water Resources in North Khorasan Province. Agricultural Economics Research, 2015. 7(1): 65-89 [Persian].
- Maqsood I, Huang GH, Yeomans, JS. An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty. European Journal Operation Resource, 2005. 167: 208-225.
- Mozaffari MM. Management of irrigation water demand in Ardalan plain with emphasis on