اقتصاد کشاورزی/ جلد 3/ شماره‌ي 1/ صفحه‌هاي 55-33

تخصيص بهينه‌ي آب سد طرق بين مصارف شهري و کشاورزي با استفاده از روش برنامه‌ريزي تصادفي دومرحله‌اي فازي با پارامترهاي بازه‌اي در شرايط عدم حتميت

محمود صبوحی صابونی، فاطمه رستگاري‌پور و احمدعلی کهخا *

تاريخ دريافت:1387/1/19 تاريخ پذيرش: 1387/4/24

چکيده

در اين مطالعه، مديريت آب سد طرق با استفاده از روش برنامه‌ريزي تصادفی دومرحله‌اي فازي با استفاده از پارامترهاي بازه‌اي و تحت شرايط عدم حتميت (نبود حتميت) مورد بررسی قرار گرفت. اين مدل از ترکيب دو مدل برنامه‌ريزي فازي و پارامترهاي بازه‌اي در چارچوب بهينه‌سازي تصادفی دومرحله‌اي تشکيل شده است. به‌کارگيري خط مشی از پيش تعريف شده در طی فرآيند بهينه‌سازي و استفاده از پارامترهاي بازه‌اي افزون بر کاربرد احتمالات در شرايط عدم حتميت از مزيت‌هاي اين تکنيک نسبت به ساير تکنيک‌هاي بهينه‌سازي است. افزون بر آن، مدل IFTSP [1]آلترناتيوهاي تصميم‌گيري تحت مقادير مختلف کم‌بود آب را ارايه می‌کند. داده‌هاي مطالعه از سازمان آب منطقه‌اي مشهد و براي سال‌هاي 67 تا 85 جمع‌آوري شد. نتايج نشان داد سود بخش شهري نسبت به تغييرات تخصيص آب حساس‌تر است. هم‌چنين در 16،0 درصد حالت‌ها (احتمال وقوع سال تر)، هيچ مصرف‌کننده‌اي دچار کم‌بود آب نخواهد شد. در 66،0 درصد موارد مصرف‌کننده‌ي شهري و در 18،0 درصد موارد (احتمال وقوع سال خشک) هر دو مصرف‌کننده دچار کم‌بود آب خواهند شد. سرانجام اگر مدير سيستم به‌صورت محافظه‌کارانه عمل کند، در آينده کم‌بود آب کم‌تري رخ خواهد داد. ارايه‌ي راه‌کارهايی براي رويارويی با اين بحران ضروري به‌نظر می‌رسد.

JEL: Q25

واژه‌هاي کليدي: برنامه‌ريزي تصادفی، روش فازي، پارامترهاي بازه‌اي، عدم حتميت، نبود حتميت، سد طرق

* به‌ترتيب: استاديار، دانشجوی کارشناسی ارشد و استاديار دانشگاه زابل.

e-mail: msabuhi39@yahoo.com

1-Interval-Parameter Fuzzy Two-Stage Stochastic Programming

مقدمه

ایران با متوسط نزولات جوي 260 میلی‌متر در سال از کشورهای خشک جهان به‌شمار می‌رود و منابع آب محدودي نیز دارد. از 415 میلیارد مترمکعب نزولات سالانه در ایران، حدود 70% آن تبخیر می‌شود. با ورود سالیانه دوازده میلیارد مترمکعب آب ورودی از مرزها به داخل کشور، کل منابع آبی تجدیدپذیر 135 میلیارد مترمکعب شده که تا سال 1379، 95 میلیارد مترمکعب از آن استحصال شده است. از این مقدار آب استحصال شده، به‌ترتیب 93، 5 و 2 درصد در بخش‌های کشاورزی، شهری و صنعتی به مصرف رسیده است. محدودیت مقدار منابع آب، افزایش هزینه‌های استحصال و محدودیت منابع مالی طرح‌هاي توسعه‌ي منابع جدید آب را با مشکل و محدودیت مواجه کرده است (تجریشی و ابریشم چی، 1383). افزون بر آن، رشد جمعیت، ارتقای سطح رفاه اجتماعی، توسعه‌ي صنعتی و کشاورزي و حفاظت اکوسیستم‌ها، سبب افزایش تقاضا شده است. این عوامل و نقش مهم آب در توسعه‌ي پایدار سبب توجه بیش از پیش مسوولان به مدیریت تقاضا و عرضه‌ي آب در برنامه‌ریزي‌ها و سیاست‌گذاري‌هاي کلان کشور شده است (آذرمسا و هم‌کاران، 1379).

استان خراسان رضوي نیز با 60 درصد کاهش روان آب‌ها، 32 درصد کاهش بارندگی، 75 سانتی‌متر تا دو متر افت سطح آب‌های زیرزمینی و 59 دشت بحرانی از 78 دشت و 60 درصد کاهش آب 12 رودخانه‌ي اصلی استان در وضعیت بحرانی به‌سر می‌برد. افزون بر افت شدید منابع آب زیرزمینی در مشهد، وجود خشک‌سالی‌های پی‌درپی موجب خالی شدن دو سد طرق و کارده (منابع سطحی تامین‌کننده‌ي آب شرب مشهد) نیز شده است. سد طرق با 29 میلیون و سد کارده با 32 میلیون مترمکعب ظرفیت، در برخی سال‌ها دچار کم‌آبی شدید می‌شوند. این در حالی است که 85 درصد آب مشهد از طریق سی‌صد حلقه چاه، 4 درصد از طریق قنات‌ها و چشمه‌ها و 10 درصد به‌وسیله‌ي آب دو سد کارده و طرق تامین می‌شود (وزارت نیرو، 1386). پس تخصیص کاراي منابع آب بین مصرف‌کنندگان مختلف در این منطقه ضروري به‌نظر می‌رسد.

سد طرق در 25 کیلومتري شهر مشهد بر روي رودخانه‌ي طرق احداث شده است. این محل در 100 متري بالادست بند قدیمی طرق قرار دارد که حدود 400 سال پیش ساخته شده است. این سد از محل سیلاب‌هایی که قبل از ساختمان سد به‌صورت غیر قابل استفاده در رودخانه جریان داشتند و در نهایت از طریق بستر رودخانه کشف‌رود از کشور خارج می شدند، آب‌رسانی به شهر مشهد را انجام می‌دهد. تامین نسبی آب براي اراضی کشاورزي موجود در پایین‌دست، از دیگر اهداف احداث سد طرق می‌باشد. عملیات اجرایی احداث سد از سال 1361 آغاز شد و در سال 1367 به بهره‌برداري رسید. سد طرق از نوع بتنی دو قوسی متقارن متشکل از 22 بلوك و داراي ارتفاع 81 متر از پی و ضخامت 4/8 متر در تاج است. تراز تاج سد طرق از سطح دریا 1220 متر ، طول تاج 322 متر و حجم بتون بدنه سد 165000 مترمکعب است. سد طرق در کنار سد کارده 10 درصد آب شهر مشهد را تامین می‌کنند. افزون بر این سد طرق 1300 هکتار از اراضی کشاورزي را نیز تحت پوشش قرار داده است. آورد متوسط رودخانه طرق 16/5 میلیون مترمکعب و دبی طغیان 560 مترمکعب در ثانیه می‌باشد (وزارت نیرو، 1386).

با احداث یک بند انحرافی بر روي رودخانه‌ي شلگرد که یکی از سرشاخه‌هاي رودخانه‌ي طرق است، آب منحرف شده به‌وسیله‌ي تونل انتقال به‌طول 1350 متر با مقطع عرضی به‌صورت نعل اسبی به دریاچه‌ي سد طرق منتقل می‌شود. هدف اجراي این طرح انتقال سالانه 7/68 میلیون مترمکعب آب به سد طرق با دبی متوسط هفت‌دهم لیتر بر ثانیه است. آب مورد نیاز شهري و کشاورزي پس از رها شدن از سد وارد رودخانه شده و پس از طی 5 کیلومتر به بند انحرافی طرق منتقل و سهمیه‌ي آب شرب پس از عبور از حوضچه‌ها به‌وسیله‌ي ایستگاه پمپاژ به تصفیه‌خانه انتقال می‌یابد و سهمیه‌ي آب کشاورزان نیز پس از تنظیم، تحویل آن‌ها می‌شود (وزارت نیرو، 1386).

رشد جمعیت و رشد اقتصاد سبب افزایش تقاضاي آب کشاورزي و شهري شده است. گروه‌هاي مختلف مصرف‌کننده‌ي آب باید بدانند چه مقدار آب براي تخصیص در فعالیت‌هایشان در دست‌رس خواهند داشت. هم‌چنین مصرف‌کنندگان باید بدانند چه مقدار از

آب وعده داده شده به آن‌ها ممکن است تامین نشود تا بتوانند در صورت لـزوم آب را از منبـع گران‌تر تهیه کرده و یا توسعه‌ي فعالیت‌هاي خود را کاهش دهند و یا سیاست‌هایی براي تـامین آب شهري و کشاورزي به‌وسیله‌ي سـازمان آب منطقـه‌اي بـراي آینـده گرفتـه شـود (وانـگ و هم‌کاران ،2003).

مساله‌ي تخصیص منابع آب، به‌صورت بیشینه شدن ارزش سود خالص مورد انتظار سیستم ارایه می‌شود. براساس سیاست‌گذاري‌هاي سـازمان آب منطقـه‌اي، یکـی از مهـم‌تـرین اهـداف مدیریت آب سد طرق، تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان رقیب می‌باشد. اگر مقدار وعـده داده شده در آینده رها شود سود خالص سیـستم افـزایش و اگـر رهـا نـشود ضـرر در سیـستم رخ خواهد داد.

اما مدیریت منابع آب به علـت وجـود عـدم حتمیـت شـدید در پارامترهـا، داراي سیـستم پیچیده‌اي است. (باباییان کوپایی و هم‌کاران، 2003). به سخن دیگر یک نوع پیچیدگی ذاتـی و عدم حتمیت در مدیریت منابع آب در دنیاي واقعی وجود دارد که سبب شده حل مـسایل آب یک گام فراتر و دشوارتر از سایر مسایل باشد (ماسود و هم‌کاران، 2003).

براي حل این مشکلات سه تکنیک برنامه‌ریزي محدودیت تـصادفی(CCP)[1]، برنامـه‌ریـزي فازي (FP)[2] و روش پارامترهاي بازه‌اي (IPP)[3] بـه‌کـار مـی‌رود (هانـگ، 1996). تـا بـه حـال چندین محقق این مدل‌ها را براي بهینـه‌سـازي تخـصیص منـابع آب بـه‌کـار گرفتـه‌انـد. مـدل بهینه‌سازي تصادفی مدیریت آب آبیاري به‌وسیله‌ي ابریـشمچی و هـم‌کـاران (1991) در ایـران به‌کار گرفته شد. مدل پارامترهاي بازه‌اي براي مدیریت منـابع آب در یـک سیـستم کـشاورزي به‌وسیله‌ي هانگ (1996) در کانادا و مدل بهینه‌سازي فازي بـراي مـدیریت یـک سیـستم چنـد مخزنه به‌وسیله‌ي جاراج و هم‌کاران (2000) در هند استفاده شد.

---

1 -Chance Constraint Programming
2 -Fuzzy Programming
3 -Interval Parameter Programming

مدل برنامه‌ریزي تصادفی دومرحله اي (TSP)[1] از تکنیک‌هـاي پیـشرفته‌تـري اسـت کـه در مدیریت منابع آب به‌کار می رود (زاو، 2001). در این مدل، تصمیم‌گیـري در مـورد تخـصیص آب بین مصرف‌کنندگان براساس نیازهاي آن‌ها و بدون توجه به عدم حتمیت جریـان رودخانـه را تصمیم‌گیري مرحله‌ي اول می‌گویند. بعد از حل مدل و در مرحلـه‌ي بعـد تـصمیم‌گیـري در مورد تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان مختلف براساس عدم حتمیت جریان رودخانـه گرفتـه می‌شود که به آن تصمیم‌گیري مرحله‌ي دوم گویند (زاو، 2001). این فرآیند تصمیم‌گیري منجر به مدل TSP می‌شود. فررو و هم‌کاران (1998) یک الگوریتم دومرحله‌اي را بـراي زمـان‌بنـدي استفاده از یک سیستم چند مخزنی به‌کار بردند. افشار (1384) با استفاده از روش دومرحلـه‌اي، بـه بهینـه‌سـازي گسـسته‌ي شـبکه‌هـاي آبرسـانی در ایـران پرداخـت. سـلطانی (1994) مـدل برنامه‌ریزي خطی را با درنظـر گـرفتن 22 فعالیـت و20 محـدودیت در منطقـه‌ي سـد درودزن فارس، مورد استفاده قرار داد. نتایج نشان داد که قیمتی کـه کـشاورزان بابـت آب‌بهـا پرداخـت می‌کنند خیلی کم‌تر از ارزش نهایی آب آبیاري می‌باشد وامکـان افـزایش درآمـد کـشاورزان و کارایی آبیاري با تغییر الگوي کشت وجود دارد. ترکمانی و هاردیکر(1996) روش برنامه‌ریـزي غیرخطی تصادفی را براي تحلیل کارایی اقتصادي کشاورزان توسعه و بسط دادند. نتـایج نـشان داد که ریسک‌گریزي نقش مهمی در رفتار کشاورزان دارد، کشاورزان نمونه‌ي ریسک‌گریزنـد و امکان افزایش درآمد کشاورزان با افزایش کارایی اقتصادي میسر است. جمالی (1376) مساله‌ي تخصیص آب را با استفاده از برنامه‌ریزي خطی در منطقه‌ي زیر سد میرزاي شـیرازي در اسـتان فارس مورد مطالعه قـرار داد. وي الگـوي بهینـه‌ي کـشت را در6 سـناریو، براسـاس دو سـطح راندمان آبیاري و سه سطح حجم آب قابل تخصیص تعیین کرد و قیمـت سـایه‌اي آب را، 224 ریال براي هر مترمکعب به‌دست آورد.

هانگ و لوك (2000) در کانادا مدل TSP با پارامترهاي فاصله‌اي ITSP [2] را معرفی کردنـد. در این روش مفهوم بهینه‌سازي نادقیق در چارچوب مدل تصادفی دومرحله‌اي ارایه شده است.

1-Two-stage Stochastic Programming
2-Interval Two-stage Stochastic Programming

اشکال اصلی این مدل، بیش از حد ساده‌سازي فروض توابع عضویت فازي است که از اعتبار مدل می‌کاهد.

روش‌هاي FP و CPP به‌درستی اهمیت اقتصادي نقض فاکتورهاي از پیش تعریف شده را نمی‌توانند بیان کنند. افزون بر این، در حالی که CPP و FP به‌خوبی جنبه‌هاي تصادفی سمت راست مدل را بیان می‌کنند، اما نمی‌توانند عدم حتمیت پارامترهاي طرف چپ مدل را ارایه دهند (ماسود و هم‌کاران، 2003).

مدل IPP برخلاف مدل‌هاي یاد شده، عدم حتمیت سمت چپ مدل را به‌خوبی بیان می‌کند، اما قادر به بیان عدم حتمیت سمت راست مدل نیست. افزون بر این، در حالی که در مدل IPP پارامترهاي اولیه با عدم حتمیت و به‌صورت بازه‌اي در مدل وارد می‌شوند، حد بالا و پایین این فواصل نیز ممکن است داراي عدم حتمیت باشد که در مدل گفته شده در نظر گرفته نمی‌شود. در نتیجه عدم حتمیت دوگانه‌اي رخ می‌دهد. یک راه‌کار براي بیان تمام روش‌هاي عدم حتمیت ترکیب دو روش FP و IPP در چارچوب مدل TSP است. این مدل عدم حتمیت سمت راست و چپ مدل را هم‌زمان در نظر می‌گیرد، از سوي دیگر این روش اهمیت اقتصادي نقض فاکتورهاي از پیش تعریف شده را نیز به‌خوبی بیان می‌کند. ترکیبی از روش‌هاي بالا به یک راه‌کار به‌نام برنامه‌ریزي تصادفی دومرحله اي فازي با پارامترهاي بازه‌اي منجر می‌شود (ماسود و هم‌کاران، 2003). در این مقاله نخست راه‌کار ITSP و سپسIFTSP براي بررسی مدیریت منابع آب سد طرق در شرایط عدم حتمیت مورد استفاده قرار گرفته است.

هدف از انجام این مطالعه تعیین تخصیص کاراي آب بین مصرف‌کنندگان رقیب آب سد طرق یعنی مصرف‌کنندگان شهري و کشاورزي است. از سوي دیگر به بررسی میزان عدم حتمیت سیستم تحت سناریوهاي مختلف می‌پردازد. حل فرآیند IFTSP نسبت به ITSP سود خالص میانی بیش‌تري را براي سیستم ارایه می‌دهد در حالی که به‌طور هم‌زمان ریسک سیستم را که به‌وسیله‌ي بازه‌هاي ارایه شده تعریف می‌شود، کاهش می‌دهد. افزون بر این مدل IFTSP

به مدیر سیستم براي ارزیابی طرح‌هاي آلترناتیو و تعیین این‌که کدام یک از طرح‌ها اهداف مورد تمایل سیستم را برآورد می‌نماید کمک می‌کند (ماسود و هم‌کاران، 2003).

روش تحقیق

فرض می‌کنیم مدیر سیستم با مساله‌ي تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان رقیب بخش کشاورزي و شهري روبه‌رو است. عرضه‌ي آب به‌صورت تصادفی براي آینده در نظر گرفته می‌شود. مقدار تقاضاي آب نیز با توجه به نیاز گروه‌هاي مختلف برآورد و براي تمامی داده‌ها یک بازه‌ي منطقی در نظر گرفته می‌شود. بخش کشاورزي در صورتی که بداند آب کم‌تري در دست‌رس دارد فعالیت‌هایش را تغییر خواهد داد و یا به نحوي تغییر خواهد داد که نیاز به آب کم‌تري داشته باشد. در هنگام وجود عدم حتمیت مدیر باید طرحی را ایجاد کند که درآن افزون بر تخصیص کاراي آب ، سود سیستم بیشینه شود و ریسک سیستم نیز کاهش یابد.

قبل از بررسی مدل IFTSP لازم است به برنامه‌ریزي با پارامترهاي بازه‌اي (IPP)[1] اشاره شود.

از آن‌جا که عرضه‌ي نامطمئن آب به‌صورت بازه‌اي ارایه می‌شود مساله‌ي تخصیص آب می‌تواند به فرم ITSP ارایه شود (هانگ و لوك، 2000).

$$\max f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} B_i^{\pm} W_i^{\pm} \quad \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{\pm} \tag{1}$$

$$\text{subject to}$$

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

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

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

در فرمول 1، $f^{\pm}$ بازه‌ي سود خالص سیستم، $B^{\pm}$ بازه‌ي سود مصرف‌کننده‌ي i به‌ازاي هر واحد آب تخصیصی، $W_i^{\pm}$ بازه‌ي آب وعده داده شده به مصرف‌کننده‌ي i، ((متغیر تصمیم

1-Interval-parameter or Grey programming

مرحله‌ي اول))، $C_i^{\pm}$ بازه‌ي ضرر مصرف‌کننده‌ي i به‌ازاي هر واحد آبی که رها نشود، $S_{ij}^{\pm}$ بازه‌ي کم‌بود آب براي مصرف‌کننده‌ي i تحت سطح جريان j ، به ديگر مقداري از $W_i^{\pm}$ که در هنگام بروز جريان q_j رها نمی‌شود ((متغير تصميم مرحله‌ي دوم))، $q_j^{\pm}$ بازه‌ي متغير تصادفی عرضه‌ي آب، $W_{i\max}^{\pm}$ بازه‌ي بيش‌ترين مقدار تخصيص آب براي مصرف‌کننده‌ي i، p_j احتمال رخ دادن سطح جريان j ، m کل تعداد مصرف‌کنندگان آب ، n کل تعداد سطوح جريان (در اين‌جا n=3)، i مصرف‌ي کننده‌ي آب (i=1 مصرف‌کننده‌ي کشاورزي و i=2 مصرف‌کننده‌ي شرب)، و j سطح جريان (j=1 جريان کم، j=2 جريان متوسط و j=3 جريان زياد آب) می‌باشد.

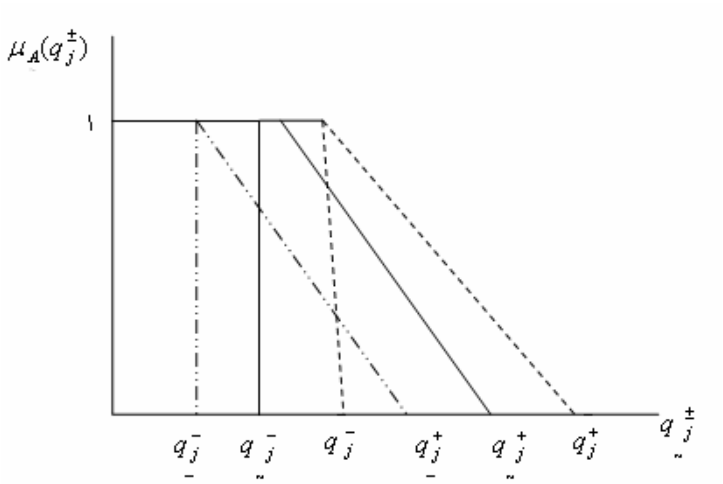
در بسياري از مسايل جهان واقعی، مقدار اطلاعات قابل دست‌رس بسيار ناچيز است و بيش‌تر به‌وسيله‌ي بازه‌ها قابل ارايه است. در بسياري مواقع حتی حد پايين و بالاي اين بازه‌ها نيز با قطعيت قابل ارايه نيست که اين مساله سبب بروز عدم قطعيت (نبود قطعيت) دوگانه در مدل می‌شود. بنابراين يک مفهوم جديد به نام توابع عضويت بازه‌اي(IMF) براي حل اين مساله به‌کار می‌رود (وانگ و هم‌کاران، 2003). بنابراين داريم:

$$A(q_j^{\pm}) = \{((q_j^{\pm})_i, \mu_A((q_j^{\pm})_i)) \mid i \quad I, q_j^{\pm} \quad Q^{\pm}, \quad j\}, \tag{2}$$

که در فرمول 2، $A(q_j^{\pm})$ يک مجموعه‌ي فازي بازه‌اي عضو $Q^{\pm}$ است. $\{\mu_A((q_j^{\pm})_i)\}$ درجه‌اي از تابع عضويت براي عنصر $(q_j^{\pm})_i$ است و $Q^{\pm}$ مجموعه‌اي از جريان‌هاي ايجاد شده به‌وسيله‌ي $(q_j^{\pm})_i$ است و اگر عرضه‌ي آب به‌صورت بازه‌اي براي مصرف‌کننده‌ي i و سطح جريان j تعريف شود، داريم:

$$\max(q_j^{\pm})_i = q_j^{\pm} \quad \text{and} \quad \min(q_j^{\pm})_i = q^{\pm}{}_j, \quad j, \tag{3}$$

$q_j^{\pm}$ و $q^{\pm}{}_j$ حد بالا و پايين عرضه‌ي فازي آب در سطح جريان j است. هر يک از حدهاي بالا و پايين q_i فازي نيز بايد به‌صورت بازه‌اي بيان شود (نمودار1) (ماسود و هم‌کاران، 2003).



نمودار (1) حدهاي بالا و پايين عرضه‌ي فازي آب (ماسود و هم‌كاران، 2003)

مدير سيستم يک سطح هدف f^+ و يک فاصله‌ي قابل تحمل براي آن در نظر می‌گيرد. هر يک از محدوديت‌ها نيز به‌عنوان يک مجموعه‌ي فازي در نظر گرفته می‌شود. بنابراين براي بيان صحيح‌تر اهداف فازي و محدوديت‌ها، مدل قبل به‌صورت برنامه‌ريزي تصادفی دومرحله‌اي فازي با پارامترهاي بازه‌اي ارايه می‌شود (ماسود و هم‌كاران، 2003).

$$\max \lambda \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{m} B^{\pm} W_i^{\pm} \quad \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{+} \quad \geq f \quad + \Delta f \lambda,$$

$$\sum_{i=1}^{m} (W_i^{\pm} \quad S_{ij}^{\pm}) \leq q_j^{\pm} \quad \Delta q_j^{\pm} \lambda, \qquad i,$$

$$W_i^{\pm} \leq W_i^{+}{}_{max} + \Delta W_{i\ max} \lambda, \qquad i$$

$$S_{ij}^{\pm} \leq W_i^{\pm}, \qquad i, j,$$

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

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

در فرمول بالا λ و $S_{ij}^{\pm}$ متغير تصميم هستند. پارامتر λ نشان دهنده‌ي درجه‌اي از به بيشينه رسيدن تابع فازي و ساير محدوديت‌ها است كه مقدار آن بين صفر و 1 می‌باشد. ارزش‌هاي نزديک به يک نشان دهنده‌ي رسيدن فواصل تعريف شده‌ي تابع و يا محدوديت‌هاي مورد نظر

به حد بالا می‌باشد. برعکس ارزش‌هاي نزدیک به صفر راه حلی را ارایه می‌دهد که در آن فواصل تعریف شده براي تابع و محدودیت‌ها به حد پایین نزدیک می‌شوند.

در مدل ارایه شده‌ي بالا $\Delta f = f^{+} \quad f$ و $\Delta W_{i\max} = W_{i\max}^{+} \quad W_{i\max}$ که در این فرمول $W_{i\max}^{+}$ و $W_{i\max}$ حد بالا و پایین بیش‌ترین مقدار تخصیص آب براي مصرف‌کننده‌ي i است. داریم. (ماسود و هم‌کاران، 2003).

$$\Delta q_j^{\pm} = q_j^{\pm} \quad q_j^{\pm} = \lfloor q_j \quad , q_j^{+} \rfloor \quad \lfloor q_j , q_j^{+} \rfloor = \lfloor q_j \quad q_j^{+} , q_j^{+} \quad q_j \rfloor \qquad (5)$$

در فرمول بالا q_j فاصله‌ي پایینی از حد پایینی عرضه‌ي آب، q_j^{+} فاصله‌ي بالایی از حد پایینی عرضه‌ي آب، q_j فاصله‌ي پایینی از حد بالایی عرضه‌ي آب و q_j^{+} فاصله‌ي بالایی از حد بالایی عرضه‌ي آب تحت جریان سطحی j می‌باشد.

هنگامی که در مدل 4 ، $W_i^{\pm}$ به‌عنوان یک پارامتر قطعی شناخته می‌شود، مدل یاد شده با در نظر گرفتن حد بالا و پایین اهداف مورد تمایل می‌تواند به دو زیرمدل تقسیم شود (هانگ، 1996). نتایج به‌دست آمده، فاصله‌اي را براي تابع هدف و متغیر تصمیم با سطوح مختلفی از ریسک و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها ارایه می‌کند. این نتایج براي ایجاد آلترناتیوهاي تصمیم‌گیري به‌کار می‌روند.

با قرار دادن $W_i^{\pm} = W_i^{-} + \Delta W_i z_i$ به‌طوري که $W_i^{\pm}$ داراي ارزش تعیین شده و قطعی باشد و $\Delta W_i = W_i^{+} - W_i^{-}$ و $z_i \in [0,1]$ ، مدل 6 ارایه می‌شود (جارا و ودولا، 2000). در این‌جا z_i متغیر تصمیم است که براي تعیین یک مجموعه‌ي بهینه از ارزش هدف به‌کار می‌رود و براي تحلیل سیاست‌گذاري ضروري به‌نظر می‌رسد. به‌عنوان مثال وقتی که $W_i^{\pm}$ به بالاترین حد خود برسد (z_i=1) سود سیستم به اوج می‌رسد و تقاضاي آب نیز به‌طور کامل تامین می‌شود. ولی اگر آب وعده داده شده در این حالت رها نشود ضرر سیستم نیز به بیش‌ترین درجه خواهد رسید و برعکس. و این امر مسایل سیاست‌گذاري را با مشکل روبه‌رو می‌کند.

اگر متغیرهاي $W_i^{\pm}$ ، Δf ، $\Delta W_{i\max}$ و $\Delta q_j^{\pm}$ در مدل 4 قرار گیرند مدل 6 حاصل می‌شود (ماسود و هم‌کاران، 2003).

$$\max \lambda \tag{6}$$

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

$$\sum_{i=1}^{m}(W_i + \Delta W_i z_i \quad S_{ij}^{\pm}) + \lambda \quad q_j \quad \overset{+}{q}_j, \overset{+}{q}_j \quad q_j \quad \leq \overset{\pm}{q}_j, \qquad j,$$

$$W_i + \Delta W_i z_i + \lambda(W_i^{+}{}_{max} \quad W_{i\ max}) \leq W_i^{+}{}_{max}, \qquad i$$

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

$$0 \leq z_i \leq 1, \qquad i,$$

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

در مدل بالا $S_{ij}^{\pm}$، z_i و λ متغیر تصمیم است. مدل 6 بـراي حـل بـه دو زیرمـدل تجزیـه خواهد شد. زمانی که هدف، بیشینه کردن سود خالص سیستم است، نخـست زیرمـدلی را کـه f^{+} به‌دست می‌دهد تعریف می‌شود. ترکیبی از حد بالاي ضرایب سود و متغیرهـاي تـصمیم و حد پایین ضرایب ضرر، مقدار f^{+} را به‌دست خواهد داد. زیرمدل ارایه کننده‌ي f^{+} به‌صـورت زیر بیان می‌شود (ماسود و هم‌کاران، 2003).

$$\max \tag{7}$$

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

$$\sum_{i=1}^{m}(W_i + \Delta W_i z_i \quad S_{ij}) + \lambda \quad q_j \quad \overset{+}{q}_j \quad \leq \overset{+}{q}_j, \qquad j,$$

$$W_i + \Delta W_i z_i + \lambda(W_i^{+}{}_{max} \quad W_{i\ max}) \leq W_i^{+}{}_{max}, \qquad i$$

$$\Delta W_i z_i + S_{ij} \leq W_i, \qquad i, j,$$

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

$$0 \leq z_i \leq 1, \qquad i,$$

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

در فرمول بالا S_{ij} و z_i و λ متغیر تصمیم هستند که از حل این زیرمدل به‌دست مـی‌آینـد. زیرمدل ارایه دهنده‌ي f نیز به‌صورت زیر فرموله می‌شود (ماسود و هم‌کاران، 2003).

$$\max \lambda \tag{8}$$

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

$$\sum_{i=1}^{m}(W_i \quad + \Delta W_i z_i \quad S_{ij}^{+}) + \lambda \quad q_j^{+} \quad q_j \quad \leq q_j, \qquad j,$$

$$\Delta W_i z_i + S_{ij}^{+} \leq W_i \ , \qquad i, j,$$

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

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

در فرمول بالا S_{ij}^{+} و λ متغیر تصمیم است که از حل این زیرمدل به‌دست می‌آید.

با توجه به حل دو زیرمدل، جواب مدل اصلی به‌صورت زیر بیان می شود:

$$S_{ijopt}^{\pm} = \left[S_{ijopt}, S_{ijopt}^{+}\right] \tag{9}$$

$$\lambda_{opt}^{\pm} = \left[\lambda_{opt}, \lambda_{opt}^{+}\right]$$

$$f_{opt}^{\pm} = \left[f_{opt}, f_{opt}^{+}\right]$$

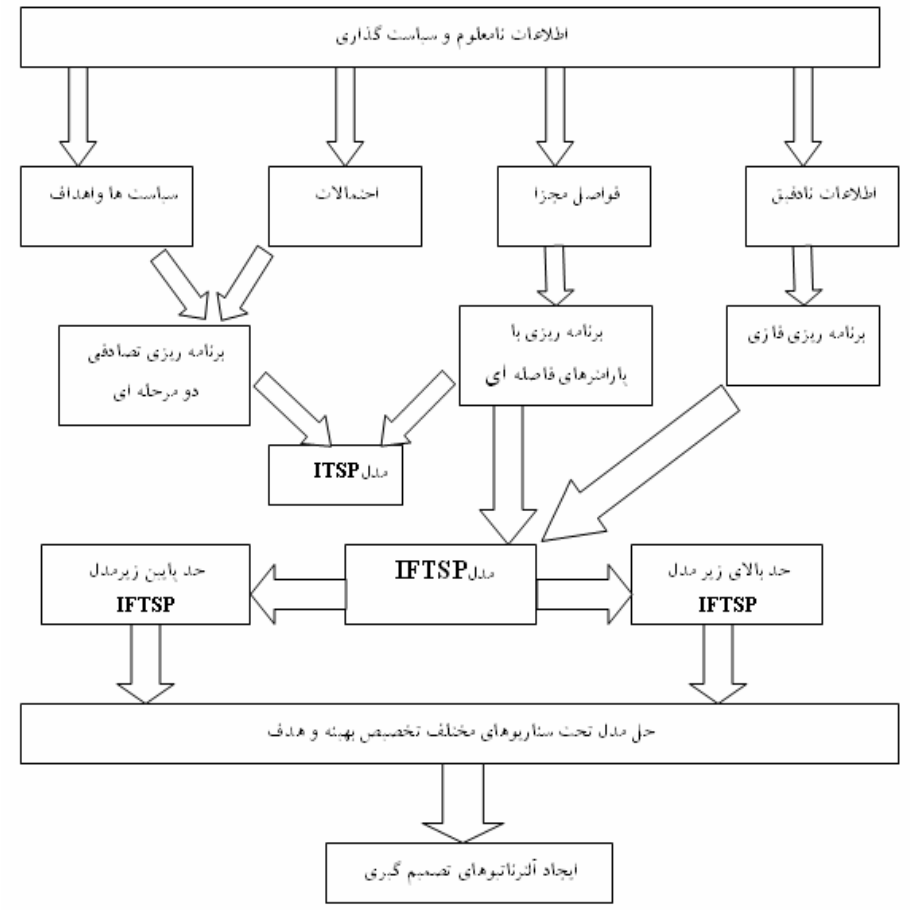
که در آن $\lambda_{opt}^{\pm}$ و $f_{opt}^{\pm}$ و $S_{ijopt}^{\pm}$ به‌ترتیب حد بالا و پایین درجه‌ي تامین بهینه‌ي سیستم، ارزش بهینه‌ي تابع هدف و کم‌بود بهینه‌ي آب براي مصرف‌کننده‌ي i در سطح جریان j می‌باشد.

به‌طور کلی تخصیص بهینه‌ي آب از فرمول زیر به‌دست می‌آید (ماسود و هم‌کاران، 2003).

$$A_{ijopt}^{+} = W_{iopt}^{\pm} \quad S_{ijopt}^{\pm} \qquad i, j \tag{10}$$

در این فرمول $A_{ijopt}^{\pm}$ حد بالا و پایین تخصیص بهینه‌ي آب براي مصرف‌کننده‌ي i است که از کسر میزان کم‌بود بهینه‌ي آب (متغیر تصمیم مرحله‌ي دوم) از تخصیص بهینه‌ي هدف آب (متغیر تصمیم مرحله‌ي اول) به‌دست می‌آید. مهم‌ترین مزیتی که دو مرحله‌اي کردن مدل در پی دارد این است که سیاست‌هاي مرتبط با منابع آب می‌تواند در مدل گنجانده شود. اما اگر $A_{ij}^{\pm}$ به‌طور مستقیم از حل یک مدل به‌دست آید نمی‌توان سیاست‌هاي مد نظر را در مدل ارایه کرد (ماسود و هم‌کاران، 2003).

شکل 1 چارچوب عمومی مدل IFTSP را که براساس سه تکنیک TSP و IPP و FP است، نشان می‌دهد. هر یک از این مدل‌ها سهمی در حل مدل‌هاي همراه با عدم حتمیت دارند و به مرور زمان تکمیل شده‌اند (ماسود و هم‌کاران، 2003).



شکل (1) چارچوب عمومی مدل **IFTSP** (ماسود و هم‌کاران، 2003)

در زیر الگوریتم حل مدل IFTSP آمده است.

گام 1- فرموله کردن مدل IFTSP (مدل 4)

گام 2- بازنویسی مدل 4 با تعریف به‌طوري که $\Delta W = W_i^+ \quad W_i$ و $z_i \quad [0,1]$ باشد، (مدل 6)

گام 3- تبدیل مدل 6 به دو زیرمدل با هدف بیشینه کردن $f^{\pm}$.

گام 4- فرموله کردن زیرمدل f^+

گام 5- حل زیرمدل f^+ و به‌دست آوردن S_{ijopt} و z_{iopt}.

گام 6- محاسبه‌ي $W_{iopt}^{\pm} = W_i + \Delta W_i z_{iopt}$

گام 7- محاسبه‌ي f_{opt}^+

گام 8- فرموله کردن زیرمدل f

گام 9- حل زیرمدل f^- و به‌دست آوردن S_{ijopt}^+

گام 10- محاسبه‌ي f_{opt}

گام 11- حل مدل IFTSP با استفاده از فرمول 9

گام 12- به‌دست آوردن تخصیص بهینه‌ي آب بر طبق فرمول 10

داده‌هاي مطالعه

جدول‌هاي (1) و (2) داده‌هاي مربوط به عرضه و تقاضاي آب و سود و زیان حاصل از افزایش و کاهش یک مترمکعب آب را با یک فاصله‌ي اطمینان براي مصرف‌کنندگان مختلف نشان می‌دهند.

جدول (1) اطلاعات مربوط به عرضه‌ي آب و احتمال انواع سطح جریان

	سطح جریان آب		
	کم (j=1)	متوسط (j=2)	زیاد (j=3)
عرضه‌ي آب	((10/7و8/7)و(3/69و1/69))	((16/52و14/52)و(10/38و8/38))	((23/37و21/37)و(17/42و15/42))
احتمال مربوطه	0/18	0/66	0/16

ماخذ: داده‌هاي مطالعه

جدول (2) اطلاعات اقتصادي مورد نياز مطالعه

داده	مصرف‌کننده‌ي آب	
	بخش کشاورزي	بخش شهري
بيشينه‌ي تخصيص آب ($W_{i\max}^{\pm}$)	14	14
تخصيص آب هدف ($W_i^{\pm}$)	(5/52 و 4/74)	(10/25 و 8/81)
سود خالص به‌ازاي يک واحد آب اضافی رها شده ($B_i^{\pm}$)1	(64/67 و 4/33)	(227/01 و 208/71)
کاهش در سود خالص به‌ازاي يک واحد کاهش آب وعده داده شده ($C_i^{\pm}$)	(20/69 و10/50)	(192/08 و 184/34)

1. منظور افزايش ماهانه 1 مترمکعب آب اضافی رها شده براي هر فرد شهري تحت پوشش سد طرق(5 درصد جمعيت) و افزايش سالانه‌ي اين مقدار آب براي هر10 هکتار اراضی کشاورزي تحت پوشش سد (1300 هکتار).

ماخذ: داده‌هاي مطالعه

عددهاي جدول (1) به‌روش زير محاسبه شدند:

براي به‌دست آوردن احتمال نوع جريان آب (جريان آب کم، متوسط و يا زياد) براساس داده‌هاي بارندگی 30 سال گذشته در شهر مشهد و در محل سد طرق و با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد درصد سال‌هاي خشک و متوسط و تر محاسبه شد و از اين درصدها براي احتمال وقوع سطح جريان کم، متوسط و زياد جريان خروجی آب سد استفاده شد. شاخص بارندگی استاندارد به‌صورت زير تعريف می شود (نجفی حاجيور و هم‌کاران، 1385).

$$SPI = \frac{(P_i \quad P)}{S} \qquad (11)$$

که در آن P_i بارندگی سال مدنظر، p ميانگين بارندگی بلندمدت ، و S انحراف معيار بلندمدت بارندگی است. اگر شاخص ياد شده بيش‌تر از 1 باشد ترسالی و اگر کم‌تر از 1- باشد، خشک‌سالی وجود دارد. اعداد بين 1 و 1- نشان دهنده‌ي سالی با بارندگی نرمال و متوسط است. نتايج نشان داد که در 0/66 درصد حالات طی 30 سال گذشته شهر مشهد داراي

سال نرمال و متوسط، در 0/16 درصد حالات داراي ترسالی و در 0/18 درصد موارد داراي خشک‌سالی بوده است.

از آن‌جا که عرضه‌ي آب براي سال آینده یک متغیر تصادفی است براي هر حالت از جدول (1) با استفاده از روش شبیه‌سازي ساده و کاربرد اعداد تصادفی، 100 بار عرضه‌ي آب به‌صورت تصادفی انتخاب و این اعداد با در نظر گرفتن یک بازه با استفاده از بیشینه و کمینه‌ي داده‌ها و انحراف معیار آن‌ها در جدول قرار داده شد. گفتنی است 100 بار انتخاب تصادفی میزان عرضه براي حالت جریان کم آب، از سال‌هاي خشک و براي دو حالت دیگر به‌ترتیب از سال‌هاي نرمال و تر انتخاب شد. از آن‌جا که در این مدل حد بالا و پایین بازه نیز داراي عدم حتمیت می‌باشد، براي این دو حد نیز بایستی بازه تعریف کرد.

داده‌هاي میزان تخصیص آب هدف براي سال آینده‌ي کشاورزان در جدول (2)، از میانگین آب مورد نیاز سال‌هاي قبل کشاورزان با در نظر گرفتن یک بازه با استفاده از داده‌هاي گذشته، به‌دست آمد. علت انجام این کار، نبود توسعه‌ي کشاورزي در محدوده‌ي سد طرق است. از سوي دیگر الگوي کشت افراد نیز به‌تقریب ثابت است.

در مورد مصرف‌کنندگان شهري نخست با استفاده از نرخ رشد جمعیت سالانه، جمعیت سال بعد مشهد محاسبه شد. از آن‌جا که تنها 10 درصد از افراد شهر مشهد از آب سد طرق و کارده استفاده می‌کنند و حدود نیمی از آن‌ها از آب سد طرق مصرف دارند، تقاضاي آب مردم مشهد از سد طرق، از حاصل‌ضرب 5 درصد جمعیت مشهد در الگوي مصرف فردي آب شهر مشهد به‌دست آمد.

متغیر بیشینه میزان تخصیص آب به بخش شرب و کشاورزي از بیشینه‌ي میزان تخصیص یافته در سال‌هاي گذشته به‌دست آمد.

براي به‌دست آوردن سود و زیان مصرف‌کننده‌ي شهري از تابع تقاضاي آب شهر مشهد استفاده شد. این تابع تقاضا به‌صورت زیر تعریف شده است (سعیدي و ابریشمی، 1376).

$$Q = 1018346.4 + 4.24N_i \quad 27923.155P_i + 65035.853TE_i \qquad (12)$$

که درآن N_i و P_i و TE_i به‌ترتیب جمعیت شهري مصرف‌کننـده‌ي آب، قیمـت واقعـی آب و کمینه‌ي دما است. گفتنی است که عوامل دیگري نیز ازجمله درآمد، فصل و... بـر تقاضـاي آب موثراست که در مطالعه‌اي که تابع بالا از آن گرفته شده به این امر توجـه شـده اسـت. بـا ایـن حال، به‌دلیل سادگی و این‌که براي تعیین تغییر در سطح رفاه مصرف‌کننده به سطح زیر منحنـی تقاضا یا به سخن دیگر مازاد مصرف‌کننده توجه شده، لازم بود که سایر عوامل موثر در سطحی معین درنظر گرفته شوند.

با در نظر گرفتن جمعیت سال بعد و کمینه دماي موجود طی 30 سال گذشته، تابع تقاضاي آب به‌صورت تابعی با دو متغیـر Q و P ارایـه شـد. نخـست حاصـل‌ضـرب مـصرف سـرانه‌ي سالانه‌ي شهر مشهد در جمعیت شهري به‌عنوان Q در تابع قرار داده شد. براي بـه‌دسـت آوردن سود حاصل از یک واحد افزایش آب مصرف‌کننده، بعد از افـزایش یـک واحـدي در مـصرف ماهانه‌ي هر فرد، دوباره مقدار Q برآورد و سپس میزان تغییر در اضافه رفاه مصرف‌کننده نسبت به حالت نبود تغییر در Q محاسبه شد.

براي به‌دست آوردن ضرر مصرف‌کننده‌ي شهري از کاهش 1 واحـدي آب دو راه در مقابـل مصرف‌کننده‌ي شهري وجود دارد. یا این‌که آب را از منبع گران‌تري تهیه کند و یا این‌که کم‌تـر مصرف و در عوض اضافه رفاه او کاهش پیدا کند. تهیه‌ي آب خانگی از منـابع دیگـر بـه‌طـور معمول امکان‌پذیر نیست (آب چاه یا تانکرهاي فروشـی آب شـیرین در برخـی شـهرها) و یـا خیلی گران تمام می‌شود (آب معدنی). در نتیجه حالت دوم انتخاب می‌شود. کـاهش در اضـافه رفاه مصرف‌کننده عکس حالت افزایش در اضافه رفاه، به‌ازاي کاهش یک مترمکعب در الگـوي مصرفی ماهانه هر فرد محاسبه شد.

از آن‌جا که محدودکننده‌ترین عامل کشاورزي منطقه آب است، با تغییر ایـن محـدودیت در الگوي کشت زراعی منطقه، رابطه‌اي بین سود کشاورز و مقدار آب مصرفی تخمین زده شد. بـا قرار دادن مقدار آب قابل دست‌رس کشاورز در سال آینده در این رابطه و تغییـر 1 واحـدي آن براي هر 10 هکتار زمین کشاورزي به‌عنوان متوسط سطح زیر کشت منطقـه، سـود کـشاورزان به‌ازاي تغییر در میزان آب مصرفی به‌دست آمد.

اگر آب وعده داده شده به کشاورز رها نشود او دو گزینه پیش رو دارد. یا این‌که آب را باید از سایر منابع به قیمت بالاتر خریداري کند و یا این‌که ضرر حاصل از کاهش محصول را انتخاب کند. از آن‌جا که خرید آب از منبع گران‌تر ضرر کم‌تري را نصیب کشاورز می‌کند تفاوت بین قیمت خرید 1 واحد آب از سایر منابع و قیمت خرید حق‌آبه، به‌عنوان ضرر کشاورز در نظر گرفته شد.

داده‌هاي عرضه و تقاضا، بیش‌ترین تخصیص و تخصیص هدف آب از سازمان آب منطقه‌اي خراسان رضوي جمع‌آوري شد. داده‌های بارندگی و دما از موسسه‌ي هوا و اقلیم‌شناسی و داده‌های جمعیت مشهد از سال‌نامه‌ي آماري برگرفته شد. قیمت سایه‌ای آب و سود و زیان مصرف‌کننده از آب مصرفی نیز با کاربرد توابع حاصل شد.

نتایج و بحث

در مدل ITSP و IFTSP به‌علت اهمیت مصرف آب شرب براي مصرف‌کننده‌ي شهري و با توجه سود یا ضرر بیش‌تري که بخش شهري از مصرف یا مصرف نکردن آب به‌دست می‌آورد، در تخصیص آب توجه بیش‌تري به این بخش خواهد شد. جدول‌هاي (3) و (4) نتایج حاصل از این دو مدل را نشان می‌دهند. در جدول 4 مقادیر S_{11} و S_{21} نشان می‌دهند که در سطح جریان کم (j=1) با توجه به تقاضاي آب هدف (5/52 میلیون مترمکعب) براي مصرف‌کننده‌ي کشاورزي و مقدار (9/86 میلیون مترمکعب) براي مصرف‌کننده‌ي شهري به‌ترتیب بین (1/2 و0) میلیون مترمکعب و (8/01 و4/39) میلیون مترمکعب کم‌بود آب وجود خواهد داشت. از کسر این فواصل از مقدار تقاضاي آب هدف، مقادیر تخصیص نهایی آب به‌دست می‌آید که این مقادیر براي مصرف‌کننده‌ي کشاورزي و شهري به‌ترتیب برابر (5/52 و4/32) و (5/47 و 1/85) می‌باشد. جدول (3) نیز نتایج مشابهی را برای این فواصل ارایه می‌دهد که دقت کم‌تري دارد. همان‌طور که در دو جدول دیده می‌شود اگر سطح جریان آب زیاد باشد (به احتمال 16 درصد این حالت رخ خواهد داد) در هیچ کدام از بخش‌ها کم‌بود آب دیده نمی‌شود و تمام تقاضاي آب هدف برآورد خواهد شد.

جدول (3) نتایج حاصل از مدل **ITSP** (واحد- میلیون مترمکعب)

	احتمال وقوع جریان آب	مصرف‌کننده‌ي کشاورزي	مصرف‌کننده‌ي شهري
تقاضاي هدف آب ($W^{\pm}_{iopt}$)		5/52	10/25
کم‌بودها ($D^{\pm}_{ijopt}$)			
سطح جریان کم	0/18	(2/82 و0)	(8/81 و 6/07)
سطح جریان متوسط	0/66	0	(5/55 و 0/25)
سطح جریان زیاد	0/16	0	0
تخصیص نهایی آب ($A^{\pm}_{ijopt}$)			
سطح جریان کم	0/18	(5/52 و2/7)	(18/ 4 و 1/44)
سطح جریان متوسط	0/66	5/52	(10 و 4/7)
سطح جریان زیاد	0/16	5/52	10/25
سود خالص سیستم (ریال)		10^9*(1890 و 1574)	

ماخذ: یافته‌هاي مطالعه

جدول (4) نتایج حاصل از مدل **IFTSP** (واحد- میلیون مترمکعب)

	احتمال وقوع جریان آب	مصرف‌کننده‌ي کشاورزي	مصرف‌کننده‌ي شهري
تقاضاي آب هدف ($W^{\pm}_{iopt}$)		5/52	9/86
کم‌بودها ($S^{\pm}_{ijopt}$)			
سطح جریان کم	0/18	(1/2 و0)	(8/01 و4/39)
سطح جریان متوسط	0/66	0	(3/64 و0)
سطح جریان زیاد	0/16	0	0
تخصیص نهایی آب ($A^{\pm}_{ijopt}$)			
سطح جریان کم	0/18	(5/52 و4/32)	(5/47 و 1/85)
سطح جریان متوسط	0/66	5/52	(9/86 و6/22)
سطح جریان زیاد	0/16	5/52	9/86
سود خالص سیستم (ریال)		10^9*(1871 و1686)	
λ		(0/94 و0/36)	

ماخذ: یافته‌هاي مطالعه

مقایسه‌ي سود کل سیستم در دو مدل نشان می‌دهد که در مدل IFTSP نسبت به مدلITSP حد میانی سود بیش‌تر و فاصله‌ي لحاظ شده براي سود کم‌تر می‌باشد. به سخن دیگر مدل IFTSP به‌طور هم‌زمان سود و قطعیت سیستم را افزایش می‌دهد.

جدول (5) نتایج حاصل از مدل را تحت سناریوهاي مختلف تقاضاي آب هدف ارایه می‌کند. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود در حالت $W_i^{\pm} = W$ ، مدیر سیستم محافظه‌کارانه عمل می‌کند و حد پایین تقاضاي آب هدف را به مصرف‌کنندگان وعده می‌دهد. این مساله موجب می‌شود هر دو متغیر کم‌بود آب $S_{ijopt}^{\pm}$ و تخصیص نهایی آب $A_{ijopt}^{\pm}$ نسبت به جدول 4 کاهش یابد. اما وقتی تقاضاي آب هدف به بالاترین حد خود برسد ($W_i^{\pm} = W^{+}$) مدیر به‌صورت خوش‌بینانه آب را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. در این حالت هر دو متغیر کم‌بود آب $S_{ijopt}^{\pm}$ و تخصیص نهایی آب $A_{ijopt}^{\pm}$ نسبت به جدول (4) افزایش می‌یابد. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود در این حالت با رخ دادن ترسالی به احتمال زیاد آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان تامین می‌شود اما در سال‌هاي خشک ریسک تامین آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان بالا است.

هنگامی که تقاضاي آب هدف به‌صورت $W_i^{\pm} = W^{(mid)}$ باشد، مدیر سیستم در حالتی بین محافظه‌کاري و خوش‌بینانه بودن نسبت به منابع آب قرار دارد. در این حالت سود خالص سیستم در فاصله‌ي (1886و1700) میلیارد ریال قرار دارد.

جدول (5) نشان می‌دهد که اگر بخش کشاورزي کم‌ترین میزان تقاضاي آب را داشته باشد، با کم‌بود آب در هیچ سطح جریانی روبه‌رو نخواهد شد. اما، بخش شهري در کم‌ترین میزان تقاضاي آب و در سطوح جریان کم و متوسط، به‌ترتیب با (5/5 و 2/5) و (1/3 و 0) میلیون مترمکعب کم‌آبی روبه‌رو خواهد شد. در بیشینه تقاضاي آب، بخش کشاورزي و شهري در سطح جریان کم، به‌ترتیب با (1/2 و 0) و (8/5 و 5/2) میلیون مترمکعب کم‌آبی مواجه می‌باشند. افزون بر آن، بخش شهري در سطح جریان متوسط با (4/4 و 1) میلیون مترمکعب کم‌بود آب مواجه است. در متوسط تقاضاي آب براي دو بخش، مقادیر کم‌بود آب نسبت به حالت بیشینه تقاضا کاهش یافته و به مقدار (0/5 و 0) براي سطح جریان کم در بخش

کشاورزي و (7/2 و 3/3) و (2/6 و 0) براي سطوح جريـان كـم و متوسـط در بخـش شـهري مي‌رسد.

جدول (5) مدل **IFTSP** تحت سناريوهاي مختلف

	$W_i^{\pm} = W$		$W_i^{\pm} = W^{+}$		$W_i^{\pm} = W^{(mid)}$	
	مصرف‌كننده‌ي كشاورزي	مصرف‌كننده‌ي شهري	مصرف‌كننده‌ي كشاورزي	مصرف‌كننده‌ي شهري	مصرف‌كننده‌ي كشاورزي	مصرف‌كننده‌ي شهري
تقاضاي آب هدف ($W_{iopt}^{\pm}$)	4,74	8,81	5,52	10,25	2/37	9-53
كم‌بودها($S_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جريان كم	0	(5/5 و2/2)	(1/2 و0)	(8/5 و5/2)	(0,5 و0)	(7/2 و3/3)
سطح جريان متوسط	0	(1/3 و0)	0	(4/4 و1)	0	(2/6 و0)
سطح جريان زياد	0	0	0	0	0	0
تخصيص نهايی آب ($A_{ijopt}^{\pm}$)						
سطح جريان كم	4/74	(6/61 و3/31)	(5/52 و4/32)	(5,05 و3,31)	(2/37 و1/87)	(6/23 و2/33)
سطح جريان متوسط	4/74	(8/81 و7/51)	5,52	(9,25 و5,85)	2,37	(9/53 و6/93)
سطح جريان زياد	4/74	8/81	5,52	10,25	2,37	9/53
سود خالص سيستم (ريال)	10^9*(1883 و1612)		10^9*(1861 و1706)		10^9*(1886 و1700)	
λ	(0/98 و0/12)		(0/91 و0/42)		(0/99 و0/4)	

ماخذ: داده‌هاي مطالعه

نتيجه‌گيری و پيش‌نهادها

در مطالعه‌ي كنـونی، مـديريت آب سـد طـرق بـا اسـتفاده از روش برنامـه‌ريـزي تـصادفی دومرحله‌اي فازي با استفاده از پارامترهاي بازه‌اي و تحت شرايط عـدم حتميـت مـورد بررسـی قرار گرفت. اين مدل از تركيب دو مدل برنامه‌ريزي فازي و پارامترهـاي بـازه‌اي در چـارچوب بهينه‌سازي تصادفی دومرحله‌اي تشكيل شده است. به‌طور كلـی مـی‌تـوان گفـت مـدل IFTSP

راه‌کاري را براي مديريت منابع آب و تخصيص آب بين مصرف‌کنندگان رقيب ارايه می‌کند. دو راه‌کار هدف افزايش سود سيستم و افزايش دست‌رسی به منابع آب به‌طور هم‌زمان مدنظر قرار گرفت. اطلاعات مورد نياز از سازمان آب منطقه‌اي مشهد و براي سال‌هاي 67 تا 85 جمع‌آوري شد. نتايج نشان داد سود بخش شهري نسبت به تغييرات تخصيص آب حساس‌تر است. هم‌چنين در 0/16 درصد حالت‌ها (احتمال وقوع سال تر)، هيچ مصرف‌کننده‌اي دچار کم‌بود آب نخواهد شد. در 0/66 درصد موارد، مصرف‌کننده‌ي شهري و در 0/18 درصد موارد (احتمال وقوع سال خشک) هر دو مصرف‌کننده دچار کم‌بود آب خواهند شد. سرانجام اگر مدير سيستم به‌صورت محافظه‌کارانه عمل کند، در آينده کم‌بود آب کم‌تري رخ خواهد داد.

منابع

آذرمسا، م.، فياض، م. و تطهيري، م. (1379). مديريت منبع و مصرف آب شبکه‌ي آبياري و زه‌کشی سفيدرود، مجموعه مقالات دهمين همايش آبياري و زه‌کشی ايران. تهران، 124-111.

افشار، م. (1384). روشی دومرحله‌ای برای بهينه‌سازي گسسته‌ي شبکه‌های آبرسانی. مجله‌ي فنی مهندسی مدرس، 19: 110-101.

تجريشی، م. و ابريشم‌چی، ا. (1383). مديريت تقاضاي منابع آب در کشور. مجموعه مقالات همايش روش‌هاي پيش‌گيري از اتلاف منابع طبيعی، تهران، 41-24.

جمالی، ف. (1376). ره‌يافتی رياضی– اقتصادي براي تخصيص بهينه‌ي آب بين اراضی زيرسدها: مطالعه‌ي موردي سد ميرزاي شيرازي (کوار). پايان‌نامه‌ي کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزي، دانشگاه تهران، دانشکده‌ي کشاورزي.

سلطانی، غ. (1372). تعيين آب‌بها و تخصيص بهينه‌ي آب در اراضی زيرسدها: مطالعه‌ي موردي سد درودزن. مجموعه مقالات اولين سمپوزيوم سياست کشاورزي ايران، دانشکده‌ي کشاورزي، دانشگاه شيراز، 211-195.

سعيدي، م. و. ابریشمی، ح. (1376). تخمين تابع تقاضاي آب شرب شهر مشهد. پایان‌نامه‌ي کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.

نجفی حاجیور، م.، کوهپیما، ا. و طهماسبی، ا. (1385). بررسی شاخص‌های تعیین خشک‌سالی در استان چهارمحال و بختیاری. اولین همایش منطقه‌اي بهره‌برداري از منابع آب حوضه‌هاي کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد.

وزارت نیرو. (1386). سد کارده. واحد آمار و اطلاعات شرکت سهامی آب منطقه‌اي خراسان.

Abrishamchi, A., Marino, M. A. and Afshar, A. (1991). Reservoir planning for irrigation district, *Journal of Water Resources Planning and Management*,117: 74–85.

Babaeyan-Koopaei, K., Ervine, D. A. and Pender, G. (2003). Field and flow modeling of overbank flows in River Severn, UK. *Journal of Environmental Informatics*,1: 28-36.

Ferrero, R. W., Rivera, J. F. and Shahidehpour, S. M. (1998). A dynamic programming two-stage algorithm for long-term hydrothermal scheduling of multireservoir systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, 13: 1534-1540.

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: 95–118.

Jairaj, P. G. and Vedula, S. (2000). Multireservoir system optimization using fuzzy mathematical programming, *Water Resources Management*,14: 457–472.

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 J of Operat Research*, 167: 208-225.

Torkamani, J. and Hardaker, J. B. (1996). A study of economic efficiency of Iranian farmers in Ramjerd district: An application of stochastic programming, *Agricultural Econ*omics, 14: 73-83.

Wang, L. Z., Fang, L. and Hipel, K. W. (2003) Water resources allocation: A cooperative game theoretic approach, *Journal of Environmental Informatics*, 2: 11-22.

Zhao, G. (2001). A log-barrier method with bender decomposition for solving two-stage stochastic linear programs, *Mathematical Programming*, 90: 507-536.