

بهره‌برداری بهینه از مخزن سد لار کاربرد برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای

فاطمه رستگاری پور*، علیرضا کرباسی^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۲۳

چکیده

در مطالعه‌ی حاضر، مدیریت آب سد لار با استفاده از روش از برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای از ترکیب دو برنامه‌ریزی پویا و نادقیق در چارچوب بهینه‌سازی تصادفی تشکیل شده است. داده‌های مطالعه از سازمان آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب استان تهران و برای سال‌های ۶۵ تا ۹۲ جمع‌آوری شد. 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 ماهانه‌ی 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 می باشد. لذا توصیه می شود که مدیران در جهت افزایش راندمان آبیاری کشاورزی و آموزش کشاورزان در این جهت گام بردارند.

طبقه‌بندی *JEL*: Q25

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تصادفی، روش پنج مرحله‌ای، پارامترهای غیر دقیق، عدم قطعیت، سد لار.

۱- استادیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۲- دانشیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*نویسنده‌ی مسئول مقاله: Rastegaripour@gmail.com

پیشگفتار

ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی‌متر در سال از کشورهای خشک جهان به شمار می‌رود. از ۴۱۵ میلیارد مترمکعب نزولات سالانه کشور ایران، حدود ۷۰٪ آن تبخیر می‌شود (Tagrishi & Abrishamchi, 2004). از مقدار آب استحصال شده، به ترتیب ۹۳، ۵ و ۲ درصد در بخش‌های کشاورزی، شهری و صنعتی به مصرف می‌رسد (Borhani Daryan & Mortazavi, 1999; Gelyan et al, 2007). محدودیت منابع آب، افزایش هزینه‌های استحصال و محدودیت منابع مالی، طرح‌های توسعه‌ی بهره‌برداری از منابع جدید آب را با مشکل و محدودیت مواجه کرده است (Borhani Daryan & Mortazavi, 1999). افزون بر آن، رشد جمعیت، ارتقای سطح زندگی، توسعه‌ی صنعتی و کشاورزی و حفاظت اکوسیستم‌ها سبب افزایش تقاضای آب شده است. این عوامل و نقش مهم آب در توسعه‌ی پایدار سبب توجه بیش از پیش مسئولین به مدیریت تقاضا و عرضه‌ی آب در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های کلان و منطقه‌ای کشور شده است (Azarmsa et al, 2000).

سد لار یکی از سدهای خاکی تامین‌کننده‌ی آب آشامیدنی حوالی تهران و تامین‌کننده‌ی آب مورد نیاز آبیاری‌های کشاورزی منطقه می‌باشد. مطالعات احداث این سد از سال ۱۳۳۰ آغاز شده و در نهایت در سال ۱۳۶۱ گشایش یافت. سطح حوزه‌ی آبریز این سد بالغ بر مساحت ۶۷۵ کیلومتر مربع می‌باشد و متوسط جریان آب سالانه ۴۸۱ میلیون متر مکعب دارد. از انتقال آب این سد و پیوستن آب آن به سد لتیان، جهت استفاده در نیروگاه‌های منطقه برای تولید متوسط سالانه‌ی ۱۵۰ هزار مگاوات ساعت انرژی برق آبی استفاده می‌شود. بودجه‌ی برآورد شده برای ساخت سد، دویست میلیون دلار بود (Azarmsa et al, 2000). در زمینه‌ی مدیریت منابع آبی و مدل‌سازی خاکستری تاکنون مطالعاتی انجام شده است. Huang et al (1992) برای اولین بار راهکار برنامه‌ریزی خطی خاکستری را در مدیریت ضایعات جامد آب در کانادا به کار بردند. Huang (1996) مدل پارامترهای بازه‌ای (Interval Parameter) را در کنترل آلودگی آب بین سیستم‌های کشاورزی کانادا به کار برد. این مدل به علت انعطاف‌پذیری بالا و کاربردهای فراوان و ساده برای تصمیم‌گیری نهایی، مورد استقبال مدیران قرار گرفت. با استفاده از این مدل، مجموعه جواب قابل قبولی برای کنترل آلودگی آب منطقه حاصل شد. در ادامه‌ی مطالعه با استفاده از آنالیز حساسیت محدودیت‌های کمی و کیفی موثر بر درآمد کشاورزان، مبادله‌ی بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی بررسی شده است. Li et al (2006) مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای (Programming Interval-parameter Multistage Stochastic) را

برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به کار گرفتند. آنها در مطالعه‌ی خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله‌ی بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه‌ی آنها طی ۸۱ سناریو برای سه مصرف‌کننده‌ی شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره‌ی آینده ارائه شد. هدف مطالعه‌ی حاضر تخصیص بهینه‌ی آب و تعیین حداکثر سود مصرف‌کننده‌ی شهری و کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم قطعیت است. اگر آب وعده داده شده به مصرف‌کننده در دوره‌ی مورد نظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش و اگر رها نشود، مصرف‌کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند و یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در دو حالت، مصرف‌کننده ضرر خواهد کرد. Li et al (2008) 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 چندمرحله‌ای فازی بازه‌ای پویایی مدل را به خوبی 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. Gelyan et al (2007) به تحلیل سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی آجی- چای با روش پویایی سیستم پرداختند. برای بررسی سناریوهای موجود، ده سری زمانی بیست ساله برای رواناب هر زیر حوضه با استفاده از مدل $ARMA(1,1)$ تولید شده و تراز آب دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. Rastegaripour & Sabouhi (2009) برنامه‌ریزی خاکستری را در تعیین الگوی کشت بخش مرکزی قوچان به کار بردند. نتایج مطالعه‌ی آنها نشان داد که سطح زیرکشت فعلی گندم آبی، جو آبی و یونجه بیشتر از حد بالای بازه‌ی سطح زیرکشت آنها و جو دیم، کمتر از حد پایین بازه‌ی سطح زیرکشت آن می‌باشد. افزون بر آن، درجه‌ی خاکستری بودن مجموعه جواب حاصل از برنامه‌ریزی خاکستری با استفاده از راهکار برنامه‌ریزی فازی خاکستری به میزان ۴۸ درصد کاهش یافت.

مواد و روش‌ها

برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای چندمرحله‌ای (Interval-parameter Multistage Programming) یکی از جدیدترین تکنیک‌های بهینه‌سازی می‌باشد. به کارگیری پارامترهای بازه‌ای در شرایط عدم قطعیت و در نظر گرفتن سود و زیان مصرف‌کننده در هنگام تامین و یا کمبود آب، از ویژگی‌های ممتاز این تکنیک است. در مطالعه‌ی حاضر، برنامه‌ریزی برای یک دوره‌ی

چهار ساله صورت می‌گیرد. لذا متغیر تصادفی عرضی آب با سطح احتمال P_{tk} (احتمال رخ دادن سناریوی k در دوره t) برای طرح یک مجموعه سناریو با ساختار شاخه‌ای ۲-۲-۲-۲ به کار می‌رود (Li et al, 2007). بنابراین، یک درخت با چهار دوره (پنج مرحله) برای هر مصرف‌کننده ایجاد می‌شود. به این ترتیب در دوره‌های اول تا چهارم به ترتیب ۲، ۴، ۸ و ۱۶ سناریو وجود دارد که در مجموع ۳۰ سناریو ایجاد می‌شود. این مدل به صورت زیر فرموله می‌شود (Li et al, 2006).

$$\max f = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it} W_{it} - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{K_t} p_{tk} C_{it} D_{itk}$$

subject to

$$\sum_{i=1}^I (W_{it} - D_{itk}) q_{th} + \sum_{(t-1)k} h, k=1,2,\dots,k_t, \quad t=1,2,\dots,T, \quad (2)$$

$$\sum_{(t-1)k} q_{(t-1)h} = \sum_{i=1}^I (W_{i(t-1)} - D_{i(t-1)k}) + \sum_{(t-2)k} h, k=1,2,\dots,k_{t-1},$$

$$W_{it\max} - W_{it} \geq D_{itk} \quad 0, \quad i,t,k,$$

که در این مدل f سود خالص سیستم در افق برنامه‌ریزی، NB_{it} سود مصرف‌کننده i در دوره t به ازای هر واحد آب تخصیصی، W_{it} آب وعده داده شده به مصرف‌کننده i در طی دوره t ، C_{it} ضرر مصرف‌کننده i به ازای هر واحد آب وعده داده شده رها نشده در دوره t ، D_{itk} کمبود آب برای مصرف‌کننده i تحت سناریوی k در دوره t ، به عبارت دیگر مقداری از W_{it} که در هنگام عرضه q_{th} رها نمی‌شود، q_{th} متغیر تصادفی عرضی آب در دوره t و سطح جریان h ، $W_{it\max}$ بیشترین مقدار تخصیص آب برای مصرف‌کننده i در زمان t ، p_{tk} احتمال رخ دادن سناریوی k در دوره t ، h مازاد آب سد بعد از رها شدن آب تحت سناریوی k در دوره t ، I کل تعداد مصرف‌کنندگان (در اینجا $I=2$)، i مصرف‌کننده آب ($i=1$) مصرف‌کننده کشاورزی و $i=2$ مصرف‌کننده شرب) و h سطح جریان در دسترس ($h=1$) جریان کم، $h=2$ جریان متوسط و $h=3$ جریان زیاد آب) می‌باشد.

مدل ۲ عدم قطعیت در مقدار آب عرضه شده را در نظر می‌گیرد (توسط سطح احتمال p_{tk}). اما پارامترهای W_{it} ، C_{it} و NB_{it} را هنوز به صورت قطعی در نظر می‌گیرد. در صورتی که در دنیای واقعی این پارامترها نیز ممکن است قطعی نباشند. برای حل این مساله پارامترهای مدل مذکور به صورت بازه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه مدل به صورت زیر ارائه می‌شود (Li et al, 2007).

$$\max f = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it} W_{it} - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K p_{tk} C_{tk} D_{itk}$$

subject to

$$\sum_{i=1}^I (W_{it} - D_{itk}) q_{th} + \sum_{(t-1)k} h, k=1,2,\dots,k_t, \quad t=1,2,\dots,T, \quad (3)$$

$$\sum_{(t-1)k}^{\pm} = q_{(t-1)k} + \sum_{i=1}^I (W_{i(t-1)} - D_{i(t-1)k}) + \sum_{(t-2)k} h, k=1,2,\dots,k_{t-1},$$

$$W_{it \max} - W_{it} - D_{itk} \leq 0, \quad i,t,k,$$

که در آن f بازه‌ی سود خالص سیستم، NB_{it} بازه‌ی سود مصرف‌کننده‌ی i در دوره‌ی t به ازای هر واحد آب تخصیصی، W_{it} بازه‌ی آب وعده داده شده به مصرف‌کننده‌ی i در طی دوره‌ی t ، C_{itk} بازه‌ی ضرر مصرف‌کننده‌ی i به ازای هر واحد آب وعده داده شده‌ی رها نشده در دوره‌ی t ، D_{itk} بازه‌ی کمبود آب برای مصرف‌کننده‌ی i تحت سناریوی k در دوره‌ی t ، به عبارت دیگر مقداری از W_{it} که در هنگام عرضه q_{th} رها نمی‌شود، q_{th} بازه‌ی متغیر تصادفی عرضه‌ی آب در دوره‌ی t و سطح جریان h ، $W_{it \max}$ بازه‌ی بیشترین مقدار تخصیص آب برای مصرف‌کننده‌ی i در زمان t ، احتمال رخ دادن سناریوی k در دوره‌ی t ، p_{tk} بازه‌ی مازاد آب سد بعد از رها شدن آب تحت سناریوی k در دوره‌ی t می‌باشد (Li et al, 2007).

از آنجا که W_{it} به‌عنوان یک پارامتر بازه‌ای در نظر گرفته می‌شود، رابطه‌ی ۳ به‌طور مستقیم قابل حل نیست و باید ساده‌سازی شود. برای حل این مساله پارامتر y_{it} به‌عنوان متغیر تصمیم تعریف می‌شود (Li et al, 2007).

$$W_{it} = W_{it} + W_{it}^-$$

$$W_{it} = W_{it}^+ - W_{it}^- \quad (4)$$

$$y_{it} \in \{0,1\}$$

y_{it} به‌عنوان یک متغیر تصمیم برای تعریف بازه‌ی بهینه‌ی W_{it} ، به‌کار می‌رود. هنگامی که $y_{it} = 1$ در بالاترین حد قرار دارد، اگر آب مورد نیاز بخش‌ها تامین شود، بالاترین میزان سود و اگر تامین نشود، بیشترین میزان ضرر برای سیستم حاصل می‌شود. اما هنگامی که $y_{it} = 0$ در پایین‌ترین حد قرار دارد، اگر آب مورد نیاز بخش‌ها تامین شود، کمترین میزان سود و اگر تامین نشود، کمترین ضرر برای سیستم به‌دست می‌آید. به عبارت دیگر، در این حالت حداقل

ریسک در سیستم وجود دارد (Li et al, 2007). با جایگزینی مدل ۴ در ۳، مدل زیر به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} \max f &= \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it} (W_{it} + W_{it} y_{it}) - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K p_{ik} C_{ik} D_{itk} \\ \text{subject to} & \\ & \sum_{i=1}^I (W_{it} + W_{it} y_{itopt} - D_{itk}) - q_{th} + q_{(t-1)k} = h, k = 1, 2, \dots, k_t, \quad t = 1, 2, \dots, T, \\ & q_{(t-1)k} = q_{(t-1)k} + \sum_{i=1}^I (W_{i(t-1)} + W_{i(t-1)} y_{i(t-1)}) - D_{i(t-1)k} + q_{(t-2)k}, \quad h, k = 1, 2, \dots, k_{t-1}, \\ & W_{itmax} - W_{it} + W_{it} y_{it} \geq D_{itk} \quad 0, \quad i, t, k, \\ & 0 \leq y_{it} \leq 1, \quad i, t. \end{aligned} \quad (5)$$

هنگامی که بازه‌ی W_{it} به صورت بهینه تعریف شود، مدل ۴ برای حل، به دو زیر مدل تقسیم می‌شود و از حل دو زیر مدل، حد بالا و حد پایین سود کل سیستم به دست می‌آید (Li et al, 2007). در مدل ۶ برای به دست آوردن بالاترین حد سود کل سیستم (f^+)، حد بالای سود مصرف‌کنندگان (NB^+) و حد پایین ضرر مصرف‌کنندگان (C) از مصرف آب در نظر گرفته می‌شود. مدل ۶ به صورت زیر فرموله می‌شود (Li et al, 2007).

$$\begin{aligned} \max f^+ &= \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it}^+ (W_{it} + W_{it} y_{it}) - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K p_{ik} C_{ik} D_{itk} \\ \text{subject to} & \\ & \sum_{i=1}^I (W_{it} + W_{it} y_{itopt} - D_{itk}) - q_{th}^+ + q_{(t-1)k}^+ = h, k = 1, 2, \dots, k_t, \quad t = 1, 2, \dots, T, \\ & q_{(t-1)k}^+ = q_{(t-1)k}^+ + \sum_{i=1}^I (W_{i(t-1)} + W_{i(t-1)} y_{i(t-1)}) - D_{i(t-1)k} + q_{(t-2)k}^+, \quad h, k = 1, 2, \dots, k_{t-1}, \\ & W_{itmax}^+ - W_{it} + W_{it} y_{it} \geq D_{itk} \quad 0, \quad i, t, k, \\ & 0 \leq y_{it} \leq 1, \quad i, t. \end{aligned} \quad (6)$$

f_{opt}^+ و y_{itopt} و D_{itk} از حل مدل ۶ به دست می‌آید. در مدل ۷، برای به دست آوردن پایین‌ترین حد سود کل سیستم (f)، حد پایین سود مصرف‌کنندگان (NB) و حد بالای ضرر مصرف‌کنندگان (C^+) از مصرف آب در نظر گرفته می‌شود. مدل ۷ به صورت زیر فرموله می‌شود (Li et al, 2007).

$$\begin{aligned} \max f &= \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T NB_{it} (W_{it} + W_{it} y_{it}) - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K p_{ik} C_{ik}^+ D_{ik}^+ \\ \text{subject to} & \\ & \sum_{i=1}^I (W_{it} + W_{it} y_{itopt} - D_{ik}^+) - q_{th} + \sum_{(t-1)k}^{(t-1)k} h, k = 1, 2, \dots, k_t, \quad t = 1, 2, \dots, T, \\ & \sum_{i=1}^I (W_{i(t-1)k} + W_{i(t-1)k} y_{i(t-1)k} - D_{i(t-1)k}^+) + \sum_{(t-2)k}^{(t-2)k} h, k = 1, 2, \dots, k_{t-1}, \\ & W_{itmax} - W_{it} + W_{it} y_{it} - D_{ik}^+ \leq 0, \quad i, t, k, \\ & D_{ik} - D_{itkopt}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \end{aligned} \quad (7)$$

مقدار f_{opt}^+ و D_{ik}^+ از حل مدل ۷ به دست می‌آید. با استفاده از جواب‌های مدل ۶ و ۷ روابط زیر به دست می‌آید (Li et al, 2006).

$$f_{opt}^+ = f_{opt}, f_{opt}^+ \quad (8)$$

$$D_{itkopt} = D_{itkopt}, D_{itkopt}^+$$

در نتیجه تخصیص بهینه‌ی آب برای دوره‌ی برنامه‌ریزی (A_{itkopt}) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$A_{itkopt} = W_{itopt} - D_{itkopt}, \quad i, t, k \quad (9)$$

با حل مدل مذکور، تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان رقیب و کمبود آب در سناریوهای مختلف به دست می‌آید.

نتایج و بحث

برای به دست آوردن احتمال شدت جریان آب (جریان آب کم و یا زیاد) بر اساس داده‌های بارندگی ۳۰ سال گذشته در شهر تهران و در محل سد و با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد درصد سال‌های خشک و تر محاسبه شده و از این درصدها برای احتمال وقوع سطح جریان کم و زیاد جریان خروجی آب سد استفاده شد. شاخص بارندگی استاندارد به صورت زیر تعریف می‌شود (Najafi Hajivar et al, 2006).

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{S} \quad (1)$$

که در آن P_i بارندگی سال مد نظر، p میانگین بارندگی بلندمدت و K انحراف معیار بلندمدت بارندگی است. اگر شاخص مذکور بیشتر از ۰ باشد، ترسالی و اگر کمتر از ۰ باشد، خشکسالی وجود دارد. نتایج نشان داد که در ۰/۶۹ درصد حالات طی ۳۰ سال گذشته در محل سد لار خشکسالی و ۰/۳۱ درصد ترسالی بوده است.

از آنجا که عرضه‌ی آب برای ۴ سال آینده یک متغیر تصادفی است، با استفاده از روش شبیه‌سازی و کاربرد اعداد تصادفی برای سال‌های مختلف، ۱۰۰ بار عرضه‌ی آب به صورت تصادفی شبیه‌سازی و این اعداد با در نظر گرفتن یک بازه با استفاده از حداکثر و حداقل داده‌های گذشته و انحراف معیار آنها در نظر گرفته شد. شایان ذکر است ۱۰۰ بار انتخاب تصادفی میزان عرضه برای حالت جریان کم آب، از سال‌های خشک و برای حالت دیگر از سال‌های تر انتخاب شد (Sabouhi et al, 2009). جدول ۱ نتایج حاصل را نشان می‌دهد.

به علت عدم توسعه‌ی کشاورزی در منطقه در چهار سال آینده، داده‌های میزان تخصیص آب برای کشاورزان از میزان آب مورد تقاضای سال‌های قبل آنها بابت سطح زیر کشت سال ۹۱ و با در نظر گرفتن یک بازه به دست آمد. در مورد مصرف‌کنندگان شهری ابتدا با استفاده از نرخ رشد جمعیت سالانه، جمعیت سه سال آینده‌ی تهران محاسبه شد. تقاضای آب مردم تهران از سد لار، 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 سود و زیان مصرف‌کننده‌ی شهری به ازای یک واحد آب اضافی رها شده، با کاربرد تابع تقاضای آب شهر تهران (Khosh Akhlagh, 2002) و مفهوم مازاد مصرف‌کننده، سود و زیان فرد شهری به ازای یک واحد تغییر در میزان آب مصرفی برای سال‌های گذشته به دست آمده و برای سه سال آینده با استفاده از روش ARIMA پیش‌بینی شد. نتایج حاصل از سود و زیان مصرف‌کننده‌ی شهری در جدول ۳ آمده است.

برای حصول سود سه سال آینده‌ی کشاورزان، ابتدا الگوی کشت منطقه محاسبه و با تغییر ۱ واحدی آب، بازدهی ناخالص محاسبه شد. این عمل به دفعات تکرار گردید تا رابطه‌ی بین میزان آب مصرفی و سود حاصل از آن به دست آید. سپس با استفاده از این رابطه و آمار آب تخصیصی سد لار به بخش کشاورزی در طی ۲۰ سال گذشته، سود حاصل برای ۲۰ سال گذشته محاسبه و توسط مدل ARIMA برای سه سال آینده پیش‌بینی 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 سال‌های گذشته محاسبه و برای سه سال آینده پیش‌بینی شد. نتایج حاصل از سود و ضرر مصرف‌کننده کشاورزی در جدول ۴ آمده است.

با کاربرد داده‌های اولیه و حل مدل نتایج حاصل گردید. جدول ۵ تخصیص بهینه‌ی آب تحت ۴ سناریو در دوره‌ی اول با استفاده از مدل IMP را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول مشاهده می‌شود، تقاضای هدف برای مصرف‌کننده‌ی شهری و کشاورزی به ترتیب برابر با $W_{11} = 241$ و $W_{21} = 185$ است. متغیرهای D_{111} نشان می‌دهند که برای مصرف‌کننده‌ی کشاورزی در سال خشک کمبود آبی برابر با (۳۵ و ۰) وجود خواهد داشت. در سایر حالات مساله مبهم‌تر می‌شود و اگر سایر مصرف‌کنندگان تمام تقاضای هدف خود را استفاده نکنند، کمبود آب کاهش می‌یابد. اما تحت شرایط رسیدن به تقاضای هدف توسط سایر مصرف‌کنندگان، کمبود آب افزایش می‌یابد.

جدول ۶ تخصیص بهینه‌ی آب تحت سناریوهای ممکن در دوره‌ی دوم را نشان می‌دهد. متغیرهای $D_{121} = 0,48$ و $D_{122} = 0,39$ به این معناست که برای مصرف‌کننده‌ی ۱ (شهری)، تحت سطوح جریان پایین و بالا در دوره‌ی ۲، کمبود آب برابر با (۴۸ و ۰) و (۳۹ و ۰) است. مجموعه جواب $D_{126} = D_{226} = 0$ نشان می‌دهد که در حالت سطح جریان زیاد در دوره‌ی دوم در بخش شهری و کشاورزی کمبود آبی وجود ندارد اگر سطح جریان آب در دوره‌ی اول نیز بالا باشد.

جدول ۷ تخصیص بهینه‌ی آب برای دو مصرف‌کننده‌ی را تحت تمام سناریوهای ممکن در دوره‌ی ۳ نشان می‌دهد. مقادیر $D_{131} = 0,46$ ، $D_{231} = 0,48$ به این معناست که اگر سطح جریان آب در هر سه دوره کم باشد، مقدار (۴۶ و ۰) و (۴۸ و ۰) واحد کمبود آب به ترتیب برای مصرف‌کننده‌ی شهری و کشاورزی تحت دوره‌ی سوم وجود دارد. مقادیر $D_{1314} = 0,24$ ، $D_{2314} = 0$ به این معناست که اگر سطح جریان آب در هر سه دوره زیاد باشد، مقادیر (۳۱ و ۰) و (۲۲ و ۰) واحد کمبود آب به ترتیب برای مصرف‌کننده‌ی شهری و کشاورزی تحت دوره‌ی سوم وجود دارد. همچنین اگر جریان آب در دوره‌ی سوم زیاد باشد، در اکثر موارد کمبود آبی برای مصرف‌کننده‌ی شهری و کشاورزی در دوره‌ی سوم وجود نخواهد داشت.

حل تابع هدف $f = 43885101,52251315$ دو حد نهایی ارزش مورد انتظار سود خالص سیستم (ریال) در طی افق برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. سود خالص سیستم نیز مانند سایر متغیرهای مدل بین دو حد بالا و پایین f^+ و f^- تغییر می‌کند. در شرایطی تقاضای آب هدف توسط مصرف‌کنندگان صورت گیرد، یک طرح با پایین‌ترین سود، بهتر می‌تواند در مقابل کم آبی مقاومت کند. تمایل برای رسیدن به حد بالای سود سیستم مطابق با رسیدن به ریسک بالاتر می‌باشد و بالعکس. به‌طور کلی در حالت $W_i = W$ ، مدیر سیستم محافظه‌کارانه عمل می‌کند و حد پایین تقاضای آب هدف را به مصرف‌کنندگان وعده می‌دهد. این مساله موجب می‌شود تا هر دو متغیر کمبود آب D_{ijopt} و تخصیص نهایی آب A_{ijopt} نسبت به حالت عادی کاهش یابد. در صورتی که تقاضای آب هدف به بالاترین حد خود برسد ($W_i = W^+$) مدیر به صورت خوش

بینانه آب را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. در این حالت هر دو متغیر کمبود آب D_{ijopt} و تخصیص نهایی آب A_{ijopt} نسبت به حالت عادی افزایش می‌یابد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در این حالت با رخ دادن ترسالی به احتمال زیاد آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان تامین می‌شود؛ اما در سال‌های خشک ریسک تامین آب مورد نیاز مصرف‌کنندگان بالا است.

جدول ۵ تخصیص بهینه‌ی آب تحت ۴ سناریو در دوره‌ی اول را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای بازه‌ای (Interval Multi stage Stochastic Linear Programming) نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، تقاضای هدف برای مصرف‌کننده‌ی شهری و کشاورزی به ترتیب برابر با $W_{11} = 298$ و $W_{21} = 188$ است. به طور کلی هنگامی که سطح جریان متوسط یا زیاد بوده و تقاضای آب هدف توسط یکی از بخش‌ها صورت نگیرد، کمبود آب ممکن است کاهش یابد. اما اگر تقاضای هدف صورت گیرد، کمبود آب تشدید خواهد شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در مطالعه‌ی حاضر مدیریت آب سد لار با استفاده از روش از برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در شرایطی تقاضای آب هدف توسط مصرف‌کنندگان صورت گیرد، یک طرح با پایین‌ترین سود بهتر می‌تواند در مقابل کم‌آبی مقاومت کند. تمایل برای رسیدن به حد بالای سود سیستم مطابق با رسیدن به ریسک بالاتر می‌باشد و بالعکس. به طور کلی در حالت $W_i = W$ ، مدیر سیستم محافظه‌کارانه عمل کرده و حد پایین تقاضای آب هدف را به مصرف‌کنندگان وعده می‌دهد. این مساله موجب می‌شود تا هر دو متغیر کمبود آب D_{ijopt} و تخصیص نهایی آب A_{ijopt} نسبت به حالت عادی کاهش یابد. در صورتی که تقاضای آب هدف به بالاترین حد خود برسد ($W_i = W^+$) مدیر به صورت خوش‌بینانه آب را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. در این حالت هر دو متغیر کمبود آب D_{ijopt} و تخصیص نهایی آب A_{ijopt} نسبت به حالت عادی افزایش می‌یابد. در تمام حالات بروز کم‌آبی می‌توان از آب سایر سدها برای آبرسانی به تهران استفاده نمود. در بخش کشاورزی افزایش راندمان آبیاری و در صورت امکان استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن و در بخش شهری اصلاح شبکه‌ی آبرسانی، به‌کارگیری تکنولوژی‌های مدرن کاهنده‌ی آب، آموزش صرفه‌جویی در مصارف آب شهری و کاهش الگوی مصرف توصیه می‌شود. اصلاح سیاست قیمت‌گذاری به نحوی که قیمت آب انعکاسی از قیمت‌گذاری واقعی باشد نیز راهکاری مناسب در این زمینه است.

فهرست منابع:

1. Azarmsa, M., Fayaz, M., and Tathiri, M. (2000). Water resource management and Sefid Rud River irrigation and drainage network . Tehran, Collection of Tenth Conference on Iran Irrigation and Drainage:111-124.(In Farsi).
2. Borhani Daryan, A. and Mortazavi Naeeni, S. M. (1999). Comparison of the methods explored the optimum utilization of water resources . Journal of Water and Wastewater ,19(4(68)): 57-66. (In Farsi).
3. Gelyan, S., Abrishamchi, A., and Tajrishi, M. (2007). Analysis of operational policies in the basin's water resources with system dynamics method . Journal of Water and Wastewater,18(3(63)):70-80. (In Farsi).
4. Huang, G. H. (1996). "IPWM: an interval parameter water quality management model". Engineering Engineer Optimization., 26, 79° 103.
5. Huang, G., Baetz, B.W., and Patry, G.G. (1992). "A grey linear programming approach for municipal solid waste management planning under uncertainty". Civil Engineering Systems., 9, 319-335.
6. Khosh Akhlagh, R., Samadi, S., Emadzadeh, M, and H, Hadizadeh Kheir khah. (2002). Estimated water demand in Tehran. Tarbiat Modarres Journal of Economic Research, 4(2): 109-130. (In Farsi).
7. 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., 29, 776-789.
8. Li, Y. P., Huang, G. H., Nie, S. L., and Liu, L. (2007b). "An inexact multi-stage stochastic integer programming method for water resource management". Journal of Environmental Management, <Online available in sciencedirect> .
9. Li, Y. P., Huang, G. H., Yang, Z. F., and Nie, S. L. (2008). IFMP: Interval- fuzzy multistage programming for water resource management under uncertainty. Resource Conservation Recycling. <Available online at www.sciencedirect.com.

10. Najafi Hajivar, M., Kohpeima, A., and Tahmasbi, A. (2006). Indices of drought in the province of Chahar Mahal and Bakhtiari . The first regional conference of exploitation of water resources and basins of Karun Zayanderood, Shahr Kord University. (In Farsi).
11. Rastegaripour, F., and M,Sabouhi. (2009). determination of Crop pattern with fuzzy gray Programming. Information Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 48:405-413. (In Farsi).
12. Sabouhi, M., Rastegaripour, F., and A.A, Kehkha. (2009). Optimal allocation of Torogh Dam Water between agricultural and urban sectors by an Interval Parameter Fuzzy Two Stages Stochastic Programming under Uncertainty. Journal of Economy and Agriculture. 3(1):31-53. (In Farsi).
13. Tagrishi, M. and Abrishamchi, A. (2004). Demand management of water resources in the country .Tehran, Conference on methods to prevent waste of natural resources :24-41. (In Farsi).
14. unknown. (2007). Kardeh dam . Statistics unit of Khorasan Regional Water Company. (In Farsi).
15. Ahmed, N.2010. Marketing of low-valued cultured fish in Bangladesh: An evaluation of value chain. Department of Fisheries Management, Bangladesh Agricultural University. Volume XV No. 3 .
16. Al-Mazrooei, N; Chomo,G.V;Omezzine,A. 2003. Purchase Behavior of Consumers for Seafood Products Journal of Agricultural and Marine Sciences , 8(1):1-10.
17. Adeli, A; Hasangholipour T; Hossaini S.A; Salehi H. B. 2010. Shabanpour Tehranish Household Preference of Farmed Fish Consumption Research Journal of Fisheries and Hydrobiology, 5(2): 129-136.
18. Bose, Sh. and N. Brown, 2000. A Preliminary investigation of factors affecting seafoodconsumption behavior in the inland and coastalregions of Victoria, Australia. Journal of consumerstudied & Home economics, 24: 257-262.
19. Dixie G. (1991). Horticultural Marketing: a resource and training manual for extension pfficers. [Online]. Available on the www: url DOMINIQUE.

20. Musaba, E. C; Namukwambi, M. 2011. Socio-economic determinants of consumer fish purchase in Windhoek, Namibia. African Journal of Agricultural Research Vol. 6(6), pp. 1483-1488, 18 .
21. The marketing of fish (1991) ; Derived from : www.fao.org/docrep/y2876e/y2876e0n.htm: Accessed Date (1382/9/12).
22. <http://fao.org/waicent/faoinfo/agricult/ags/AGSM/76.htm>.



پیوست‌ها:

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

جریان آب (میلیون متر مکعب)				احتمال مربوطه	سطح جریان
دوره ۱ (t=1)	دوره ۲ (t=2)	دوره ۳ (t=3)	دوره ۴ (t=4)		
(۳۴۱ و ۴۷۲)	(۳۴۲ و ۴۵۶)	(۳۵۱ و ۴۶۴)	(۳۸۶ و ۴۵۸)	۰/۶۹	کم
(۴۷۸ و ۵۲۳)	(۴۹۶ و ۵۳۹)	(۴۳۱ و ۵۴۵)	(۴۴۸ و ۶۴۱)	۰/۳۱	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 ۱ (t=1)	دوره ۲ (t=2)	دوره ۳ (t=3)	دوره ۴ (t=4)	
(۲۳۲/۴ و ۲۶۲/۹)	(۲۴۸ و ۲۹۱)	(۲۸۹ و ۳۰۸)	(۲۹۵ و ۳۰۱)	مصرف کننده شهری
(۱۶۴/۸ و ۲۶۷/۳)	(۱۶۸ و ۲۵۵)	(۱۷۲ و ۲۴۴)	(۱۸۱ و ۲۲۸)	مصرف کننده کشاورزی

جدول ۳- اطلاعات مربوط به سود و زیان مصرف کننده شهری

به ازای یک واحد تغییر در مصرف آب (ریال)

دوره ۱ (t=1)	دوره ۲ (t=2)	دوره ۳ (t=3)	دوره ۴ (t=4)	
(۴۰۵/۴ و ۱۴/۶)	(۴۱۸/۲ و ۵۲۳)	(۴۲۳ و ۵۳۱/۴)	(۴۸۱ و ۵۴۸)	سود
(۳۳۳/۴ و ۴۴۲/۶)	(۳۵۴ و ۴۵۸)	(۳۶۸ و ۴۶۲)	(۳۹۲ و ۴۷۶)	ضرر

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی

جدول ۴- اطلاعات مربوط به سود و زیان مصرف کننده کشاورزی

به ازای یک واحد تغییر در مصرف آب (ریال) ۲

دوره ۱ (t=1)	دوره ۲ (t=2)	دوره ۳ (t=3)	دوره ۴ (t=4)	
(۶۵/۲ و ۸۵/۳)	(۷۲ و ۹۴)	(۷۴ و ۱۰۲)	(۸۲ و ۱۱۶.۵)	سود
(۲۰/۵ و ۳۰/۶)	(۲۴ و ۳۲)	(۳۰ و ۳۸/۶)	(۳۶ و ۴۳)	ضرر

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

جدول ۵- حل مدل IMSLP در دوره اول

مصرف کننده	جریان آب (h)	احتمال وقوع سطح جریان (p)	تقاضای آب (w)	کمبود آب (D)	تخصیص (A) بهینه
شهری	کم	۰/۶۹	۲۴۱	(۰ و ۴۴)	(۱۹۷ و ۲۴۱)
کشاورزی	کم	۰/۶۹	۱۸۵	(۰ و ۳۵)	(۱۵۰ و ۱۸۵)
شهری	زیاد	۰/۳۱	۲۴۱	(۰ و ۴۱)	(۲۰۰ و ۲۴۱)
کشاورزی	زیاد	۰/۳۱	۱۸۵	(۰ و ۳۹)	(۱۴۶ و ۱۸۵)

جدول ۶- حل مدل IMSLP در دوره دوم

مصرف کننده	جریان آب (h)	احتمال وقوع سطح جریان (p)	تقاضای آب (w)	کمبود آب (D)	تخصیص (A) بهینه
شهری	کم - کم	۰/۴۷	۲۶۴	(۰ و ۴۸)	(۲۱۶ و ۲۶۴)
کشاورزی	کم - کم	۰/۴۷	۱۷۹	(۰ و ۳۵)	(۱۴۴ و ۱۷۰)
شهری	کم - زیاد	۰/۲۱	۲۶۴	(۰ و ۳۹)	(۲۲۵ و ۲۶۴)
کشاورزی	کم - زیاد	۰/۲۱	۱۷۹	(۰ و ۳۸)	(۱۴۱ و ۱۷۹)
شهری	زیاد - کم	۰/۲۱	۲۶۴	(۰ و ۳۴)	(۲۳۰ و ۲۶۴)
کشاورزی	زیاد - کم	۰/۲۱	۱۷۹	(۰ و ۲۲)	(۱۵۷ و ۱۷۹)
شهری	زیاد - زیاد	۰.۰۹	۲۶۴	.	۲۶۴
کشاورزی	زیاد - زیاد	۰.۰۹	۱۷۹	.	۱۷۹

جدول ۷- حل مدل IMSLP در دوره سوم

تخصیص بهینه (A)	کمبود آب (D)	احتمال وقوع		جریان آب (h)	مصرف کننده
		تقاضای آب (w)	سطح جریان (p)		
(۲۵۲ و ۲۹۸)	(۰ و ۴۶)	۲۹۸	۰/۳۲	کم - کم - کم	شهری
(۱۴۰ و ۱۸۸)	(۰ و ۴۸)	۱۸۸	۰/۳۲	کم - کم - کم	کشاورزی
(۲۷۳ و ۲۹۸)	(۰ و ۲۵)	۲۹۸	۰/۴۷	کم - کم - زیاد	شهری
۱۸۸	۰	۱۸۸	۰/۴۷	کم - کم - زیاد	کشاورزی
(۲۶۷ و ۲۹۸)	(۰ و ۳۱)	۲۹۸	۰/۴۷	کم - زیاد - کم	شهری
(۱۶۷ و ۱۸۸)	(۰ و ۲۱)	۱۸۸	۰/۴۷	کم - زیاد - کم	کشاورزی
۲۹۸	۰	۲۹۸	۰/۰۶	کم - زیاد - زیاد	شهری
(۱۶۷ و ۱۸۸)	(۰ و ۲۱)	۱۸۸	۰/۰۶	کم - زیاد - زیاد	کشاورزی
(۲۷۴ و ۲۹۸)	(۰ و ۲۴)	۲۹۸	۰/۴۷	زیاد - کم - کم	شهری
(۱۶۰ و ۱۸۸)	(۰ و ۲۸)	۱۸۸	۰/۴۷	زیاد - کم - کم	کشاورزی
۲۹۸	۰	۲۹۸	۰/۰۶	زیاد - کم - زیاد	شهری
۱۸۸	۰	۱۸۸	۰/۰۶	زیاد - کم - زیاد	کشاورزی
(۱۷۴ و ۲۹۸)	(۰ و ۲۴)	۲۹۸	۰/۰۶	زیاد - زیاد - کم	شهری
۱۸۸	۰	۱۸۸	۰/۰۶	زیاد - زیاد - کم	کشاورزی
(۱۷۴ و ۲۹۸)	(۰ و ۲۴)	۲۹۸	۰/۰۲	زیاد - زیاد - زیاد	شهری
۱۸	۰	۱۸۸	۰/۰۲	زیاد - زیاد - زیاد	کشاورزی

جدول ۸- حل مدل IMSLP در دوره چهارم

مصرف کننده	جریان آب (h)	احتمال وقوع سطح جریان (p)	تقاضای آب (w)	کمبود آب (D)	تخصیص بهینه (A)
شهری	کم - کم - کم - کم	0.22	۳۰۱	(۰ و ۵۴)	(۲۴۷ و ۳۰۱)
کشاورزی	کم - کم - کم - کم	0.22	۱۹۵	(۰ و ۴۸)	(۱۴۷ و ۱۹۵)
شهری	کم - کم - کم - زیاد	0.1	۳۰۱	(۰ و ۴۶)	(۲۵۵ و ۳۰۱)
کشاورزی	کم - کم - کم - زیاد	0.1	۱۹۵	(۰ و ۴۸)	(۱۴۷ و ۱۹۵)
شهری	کم - کم - زیاد - کم	0.1	۳۰۱	(۰ و ۴۶)	(۲۵۵ و ۳۰۱)
کشاورزی	کم - کم - زیاد - کم	0.1	۱۹۵	(۰ و ۴۸)	(۱۴۷ و ۱۹۵)
شهری	کم - کم - زیاد - زیاد	0.04	۳۰۱	(۰ و ۲۵)	(۲۷۶ و ۳۰۱)
کشاورزی	کم - کم - زیاد - زیاد	0.04	۱۹۵	۰	۱۹۵
شهری	کم - زیاد - کم - کم	0.1	۳۰۱	۰	۳۰۱
کشاورزی	کم - زیاد - کم - کم	0.1	۱۹۵	۰	۱۹۵
شهری	کم - زیاد - کم - زیاد	0.04	۳۰۱	(۰ و ۳۱)	(۲۷۰ و ۳۰۱)
کشاورزی	کم - زیاد - کم - زیاد	0.04	۱۹۵	(۰ و ۲۱)	(۱۷۴ و ۱۹۵)
شهری	کم - زیاد - زیاد - کم	0.04	۳۰۱	(۰ و ۲۴)	(۲۷۷ و ۳۰۱)
کشاورزی	کم - زیاد - زیاد - کم	0.04	۱۹۵	۰	۱۹۵
شهری	کم - زیاد - زیاد - زیاد	۰.۰۲	۳۰۱	۰	۳۰۱
کشاورزی	کم - زیاد - زیاد - زیاد	۰.۰۲	۱۹۵	(۰ و ۲۱)	(۱۷۴ و ۱۹۵)
شهری	زیاد - کم - کم - کم	0.1	۳۰۱	(۰ و ۴۶)	(۲۵۵ و ۳۰۱)
کشاورزی	زیاد - کم - کم - کم	0.1	۱۹۵	(۰ و ۴۸)	(۱۴۷ و ۱۹۵)
شهری	زیاد - کم - کم - زیاد	0.04	۳۰۱	(۰ و ۲۴)	(۲۷۷ و ۳۰۱)
کشاورزی	زیاد - کم - کم - زیاد	0.04	۱۹۵	(۰ و ۲۸)	(۱۶۷ و ۱۹۵)
شهری	زیاد - کم - زیاد - کم	0.04	۳۰۱	(۰ و ۲۴)	(۲۷۷ و ۳۰۱)
کشاورزی	زیاد - کم - زیاد - کم	0.04	۱۹۵	۰	۱۹۵
شهری	زیاد - کم - زیاد - زیاد	۰.۰۲	۳۰۱	۰	۳۰۱
کشاورزی	زیاد - کم - زیاد - زیاد	۰.۰۲	۱۹۵	۰	۱۹۵
شهری	زیاد - زیاد - کم - کم	0.04	۳۰۱	(۰ و ۲۶)	(۲۷۵ و ۳۰۱)
کشاورزی	زیاد - زیاد - کم - کم	0.04	۱۹۵	(۰ و ۲۸)	(۱۶۷ و ۱۹۵)
شهری	زیاد - زیاد - کم - زیاد	0.02	۳۰۱	(۰ و ۲۴)	(۲۷۵ و ۳۰۱)
کشاورزی	زیاد - زیاد - کم - زیاد	0.02	۱۹۵	۰	۱۹۵
شهری	زیاد - زیاد - زیاد - کم	0.02	۳۰۱	۰	۳۰۱
کشاورزی	زیاد - زیاد - زیاد - کم	0.02	۱۹۵	۰	۱۹۵
شهری	زیاد - زیاد - زیاد - زیاد	۰.۰۰۹	۳۰۱	(۰ و ۲۴)	(۲۷۵ و ۳۰۱)
کشاورزی	زیاد - زیاد - زیاد - زیاد	۰.۰۰۹	۱۹۵	۰	۱۹۵

