

## مدیریت بهره برداری بهینه از منابع آب سطحی با کاربرد برنامه ریزی پویا

نیره میهن خواه<sup>۱</sup> - امیرحسین چیزی<sup>۲\*</sup> - صادق خلیلیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۷

### چکیده

در این مطالعه مدل بهره‌برداری بهینه از سد چند منظوره لتیان با هدف تخصیص بهینه آب از مخزن سد، جهت تأمین نیاز آبی اراضی کشاورزی دشت ورامین و نیاز شرب شهر تهران، برآورد شده است. رعایت اولویت‌های تخصیص آب میان اهداف مختلف سد از جمله عرضه آب برای آبیاری، آب آشامیدنی و تولید انرژی برقآبی که با یکدیگر در رقابت می‌باشند، مدنظر بوده است. با در نظر گرفتن عدم قطعیت مقدار جریان ورودی آب به سیستم سد، مسئله بهره‌برداری از سد بر اساس دو دیدگاه تجزیه و تحلیل میانگین داده‌های سری زمانی به وسیله مدل‌های پیش‌بینی SARIMA و افزایش فازی با استفاده از احتمالات گذار مارکوفی مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت با استفاده از مدل‌های پویای قطعی و تصادفی سیاست‌های بهره‌برداری بهینه به ازای حالات مختلف (از نظر ماه آغازین، حجم آب اولیه مخزن و آبدهی ماه قبل) محاسبه گردید. داده‌های مورد استفاده مربوط به دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۵۵ می‌باشد. نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی با سیاست‌های بهینه رهاسازی حاصل از دو مدل قطعی و تصادفی به وضوح مؤید آن است که مدل تصادفی بر اساس افزایش فازی نسبت به مدل قطعی برای تعیین رهاسازی بهینه آب مخزن میان منافع مختلف رقیب حاصل از سد از جمله نیاز آبی اراضی کشاورزی دشت ورامین و نیاز شرب شهر تهران بهتر عمل می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌برداری بهینه سد، افزایش فازی، احتمالات گذار مارکوفی، برنامه‌ریزی پویا، مدل‌های پیش‌بینی SARIMA

### مقدمه

معادلات غیر خطی نیازمند است. استفاده از مدل‌های ریاضی پویا به دلیل لحاظ نمودن ویژگی‌های غیرخطی و تصادفی، در بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها طی چند دهه گذشته آغاز شده است (۹). استالریج و بوراس (۱۵) با فرض وابستگی جریان‌های رودخانه‌ای به دوره قبل، از برنامه ریزی پویای احتمالی (SDP)<sup>۴</sup> برای بهره‌برداری مخزن، استفاده نموده‌اند. تیلمنت و همکاران (۲۲) با استفاده از برنامه‌ریزی پویای احتمالی فازی<sup>۵</sup> (FSDP) به بررسی سیاست بهره‌برداری از یک مخزن چند منظوره در مراکش پرداخته‌اند. کاربوسکی و همکاران (۱۷) با بررسی آب‌های سطحی و با منظور نمودن دو عامل پیش‌بینی جریان ورودی و میزان آب خروجی، مدیریت بهینه مخزن سدی را در لهستان مورد بررسی قرار دادند. لانگ و همکاران (۱۹) و آلسی جیمز (۱۴) با استفاده از مدل‌های بهینه سازی تصادفی و زائو و همکاران (۲۵) با لحاظ نمودن اثر عدم قطعیت در پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن، بهره‌برداری بهینه سد را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در ایران نیز مطالعاتی در خصوص مدیریت بهره‌برداری از مخزن سد به ویژه در سال‌های اخیر انجام شده است. موسوی و

محدودیت منابع آب در مقایسه با روند روزافزون رشد تقاضا و تشدید رقابت میان نیازهای آبی بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب در دهه‌های اخیر، سبب اهمیت مدیریت بهره‌برداری از منابع آبی شده است (۶). یکی از ارکان مدیریت منابع آب، بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها به عنوان اصلی‌ترین منابع آبهای سطحی است. مخازن با تنظیم جریان رودخانه در امر بهبود توزیع نامنظم آب از نظر زمانی و مکانی، نقش مهمی را در جهت کاهش خسارات ناشی از کمبود آب، ایفا نموده و علاوه بر تأمین آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در کنترل سیلاب، تولید برق و جذب توریسم و پرورش آبزیان نقش مؤثری دارند (۱). در یک سد چند منظوره، تعدد اهداف و محدودیت‌ها و وجود پیوستگی میان عوامل مختلف، موجب می‌شود بهینه‌سازی آن‌ها با یکدیگر، در تعارض و رقابت قرار گیرد. لذا بهره‌برداری مخزن، شامل ایجاد تصمیمات متوالی است که به حل

۱-۳ دانشجوی دکتری و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس  
۲- استادیار دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
\* - نویسنده مسئول: (Email:chizari8000@ut.ac.ir)

4-Stochastic Dynamic Programming  
5- Fuzzy Stochastic Dynamic Programming

دلیل رفتار تصادفی آن، دارای اهمیت بسیاری است (۱۵). برای تدوین یک مدل مناسب پیش بینی، روش‌های متعددی بر اساس تکنیک‌های ریاضی وجود دارد که در این مطالعه از روش مدل‌های پیش بینی ARIMA و نیز تئوری فازی استفاده می‌شود.

### مدل‌های ARIMA<sup>۱</sup>

مدل‌های رگرسیون و اتورگرسیون با میانگین متحرک (ARIMA) مدل‌های مناسبی برای پیش بینی سری‌های زمانی همانند جریان‌های ماهانه دبی ورودی به سد می‌باشند (۲). برای برازش مدل ARIMA مناسب، چهار مرحله شناسایی مدل، برآورد پارامترهای مدل، بررسی کفایت مدل و پیش‌بینی با مدل انتخابی، لازم و ضروری است (۲۰).

اگر یک مدل ARIMA هم دارای اجزاء فصلی (P, D, Q) و غیرفصلی (p, d, q) باشد، که بعد از دوره زمانی منظمی تکرار می‌شود، سری نایستای فصلی  $\{X_t\}$  با دوره تناوب مشخص را SARIMA<sup>۲</sup> می‌گوئیم. یک مدل SARIMA به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\phi(B)\Phi(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D y_t = \theta(B)\Theta(B^s)\varepsilon_t \quad (۱)$$

$y_t$  سری اصلی،  $\varepsilon_t$  سری تصادفی با میانگین صفر و واریانس  $\delta^2$ ، پارامترهای  $B^s, \Phi, \Theta, D$  به ترتیب ضرایب تفاضلی، پارامترهای مدل میانگین متحرک، پارامترهای مدل اتورگرسیون و عملگر پسر و برای اجزاء فصلی ضرایب  $d, \theta, \phi, B$  به ترتیب ضرایب تفاضلی، پارامترهای مدل میانگین متحرک، پارامترهای مدل اتورگرسیون و عملگر پسر و برای اجزاء غیرفصلی می‌باشد. شناسایی مدل با استفاده از برخی معیارها انجام می‌گیرد. در این تحقیق از معیار آکائیک<sup>۳</sup> (AIC) استفاده شده است.

$$AIC(I) = N \ln(\delta_{ai}^2) + 2n_i \quad (۲)$$

که I معرف تعداد مدل‌های منتخب  $n_i$  تعداد پارامترها (مجموع مرتبه‌های خود همبسته و میانگین متحرک)، N تعداد داده‌های مشاهداتی،  $\delta_{ai}^2$  انحراف معیار مدل است. به‌ترین مدل با کم‌ترین مقدار آکائیک برگزیده می‌شود (۱۱).

فرآیند مارکف و زنجیره مارکف<sup>۴</sup>: هرگاه میان داده‌های متوالی که دارای یک مولفه تصادفی هستند، همبستگی موجود باشد، به گونه‌ای که هر مرحله از مرحله قبلی و نه مراحل دیگر تبعیت کند. آنگاه این پدیده را فرآیند مارکف می‌گویند. یک زنجیره مارکف حالتی از فرآیند

همکاران (۲۱) با ارزیابی مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی و منظور نمودن متغیر حالت ذخیره مخزن به عنوان یک متغیر فازی در سد دز، مومنی و رضایی (۹) با کاربرد برنامه‌ریزی پویا در سد ارس، سعدالدین و همکاران (۴) با کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در سد بوستان و نادر و صبوحی (۱۰) به منظور تخصیص بهینه آب سد مهاباد میان مصارف شرب و کشاورزی و تولید برق با استفاده از برنامه ریزی آرمانی، به بررسی مدیریت بهینه مخزن سد پرداخته‌اند.

از سویی دیگر ویژگی تصادفی بودن آینده رودخانه و عدم قطعیت در آن، سبب انجام مطالعاتی جهت پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی گردیده‌است. کامورنیک و همکاران (۱۸)، جوانسکی و دلیپتروف (۱۶)، وو و چو (۲۴) هر کدام در مطالعاتی جداگانه با استفاده از مدل‌های سری‌زمانی، پیش‌بینی جریان رودخانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج مطالعات فوق، حاکی از کارایی بالای مدل‌های مذکور در پیش‌بینی آینده رودخانه است. جلال‌کمالی و همکاران (۳) جهت پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد شهید عباسپور، از مدل‌های سری‌های زمانی استفاده کردند. طرازکار و صدیق (۶) با مقایسه روش‌های سری‌زمانی و هوش مصنوعی دبی جریان رودخانه کرخه را پیش‌بینی کردند. نتیجه بیانگر خطای کمتر سری زمانی بوده‌است. بشری و وفاخواه (۲) نیز با تجزیه و تحلیل سری‌زمانی داده‌های دبی ماهانه حوضه آبخیز کرخه به پیش‌بینی مقادیر آب پرداخته‌اند.

سدچند منظوره لتیان که بر روی رودخانه جاجرود در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار دارد علاوه بر تولید انرژی و تأمین بخشی از آب شرب شهر تهران، جهت آبیاری ۳۰۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی دشت ورامین، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳). با توجه به استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و افت سطح ایستایی آن در دشت ورامین (۱۲)، مطالعه بهره برداری بهینه از منابع آب سطحی در این منطقه به عنوان مکمل منابع زیرزمینی، اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق سعی شده ضمن تلفیق روش‌های به کار رفته در مطالعات فوق، نخست روابط حاکم بر سیستم سد مخزنی لتیان شناسایی شود. به این منظور دبی ورودی ماهانه به سد با دو روش تجزیه و تحلیل سری زمانی و نیز افرازبندی فازی توزیع احتمالات گذار مارکفی برآورد شده، سپس این روابط در قالب مدل‌های پویای قطعی و تصادفی ارائه می‌شود. پس از تعیین سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با استفاده از تکنیک شبیه سازی، حجم آب رها شده از مخزن جهت تأمین نیاز شرب شهر تهران و آبیاری اراضی دشت ورامین در طول دوره بهره برداری از سد تعیین می‌شود.

### مواد و روش‌ها

در مدیریت بهره‌برداری مخازن، پیش‌بینی دبی ورودی رودخانه به

- 1- Auto regressive Integration Moving Average
- 2- Seasonal Auto regressive Integration Moving Average
- 3- Akaike information criterion
- 4- Markove chain
- 5- Fuzzy partition

مارکف است که در آن متغیر  $X$  و زمان  $t$  هر دو گسسته باشند (۸).  
 در برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب، ورودی‌های دوره‌ای آب به مخزن اغلب دارای خودهمبستگی است و این خود همبستگی بین ماه‌های متوالی زیادتر می‌شود. این امر سبب شده که این فرآیند به صورت یک زنجیره مارکوفی در نظر گرفته شود لذا برای انتقال از یک تراز در دوره  $i$  به تراز دیگر در دوره  $i+1$  یک تابع انتقال احتمال در نظر گرفته می‌شود. فرآیند احتمال انتقال بین حالت‌های مختلف با تخمین نقطه‌ای به صورت زیر محاسبه می‌شود (۱۳).

$$P(Q_{j,t+1} = q_{j,t+1} | Q_{it} = q_{it}) = p_{ij}^t \quad (۳)$$

$P_{ij}^t$  احتمال مقدار آب ورودی ( $Q$ ) در دوره  $t+1$  در طبقه  $J$  ام باشد به شرطی که مقدار آب ورودی ( $q$ ) در دوره  $t$  (ماه) در طبقه  $J$  ام قرار گرفته باشد.

الگوی افزایش بندی فازی

ایده افزایش بندی فازی، در نظریه مجموعه‌های فازی مطرح می‌شود. افزایش بندی فازی مشتمل بر تعدادی مجموعه‌های قطعی دارای عناصر منفرد است که به برش‌های کرانه‌ای موسوم هستند (۷).  
 اگر همه مشاهدات مربوط به یک ماه خاص در فاصله‌ای معین  $[X_{min}, X_{max}]$  قرار داشته باشند این فاصله را می‌توان به تعدادی رده‌های فراوانی متداخل تقسیم کرد. تابع عضویت هر عنصر به یکی از این رده‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. در حالت کلی می‌توان احتمال گذار را از رده  $L$  ماه  $t$  ام به رده  $J$  در ماه  $t+1$  ام به صورت زیر محاسبه نمود:

$$P_{ij}^t = \frac{\sum_Y g_i^t g_j^{t+1}}{\sum_Y g_i^t} \quad (۴)$$

$t$  ماه‌های سال،  $i$  رده عنصر تصادفی  $x$  در ماه  $t$  ام،  $J$  رده عنصر تصادفی  $x$  در ماه  $t+1$  ام،  $Y$  کل دوره زمانی که سری زمانی مشاهدات، مورد محاسبه قرار گرفته است.

### مدل ریاضی بهره برداری از سد

تابع هدف، حداقل سازی انحراف میان رهاسازی آب خروجی از سد و تقاضاهای آبیاری اراضی کشاورزی و آب آشامیدنی با لحاظ نمودن اولویت‌ها و محدودیت‌ها می‌باشد.

$$G(t) = G_1(t) + G_2(t) + G_3(t) + G_4(t) \quad (۵)$$

این تابع کلی مشتمل بر اجزای مختلفی می‌باشد.

$$G_2(t) = M^3 \times \min\{R_{2t} - Q_{1t} - Q_{2t}, 0\} \quad (۶)$$

$G_1$ : حداقل انحراف میان رهاسازی و تقاضای آب آشامیدنی در طول هر ماه،  $R_{1t}$  مقدار آب رهاسازی از مخزن برای آشامیدن در طول هر ماه،  $Q_{1t}$  حجم مورد نیاز آب از مخزن برای تقاضای شرب در طول هر ماه می‌باشد.

$$G_3(t) = M^2 \times R_0 \times \min\left\{\frac{H_t \times R_{1t}}{(H_t \times R_{1t})_{min}} - 1, 0\right\} \quad (۷)$$

$G_2$ : حداقل انحراف حاصل از رهاسازی و تقاضای آبیاری اراضی کشاورزی در طول هر ماه می‌باشد.  $R_{2t}$  مقدار آب رهاسازی از مخزن برای آبیاری و  $Q_{2t}$  حجم آب مورد نیاز جهت آبیاری اراضی کشاورزی در طول هر ماه می‌باشد. رهاسازی جهت تقاضای آب آبیاری، بعد از تامین تقاضای آب آشامیدنی است.

$$\text{If } H_t < H_{min} \quad G_3(t) = M^2 \times R_0 \quad (۸)$$

Otherwise

$G_3$ : حداکثر تولید انرژی. جهت تولید انرژی برق‌آبی باید ارتفاع آب در مخزن از تونل توربین در پایان ماه  $H_t$ ، بیشتر از ارتفاع آب در تراز حداقل مجاز نسبت به توربین  $H_{min}$  باشد. برای کارکرد مخزن با ظرفیت کامل علاوه بر شرط اول باید  $(H_t R_{1t}) > (H_t R_{1t})_{min}$  برقرار باشد.  $R_{min}$  حداقل حجم آب مورد نیاز برای کار کردن توربین است

$$\text{If } t=1 \quad (۹)$$

$$G_4(t) = M \times \min\{R_{max} - R_0\} + M \times \min\{S_{max} - FC - S_t, 0\}$$

Otherwise

$$G_4(t) = M \times \min\{R_{max} - R, 0\}$$

$G_4$ : اجتناب از بروز سیلاب، به منظور جلوگیری از بروز سیل در ماه‌های خاص در مخزن سد، فضای مناسبی خالی نگهداری می‌شود. هر گونه انحراف از این هدف در تابع جریمه با اولویت فوق مشخص می‌شود.  $R_{max}$  حداکثر مقدار آب رهاسازی از مخزن سد،  $R$  میزان آب رهاسازی برای اولویت‌های شرب و کشاورزی،  $FC$  حجم ذخیره کنترل سیلاب در مخزن و  $S_{max}$  حداکثر ظرفیت ذخیره مخزن است.

### محدودیت‌های سیستم

۱- معادله پیوستگی تغییرات حجم آب مخزن:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - R_t \quad (۱۰)$$

که در آن  $S_t$  حجم ذخیره مخزن در ابتدای دوره  $t$  و  $S_{t+1}$  حجم ذخیره مخزن در انتهای دوره  $t$  یا ابتدای دوره  $t+1$  و  $Q_t$  مقدار آب ورودی در دوره  $t$  و  $R_t$  مقدار آب رهاسازی از مخزن سد در دوره  $t$  می‌باشد.

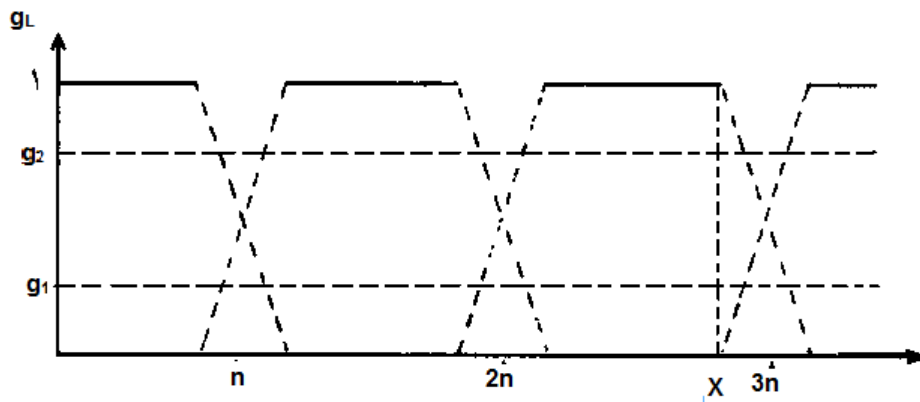
۲- رعایت بیشترین و کمترین حد مجاز برای حجم آب مخزن:

$$S_{min} \leq S_t \leq S_{max} \quad (۱۱)$$

۳- رعایت فضای مناسب مخزن برای کنترل سیلاب احتمالی:

$$S_t \leq S_{max} - FC \quad (۱۲)$$

در ادامه بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی به تشریح میانی کمی بهره برداری از یک مخزن با استفاده از برنامه ریزی پویا پرداخته می‌شود. سیاست بهینه برای مدل پویای قطعی به روش پیشرو تعیین می‌شود.  $S_n$  حالت سیستم یا حجم مخزن  $n$  مرحله یا ماه،  $C(S_n, X_{ni})$  هزینه اضافه شده در مرحله  $n$  به واسطه تصمیم  $X_{ni}$  (رهاسازی آب)،  $f_n^*$  هزینه حداقل از مرحله‌ی فعلی به بعد است. رگرسیون مدل پویای قطعی به شکل زیر است.



شکل ۱- رده های فراوانی برای مشاهدات سری زمانی رودخانه

و نیروگاه: نیروگاه سد مشتمل بر ۲ توربین ۱۳۳ مگاواتی است که به منظور تولید انرژی برقی احداث گردیده است. برای بهره برداری از نیروگاه لازم است تراز آب بالاتر از ۱۵۶۱ متر قرار گیرد.

### نتایج و بحث

در این مطالعه با استفاده از ۴۲۰ داده ورودی به سد (دوره ۳۵ساله) و بررسی توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی مشخص شد این سری، یک فرآیند تصادفی با تغییرات فصلی است. بهترین مدل SARIMA برای سری های زمانی ماهانه با استفاده از نرم افزار-S plus برآورده شده است.

$$\{X_t\} \approx SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_s \quad (15)$$

$$\{X_t\} \approx SARIMA(1,1,1) \times (0,1,1)_{12}$$

$$.69(B)(1-B)(1-B^{12})y_t = .91(B).99(B^{12})\varepsilon_t$$

مدل SARIMA منتخب، توانایی پیش بینی کوتاه مدت و بلند مدت سری زمانی ماهانه موجود را دارد و در نمودار ۲ نشان داده شده است.

باتوجه به جدول توزیع فراوانی، مقدار آب ورودی به سد لتیان، هر ماه یک دوره در نظر گرفته شده و به ۵ طبقه تقسیم بندی می شود. این محاسبات مربوط به رده های مختلف در ماه t ام در جدول ۱ آمده است.

با توجه به ارتفاع و مقدار آبی که هر ماهه در سد موجود می باشد حجم مخزن سد به ۴ رده تقسیم گردیده و توزیع حجم آب در ماه های مختلف در جدول شماره ۲ آورده شده است.

با توجه به مفروضات فوق، مدل پویای قطعی و تصادفی برای ۲۴۰ حالت اولیه مختلف (از نظر ماه آغازین، حجم آب اولیه مخزن و آبدهی ماه قبل) حل گردید و سیاست بهره برداری بهینه ماه مربوطه (میزان آب رها شده به سمت پایین دست) محاسبه شد.

$$f_n^*(S_n, x_{ni}) = \text{Min}_i \{C_n(S_n, X_{ni}) + f_{n-1}^*(S_{n-1})\} \quad (13)$$

در مدل تصادفی از روش پسرو با کاربرد احتمال شرطی وقوع یک دبی خاص که مبین همبستگی میان دوره های متوالی است، با مراحل نامحدود استفاده شده است و فرم کلی تابع هدف به صورت زیر می باشد:

$$f_t^*(S_t, I_t) = \text{Min}_{i_s} \{ \sum_k pr(I_{t+1} = i_k | I_t = i_t) [C(S_t, I_t) + f_{n+1}^*(S_{t+1}, I_{t+1})] \} \quad (14)$$

در این مدل، تعریف متغیرها مشابه مدل قطعی است به جز آنکه با دانستن  $S_n$  حالت  $(S_t, I_t)$  آبدهی و حجم مخزن در ماه جاری در هر مرحله (n)، حالت مرحله بعد کاملاً مشخص نمی شود بلکه تنها از توزیع احتمال شرطی  $\{pr(I_{t+1} = i_k | I_t = i_t)\}$  وقوع یک دبی خاص ( $I_t$ ) استفاده می شود که مبین همبستگی میان دوره های متوالی t و t+1 است.

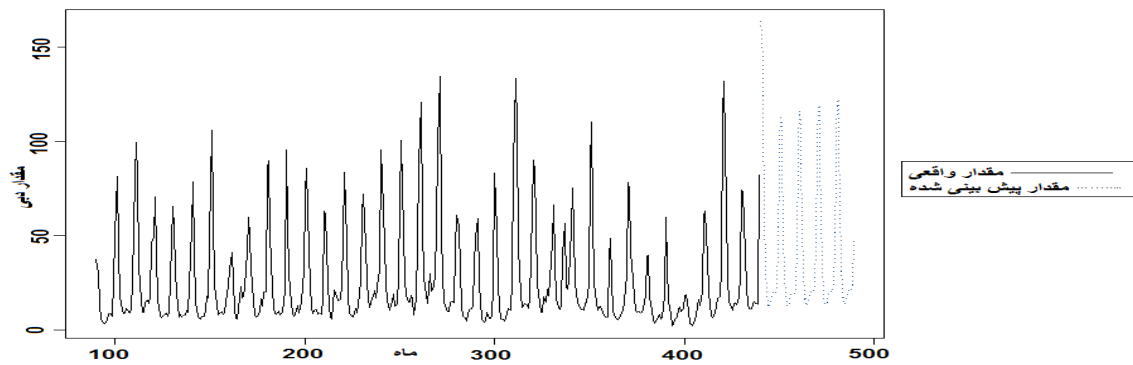
به منظور تجزیه و تحلیل بهره برداری سد لتیان، پارامترها و اطلاعات مورد نیاز معرفی می شوند (۲۳).

الف) آبدهی رودخانه: داده های تاریخی مقادیر متوسط ماهانه آبدهی رودخانه جاجرود براساس اندازه گیری طی یک دوره ۳۵ ساله (از فروردین ۱۳۵۵ تا اسفند ۱۳۸۹) در محل سد لتیان بدست آمده اند.

ب) خروجی های مخزن سد: از داخل مخزن سد، تونلی به طول ۹/۵ کیلومتر، سالانه به میزان ۲۹۰ میلیون متر مکعب آب به تصفیه خانه تهران پارس انتقال می دهد. همچنین سرریز سد لتیان با ۴ دریچه قابلیت تخلیه حدود ۱۲۷۶ متر مکعب در ثانیه را دارد.

ج) مصارف آب: مقادیر آب مورد نیاز مصرفی سد لتیان شامل مصرف در دشت ورامین جهت آبیاری اراضی و نیز تأمین آب شرب مردم تهران است.

د) سطح و حجم و ارتفاع دریاچه: رابطه میان این سه متغیر غیر خطی می باشد. تراز حداکثر دریاچه ۱۶۱۰ متر از سطح دریای آزاد و ارتفاع حداقل دریاچه از سطح دریا ۱۵۶۲ متر از سطح دریای آزاد است.



شکل ۲- میانگین ماهانه ۳۵ ساله آبدهی ورودی و برآورد پیش بینی جریان

جدول ۱- متوسط مقدار آب ورودی به سد لتیان (واحد: میلیون متر مکعب)

ماه رده	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱	۲۷/۷۴	۳۰/۳	۲۰/۰۲	۷/۱۸	۴/۲۱۸	۳/۳۹	۵/۲۴	۸/۷۸	۱۰/۸۹	۷/۴۳	۸/۶۱	۱۴/۳۵
۲	۴۶/۸۷	۵۳/۴۵	۳۹/۵۲	۱۵/۳۶	۸/۳۸	۵/۹۲	۸/۹۱	۱۵/۶۶	۲۱/۰۲	۱۰/۹۲	۱۳/۲۳	۲۹/۵۳
۳	۶۶	۷۶/۵۹	۵۹/۰۲	۲۳/۳۵	۱۲/۵۵	۸/۴۵	۱۲/۵۸	۲۲/۵۵	۳۱/۱۶	۱۴/۴۰	۱۷/۸۵	۴۴/۷۰
۴	۸۵/۱۳	۹۹/۷۴	۷۸/۵۲	۳۱/۴۳	۱۶/۷۱	۱۰/۹۸	۱۶/۲۶	۲۹/۴۳	۴۱/۳۰	۱۷/۸۸	۲۲/۴۷	۵۹/۸۸
۵	۱۰۴/۲۶	۱۲۲/۸۹	۹۸/۰۲	۳۹/۵۱	۲۰/۸۸	۱۳/۵۲	۱۹/۹۳	۳۶/۳۱	۵۱/۴۴	۲۱/۳۶	۲۷/۰۸	۷۵/۰۶

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- متوسط حجم آب مخزن سد لتیان (واحد: میلیون متر مکعب)

ماه رده	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱	۳۱/۵۹	۳۲/۸۱	۳۲/۹۶	۳۲/۵۸	۳۱/۵۵	۳۰/۵۷	۲۹/۸۷	۲۹/۰۵	۲۸/۱۶	۲۷/۶۸	۲۷/۴۵	۲۸/۰۵
۲	۴۴/۷۷	۴۸/۴۴	۴۸/۸۹	۴۷/۷۴	۴۴/۶۷	۴۱/۷۱	۳۹/۶۰	۳۷/۱۵	۳۴/۴۹	۳۳/۰۳	۳۲/۳۵	۳۴/۱۵
۳	۵۷/۹۴	۶۴/۰۶	۶۴/۸۲	۶۲/۹۱	۶۲/۹۱	۵۷/۷۸	۴۹/۳۴	۴۵/۲۴	۴۰/۸۲	۳۸/۳۸	۳۷/۲۵	۴۰/۲۵
۴	۷۱/۱۳	۷۹/۶۹	۸۰/۷۵	۷۸/۰۷	۷۰/۸۹	۶۳/۹۹	۵۹/۰۷	۵۲/۳۴	۴۷/۱۵	۴۳/۷۳	۴۲/۱۵	۴۶/۳۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق

می‌باشد.

در میان اهداف مدیریت بهره برداری از سد، تامین آب شرب تهران، به دلیل اهمیت آن، بیشترین اولویت را داشته و مدل تصادفی در تامین این نیاز موفق تر عمل می‌کند و در ۲۹ درصد ماه‌ها در طول دوره بررسی نیازهای شرب را به طور کامل برآورد کرده‌است. در حالی که در مدل قطعی برای ۱۵ ماه امکان اجرای سیاست مورد نظر، به دلیل کمبود آب مخزن وجود نداشته است. میزان توفیق تأمین آب کشاورزی در مدل تصادفی ۷۴/۵۲ درصد و مدل قطعی ۵۴/۷۶ درصد در طول دوره شبیه سازی بوده است. میزان تحقق هدف تولید انرژی در مدل تصادفی برای ۴۵ درصد از ماههای دوره شبیه سازی به طور کامل محقق شده است در حالی که در مدل قطعی در ۳ درصد ماه‌ها نیاز تأمین انرژی به طور کامل برآورده می‌شود. از سویی دیگر با وجود اینکه در مدل تصادفی ۱۳ ماه حجم مخزن کمتر از میزان حداقل بوده

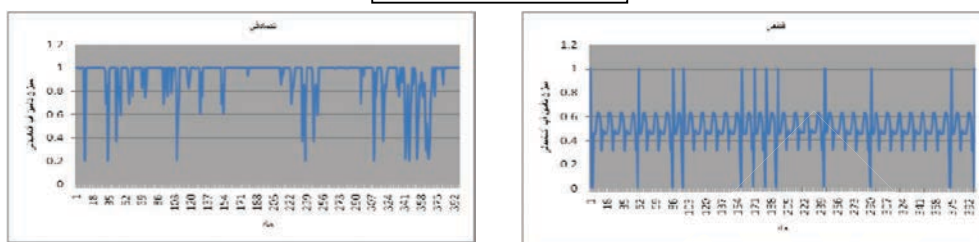
متغیر تصمیم، حجم آب رها شده از مخزن برای تامین نیاز آشامیدنی شهر تهران و آبیاری اراضی کشاورزی در انتهای هر ماه است. با استفاده از داده های تاریخی موجود و سیاست‌های پیشنهادی توسط دو مدل می‌توان عملکرد مخزن را تحت دو الگوی برنامه‌ریزی پویای قطعی و پویای تصادفی مطابق شکل ۲ شبیه‌سازی نمود. میزان توفیق در تامین نیازهای آب آشامیدنی و کشاورزی و نیز تحقق هدف تولید انرژی به صورت نسبت بیان شده است.

به این معنی که اگر در این نمودارها آب رها شده (مقدار خروجی سد) برای هریک از اهداف فوق بیش‌تر از نیازهای آبی مذکور (مورد تقاضا) بوده است، میزان تامین برابر یک فرض شده است و در غیر این صورت برابر نسبت آب رها شده به آب مورد نیاز می‌باشد. تغییرات حجم آب مخزن به عنوان حالت سیستم که در مقیاس میلیون متر مکعب بیان شده است متناظر با ماه‌های سری‌زمانی مورد بررسی

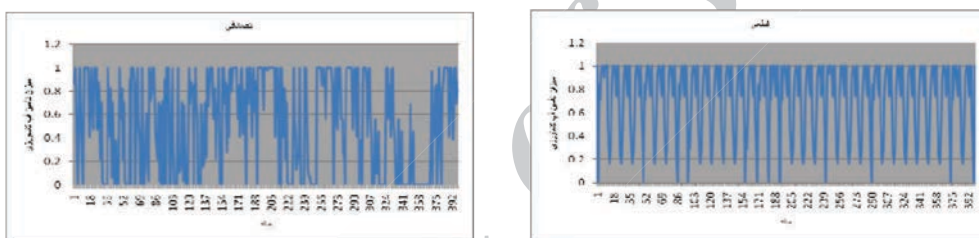
شرب و کشاورزی با درصد اطمینان بالا بوده است. برای نیل به این هدف، تابع جریمه‌ای که با توجه به درصد تامین نیاز در حلقه بهینه سازی تعریف گردیده است، می تواند منعکس کننده هزینه ناشی از انحراف اهداف مدیریت بهینه از سد باشد.

است (۲۵ میلیون متر مکعب) میانگین حجم مخزن در طول دوره شبیه سازی در مدل تصادفی ۴۸ میلیون مترمکعب و درحالی که این میزان در مدل قطعی ۳۱ میلیون مترمکعب بوده است. اصلی ترین هدف مدل بهره برداری از سد لتیان، تأمین نیازهای

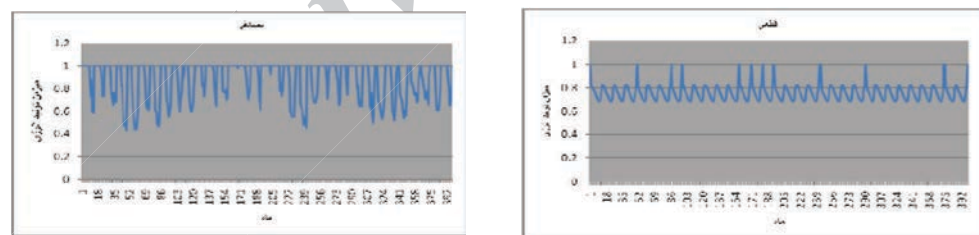
میزان تأمین نیاز آب آشامیدنی



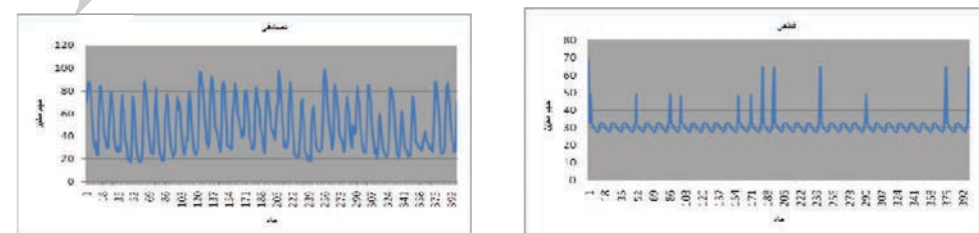
میزان تأمین نیاز آب کشاورزی



میزان تحقق هدف تولید انرژی



تغییرات حجم مخزن



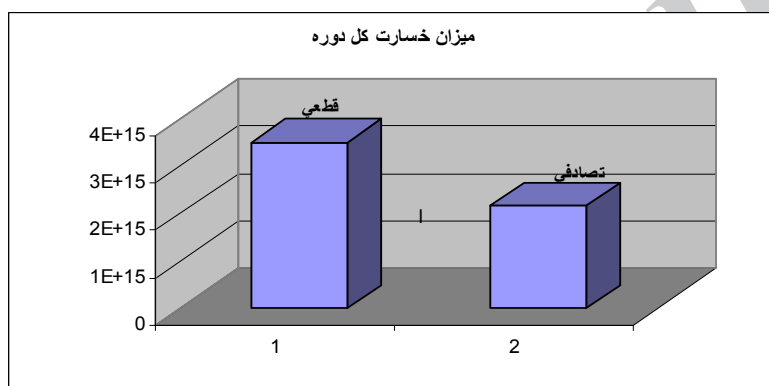
شکل ۳- شبیه سازی عملکرد سیستم طی دوره ۳۵ ساله



با وجود مشابهت نتایج تحقیق مومنی و رضایی (۹) با مطالعه حاضر، به دلیل استفاده از توزیع احتمالات گذار مارکوفی بدون افرازی بندی آن، در مدل تصادفی و نیز عدم کاربرد تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی در مدل قطعی، نتایج آن مطالعه از دقت کم‌تری برخوردار است. با وجود انجام مطالعات فراوان برای تخصیص بهینه آب سد، میان محصولات کشاورزی به دلیل نادیده گرفتن روابط حاکم بر سیستم سد مخزنی، از جامعیت کامل برخوردار نمی باشد. لذا پیشنهاد می‌شود با تلفیق مدیریت سد، با دیگر مدیریت بخش‌های متقاضی آب مانند مدیریت کشاورزی و شرب، ضمن شناسایی روابط حاکم بر سیستم سد مخزنی، حساسیت‌های هر بخش را بر اساس اولویت‌های موجود، تعیین و به‌ترین الگوی مصرف را مشخص نمود.

میزان خسارت کل براساس تابع هزینه معرفی شده از ابتدای دوره شبیه سازی (فروردین ۱۳۵۵ تا اسفند ۱۳۸۹) همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده برای مدل تصادفی کمتر از ۶۱ درصد مقدار مربوط به مدل قطعی است. نتایج حاصل از مدل شبیه سازی با سیاست‌های بهینه رها سازی حاصل از دو مدل قطعی و تصادفی به وضوح موید آن است که با توجه به دقت نبودن داده‌های تاریخی در دسترس، برای هر ماه از سال، توزیع‌های آماری فازی به نحو مطلوب‌تری معرف رفتار دبی رودخانه هستند.

از این جهت، مدل تصادفی بر اساس افرازی بندی فازی در تحقیق همه اهداف، از جمله تأمین نیازآبی اراضی کشاورزی دشت ورامین و شرب شهر تهران موفق‌تر از مدل قطعی عمل می‌کند.



شکل ۴- خسارت کل دوره حاصل از اجرای دو مدل قطعی و تصادفی

## منابع

- ۱- آمریان م. ۱۳۸۰. تهیه مدل بهره‌برداری بهینه از مخزن سد بوکان به روش برنامه ریزی پویا- شبکه عصبی مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- بشری م. و وفاخواه م. ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سری‌های زمانی در پیش‌بینی دبی حوضه آبخیز کرخه. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب ۲: ۶۵-۷۷.
- ۳- جلال کمالی ا.، محمودیان شوشتری م. و جلال کمالی ن. ۱۳۸۵. پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد شهید عباسپور با استفاده از مدل‌های سری زمانی Box-Jenkins. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۴- سعدالدین ا.، هلیلی م.ق. و مساعدی ا. ۱۳۸۹. مدیریت بهره‌برداری از مخزن با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سد مخزنی بوستان استان گلستان. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۱۱: ۶۱-۵۳.
- ۵- طراز کار م.ح. و صدق‌آمیز م. ۱۳۸۷. مقایسه پیش‌بینی دبی جریان ماهانه رودخانه کرخه با استفاده از روش‌های سری‌های زمانی و هوش مصنوعی مجله پژوهش‌سازندگی ۸۰: ۶۸-۷۶.
- ۶- کارآموز م. و عراقی‌نژاد ش. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.
- ۷- کوره‌پزان ا. ۱۳۸۴. اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربرد‌های آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر. تهران.
- ۸- مومنی م. ۱۳۷۴. پژوهش عملیاتی (مدل‌های احتمالی). انتشارات مهر. تهران.
- ۹- مومنی م. و رضایی ن. ۱۳۸۷. مدل بهره‌برداری از مخزن سد ارس با استفاده از برنامه ریزی پویا. نشریه مدیریت صنعتی ۱: ۱۵۲-۱۳۹.

- ۱۰- نادر ه. و صبوحی صابونی م. ۱۳۹۰. مدیریت تخصیص آب سد مهاباد با استفاده از برنامه ریزی آرمانی اولییتی. مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی ۳: ۱-۱۶.
- ۱۱- نیرومند ح. ۱۳۷۶. تحلیل سری های زمانی. انتشارات دانشگاه فردوسی. مشهد.
- ۱۲- همایونی فر م. و رستگاری پور ف. ۱۳۸۹. تخصیص آب سد لتیان بین محصولات کشاورزی در شرایط عدم حتمیت. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی ۲: ۲۶۷-۲۵۹.
- ۱۳- یوسفی ن، حجام س. و ایران نژاد پ. ۱۳۸۶. برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکف و توزیع نرمال (مطالعه موردی: قزوین). مجله پژوهش های جغرافیایی ۶: ۱۲۸-۱۲۱.
- 14- Alcigeims B., and Max B. 2007. Evaluation of stochastic reservoir operation ptimization models. *Advances in Water Resources*,32:1429-1443.
- 15-Estalrich J., and Buras N. 1992. Alternative specification of state Variables in stochastic- programming modelsof reservoir dynamic operation .*Application Mathematics and Computation*,44:143-155 .
- 16-Jovanovski V., and Delipetrov T. 2007. Auto-regressive integrated moving average (ARIMA) modeling of rainfall process estimation and forecast. *Geophysical Research Abstracts*, 9: 21-35.
- 17- Karbowski A., Malinowski K., and Niewiadomska E. 2003.A hybrid analytic/rule-based approach to reservoir system managemement during flood. *Decision Support Systems*, 38: 599- 610
- 18- Komornik J., Komornikova M., Mesiar R., and Szokeova D. 2006.Comparison of forecasting performance of nonlinear models of hydrological time series. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31: 1127-1145.
- 19-Long N., Madsen H., and Rosbjerg D .2007.Simulation and optimisation modeling approach for operation of the Hoa Binn reservoir, Vietnam. *Hydrology*,336:269-281.
- 20-Mays L.W. 1996. *Water Resources Handbook*.Newyork,USA.
- 21-Mousavi J., Mahdizadeh K., and Afshar A. 2005.A stochastic dynamic programming model with fuzzy storage, states for reservoir operations. *Advances in Water Resources*,27:1105-1110.
- 22-Tilmant A., Faouzi E.M., and Vanclooster M. 2002. Optimal operation of multipurpose reservoirs using flexible stochastic and dynamic programming. *Applied Soft Computing*, 15: 61-74.2.
- 23- www.tw.org.ir. 1390.
- 24-Wu C.L., and Chau K.W. 2010. DATA-driven models for monthly stream flow time series prediction. *Engineering Application of Artifical Intelligence*,23:1350-1367.
- 25-Zhao T., Cai X., and Yang D. 2011. Effect of streamflow forecast uncertainty on real time reservoir operation.*Advances in Water resourses*, 34:495-504.