

روش ماتریس احتمالی در تعیین منحنی فرمان بهره‌برداری مخازن سدها و مقایسه آن با روش SPA

* وریا ساعی^۱، مجید منتصری^۲ و پرویز فتحی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه،

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۲۳

چکیده

بهره‌برداری مناسب و بهینه سیستم مخازن سدها یکی از دغدغه‌های مهم متخصصان و کارگزاران صنعت آب در نقاط مختلف دنیا به‌شمار می‌آید. در بشیر سیستم‌های مخازن ذخیره دنیا، منحنی‌های فرمان به‌عنوان الگوی اصلی بهره‌برداری شناخته می‌شود. منحنی‌های یاد شده، مقادیر بهینه آب تأمین یا تحویلی سیستم، به‌ازای وضعیت‌های مختلف ذخیره مخزن و در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. روش‌های مختلفی برای تعیین الگوی بهره‌برداری مخازن ذخیره آب وجود دارد که به سه دسته مدل‌های شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و ماتریس احتمالی طبقه‌بندی می‌شوند. در روش‌های سنتی، طراحی سیستم مخازن ذخیره، تنها براساس داده‌های ثبت شده جریان رودخانه و اعمال نکردن شاخص‌های عملکرد مخزن صورت می‌گیرد. در این روش‌ها فرض می‌شود که در آینده، دوره خشکی شدیدتر از دوره بحرانی ثبت شده، اتفاق نخواهد افتاد که درست بودن این فرض نیز دور از ذهن می‌باشد. هدف از این تحقیق ارائه روشی است که با استفاده از آن بتوان منحنی‌های فرمان مخازن سدهای ذخیره‌ای را بر مبنای شاخص‌های عملکرد آنها (نظیر قابلیت اعتماد زمانی، آسیب‌پذیری و سرعت برگشت‌پذیری) تعیین نمود. برای این منظور ابتدا با استفاده از روش‌های سری زمانی $AR(I)$ و والن سبا شاکي، هزار سری داده جریان برای رودخانه‌های ورودی به سدهای مخزنی مهاباد و شهرچای در استان آذربایجان غربی تولید شد. در ادامه با استفاده از روش‌های SPA اصلاح‌شده و ماتریس احتمالاتی گولد، تحلیل‌های مورد نیاز انجام و در نهایت برای ترکیب‌های مختلفی از میزان تقاضا و شاخص‌های عملکرد، منحنی‌های فرمان مناسب ارائه گردید. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که انطباق خوبی مابین نتایج حاصل از روش‌های SPA و ماتریس احتمالاتی وجود دارد. بیشترین مقدار اختلاف بین دو روش در انعطاف‌پذیری‌های حداقل و کمترین اختلاف در انعطاف‌پذیری‌های حداکثر رخ داد. بیشترین و کمترین مقدار اختلاف در سایت مهاباد به ترتیب برابر ۱۳/۱۵ و ۰/۳۷ میلیون مترمکعب و در سایت شهرچای برابر ۹/۸۸ و ۰/۰۹۸ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: منحنی‌های فرمان، شاخص‌های عملکرد مخزن، روش ماتریس احتمالی، روش SPA

مقدمه

سیاست بهره‌برداری از مخازن احداث شده از لحاظ اجتماعی و اقتصادی از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. طراحی بهینه مخازن ذخیره مستلزم تنظیم آیین‌نامه بهره‌برداری بر مبنای تعیین مقادیر جریان‌های

یکی از الویت‌های اساسی طرح‌های تأمین آب بهره‌برداری مناسب از مخازن ذخیره بوده و تدوین

ورودی و خروجی به مخزن و تعیین ارتباط ما بین آنها می‌باشد. حجم مفید یا ظرفیت ذخیره مخزن و کنترل خروجی برای برداشت مطمئن از آن به‌ازای ترکیب مناسبی از شاخص‌های عملکرد سیستم ذخیره محاسبه می‌شود. کنترل آب خروجی از یک مخزن در هر ارتفاع آب، با استفاده از یک راهنما، جدول و یا نمودار انجام می‌گیرد. این جداول و نمودارها به‌عنوان دستورهای بهره‌برداری جهت استفاده از آب در شرایط نرمال و پرتنش (شکست)، نگهداری صحیح سطح آب، بهره‌برداری در زمان سیلاب و مشارکت با دیگر مخازن استفاده می‌شود (متصری، ۱۹۹۰).

روش‌های مختلفی برای بهره‌برداری و ذخیره‌سازی آب در مخازن وجود دارد. کلیه این روش‌ها بر مبنای یک نظام ساده ذخیره و رهاسازی برای یک دوره زمانی مشخص، تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده و روش‌های بهینه‌سازی، میزان رهاسازی جریان در یک زمان مشخص را تعیین می‌نمایند. در اغلب مخازن دنیا، منحنی فرمان به‌عنوان الگوی اصلی بهره‌برداری، تعیین‌کننده میزان ذخیره و رهاسازی آب در مخازن ذخیره می‌باشد. این منحنی‌ها، میزان تغییرات مقادیر بهینه آب تأمینی یا تحویلی سیستم به‌ازای وضعیت ذخیره در ماه‌های مختلف سال را نشان داده و می‌توانند شامل چند منحنی با شرایط مختلف باشند (وتروبا و بروزا، ۱۹۸۹).

به‌طور متداول آنالیز مخزن یا به‌صورت تحلیلی یا به‌صورت عددی انجام می‌گیرد، هر چند روش تحلیلی به‌جز برای حالت‌های خیلی ساده شده، اغلب خیلی بغرنج و پیچیده است. بنابراین اغلب روش‌های پیشرفته حل مسأله (تحلیل مخزن) منحصراً براساس روش‌های عددی پایه‌گذاری شده‌اند (فاترفورد، ۱۹۸۹).

در روش‌های عددی به‌طورکلی دو نوع روش مجزا وجود دارد، روش اول روش‌های ماتریس احتمالات است که این روش‌ها به‌طور مستقیم روند ذخیره‌سازی مخزن را مدل می‌کنند، روش دوم متدهایی می‌باشند که تحلیل مخزن در آنها براساس دوره بحرانی انجام می‌گیرد،

روش‌هایی که براساس دوره بحرانی انجام می‌گیرند به دو دسته شبیه‌سازی^۱ و بهینه‌سازی^۲ تقسیم‌بندی شده‌اند. در روش‌های شبیه‌سازی از معادله توازن جرمی در مخزن به‌صورت گام به گام تحت مجموعه شرایط معینی از حالت‌ها (قیدها)، استفاده می‌شود. معادله توازن جرمی به دو صورت به‌منظور شبیه‌سازی مخزن استفاده می‌شود یکی براساس حجم ذخیره شده و دیگری براساس میزان کمبود در هر دوره می‌باشد.

بسیاری از محققان در مورد سیاست بهره‌برداری از مخازن به منحنی‌های فرمان در پنج دهه گذشته استناد کرده ولی روش‌های بهره‌برداری دیگری از جمله SOP^۳، LDR^۴، PR^۵، SR^۶ و HR^۷ برای سیستم مخازن ذخیره مطرح می‌باشد (نلیکانتان و پانداریکانتان، ۱۹۹۹).

در این میان روش SOP یک روش ساده بهره‌برداری بوده که خروجی براساس تقاضا تعیین می‌گردد و آب برای نیازهای آینده نگهداری نمی‌گردد. در این روش بهره‌برداری بهینه با هدف مینیم کردن مجموع کمبودها در طول زمان صورت می‌گیرد. روش LDR از برنامه‌ریزی خطی برای بهینه کردن بهره‌برداری از مخزن استفاده کرده است. در روش‌های بیان شده شاخص‌های عملکرد مخزن به‌طور کامل قابل استفاده نیست. همچنین در سال‌های اخیر از ترکیب روش‌های مختلف مثل ترکیب منطق فازی و برنامه‌نویسی پویا (موسوی و همکاران، ۲۰۰۵) و ترکیب الگوریتم ژنتیک و برنامه‌نویسی خطی (ریس و همکاران، ۲۰۰۶) برای بهره‌برداری مخازن استفاده شده است اما در این روش‌ها شاخص‌های عملکرد مخزن به‌کار برده نشده‌اند که این از ضعف این روش‌ها محسوب شده و همچنین پیچیدگی زیادی در محاسبات وجود دارد.

- 1- Simulation
- 2- Optimisation
- 3- Standard Operating Policy
- 4- Linear Decision Rule
- 5- Pack Rule
- 6- Space Rule
- 7- Hedging Rule

روش‌های بهینه‌سازی از یک طرف پیچیده و وقت‌گیر بوده و از طرف دیگر مدل کردن تمامی شرایط واقعی سیستم مخازن ذخیره در آنها امکان‌پذیر نمی‌باشد، از این رو روش‌های مذکور بیشتر برای حالت‌های ساده شده‌ای از سیستم مخازن ذخیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورتی که روش‌های شبیه‌سازی به صورت مفصل و ریز و به‌طور واقع‌بینانه به خصوصیات پیچیده یک سیستم مخزن می‌پردازد و در مقام مقایسه با سایر روش‌ها علاوه بر فهم ساده و سرعت بالای آن، دارای انعطاف کاملی برای اعمال تمامی شرایط واقعی سیستم مخازن ذخیره در تحلیل می‌باشد. منحنی‌های فرمان که براساس این روش تعیین می‌گردد، قابلیت استفاده در تمامی شرایط بهره‌برداری از جمله دوره‌های خشکسالی را داشته و می‌توان هر سه شاخص عملکرد مخزن را در آن تأثیر داد (نلیکانتان و پانداریکانتان، ۱۹۹۹).

برای بهره‌برداری بهینه از مخزن و ارایه الگوی مناسب بهره‌برداری در دوره‌های خشکسالی، در این مطالعه برای اولین بار منحنی‌های فرمان براساس داده‌های مصنوعی تولید و هر سه شاخص عملکرد مخزن (قابلیت اعتماد، شکست‌پذیری و سرعت برگشت‌پذیری) اعمال و با روش‌های ماتریس احتمالی و شبیه‌سازی (SPA) اصلاح شده تعیین شده است. این منحنی‌ها در دوره‌های شکست، با کنترل میزان آب رها شده و کم کردن مقدار خروجی، دوره خشک‌سالی را کنترل کرده و بعد از چند ماه بهره‌برداری، مخزن به حالت عادی بهره‌برداری می‌رسد.

در ایران اغلب سیستم‌های ذخیره، فاقد الگوهای بهره‌برداری مناسب و آکادمیک بوده و بنابراین بررسی روش‌ها و ارایه الگوهای مناسب بهره‌برداری جهت استفاده بهینه از چنین سیستم‌هایی در دوره بهره‌برداری عادی و دوره‌های پرتنش خشکسالی از الویت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد در این مطالعه برای تحلیل مخازن ابتدا داده‌های مصنوعی در ۱۰۰۰ سری تولید و سپس از روش SPA اصلاح و ماتریس احتمالی گولد

برای ارایه منحنی فرمان استفاده شده است. دلیل انتخاب روش شبیه‌سازی SPA، مزایای آن نسبت به روش‌های دیگر بوده است. روش ماتریس احتمالی تاکنون در هیچ جای دنیا برای ارایه منحنی فرمان به‌کار برده نشده است به همین دلیل با روش SPA مقایسه و نتایج نشان داده است که این دو روش هم‌خوانی خوبی با هم دارند.

مواد و روش‌ها

تولید جریان‌های مصنوعی: مدل‌های تولید جریان رودخانه‌ای برای تولید سری‌های متناوب از جریان رودخانه، با مشخصات آماری مشابه داده‌های تاریخی به‌کار برده می‌شود. چنین سری‌های متناوبی به‌طور توأم خصوصیات سری‌های جریان رودخانه، که ممکن است در آینده اتفاق بیافتد، را توصیف می‌کند. جریان‌های تولید شده به وسیله مدل‌های تصادفی می‌توانند خشکسالی‌های شدیدتر از داده‌های تاریخی را ایجاد نمایند. در این مطالعه ابتدا جریان‌های سالیانه توسط مدل پارامتریک تصادفی سالیانه $AR(1)$ تولید و برای تولید جریان‌های ماهیانه از مدل والنسیا و شاکی^۱ استفاده شده است، که برای استفاده از این مدل، داده‌های سالیانه تولید شده به وسیله مدل $AR(1)$ به‌عنوان داده‌های ورودی مدل فرض می‌شوند که توسط مدل والنسیا و شاکی به جریان‌های ماهیانه توزیع می‌گردند.

ارایه منحنی فرمان با روش ماتریس احتمالی: برای تعیین منحنی فرمان مخزن ذخیره‌ای با روش ماتریس احتمالی، مراحل زیر انجام شد:

۱- فرض حجم اولیه مخزن با استفاده از روش SPA: در این تحقیق برای تخمین حجم مخزن به روش SPA، شاخص‌های عملکرد مخزن نیز استفاده شد.

۲- فرض ضریب اعتماد زمانی مشخص جهت تعیین حجم مخزن.

۳- تقسیم‌بندی مخزن به بیست ناحیه و محاسبه حجم هر ناحیه با استفاده از معادله (۱):

$$Volume(W) = \frac{C_1}{K-2} \quad (1)$$

که در آن C_1 : حجم اولیه‌ای فرض شده، K : تعداد ناحیه‌ها می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که تعداد ناحیه بهینه برای تقسیم‌بندی مخزن برابر بیست می‌باشد.

۴- تشکیل ماتریس انتقالی به ابعاد 20×20 (متناسب با تعداد ناحیه در نظر گرفته شده): مقدار عناصر ماتریس از معادله ۲ محاسبه می‌شوند (لاکس، ۱۹۹۷).

$$Z_{j+1} = Z_j + X_j - D_j - \Delta E_j \quad (2)$$

که در آن Z_j ، Z_{j+1} : حجم مخزن در شروع و پایان ماه j ام، X_j : جریان ورودی در طول ماه j ام، D_j : آب تحویلی در طول ماه j ام، ΔE_j : تبخیر در طول ماه j ام می‌باشد. اولین عنصر هر سطر و ستون مربوط به ناحیه Z_0 و آخرین عنصر هر سطر و ستون مربوط به ناحیه Z_{19} می‌باشد. با مشخص بودن مقادیر پارامترهای طرف راست رابطه ۲ مقداری برای Z_{j+1} حاصل می‌شود. با تقسیم مقدار به‌دست آمده بر حجم هر ناحیه، شماره آن ناحیه به‌دست می‌آید. در محل تقاطع سطر مربوط به ناحیه و ستون مربوط به Z_j عنصری مشخص می‌شود. در عنصر مشخص شده عدد ۱ نوشته می‌شود. در انتها باید ماتریس به‌دست آمده بر تعداد سال‌های آماری تقسیم شود. این کار برای تمام سال‌های آماری تکرار می‌شود تا ماتریس انتقالی مربوط به هر ماه حاصل شود (مک‌ماهان و مین، ۱۹۸۶).

در طول انجام محاسبات هرگاه Z_{j+1} عدد منفی یا صفر شود نشان‌دهنده آن خواهد بود که مخزن در این شرایط دچار شکست گردیده است و بایستی در ماتریس سطری جداگانه‌ای، در ستون مربوطه به Z_{j+1} عدد یک نوشته شود. در پایان کار با تقسیم این ماتریس بر $12 \times N$ ماتریس احتمال شکست تشکیل می‌گردد.

۵- تشکیل ماتریس حالت پایدار از طریق به توان رساندن ماتریس انتقالی: ماتریس پایدار حاصله ماتریسی به ابعاد 20×20 بوده که تمام ستون‌های آن یکسان می‌باشند. در نهایت با ستون‌های مربوط به هر ماه ماتریسی به ابعاد

20×12 به‌دست آمد. ناحیه‌های مخزن و ماه‌های سال به‌ترتیب سطرها و ستون‌های ماتریس پایدار می‌باشند.

۶- محاسبه ضریب اعتماد زمانی: با ضرب ماتریس حالت پایدار در ماتریس شکست، ماتریسی حاصل می‌شود که مجموع عناصر آن احتمال شکست مربوطه را به‌وجود می‌آورد. اگر مقدار به‌دست آمده از عدد یک کم شود ضریب اعتماد زمانی حاصل می‌گردد که اگر با ضریب اعتماد زمانی فرض شده یکی باشد محاسبات به اتمام می‌رسد. در غیر این صورت با ضریب اعتماد زمانی محاسبه شده مراحل فوق تکرار می‌شود (مک‌ماهان و مین، ۱۹۸۶).

۷- ارزیابی منحنی فرمان: در مرحله آخر برای تعیین منحنی‌های فرمان، عناصر ستون‌های هر ماتریس پایدار به‌صورت تجمعی محاسبه و سپس مقادیر حاصله به‌صورت نزولی مرتب شد. با این کار احتمال وقوع برای ناحیه Z_0 بیشترین مقدار و ناحیه Z_{19} کمترین مقدار به‌دست آمد. در این تحقیق برای ترسیم منحنی‌های فرمان، احتمال ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. در ستون‌هایی که مقادیر به‌صورت نزولی مرتب گردیده، هر ناحیه که دارای احتمال ۵۰ درصد بوده استخراج شده و با تقسیم شماره ناحیه مربوط به هر ماه بر عدد بیست (تعداد ناحیه‌ها) عدد اعشاری به‌دست آمده و با ترسیم اعداد اعشاری در برابر ماه‌های سال، منحنی‌های فرمان به‌دست می‌آید (مک‌ماهان و مین، ۱۹۸۶).

تعیین منحنی فرمان با روش SPA: مراحل مختلف ترسیم منحنی فرمان به قرار زیر می‌باشد:

۱- محاسبه ظرفیت مفید مخزن با فرض این که مخزن در حالت اولیه کاملاً پر است: برای محاسبه ظرفیت مفید مخزن از معادله ۳ استفاده می‌شود.

$$A = k_{t-1} + R_t + EV_t - Q_t$$

$$k_t = \begin{cases} A & \text{if } A > 0 \\ 0.0 & \text{if } A \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$k_a = \max(k_t) \quad t = 1, \dots, T$$

$$S_t = K_a - K_{t-1} \quad t = 1, \dots, T$$

که در آن k_a : حداقل ظرفیت حجم مفید، k_t و k_{t-1} : به ترتیب مقدار کمبود حجمی به وجود آمده در انتها و ابتدا دوره t ، Q_t : مقدار حجمی جریان ورودی به مخزن در طول دوره t ، R_t : مقدار حجمی جریان آب رها شده از مخزن در طول دوره t ، EV_t : مقدار حجمی تلفات آب (از قبیل تبخیر و نشست...) در طول دوره t ، T : تعداد کل دوره‌ها که در تحلیل مورد استفاده قرار گرفت و S_t : مقدار حجم ذخیره در شروع دوره t می‌باشد.

۲- تعیین رابطه غیرخطی سطح-حجم مخزن با استفاده از اطلاعات نقشه‌برداری
 ۳- برآورد تلفات خالص تبخیر (برحسب حجم) در هر دوره t با استفاده از معادله ۴:

$$EV_t = en_t \left[\frac{(A_{s,t} + A_{s,t+1})}{2} \right] \quad (4)$$

که در آن EV_t : تلفات خالص تبخیر، $A_{s,t}$ و $A_{s,t+1}$: به ترتیب مساحت سطح آب مخزن در ابتدا و انتها دوره t و S_t : حجم مخزن در شروع دوره t می‌باشد.

۵) $en_t = (EP_t - P_t)$
 که در آن EP_t : ارتفاع تبخیر از سطح مخزن در طول دوره t ، P_t : ارتفاع بارندگی به سطح مخزن در طول دوره t

۴- اعمال شاخص‌های عملکرد مخزن

۵- ترسیم نمودار تغییرات مقادیر حجم ذخیره نسبت به حجم مفید در ماه‌های مختلف

مخازن ذخیره‌ای مورد مطالعه: در این تحقیق از آمار و اطلاعات دو سد مخزنی مهاباد و شهرچای واقع در استان آذربایجان غربی برای انجام تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز استفاده گردید. خلاصه اطلاعات هیدرولوژی این مخازن در جدول ۱ ارایه شده است.

بررسی همگنی و پایداری داده‌های جریان: به منظور بررسی همگنی جریان رودخانه‌های مورد مطالعه از روش منحنی جرم مضاعف استفاده شده است این روش نشان داد که داده‌های سایت‌های مورد مطالعه همگن هستند.

به منظور بررسی تصادفی بودن داده‌ها نیز از روش ران تست^۱ که معیار محاسبه شده توسط این روش در محدوده مجاز قرار داشت و برای پایداری داده‌ها از آزمون ایستایی^۲ که سازمان هواشناسی جهانی (WMO, ۱۹۸۸) پیشنهاد کرده، استفاده شد. نتایج این آزمون نیز نشان داد که سری زمانی جریان مربوط به هر دو سایت ایستا بوده و فاقد هرگونه گرایش در خصوصیات آماری می‌باشند. برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع احتمالی برای داده‌های جریان سالیانه و ماهیانه از آزمون PPCC^۳ (با سطح اعتماد ۹۵ درصد) استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که توزیع لاگ‌پیرسن تیپ سوم بر داده‌های ماهیانه و سالیانه هر دو سایت برازش مناسبی دارد.

ترکیب‌های مختلف تقاضا، قابلیت اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری در تحلیل مخزن: در این تحقیق ابتدا به تعداد سال‌های آماری مورد مطالعه، توسط مدل‌های تصادفی، داده‌های مصنوعی تولید و به‌عنوان داده ورودی برای تحلیل مخزن مورد استفاده قرار گرفت. سپس گزینه‌های مختلفی برای تقاضای کل سالیانه (به‌صورت ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد مقدار متوسط جریان سالیانه (MAF)) و آسیب‌پذیری (به‌صورت ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) برای شرایط شکست مخزن در نظر گرفته شد. همچنین مقادیر مختلفی از قابلیت اعتماد زمانی (به‌صورت ۹۰، ۹۳، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۹۸، ۹۹ و ۱۰۰ درصد) و نوع تقاضا نیز در ماه‌های مختلف سال در نظر گرفته شد.

در بهره‌برداری سیستم‌های ذخیره ایده‌آل‌ترین سیاست بهره‌برداری، زمانی است که سیستم دارای بیشترین قابلیت اعتماد زمانی و سرعت برگشت‌پذیری و کمترین آسیب‌پذیری باشد. هر چند داشتن چنین سیستمی به‌خاطر وجود تعامل^۴ بین شاخص‌های عملکرد مخزن، در عمل ممکن نیست. لاکس (۱۹۹۷) به منظور ایجاد امکان مقایسه گزینه‌های مختلف طراحی و سیاست‌های بهره‌برداری،

- 1- Run Test
- 2- Spear Mans Rank Order Correlation
- 3- Probability Plot Correlation Coefficient
- 4- Trade-Off

شاخص انعطاف‌پذیری را معرفی کرد براساس این شاخص، در بین گزینه‌های مختلف مورد مقایسه، گزینه‌ای که دارای بیشترین مقدار شاخص انعطاف‌پذیری باشد به‌عنوان گزینه بهینه انتخاب می‌شود. هاشیموتو (۱۹۸۲) در قالب یک طرح تحقیقاتی، سه معیار برای ارزیابی عملکرد ممکن سیستم‌های مخازن ذخیره آرایه نمود. این معیارها احتمال شکست (قابلیت اعتماد) و سرعت برگشت عملکرد مخزن از حالت شکست به نرمال و در نتیجه شدت شکست (شکست‌پذیری) را توصیف می‌نمایند.

در جدول (۲) مقدار آسیب‌پذیری متناظر با انعطاف‌پذیری ماکزیم در تقاضای مشخص (انتخاب این سه تقاضا به این صورت بوده است که در تقاضای حداقل سیستم‌های مخازن ذخیره حالت درون‌سالی و در مقدار متوسط حالت انتقالی و در مقدار بزرگ‌تر حالت برون‌سالی را دارند) با قابلیت اعتماد زمانی مختلف آرایه شده است. براساس این جدول حداکثر انعطاف‌پذیری، برای سایت شهرچای در آسیب‌پذیری‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد و در سایت مهاباد در آسیب‌پذیری‌های ۳۰ و ۴۰ درصد مشاهده و از این‌رو منحنی‌های فرمان برای بهره‌بردار بهینه از مخزن برای آسیب‌پذیری‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد رسم گردید.

بحث و نتایج

در شکل‌های (۱ و ۲) تغییرات حجم ذخیره نسبت به ماه‌های مختلف و برای قابلیت‌های اعتماد زمانی متفاوت نمایش داده شده است. نمودارهای مذکور به‌عنوان منحنی فرمان برای سدهای مورد مطالعه محسوب می‌شوند و به‌عنوان نمونه توضیح منحنی فرمان با آسیب‌پذیری ۴۰ درصد و تقاضای ۴۰ درصد آرایه شده است. مثلاً اگر

حجم ذخیره مخزن در ماه مهر دارای قابلیت اعتماد زمانی ۹۸ درصد باشد اگر مقدار خروجی طرح ۱۰ درصد کم شود با احتمال ۹۸ درصد تقاضای طرح را می‌توان تأمین کرد. اگر در ماه دوم و سوم از مقدار خروجی ۲۰ درصد کم شود، در ماه چهارم به حالت بهره‌برداری نرمال می‌رسد و با ضریب اطمینان ۱۰۰ درصد می‌توان تقاضای طرح را تأمین کرد. در این تحقیق منحنی‌های فرمان برای دو تقاضا رسم شده است. اگر سیستم ذخیره درون‌سالی باشد از منحنی‌هایی با تقاضای ۲۰ درصد در مهاباد و ۵۰ درصد در شهرچای و اگر سیستم برون‌سالی باشد از منحنی‌های با تقاضای ۴۰ درصد در مهاباد و ۷۰ درصد در شهرچای استفاده می‌شود. سیستم درون‌سالی به سیستمی اطلاق می‌شود که در طول یک سال، مخزن چندین بار پر و خالی شود. سیستم برون‌سالی به سیستمی اطلاق می‌شود که دوره بحرانی طولانی دارد و معمولاً چندین سال طول می‌کشد تا سیستم از حالت پر به خالی برسد (وگل و بولوکس، ۱۹۹۵).

شکل‌های (۳ و ۴) نمودار تغییرات حجم ذخیره نسبت به ماه‌های مختلف برای قابلیت اعتماد زمانی ۹۸ درصد در تقاضاهای مختلف را نشان می‌دهد. این نمودارها به‌عنوان معیار مقایسه در مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالت عادی بهره‌برداری که هنوز حجم مرده مخزن پر نشده است، این منحنی‌ها کاربرد ندارند و از منحنی فرمان خود سد (شکل‌های ۱ و ۲) استفاده می‌شود ولی زمانی که حجم مرده مخزن پر می‌شود و حجم مفید مخزن شروع به کاهش می‌کند، حجم مخزن حاضر در نمودار مربوطه وارد می‌شود. اگر حجم مخزن زیر خط هر تقاضایی باشد از منحنی‌های فرمان مربوط به تقاضای پایین‌تر استفاده خواهد شد.

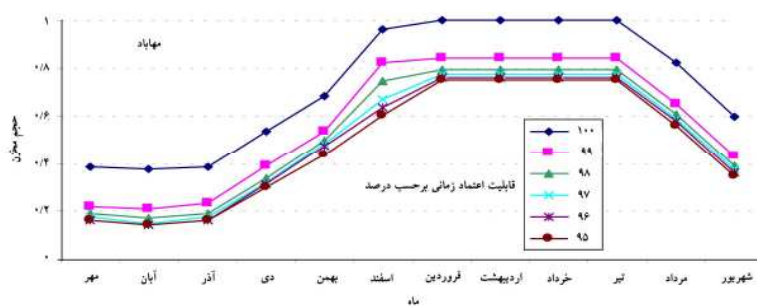
جدول ۱- مشخصات آماری داده‌های سالیانه جریان در سایت‌های مورد نظر.

سایت	سال‌های آماری	میانگین برحسب میلیون مترمکعب	ضریب تغییرات	ضریب چولگی	ρ	توزیع برتر
مهاباد	۴۹	۳۹۴/۰۸۳	۰/۶۰۵	۱/۴۴۹	۰/۲۷	LP (III)
شهرچای	۴۹	۲۱۷/۹۳	۰/۳۰۳	۰/۸۸۵	۰/۰۶۵	LP (III)

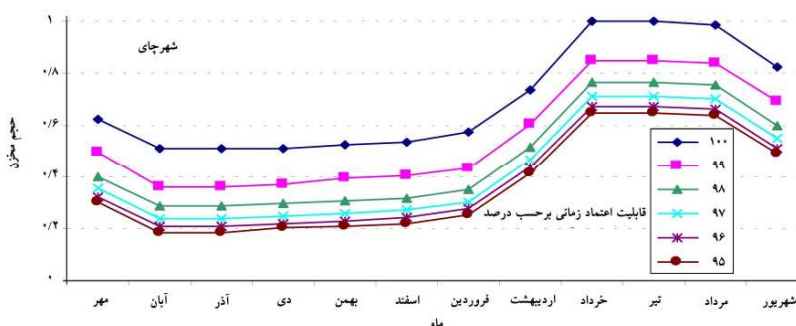
ρ : ضریب همبستگی جریان‌های سالیانه با تأخیر ۱.

جدول ۲- مقدار آسیب پذیری متناظر با انعطاف پذیری ماکزیمم در هر تقاضا با قابلیت اعتماد زمانی مختلف (برحسب درصد).

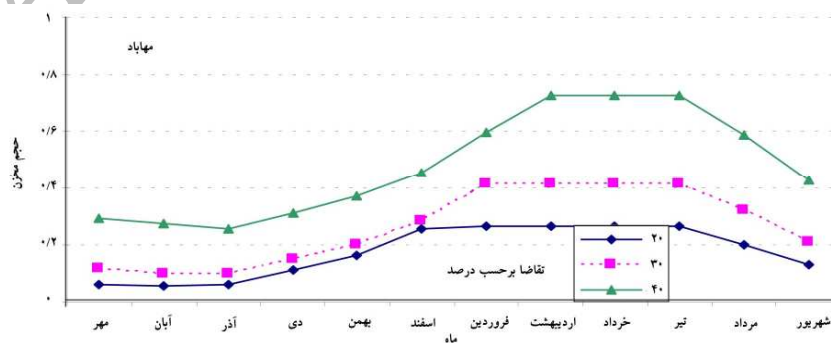
سایت	قابلیت اعتماد زمانی برحسب درصد					تقاضا برحسب درصد
	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹	
مهاباد	۳۰	۴۰	۴۰	۴۰	۳۰	۲۰
	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۳۰	۳۰
	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۳۰	۴۰
	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۲۰	۵۰
	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۶۰
شهرچای	۴۰	۴۰	۴۰	۳۰	۲۰	۷۰



شکل ۱- تغییرات حجم ذخیره نسبت به ماه‌های مختلف برای آسیب‌پذیری مشخص در تقاضای ۲۰ درصد با قابلیت اعتماد زمانی مختلف در سایت مهاباد.



شکل ۲- تغییرات حجم ذخیره نسبت به ماه‌های مختلف برای آسیب‌پذیری ۳۰ درصد در تقاضای ۷۰ درصد با قابلیت اعتماد زمانی مختلف در سایت شهرچای.



شکل ۳- تغییرات حجم ذخیره نسبت به ماه‌های مختلف برای قابلیت اعتماد زمانی و آسیب‌پذیری مشخص در تقاضاهای مختلف در سایت مهاباد.

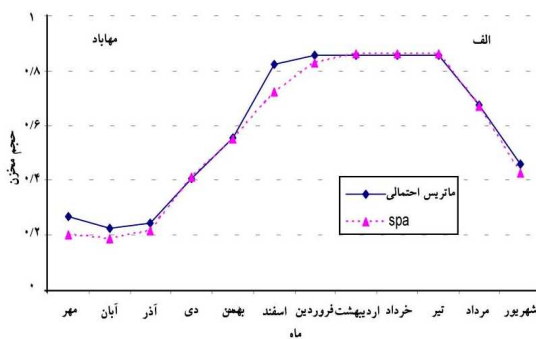
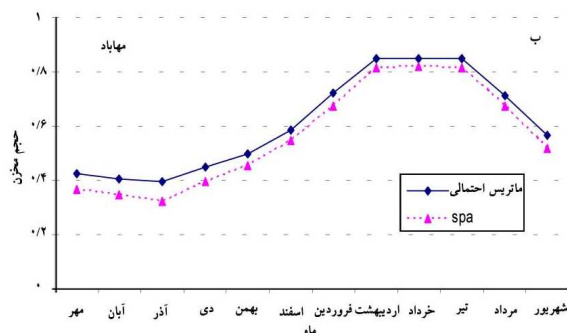


شکل ۴- تغییرات حجم ذخیره نسبت به ماه‌های مختلف برای قابلیت اعتماد زمانی و آسیب پذیری مشخص در تقاضاهای مختلف در سایت شهرچای.

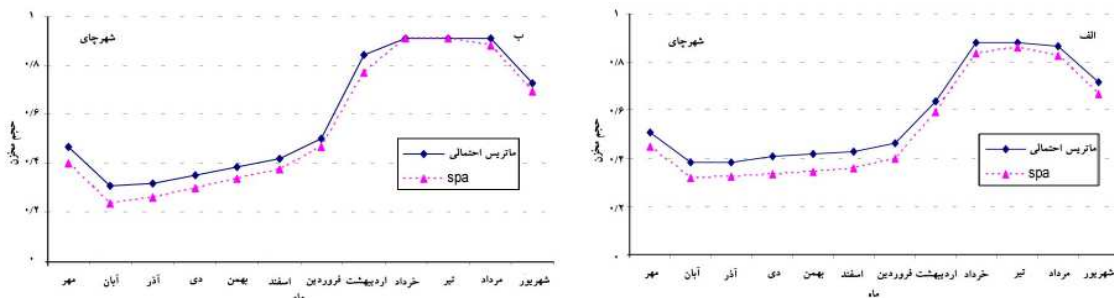
می‌باشند. مقادیر حاصله در این جداول متوسط اختلاف حجم مخزن در دو روش در اعتمادپذیری‌های ۹۵ درصد تا ۱۰۰ درصد می‌باشند. جدول (۳) مربوط به مخزن مهاباد است که مقدار اختلاف دو روش در انعطاف‌پذیری‌های حداکثر و حداقل را بیان می‌کند. بیشترین اختلاف در شکست‌پذیری ۱۰ درصد و تقاضای ۴۰ درصد به‌وجود آمده است. کمترین اختلاف دو روش در شکست‌پذیری ۴۰ درصد و تقاضای ۲۰ درصد بوده است. جدول (۴) مربوط به سایت شهرچای است که بیشترین اختلاف در شکست‌پذیری ۱۰ درصد و تقاضای ۷۰ درصد و کمترین اختلاف دو روش در شکست‌پذیری ۳۰ درصد و تقاضای ۵۰ درصد رخ داده است. همان‌طور که در جداول نشان داده شده بیشترین اختلاف در ماه‌های آبان و آذر و کمترین اختلاف در ماه‌های خرداد و تیر بوده و در اکثر موارد مقدار برآوردی از روش ماتریس احتمالی بیشتر از روش SPA بوده است.

شکل‌های (۵ و ۶) به مقایسه روش‌های ماتریس احتمالی گولد و SPA، در ارزیابی منحنی‌های فرمان بهره‌برداری سیستم‌های مخازن شهرچای و مهاباد پرداخته و در آنها منحنی‌های فرمان با شاخص انعطاف‌پذیری حداکثر رسم شده‌اند. ضریب اعتماد زمانی در نظر گرفته شده ۹۹ درصد می‌باشد و برای هر دو تقاضایی که مخازن رفتار درون‌سالی و برون‌سالی دارند. قسمت‌های الف برای حالت درون‌سالی و قسمت‌های ب برای حالت برون‌سالی در مخازن می‌باشند. منحنی‌های به‌دست آمده در هر دو روش هم‌خوانی خوبی با هم دارند.

جدول‌های (۳ و ۴) اختلاف حجم‌های حاصله از دو روش در ماه‌های مختلف برحسب میلیون مترمکعب را نشان می‌دهند. شکست‌پذیری ۱۰ درصد در هر دو سایت مربوط به انعطاف‌پذیری حداقل و شکست‌پذیری ۴۰ درصد در سایت مهاباد و شکست‌پذیری ۳۰ درصد در سایت شهرچای مربوط به انعطاف‌پذیری حداکثر



شکل ۵- مقایسه منحنی‌های فرمان ارزیابی شده با استفاده از روش‌های ماتریس احتمالی و SPA با قابلیت اعتماد زمانی ۹۹ درصد، آسیب‌پذیری ۳۰ درصد، تقاضاهای ۲۰ درصد در قسمت الف و تقاضای ۴۰ درصد در قسمت ب، سایت: مهاباد.



شکل ۶- مقایسه منحنی‌های فرمان ارایه شده با استفاده از روش‌های ماتریس احتمالی و SPA با قابلیت اعتماد زمانی ۹۹ درصد، آسیب‌پذیری ۲۰ درصد، تقاضاهای ۵۰ درصد در قسمت الف و تقاضای ۷۰ درصد در قسمت ب سایت: شهرچای.

جدول ۳- اختلاف حجم برحسب میلیون مترمکعب در دو روش ماتریس احتمالی و SPA در سایت مهاباد.

شکست پذیری	تقاضا	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۲۰درصد	۳/۱۸۹	۳/۲۴۴	۲/۹۵۷	۰/۸۲۵	۱/۷۶۳	۱/۸۹۹	۱/۷۹۲	۰/۲۰۹	۰/۲۵۲	۰/۱۹۲	۱/۱۳۵	۱/۱۳۵	۲/۵۴۱
۳۰درصد	۷/۰۰۹	۷/۴۲۷	۶/۸۷۹	۲/۹۳۳	۲/۲۶۵	۲/۵۶۲	۲/۷۷۲	۱/۵۳۱	۱/۲۴۷	۱/۳۴۲	۲/۳۷۷	۲/۳۷۷	۵/۱۲۳
۴۰درصد	۱۲/۴۷۸	۱۳/۱۴۸	۱۳/۰۰۸	۱۰/۲۴۶	۹/۰۱۱	۶/۴۵۴	۷/۰۰۱	۶/۰۴۲	۵/۳۱۱	۶/۶۳۲	۶/۷۷۷	۶/۷۷۷	۱۰/۱۲۴
۲۰درصد	۱/۸۷۵	۱/۷۶۲	۱/۱۹۲	۱/۰۵۱	۰/۵۰۰	۰/۷۳۶	۱/۱۳۰	۰/۳۹۷	۰/۳۶۷	۰/۳۹۷	۰/۴۲۹	۱/۰۰۵	۱/۰۰۵
۳۰درصد	۳/۷۴۸	۳/۲۶۰	۲/۹۰۲	۱/۶۷۲	۰/۵۱۴	۰/۹۱۳	۱/۲۴۸	۰/۶۴۵	۰/۶۴۵	۰/۶۵۸	۰/۵۰۱	۲/۱۴۳	۲/۱۴۳
۴۰درصد	۴/۳۱۱	۴/۶۹۸	۴/۶۴۱	۳/۳۷۱	۲/۸۹۳	۲/۳۱۶	۴/۹۴۴	۲/۹۲۰	۲/۴۰۱	۳/۳۹۶	۳/۵۱۰	۳/۸۶۶	۳/۸۶۶

جدول ۴- اختلاف حجم برحسب میلیون مترمکعب در دو روش ماتریس احتمالی و SPA در سایت شهرچای.

شکست پذیری	تقاضا	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۵۰درصد	۳/۳۰۲	۴/۳۱۰	۳/۷۰۹	۲/۷۴۱	۲/۴۶۲	۱/۴۹۷	۱/۵۵۹	۲/۶۰۷	۱/۰۴۹	۱/۱۱۷	۰/۹۲۵	۱/۰۵۱	۱/۰۵۱
۶۰درصد	۴/۶۸۷	۵/۸۵۱	۵/۹۵۵	۵/۲۶۹	۴/۹۷۸	۴/۷۴۱	۳/۵۷۹	۲/۹۸۳	۱/۲۱۴	۱/۹۴۹	۲/۰۹۲	۲/۴۳۴	۲/۴۳۴
۷۰درصد	۸/۳۵۵	۹/۸۷۹	۸/۷۴۸	۸/۴۷۶	۹/۰۷۴	۹/۱۱۲	۹/۱۹۹	۵/۸۵۹	۶/۸۰۷	۳/۸۶۷	۶/۲۵۳	۶/۷۴۲	۶/۷۴۲
۵۰درصد	۲/۷۳۹	۲/۹۷۹	۲/۷۷۷	۲/۴۴۹	۲/۳۵۶	۱/۹۹۷	۱/۳۹۰	۰/۸۴۲	۰/۰۹۸	۰/۱۲۵	۱/۳۳۵	۱/۵۸۴	۱/۵۸۴
۳۰درصد	۳/۷۲۳	۴/۳۵۳	۴/۱۰۶	۳/۸۲۶	۳/۱۷۷	۳/۳۲۵	۲/۷۰۱	۱/۷۲۳	۰/۳۷۷	۰/۴۸۳	۱/۹۵۷	۲/۱۷۹	۲/۱۷۹
۷۰درصد	۵/۴۵۵	۶/۴۴۹	۶/۲۶۸	۵/۷۸۵	۵/۹۴۵	۵/۸۳۶	۵/۳۴۷	۲/۵۰۲	۳/۰۸۳	۰/۹۷۳	۳/۲۱۳	۳/۴۸۴	۳/۴۸۴

نتیجه‌گیری

اردیبهشت، خرداد و تیر صورت گرفت. بنابراین آب‌گیری در سدهای مورد نظر باید قبل از ماه‌های مذکور صورت گیرد. برای استفاده از منحنی‌های فرمان، آسیب‌پذیری متناظر با انعطاف‌پذیری ماکزیمم تعیین گردید و منحنی فرمان مربوطه براساس تقاضای طرح و آسیب‌پذیری مشخص، انتخاب شد و براساس حجم موجود مخزن و ماه متناظر در دوره خشکسالی مقدار خروجی با قابلیت اعتماد زمانی‌های مختلف کنترل شده و بهره‌برداری به‌صورت بهینه از مخزن انجام گرفت، تا سیستم به حالت عادی بهره‌برداری یا قابلیت اعتماد زمانی ۱۰۰ درصد

در این مطالعه برای اولین بار منحنی‌های فرمان با روش ماتریس احتمالی و براساس تولید داده‌های مصنوعی و اعمال شاخص‌های عملکرد مخزن تعیین گردیده است. به کمک منحنی‌های فرمان به‌دست آمده از این روش می‌توان در دوره‌های خشکسالی (شکست) با کنترل میزان آب رها شده و کم کردن مقدار خروجی، دوره شکست را کنترل نموده و بعد از چند ماه مخزن را به حالت عادی بهره‌برداری برگرداند. در منحنی‌های فرمان حداکثر بهره‌برداری از مخزن در هر دو سایت در ماه‌های

منحنی‌های به‌دست آمده در هر دو روش هم‌خوانی خوبی با هم داشته و هر چقدر تقاضا بیشتر می‌گردد اختلاف دو منحنی ارایه شده با دو روش بیشتر شده است. در همه منحنی‌ها در ماه‌هایی که حجم ذخیره بیشتر است روش‌ها تقریباً جواب یکسانی را ارایه نموده‌اند اما در ماه‌هایی که حجم ذخیره کم است، اختلاف بیشتر شده است.

برسد. اگر بهره‌برداری از مخزن با یک ضریب اطمینان مشخص مدنظر باشد، از منحنی‌های فرمان با قابلیت اعتماد زمانی مشخص در آسیب‌پذیری مختلف برای تقاضای مشخص که با توجه به درون‌سالی یا برون‌سالی بودن مخزن تعیین می‌گردد، استفاده می‌شود. در انتها منحنی‌های فرمان تعیین شده با روش ماتریس احتمالی با منحنی‌های فرمان تعیین شده با روش SPA مقایسه شد.

منابع

- 1.Hashimoto, T., Stediner, J.R., and Loucks, D.P. 1982. Reliability, Resiliency and Vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *J. Water Resour. Res.*, 18: 1. 14-20.
- 2.Loucks, D.P. 1997. Quantifying trends in system sustainability, *Hydrology Sci. J.*, 42: 4. 513-530.
- 3.McMahon, T.A., and Mein, R.G. 1986. *River and Reservoir Yield*, Water Resources. Littleton, Colorado, 368p.
- 4.Montaseri, M. 1990. Stochastic investigation of the planning characteristics of within- year and over-year resource systems, Heriot-Watt University, Thesis Submitted for the degree of doctor of philosophy.
- 5.Mousavi, S.J., Ponnambalam, K., Karray, F. 2005. Reservoir Operation Using a Dynamic Programming Fuzzy Rule-Based Approach. *J. Water Res. Manage*, 19:655-672.
- 6.Neelakantan, T.R., and Pundarikanthan, N.V. 1999. Hedeging rule optimization for water supply reservoirs system. *J. Water Resour Manage*, 13: 1. 406-426.
- 7.Phatarford, R.M. 1989. River flow and reservoir storage model, *Math. Comput. Modeling*, 12: 9. 1057-1077.
- 8.Reis, L.F.R., Bessler, F., Walters, G., Savic, D. 2006. Water Supply Reservoir Operation by Combined Genetic Algorithm-Linear Programming (GA-LP) Approach. *J. Water Resources Management*, 20: 227-225.
- 9.Srikanthan, R., and McMahon, T.A. 1985. Gould s Probability Matrix Method 1.The Starting Month Problem. *Journal of Hydrology*. 77: 125-133.
- 10.Vogel, R.M., and Bologhese, R.A. 1995. A Storage- Reliability- Yield Relations for Over- Year Water Supply Systems. *J. Water Resour. Res.*, 31: 3. 634-645
- 11.Votrubal, L., and Broza, V. 1989. Function in reservoirs, *Water management System, Developments in water science*, 33: 343-367.

The probability matrix method in determining the control curves of operation of the reservoirs of dams and their comparison to the SPA method

***V. Saei¹, M. Montaseri² and P. Fathi²**

¹Former M.Sc. Student, Dept. of Water Eng., Oroumiye University, Iran, ²Assistant Prof., Dept. of Water Eng., Oroumiyeh University, Iran, ³Assistant Prof., Dept. of Water Eng., Kordestan University, Iran

Abstract

The appropriate and optimum operation of reservoir system of dams ranks among the most important issues considered by experts of water industry all over the world. In most reservoir system of the world, control curves are known as the main pattern of water operation. The curves indicate the optimum volumes of supplied water or yielding system versus various conditions of reservoirs during different month of the year. There are various methods of determining the operation pattern of water reservoirs which are classified into three methods: simulation, optimization and probability matrix. In traditional methods, reservoir systems are designed based merely on the historical data of river currents and not using of function indices of reservoir. These methods are based on the assumption that in future there will not happen draught more severe than the recoded critical periods, an assumption the truth of which is far from being definite. The purpose of this research is to demonstrate a method to determine the control curves of reservoir dams based on their functional indices (such as time reliability, vulnerability and resiliency). To achieve this goal, we provided at first, using methods of temporal series AR(1), Valencia Schaake one thousand series of data of currents of the rivers entering the reservoir dam of Mahabad and Shahar chai in west Azarbaijan. We continued with using the improved SPA methods and Gold probability matrix, conducting the necessary analysis and providing ultimately appropriate control curves to obtain various combinations of the quantity of demand and functional indices. The obtained results display a good accordance between the results obtained by SPA and probability matrix methods. There occurred the maximum difference between the methods in minimum sustainability and the minimum difference in maximum sustainability. In the site of Mahabad the maximum difference is 13.5 MCM and the minimum difference 0.37 MCM. In the site of Shahar chai the maximum difference is 9.88 MCM and the minimum difference 0.098 MCM.

Keywords: control curves; functional indices of reservoir; probability matrix method; SPA method

*- Corresponding Author; Email: w_sae@yaho.com