

بهینه‌سازی عملکرد دریاچه‌های سرریز سد برای مهار سیل با استفاده از منطق فازی

نینا اسدی پور^۱، حسین محمدولی سامانی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی

۲- استاد گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

* اهواز، صندوق پستی ۱۳۵

Hossein.samani@gmail.com

چکیده- امروزه منابع آب و بهره‌برداری مناسب از آنها، موضوعی حیاتی است. توسعه و استقرار جوامع در مسیر رودخانه‌ها سبب شده ایمنی در برابر سیل نیز اهمیت ویژه‌ای بیابد. از این رو، اتخاذ سازوکارهای مناسب برای بهره‌برداری از دریاچه‌های سرریز و مخازن سدها از اهمیتی کلیدی برخوردار است. در این مقاله به منظور تأمین اهداف مختلفی مانند کاهش خسارت ناشی از سیلاب، حفظ ایمنی سد و توجه به ذخیره‌سازی مناسب در مخزن، سیاست‌های عملکردی دریاچه‌های سرریز سد مطالعه شده است. به این منظور و برای پاسخگویی بلادرنگ به وقوع سیلاب‌ها، روشهای عملکرد چندمرحله‌ای مطالعه و تحلیل می‌شود. سپس قوانین و اصول منطق فازی برای بهینه‌سازی عملکرد دریاچه‌های سرریز و برطرف‌ساختن معایب و مشکلات سیاست عملکرد چندمرحله‌ای استفاده شده است. در این تحقیق، سد کارون ۳ به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده و سیاست عملکرد پنج مرحله‌ای به‌روش منطق فازی برای عملکرد دریاچه‌های سرریز استفاده شده است. به‌کارگیری منطق فازی نتایج هموارتری را نسبت به سیاست چندمرحله‌ای در پی داشته است. به‌منظور اعتبارسنجی نتایج، خروجی‌های این روش با نتایج به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی عملکرد دریاچه‌های سرریز بر مبنای هیدروگراف‌های ورودی معین مقایسه شده است که نتیجه مقایسه، تأییدکننده نتایج روش پیشنهادی است.

کلید واژگان: عملکرد دریاچه‌های سرریز، سیاست‌های عملکرد پنج‌مرحله‌ای، منطق فازی، الگوریتم ژنتیک.

بلادرنگ سرریز در هنگام وقوع سیل است. در این‌زمان

میزان جریان خروجی مخزن باید با کنترل مناسب

۱- مقدمه

یکی از مهمترین مسائل در مدیریت سدها، عملکرد

Benedito et al. (1991), Ozelkana et al. (1997) و علمیرادی و همکاران (۱۳۸۶)، انجام می‌شود. به دلیل وجود پیچیدگی توابع در مدل‌های مدیریت منابع آب، این روش‌ها گاهی از دستیابی به جواب بهینه مطلق عاجز بوده و نقاط بهینه محلی را به‌عنوان راه‌حل بهینه ارائه می‌کنند. برای برطرف ساختن این مشکلات، در طول دو دهه اخیر تلاش‌های گسترده‌ای برای ارائه الگوریتم‌های مناسبتر صورت گرفته که سبب پیشرفت الگوریتم‌های اکتشافی/تکاملی^۴، برای پاسخ به مسائل بهینه‌سازی مخزن شده است.

East and Hall (1994) از الگوریتم ژنتیک برای حل نوعی مسأله چهار مخزنی با اهداف چندگانه و با اعمال محدودیت‌هایی در میزان ذخیره‌سازی و خروجی استفاده کردند. علاوه بر تحقیق آنها، Fahmy et al. (1994) نیز به‌طور جداگانه نشان دادند که الگوریتم ژنتیک، پتانسیل مناسبی در حل مسائل بهینه‌سازی سیستم‌های مخزن‌دار است.

تحقیقات متعدد دیگری مانند Cai et al. (2003), Chen (2001), Chang et al. (2005), Yeniay (2005), Tung et al. (2003), Oliver et al. (2010) Oliviera and Loucks (1997), Afshar et al. (2010), Afshar and Takbiri Oliver (2010) و (2009), Chang (2005), Chang (2008) بیانگر قدرت الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی عملکرد مخزن و مدیریت منابع آب است. علاوه بر اینها، تحقیقات و روش‌های دیگری نیز استفاده شده است.

Bagis (2003) و Bagisa and Karaboga (2007) مقالات خود، نوعی کنترل‌کننده فازی را با هدف مدیریت عملکرد دریچه‌های سرریز سد، برای هر سیل با اندازه‌ای غیرقابل پیش‌بینی، به‌کار بردند. تحقیقات دیگر در زمینه تنظیم دریچه‌های سرریز عبارتند از: روش

دریچه‌های سرریز سامان‌دهی شود. یادآوری می‌شود که میزان آب خروجی از سرریز به روش کنترل بستگی دارد. برای هیدروگراف ساده، اگر دریچه‌های سرریز زیاد باز شوند، آب مخزن به میزان زیادی از دست می‌رود؛ از طرفی، اگر برای هیدروگراف ورودی خطرناک، دریچه‌ها به میزان کافی باز نشوند، سبب خسارت به سد، پایین دست و جان مردم خواهد شد. محققان، قضاوت بهره‌برداران و مهندسان پروژه را مبنای کنترل دریچه‌ها و حفاظت از پایین دست در هنگام وقوع سیل‌های بزرگ می‌دانند.

برای بهینه‌سازی عملکرد دریچه‌ها باید به‌طور هم‌زمان اهداف زیر دنبال شود:

- تضمین ایمنی سد
- به‌تاخیر انداختن زمان رسیدن به پیک خروجی
- کمینه‌سازی حداکثر پیک خروجی برای کم‌کردن خرابی‌های پایین دست
- کم کردن تغییرات دبی خروجی در گام‌های پی‌درپی
- ذخیره‌سازی سیلاب‌ها و نگهداری سطح نهایی آب در حدود سطح ذخیره مطلوب باهدف برطرف کردن نیاز آبی در آینده.

برای تأمین این اهداف تاکنون روش‌های مختلفی ارائه شده است. یکی از روش‌های بهینه‌سازی در مدیریت عملکرد مخازن، روش‌های سنتی استاندارد است که به یکی از روش‌های برنامه‌ریزی خطی^۱ مانند Needham et al. (2000), Windsor (1973) و Braga and Barbosa (2001) و برنامه‌ریزی غیرخطی^۲ Unver and Mays (1990) و برنامه‌ریزی دینامیکی^۳ Yakowitz (1982), Karamouz and Houck (1987) Stedinger et al. (1984), Butcher (1971)،

1. Linear Programming (LP)
2. Nonlinear Programming (NLP)
3. Dynamic Programming (DP)

4. Heuristic

دنبال شده است. در بخش دوم با هدف اعتبارسنجی، نتایج بر مبنای روش بهینه‌سازی شناخته‌شده الگوریتم ژنتیک، برای هیدروگراف‌های ورودی معین، استخراج شده و به‌عنوان مبنای مقایسه نتایج حاصل از بخش اول، تحلیل لازم انجام شده است.

۲- مواد و روشها

از آن‌جا که برای تحقق هر پژوهشی، به‌کارگیری روش و ابزار مناسب ضروری است، این تحقیق با مرور تحقیقات گذشته در ارتباط با مدیریت عملکرد دریاچه‌های سرریز آغاز شده و با مطالعه عمیق مفاهیم آن، به ارائه راهکاری برای پوشش خلأ در تحقیقات پیشین می‌پردازد. از نرم‌افزار متلب و جعبه‌ابزارهای فازی و الگوریتم ژنتیک آن، استفاده شده و خروجی‌های حاصل براساس اطلاعات و داده‌های سد کارون ۳ استخراج شده است.

۲-۱- روش کار

۲-۱-۱- سیاست عملکرد پنج مرحله‌ای

در این سیاست، اطلاعات اولیه به شرح زیر است:

- این سیاست بر این واقعیت بنا شده که هیچ‌گونه آگاهی مانند شکل هیدروگراف، امواج سیل و مانند آن در باره سیل در شرف وقوع نداریم که این بیانگر بلادرنگ بودن سیاست است.

در این سیاست، سیل‌ها به پنج گروه مختلف براساس دوره بازگشت (T) تقسیم‌بندی می‌شوند:

$$0 < T \leq 10 \text{ و } 10 < T \leq 100 \text{ و } 100 < T \leq 1000 \text{ و } 1000 < T \leq 10000$$

$$10000 < T \leq PMF$$

- در تراز مخزن، سطوحی به‌عنوان سطوح یا ارتفاعات بحرانی تعیین می‌شود (H_{cr}) که با مشاهده تراز مخزن و رسیدن آب به هر یک از این ترازها، در مورد میزان

(Sinske (1983)، سینسکی اصلاح شده، رضازاده، (۱۳۸۱) و همچنین حسامی رستمی و همکاران (۱۳۸۳) که کمابیش به یکدیگر شباهت دارند. نکته شایان ذکر در این روش‌ها آن است که موضوع بهینگی به شکل جدی مد نظر نبوده و فقط بر روشهای تجربی استوارند. از این‌رو روشهای دیگری برای مثال توسط هاکتانیر^۱ به نام سیاست‌های عملکرد چند مرحله‌ای (پنج، شش، و ده مرحله‌ای) ارائه شده (Acanal and Haktanir, 1999)، (Haktanir and Kisi, 2001) و (ANAL and HAKTANIR, 1999) که روندیابی بهینه‌ای را برای سرریزهای دریاچه‌دار و تمامی سیل‌ها فراهم می‌آورد.

نکته قابل توجه در تحقیقات گذشته آن است که با وجود بهره‌گیری از روش‌های ترکیبی بهینه‌سازی در سال‌های اخیر و به‌کارگیری روش‌هایی مانند منطق فازی و الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک، این تحقیقات، بیشتر کاربردهای اصلی خود را در زمینه مسائل منابع آب نشان داده و در ارتباط با تنظیم دریاچه‌ها و مدیریت عملکرد مخازن به‌صورت بلادرنگ، کمتر به آن پرداخته شده است. این موضوع نوعی خلأ تحقیقاتی به‌ویژه در مطالعات موردی سد‌های کشورمان به‌شمار می‌رود.

این مقاله از دو بخش تشکیل شده است: در بخش اول با استفاده از روش عملکرد پنج مرحله‌ای، سیاستی کارآمد برای رویارویی بلادرنگ در بروز سیلاب‌ها و تنظیم دریاچه‌های سرریز استفاده شده است. دلیل انتخاب سیاست پنج مرحله‌ای آن است که ازدیاد تعداد مراحل، سبب پیچیدگی مسأله خواهد شد؛ از این‌رو همین تعداد مراحل به‌عنوان مبنای محاسبات مد نظر قرار گرفته است. سپس با استفاده از منطق فازی، معایب و مشکلات این سیاست برطرف شده و بهبود هیدروگراف خروجی نیز

1. Haktanir

بازشدگی دریچه در تراز مورد نظر تصمیم‌گیری می‌شود. در این سیاست برای انتخاب سطوح بحرانی و میزان بازشدگی دریچه‌ها دو معیار زیر وجود دارد:

معیار اول: این معیار که به‌عنوان فرض اولیه برای یافتن سطوح بحرانی و انجام برآوردها مد نظر قرار می‌گیرد، می‌گوید که هر سیل متناسب با حجم سیلابی آن می‌تواند بخشی از ظرفیت ذخیره سیل در مخزن سد را اشغال کند. برای مثال سیل ۱۰ ساله، یک پنجم ظرفیت ذخیره سیل در مخزن را اشغال می‌کند، ۱۰۰ ساله دو پنجم، ۱۰۰۰ ساله سه پنجم و ۱۰۰۰۰ ساله چهار پنجم و PMF کل ظرفیت نگهداری سیل در مخزن را اشغال می‌کند. لذا به‌عنوان فرض اولیه برای یافتن این سطوح، ظرفیت ذخیره سیل در مخزن به پنج حجم مساوی تقسیم می‌شود. البته در ادامه، این مقادیر اصلاح خواهند شد و ذخیره سیل در مخزن، از سطح ابتدایی در شروع سیلاب (H_b) شروع شده و تا ارتفاع تاج سد منهای ارتفاع آزاد^۱ ادامه می‌یابد. این پنج سطح بحرانی که با H_{cr} های نظیر (شماره ۱ تا ۵) نشان داده می‌شوند؛ در این فاصله قرار می‌گیرند. برای مثال مفهوم ارتفاع بحرانی مرحله اول یا H_{cr1} آن است که اگر سیل ۱۰ ساله اتفاق بیافتد، بیشینه ارتفاع سطح آب نباید از این ارتفاع بالاتر برود، که این با تنظیم بازشدگی دریچه‌ها قابل تحقق است. همچنین H_{cr2} بیانگر آن است که اگر سیل ۱۰۰ ساله اتفاق بیافتد، بیشینه ارتفاع سطح آب نباید از این ارتفاع بالاتر برود و به همین ترتیب برای H_{cr3} ، H_{cr4} ، H_{cr5} مقدار مشخص بوده و برابر با مقدار ثابت ارتفاع تاج سد منهای ارتفاع آزاد است.

روش کار برای دستیابی به این مقادیر چنین است که در گام اول، حجم ذخیره سیل در مخزن سد را به پنج مقدار

مساوی تقسیم کرده و ارتفاع متناسب با هر حجم، از رابطه حجم-ارتفاع، به عنوان فرض اولیه سطوح بحرانی تعیین می‌شود که با $H_{cr1-trial}$ نشان داده می‌شوند (i در اینجا برابر ۵ و به تعداد سطوح بحرانی است). این مقادیر فرضی اولیه با انجام اصلاحات لازم به H_{cr} های متناظر تبدیل خواهند شد. اکنون برای مثال، سیل ۱۰ ساله را در ابتدا با دریچه‌های بسته به مخزن وارد کرده و روندیابی انجام می‌شود. در این مرحله بررسی می‌شود که آیا بیشینه ارتفاع مشاهده شده سطح آب (H_{max})، به بالای فرض اولیه^۲ مربوط به این سطح بحرانی می‌رسد یا نه؟ اگر برای این سیل، $H_{max} \leq H_{cr1-trial}$ باشد، به این معنا است که بازشدگی دریچه برای عبور سیل به اندازه کافی و در حد قابل قبولی بوده و از این رو، اولین سطح بحرانی یعنی H_{cr1} به اندازه‌ای برابر با بیشینه ارتفاع سطح آب کاهش داده می‌شود ($H_{max} = H_{cr1}$) و با این کار بیشینه ارتفاع واقعی ممکن برای این سیل تعیین می‌شود. اما اگر $H_{max} > H_{cr1-trial}$ ، به این معنا است که دریچه به اندازه کافی برای تخلیه سیل باز نبوده و به همین دلیل، باید دریچه‌ها آنقدر باز شوند که پس از روندیابی سیل ۱۰ ساله، $H_{max} \leq H_{cr1-trial}$ شود. به همین دلیل تغییر بازشدگی و بررسی دوباره، آنقدر تکرار می‌شود که اولین سطح بحرانی و بازشدگی دریچه‌ها در این سطح به‌گونه‌ای شود که بیشینه ارتفاع سطح آب برای سیل ۱۰ ساله از فرض اولیه برای ارتفاع مرحله اول کمتر شود. بدین ترتیب پارامترهای مورد نظر برای تنظیم دریچه در سیل ۱۰ ساله به‌دست می‌آید.

به همین ترتیب سطوح بحرانی دوم و سوم و چهارم و میزان خروجی در هر سطح تعیین می‌شود. اکنون نوبت ورود PMF به مخزن است و باید این موضوع بررسی شود که با ورود PMF، بیشینه ارتفاع سطح آب مخزن از

1. Freeboard

سایر سطوح بحرانی و دبی‌های خروجی تغییر خواهند کرد. این روند تا هر چند مرحله که لازم باشد انجام می‌شود تا همان شرط $(H_{cr5} - H_{max}) \leq 5 \text{ cm}$ برای مرحله آخر و با دریچه‌های کاملاً باز ارضا شود. به این ترتیب در طی اجرای معیارهای اول و دوم، میزان بازشدگی دریچه و ارتفاع‌های بحرانی تنظیم می‌شود.

باید دقت شود که یکی از نقاط ضعف این روش آن است که در آن هیچ‌گونه توجهی به پایین‌دست نمی‌شود که در این مقاله سعی شده تا این ضعف نیز تا حدودی برطرف شود. در این مقاله فرض شده بیشینه دبی خروجی از سرریز در هنگام ورود سیلاب ۱۰۰ ساله، مساوی با ظرفیت ایمنی پایین‌دست باشد؛ یعنی بتواند سیل ۱۰۰ ساله را بدون خسارت به پایین‌دست عبور دهد. بنابراین دبی خروجی در سیاست مرحله دوم مشخص و مساوی ظرفیت ایمنی پایین‌دست است. پس با داشتن بیشینه دبی مجاز خروجی در مرحله دوم به عنوان شرط کنترلی و با در نظر گرفتن تمامی شرایط گفته شده در روال بالا، بقیه دبی‌ها و سطوح بحرانی به دست می‌آیند.

برای اجرای این مراحل و تحقق این کنترل‌ها، باید برنامه‌ای کامپیوتری نوشته می‌شد که این کار در نرم‌افزار متلب^۱ و با بهره‌گیری از اطلاعات سیل‌های ۱۰ ساله تا PMF انجام شد. این داده‌ها و اطلاعات شامل: هیدروگراف‌های ۱۰ ساله تا PMF، فایل داده‌ای مربوط به رابطه دبی-اشل سرریز در حالت دریچه‌های کاملاً باز و فایل داده رابطه حجم-ارتفاع مخزن، می‌شود. همچنین به منظور انعطاف‌پذیری در برنامه تهیه شده، گام زمانی محاسبات روندیابی، رقوم سطح آب در زمان شروع سیلاب و رقوم تاج سد نیز از کاربر سوال می‌شود. در نهایت سطوح بحرانی و میزان دبی‌های خروجی در هر

H_{cr5} چه مقداری فاصله دارد. زیرا اگر بیشینه ارتفاع سطح آب بسیار کمتر از H_{cr5} شده باشد، به این معنا است که در مراحل قبل (اولیه) رهاسازی بیش از حد نیاز بوده و باید کم شود. همچنین اگر بیشینه ارتفاع سطح آب بیشتر از H_{cr5} شود؛ بدین معنا است که برای حفظ ایمنی سد، میزان رهاسازی در مراحل قبل بیشتر بوده و به همین دلیل به اصلاحاتی نیاز است که در این جا از معیار دوم استفاده می‌شود. این معیار سبب تنظیم دوباره مقادیر بحرانی و دستیابی به میزان ایمن رهاسازی خواهد شد.

معیار دوم: این معیار می‌گوید اگر بیشینه ارتفاع سطح آب با دریچه‌های کاملاً باز در مرحله آخر، یعنی پس از ورود PMF به مخزن، از H_{cr5} بیشتر باشد؛ باید اصلاحاتی در مقادیر رهاسازی در مراحل قبل انجام شود. از این رو باید برای شروع اصلاح، یک قدم به عقب (یعنی به مرحله چهارم) بازگشت و نخست میزان خروجی در این مرحله بیشتر شود و بار دیگر روندیابی انجام گیرد. حتی اگر لازم باشد در مرحله چهارم دریچه کاملاً باز می‌شود تا شرط $(H_{cr5} - H_{max}) \leq 5 \text{ cm}$ برقرار شود. به همین ترتیب، برای ارضای این شرط، تا هر چند مرحله که لازم باشد باید به عقب بازگشت و دریچه‌ها را بیش‌تر باز کرد. با این کار سطوح بحرانی و خروجی‌ها در هر مرحله تغییر خواهند کرد. اما حالت دیگری که در هنگام بررسی ورود PMF ممکن است روی دهد، آن است که در مرحله آخر، بیشینه ارتفاع سطح آب در هنگام روندیابی PMF بسیار کمتر از H_{cr5} شود. همان‌گونه که گفته شد، این بدان معنا است که در مراحل اولیه میزان بازشدگی دریچه و رهاسازی آب زیاد بوده و بنابراین باید از مرحله اول شروع به تغییر و کم کردن میزان بازشدگی دریچه‌ها کرده و حتی اگر لازم بود، تا بسته شدن کامل دریچه در این مرحله نیز اقدام می‌شود. در این وضعیت نیز تمامی

1. MATLAB

سطح با استفاده از روال گفته شده تعیین می‌شود. از این زمان به بعد به کمک این برنامه و روند گفته شده، به دلیل در نظر گرفتن اثر سیلاب‌های مختلف در تعیین مقادیر بحرانی و میزان بازشدگی دریچه‌ها، امکان رویارویی با تمامی سیل‌های جدیدی که هیچ‌گونه آگاهی از میزان آنها وجود ندارد؛ فراهم شده و قابلیت کاربرد برای عملکرد بلادرنگ میسر خواهد شد. در هر گام محاسباتی با توجه به این‌که ارتفاع سطح آب در کدام مرحله است و مطابق با چه سیاستی باید برخورد شود، تصمیم‌گیری می‌شود. در ضمن در پایان هر گام محاسباتی، دبی خروجی به دست آمده با دبی خروجی سرریز با دریچه‌های کاملاً باز مقایسه می‌شود و چنانچه دبی مذکور از دبی عبوری از سرریز با دریچه‌های کاملاً باز بزرگتر باشد با آن مساوی قرار داده می‌شود.

در شاخه نزولی هیدروگراف نیز (پس از ورود پیک سیل) شرایط بالا حاکم است؛ یعنی مانند شاخه صعودی، سطح آب در هر مرحله‌ای که باشد مطابق با سیاست آن مرحله، دبی خروجی تعیین می‌شود. در این شاخه، بیشتر بودن دبی خروجی از دبی ورودی، سبب پایین آمدن سطح آب می‌شود و تا تراز عادی بهره‌برداری پایین می‌آید. از این لحظه به بعد دبی خروجی با ورودی مساوی قرار داده می‌شود تا سطح آب در تراز عادی بهره‌برداری تثبیت شود. قابل ذکر است که پایین آمدن سطح آب را می‌توان تا هر ارتفاع دلخواهی ادامه داد که این بستگی به فصل ورود سیل دارد. در فصول بارانی می‌توان سطح آب را تا تراز عادی بهره‌برداری پایین آورد تا مخزن برای ورود سیلاب‌های ناگهانی آمادگی کافی داشته باشد.

در عمل نیز بهره‌بردار، به محض بالا آمدن سطح آب، ابتدا فرض می‌کند سیل ۱۰ ساله است و بر طبق سیاست مرحله اول رفتار کرده و خروجی متناسب با مرحله اول

را خارج می‌کند. اگر سیل واقعاً ۱۰ ساله باشد بیشینه ارتفاع سطح آب همان ارتفاع بحرانی مرحله اول شده و مشکلی پیش نمی‌آید. اما اگر سیل بزرگتر از ۱۰ ساله باشد، بهره‌بردار متوجه می‌شود که سطح آب بالاتر از ارتفاع بحرانی مرحله اول شده و متناسب با سیاست مرحله دوم سیل را خارج می‌کند و همین روال ادامه می‌یابد تا بتواند سرانجام سیل را به طور ایمن عبور دهد و پس از خروج کامل سیل از مخزن، سطح آب را به سطح اولیه بازگرداند. به دلیل تعیین سطوح بحرانی منطبق بر تمامی انواع سیل‌ها، این روش می‌تواند تمامی سیل‌های ممکن را با عملکرد بلادرنگ عبور دهد. بر مبنای این روش و به کمک برنامه کامپیوتری تهیه شده، این روش در سد کارون ۳ اجرا شده که خروجی‌ها در جدول ۱ آورده می‌شود.

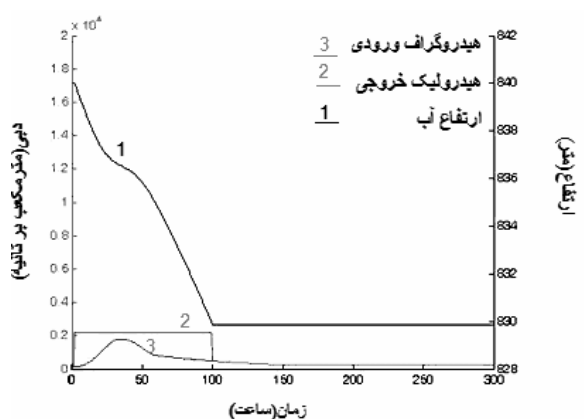
جدول ۱ دبی‌ها و سطوح بحرانی در سیاست عملکرد پنج مرحله‌ای برای سد کارون ۳

مرحله	سطح آب	دبی خروجی (m^3/s)
۱	$840 \leq H \leq 840.7$	۲۲۰۰
۲	$840.7 < H \leq 847$	۳۲۰۰
۳	$847 < H \leq 848.1$	۸۰۰۰
۴	$848.1 < H \leq 850.5$	۱۲۰۰۰
۵	$H > 850.5$	دریچه‌ها کاملاً باز شود

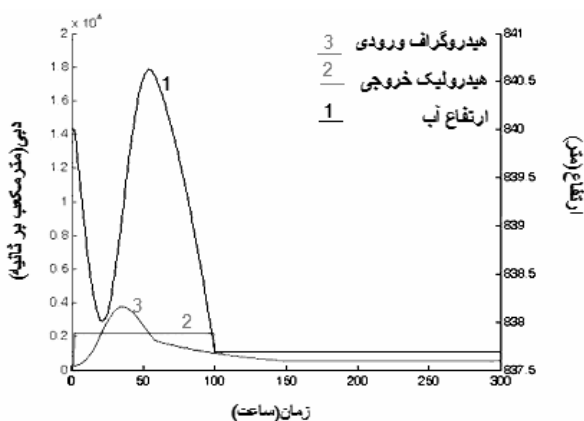
در توضیح مختصر جدول بالا می‌توان گفت که اولاً افزایش دبی با افزایش تدریجی بازشدگی دریچه صورت می‌گیرد و آنی نیست. ثانیاً اطلاعات جدول ۱ بر اساس دبی‌های مشخص، ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰ ساله و PMF ورودی به سد کارون ۳ و بر طبق سیاست پنج مرحله‌ای

منطقه‌ای کوهستانی است که وقوع سیلاب در آن خسارت قابل توجهی به بار نمی‌آورد، حتی اگر دبی خروجی در هنگام سیل ۱۰۰ ساله بیشتر از ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه قرار داده می‌شد نیز مشکلی پیش نمی‌آید؛ با وجود این به منظور اجرای کنترل شرایط پایین دست که ممکن است در موارد مشابه تکرار شود، ظرفیت ایمنی را برای پایین دست مدنظر قرار داده و با گذاشتن این شرط، بقیه دبی‌ها و ارتفاعات بحرانی تعیین شدند. بر این اساس، شکل‌های ۱ تا ۶ خروجی‌های برنامه مربوط به روش پنج مرحله‌ای را برای سد کارون ۳ نشان می‌دهد.

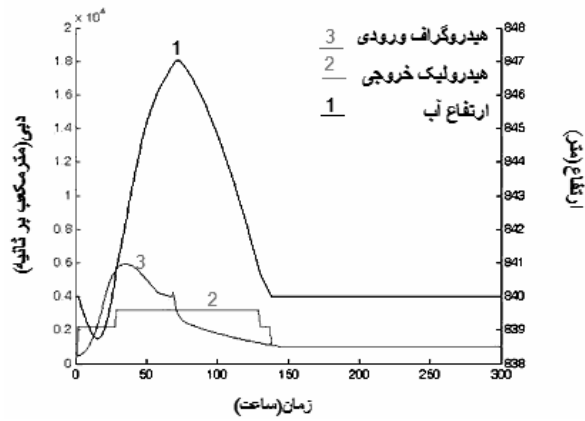
به دست آمده است. بدین معنا که اگر سیلی پیش‌آمد و به محض ورود سیل، دبی ۲۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه خارج شد و سطح آب از ارتفاع ۸۴۰/۷ متر بیشتر نشد، متوجه می‌شویم که آن سیل ۱۰ ساله بوده، اما اگر سیل ۱۰۰ ساله باشد سطح آب بیشتر از ۸۴۰/۷ خواهد شد که اگر به محض بالا رفتن آب از ارتفاع ۸۴۰/۷ دبی ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه رها شود، حداکثر ارتفاع سیل ۱۰۰ ساله از ۸۴۷ متر بیشتر نمی‌شود. بدین ترتیب می‌توان سیل PMF را در پنج مرحله و به‌طور ایمن عبور داد. در ضمن با توجه به این‌که در پایین دست سد کارون ۳، سد مخزنی شهید عباسپور قرار دارد و حدفاصل این دو سد نیز



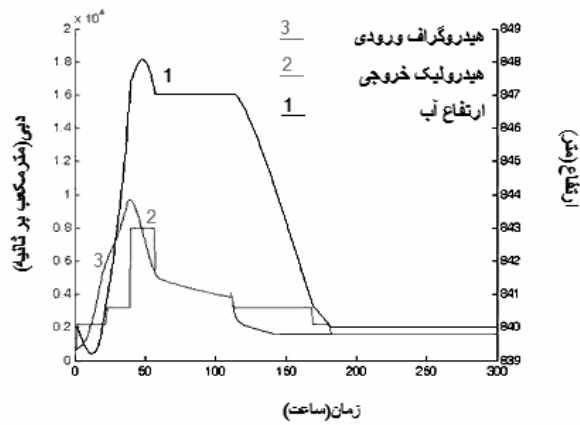
شکل ۱ روندیابی سیلاب ۲ ساله در مخزن سد کارون ۳ با سیاست پنج مرحله‌ای



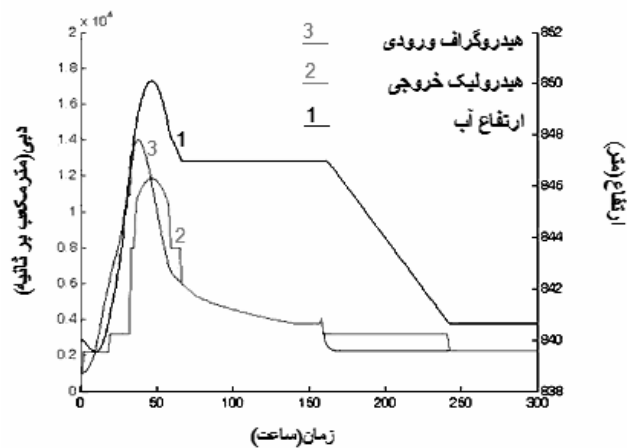
شکل ۲ روندیابی سیلاب ۱۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با سیاست پنج مرحله‌ای



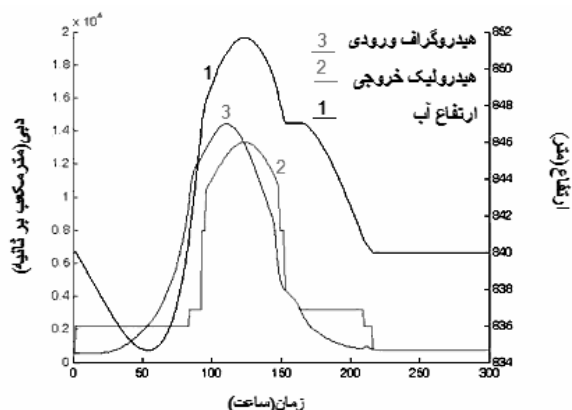
شکل ۳ روندیابی سیلاب ۱۰۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با سیاست پنج مرحله‌ای



شکل ۴ روندیابی سیلاب ۱۰۰۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با سیاست پنج مرحله‌ای



شکل ۵ روندیابی سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با سیاست پنج مرحله‌ای



شکل ۶ روندیابی سیلاب PMF در مخزن سد کارون ۳ با سیاست پنج مرحله‌ای

مشخصی برای افزایش تعداد مراحل و سطوح بحرانی که بتواند مشکل تشریح شده را کاملاً برطرف سازد وجود ندارد و ثانیاً، افزایش تعداد مراحل نیز - همان‌گونه که پیش از این بیان شد - با مشکلاتی مانند افزایش پیچیدگی مسأله روبرو است.

۳- مشکل دیگر استفاده از این روش آن است که؛ سرعت تغییرات جریان ورودی در نظر گرفته نمی‌شود. به همین دلیل، باید پارامتری مانند dH برای در نظر گرفتن تغییرات سطح آب در اثر سرعت تغییر جریان ورودی در نظر گرفته و محاسبه انجام شود. به این ترتیب تصمیم‌گیری در مورد تنظیم دریچه‌ها می‌تواند عملکرد بهتر و واقعی‌تری داشته باشد.

برای حل این مشکلات باید چاره‌ای اندیشید. استفاده از منطق فازی به دلیل قابلیت‌های این روش می‌تواند مناسب باشد.

۲-۱-۲- تبیین موضوع بر اساس منطق فازی

در سیستم‌های فازی، ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی به وسیله قوانین اگر- آنگاه بیان می‌شود و مزیت استفاده از این روش آن است که توصیف تغییرات در چنین سیستمی بسیار آسان است.

اما مشکلاتی در نتیجه اجرای روش پنج‌مرحله‌ای پیش می‌آید که برخی از این مشکلات که در شکل‌های بالا نیز دیده می‌شود، عبارتند از:

۱- افت‌ها و پرش‌های ناگهانی در هیدروگراف خروجی در هر مرحله وجود دارد که نامطلوب است؛ زیرا یکی از اهداف آن است که میزان تغییر دبی‌های خروجی تا حد ممکن کم باشد. یعنی عبارت $Max(Q_i - Q_{i-1})$ تا حد امکان باید کاهش داده شود.

۲- تقسیم‌بندی مراحل به پنج قسمت، تا حدودی برای ساده‌سازی مسأله بوده و مشکلاتی دارد. برای مثال فرض شود سیلی با دوره بازگشت ۲ ساله به مخزن وارد می‌شود. به محض شروع سیلاب، به دلیل این‌که بهره‌بردار هیچ‌گونه اطلاعی از بزرگی سیل ندارد، مبنای آن قرار می‌دهد که سیل ۱۰ ساله است و لذا بر طبق سیاست مرحله اول با آن رفتار می‌کند. از این‌رو دریچه را متناسب با رهاسازی این سیل باز خواهد کرد، اما از آنجا که سیل ۲ ساله است، اوج خروجی برای تسکین سیل بیش از حد مورد نیاز بوده و مطمئناً ذخیره مخزن را از بین می‌برد (شکل ۱). از این رو تعداد کم مراحل (پنج مرحله‌ای) با مشکلاتی روبرو است و ممکن است افزایش تعداد این مراحل، برای حل مشکل مناسب باشد. اما اولاً، حد و مرز

هر عبارت در زبان فازی به وسیله برچسبی مانند بزرگ، کوچک، کم، متوسط و غیره شناخته شده و به وسیله یک تابع عضویت توصیف می‌شود. تابع عضویت عبارت زبانی، ارتباط بین مقدار قطعی و درجه کمیّت است. تعریف تابع عضویت بستگی به ویژگیهای سیستمی دارد که باید کنترل شود. این توابع معمولاً بر مبنای دانش و تجربه افراد خبره و مهندسان انتخاب می‌شود. بنابراین سیستم کنترل مبتنی بر منطق فازی^۱، عموماً بر مبنای مجموعه‌های فازی ورودی و خروجی (که به متغیرهای ورودی و خروجی اختصاص داده می‌شوند) و قوانینی که ارتباط این دو را فراهم می‌کند، شکل می‌گیرد.

متغیرهای اصلی در سیستم مدیریت یک مخزن، شامل؛ جریان ورودی (I)، جریان خروجی (Q)، ظرفیت مخزن (S)، حداقل ارتفاع سطح آب (H_{min})، ارتفاع واقعی سطح آب (H)، و بازشدگی دریچه‌های سرریز می‌باشد؛ که جایگاه هر یک از عوامل یاد شده در طراحی یک سیستم فازی مبتنی بر تحقیقات انجام شده قبل در مسئله خود به شرح زیر توضیح داده می‌شود (Karabogal, 2004).

متغیرهای ورودی و خروجی: متغیرهای ورودی و خروجی در این روش نتایج به دست آمده از روش سیاست عملکرد پنج مرحله‌ای است: متغیرهای ورودی، ارتفاع (H) و تغییرات ارتفاع (dH) و متغیر خروجی، دبی خروجی (Q) است. مقادیر مورد نیاز از متغیرهای H، dH، Q که به ترتیب در بازه‌های [۸۴۰ ۸۵۰/۵]، [۱ -۱] و [۰ ۱۳۱۴۴] قرار دارند، در جدول ۱ آورده شده است.

تعداد و نوع توابع عضویت برای هر متغیر: با توجه به این که پنج مرحله / سطح وجود دارد، برای هر متغیر پنج تابع عضویت، به صورت مثلثی (بین صفر و یک) تعریف می‌شود. عضویت یک، بیانگر آن است که دقیقاً در یک

سطح بحرانی مشخص است و هر چه از این مقدار دقیق دورتر شود، مقدار عضویت برای این سطح کمتر از یک خواهد شد و در واقع به سطح دیگری نزدیک می‌شود. این مفهوم در شکل‌های ۷ تا ۹ آورده شده است.

ساختار قوانین: همان‌طور که گفته شد؛ قوانین FLC از اطلاعات گردآوری شده توسط مهندسان و افراد آگاه در زمینه سدسازی به دست می‌آید. قوانین مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

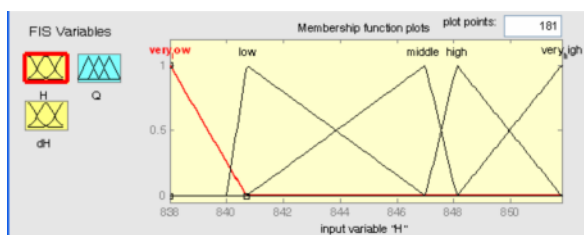
در توضیح جدول ۲ برای مثال، اگر ارتفاع در تابع عضویت با برچسب Very low (ستون اول) و تغییرات ارتفاع (dH) در تابع عضویت (سطر اول) با برچسب Zero باشد، آنگاه برچسب دبی خروجی در تابع عضویت Very low است. این قوانین در قسمت ورود اطلاعات جعبه ابزار منطق فازی وارد می‌شود (شکل ۱۰).

پس از ساخت این جعبه ابزار، برنامه‌ای در محیط متلب نوشته می‌شود که امکان برقراری ارتباط با ورودی جعبه ابزار منطق فازی را دارد. در شروع برنامه ارتفاع اولیه سطح آب مخزن از کاربر پرسیده می‌شود. در هر مرحله برنامه با در دست داشتن ارتفاع و تغییر آن نسبت به مرحله قبل، مطابق توابع عضویت و قوانین، دبی خروجی را محاسبه می‌کند. در پایان هر گام محاسباتی، دبی خروجی انتخابی با دبی خروجی از سرریز با دریچه‌های کاملاً باز مقایسه می‌شود. چنانچه این دبی از دبی عبوری از سرریز با دریچه‌های کاملاً باز بزرگتر باشد، با آن مساوی قرار داده می‌شود.

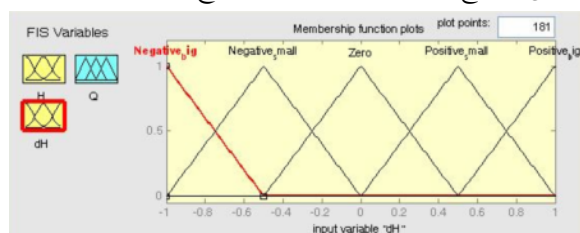
نوع موتور استنباط: خروجی هر قانون به وسیله روش استنباط Max-Min میدانی مورد نظر بوده است (Karabogal et al., 2004).

روش غیر فازی کردن: برای فرآیند غیر فازی کردن، روش مرکز سطح استاندارد به کار می‌رود.

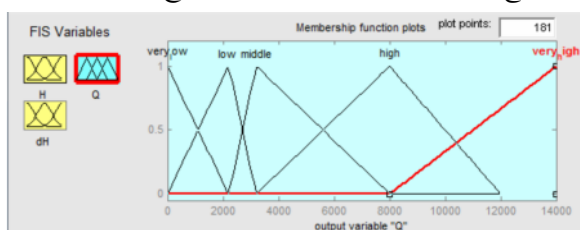
1. FLC



شکل ۷ تابع عضویت متغیر ورودی ارتفاع (H) در منطق فازی



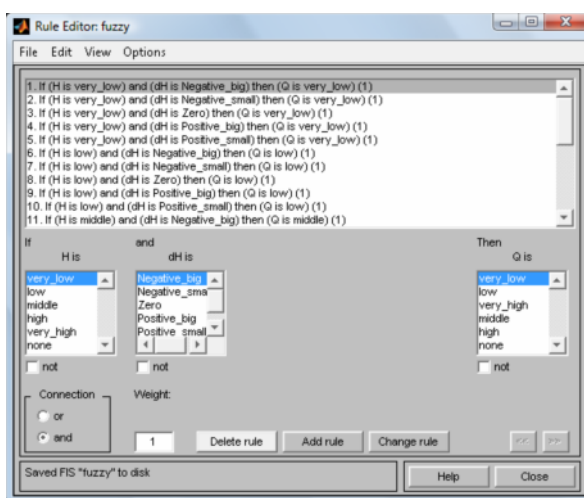
شکل ۸ تابع عضویت متغیر ورودی تغییرات ارتفاع (dH) در منطق فازی



شکل ۹ تابع عضویت متغیر خروجی دبی (Q) در منطق فازی

جدول ۲ قوانین FLC مورد استفاده در تصمیم‌گیری‌های اگر - آنگاه

H \ dH	Negative big	Negative small	Zero	Positive small	Positive big
Very low	Very low	Very low	Very low	Very low	Very low
Low	Low	Low	Low	Low	Low
Middle	Middle	Middle	Middle	Middle	Middle
High	High	High	High	High	High
Very high	Very high	Very high	Very high	Very high	Very high



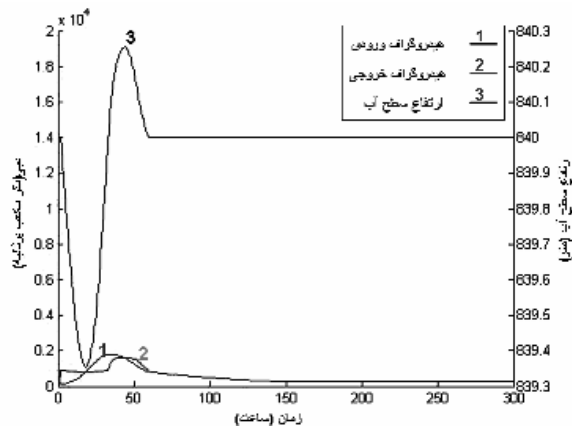
شکل ۱۰ جعبه ابزار قوانین منطق فازی

۳- نتایج و بحث

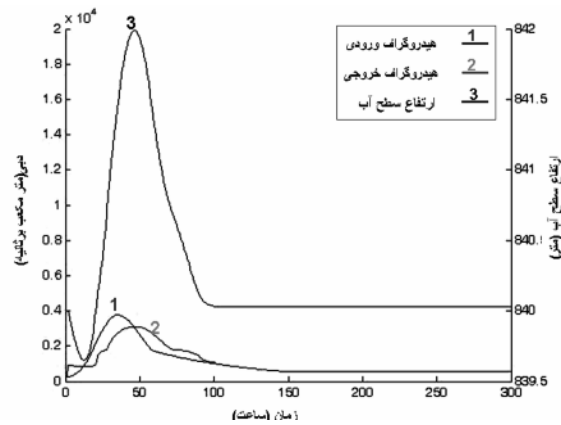
ورودی به مخزن کارون ۳ با منطبق فازی در شکل‌های ۱۱

مطابق توضیحات این روش، برخی خروجی‌های سیل‌های

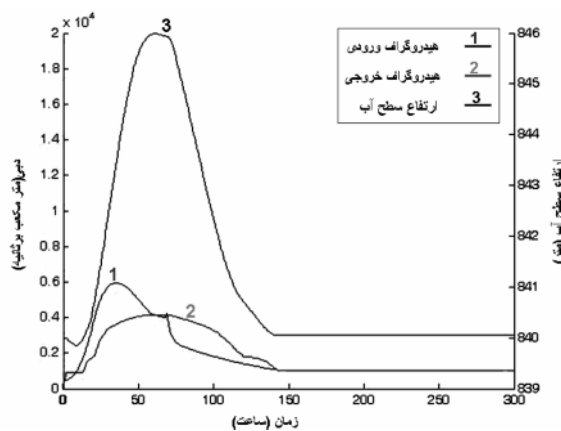
تا ۱۶ آورده شده است:



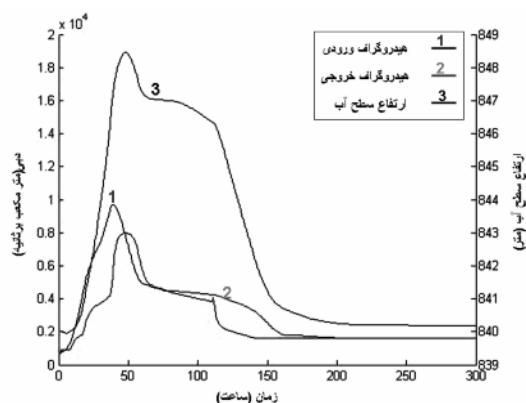
شکل ۱۱ روندیابی سیلاب ۲ ساله در مخزن سد کارون ۳ با استفاده از منطق فازی



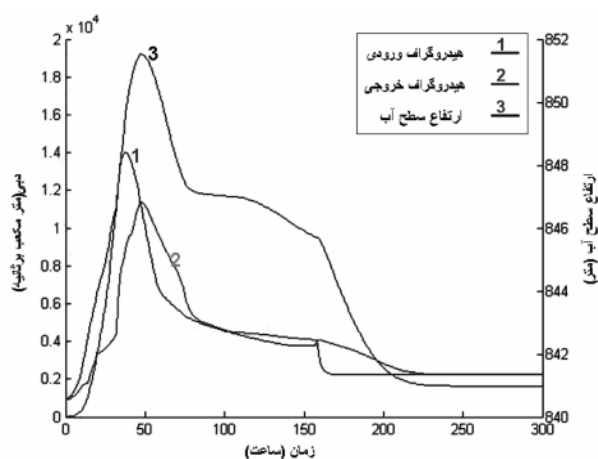
شکل ۱۲ روندیابی سیلاب ۱۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با استفاده از منطق فازی



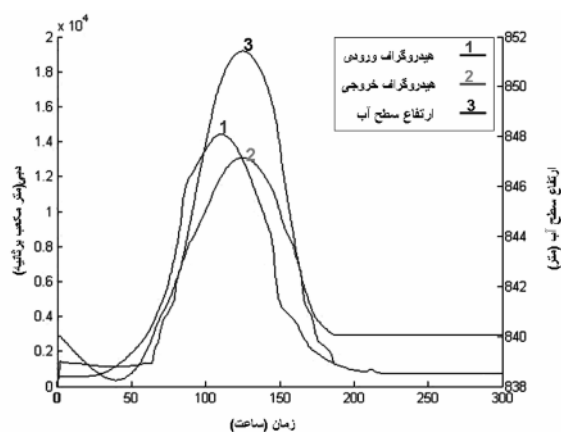
شکل ۱۳ روندیابی سیلاب ۱۰۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با استفاده از منطق فازی



شکل ۱۴ روندیابی سیلاب ۱۰۰۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با استفاده از منطق فازی



شکل ۱۵ روندیابی سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله در مخزن سد کارون ۳ با استفاده از منطق فازی



شکل ۱۶ روندیابی سیلاب PMF در مخزن سد کارون ۳ با استفاده از منطق فازی

سیل ۱۰ ساله رفتار نمی‌شود؛ بلکه منطق فازی تغییرات سرعت جریان ورودی را در نظر گرفته است. در بقیه

به منظور بررسی نتایج به کارگیری منطق فازی، همان‌گونه که در شکل ۱۱ دیده می‌شود، با سیلاب ۲ ساله، دیگر مانند

شکل‌ها نیز، هر یک از مشکلات نامبرده در سیاست عملکرد پنج‌مرحله‌ای مانند تغییرات ناگهانی دبی خروجی، از بین رفته و هیدروگراف خروجی هموار شده است.

۳-۱- به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک در عملکرد دریاچه‌های مخزن

برای آنکه میزان مطلوبیت پاسخ و قابلیت اطمینان نسبت به نتایج آن بررسی شود، باید با ملاک مناسبی مقایسه شود. با توجه به توانمندی الگوریتم ژنتیک در دستیابی به جواب بهینه سراسری، استفاده از این روش به‌عنوان ملاک مقایسه مدنظر قرار گرفت (Chang et al., 1998). در الگوریتم ژنتیک با اصطلاحاتی مانند تابع هدف، شرایط و محدودیت‌ها برخورد می‌شود که آنها را باید برای مسأله خود تعریف کرد. شرایط و محدودیت‌ها: هیدروگراف ورودی و ذخیره مخزن، متغیرهای ورودی سیستم است. در سد کارون ۳ دبی ورودی از ۰ تا ۱۴۴۱۶ و ذخیره مخزن از ۰ تا ۳۳۱۰ میلیون مترمکعب است. همچنین حداکثر دبی خروجی، حداکثر و حداقل ارتفاع سطح آب و دیگر شرایط مخزن به‌عنوان قیود مسأله شناخته می‌شوند.

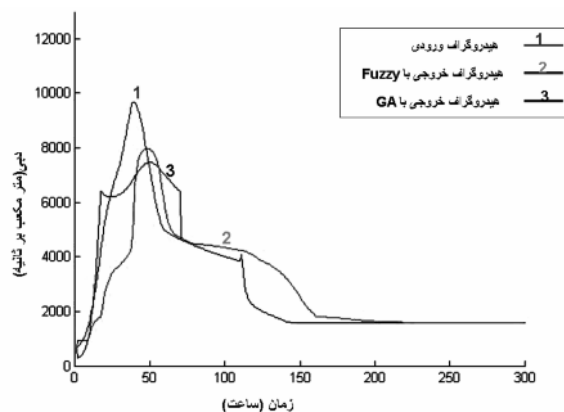
تابع هدف: تابع هدف به شکل زیر تعیین می‌شود:

۳-۱- به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک در عملکرد دریاچه‌های مخزن

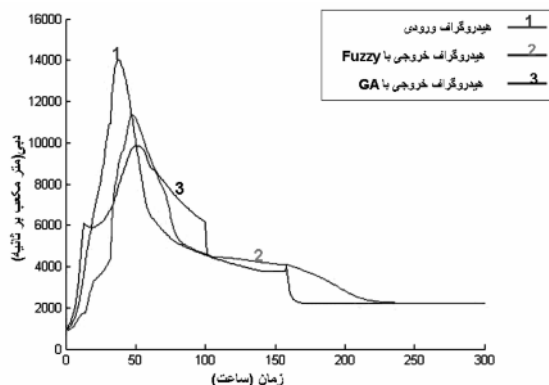
برای آنکه میزان مطلوبیت پاسخ و قابلیت اطمینان نسبت به نتایج آن بررسی شود، باید با ملاک مناسبی مقایسه شود. با توجه به توانمندی الگوریتم ژنتیک در دستیابی به جواب بهینه سراسری، استفاده از این روش به‌عنوان ملاک مقایسه مدنظر قرار گرفت (Chang et al., 1998). در الگوریتم ژنتیک با اصطلاحاتی مانند تابع هدف، شرایط و محدودیت‌ها برخورد می‌شود که آنها را باید برای مسأله خود تعریف کرد. شرایط و محدودیت‌ها: هیدروگراف ورودی و ذخیره مخزن، متغیرهای ورودی سیستم است. در سد کارون ۳ دبی ورودی از ۰ تا ۱۴۴۱۶ و ذخیره مخزن از ۰ تا ۳۳۱۰ میلیون مترمکعب است. همچنین حداکثر دبی خروجی، حداکثر و حداقل ارتفاع سطح آب و دیگر شرایط مخزن به‌عنوان قیود مسأله شناخته می‌شوند.

تابع هدف: تابع هدف به شکل زیر تعیین می‌شود:

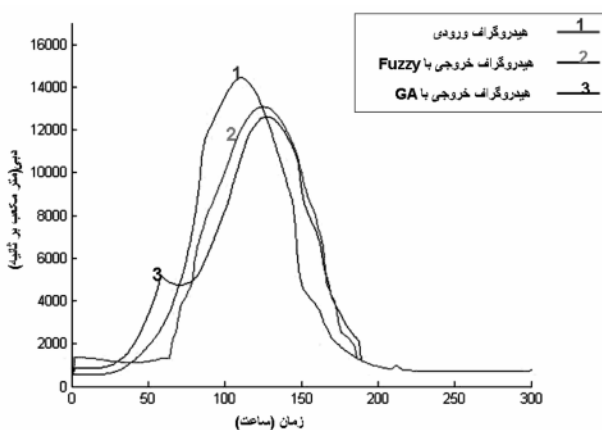
$$\text{Maximize } (I_p - Q_p) - |S_0 - S_n| \quad (1)$$



شکل ۱۷ مقایسه روندیابی سیلاب ۱۰۰۰ ساله با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۸ مقایسه روندیابی سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۹ مقایسه روندیابی سیلاب PMF با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک

روش استفاده شده و با توجه به این که الگوریتم ژنتیک برای سیل های مشخص قابل استفاده است، اما روش ارائه شده به کمک منطق فازی برای تمامی انواع سیل و بدون پیش آگاهی از نوع سیل و به شکل بلادرنگ کاربرد دارد، مناسب بودن روش فازی این مقاله را می توان نتیجه گرفت.

به طریق مشابه، مقادیر حاصل از به کارگیری الگوریتم ژنتیک در سیل های دیگر محاسبه و با مقایسه انجام شده با روش فازی و با توجه به سایر ویژگی های استفاده از روش فازی مانند به تأخیر انداختن بیشینه سیل ها به اندازه مناسب و کاهش تغییرات دبی خروجی، می توان روش فازی مورد استفاده را قابل قبول دانست.

۵- فهرست علائم

I_p	اوج سیلاب ورودی
Q_p	اوج جریان خروجی
S_0	حجم اولیه مخزن
S_n	حجم انتهایی مخزن

۴- نتیجه گیری

برای مقایسه عملکرد سه روش مذکور جدولی تهیه شده (جدول ۳) که مقایسه عددی روشها را بر اساس خروجی به دست آمده از آنها انجام می دهد. با توجه به قابلیت های

جدول ۳ مقایسه نتایج خروجی با تحقیقات قبلی

روش	دوره بازگشت	اوج سیلاب ورودی	سطح آب در شروع سیلاب	اوج سیلاب خروجی	حداکثر بالا آمدگی سطح آب (متر)	بیشینه تغییرات دبی خروجی $(Q_t - Q_{t-1})$	زمان رسیدن به اوج خروجی (ساعت)
پنج مرحله‌ای فازی الگوریتم ژنتیک تحقیق سامانی و رضازاده	۱۰۰۰ ساله	۸۷۷۸/۲۴	۸۴۰	۸۰۰۰	۸۴۸/۰۷	۴۸۰۰	۴۰
				۷۹۰۰	۸۴۸/۴۶	۱۲۵۰	۴۸
				۷۴۰۰	۸۴۲/۷	۱۰۲۹	۵۰
				۹۴۰۲	۸۴۸/۳۸	۵۲۰۲	۴۲
پنج مرحله‌ای فازی الگوریتم ژنتیک تحقیق سامانی و رضازاده	۱۰۰۰۰ ساله	۱۴۰۲۱/۱۴	۸۴۰	۱۱۸۵۰	۸۵۰/۰۸	۴۸۰۰	۴۷
				۱۱۳۶۰	۸۵۱/۴	۱۶۵۳	۴۸
				۱۰۰۰۰	۸۴۷/۴۲	۸۱۳	۵۱
				۱۱۹۱۶	۸۵۰/۱۸	۶۳۹۷	۴۵
پنج مرحله‌ای فازی الگوریتم ژنتیک تحقیق سامانی و رضازاده	PMF	۱۴۴۱۶/۲۱	۸۴۰	۱۳۳۰۰	۸۵۱/۶	۴۸۰۰	۱۲۱
				۱۳۰۰۰	۸۵۱/۴	۸۰۸	۱۲۲
				۱۲۶۰۰	۸۵۰/۹	۲۹۸	۱۲۸
				۱۳۴۰۰	۸۵۱/۷۶	۶۷۵۶	۱۲۲

دوم، جلد دوم، شماره ۱.

۶- منابع

Acanal, and Haktanir, T. (1999). "Five-stage flood routing for gated reservoirs by grouping floods into five different categories according to their return periods". Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. No., 44. pp. 163-172.

Afshar, A. Shafii, M. and Bozorg Haddad, O. (2010). "Optimizing multi-reservoir operation rules: an improved HBMO approach". Journal of Hydroinformatics. Vol. 13. No.1. pp. 121-139.

Afshar, A. Takbiri, Z. (2009). "optimal design and operation of fuse-gates considering water loss due to gates tilting". ASCE Conf. Proc. 342, 309.

Anal, N.A. and Haktanir, T. (1999). "Six-Stage flood routing for dams having gated spillways". Engineering and Environmental Science, pp. 411-422.

Bagis, A. (2003). "Fuzzy and PD controller based intelligent control of spillway gates of dams". J. Intell. Fuzzy Syst. 14. pp. 25-36.

Bagisa, A. and Karaboga, D. (2007). "Evolutionary algorithm-based fuzzy PD control of spillway gates of dams". Journal of the Franklin Institute. 344, pp. 1039-1055.

Benedito, P.F. Braga, Jr. and Yen William,

اسدی‌پور، ن. (۱۳۸۹). بهینه‌سازی عملکرد دریاچه‌های سرریز سد برای کنترل سیل با استفاده از منطق فازی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.

حسامی رستمی، ر.، افشار، ع.، و جلالی، م. (۱۳۸۳). "مدل قابل تعمیم در بهره برداری از سرریزهای دریاچه دار برای کنترل سیلاب". کنگره ملی مهندسی عمران؛ دانشگاه صنعتی شریف.

رضازاده، ک. (۱۳۸۱). "کنترل سیلاب در مخازن سدها و بهینه سازی بهره برداری از دریاچه ها". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

شفیعی، م.، حداد، ا.، و افشار، ع. (۱۳۸۶). "بررسی ساختارهای جدید از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی بهره برداری از مخازن". مجله فناوری و آموزش، سال اول، جلد اول، شماره ۳.

علی‌مرادی، ف.، علی‌محمدی، س.، و جباری، ا. (۱۳۸۶). "تحلیل حساسیت پارامترهای توابع جریمه در مدل‌های بهینه سازی بهره برداری از مخازن چند منظوره". مجله فناوری و آموزش، سال

- "Fuzzy logic based operation of spillway gates of reservoirs during floods". *Journal of Hydrologic Engineering*. ASCE. Vol. 9, pp. 544-549.
- Karamouz, M. and Houck, M.H. (1987). "Comparison of stochastic and deterministic dynamic programming for reservoir operating rule generation". *Water Resour. Bull.* 23 (1). pp. 1-9.
- Needham, J.t. David, WWJ. and Jay, RL. (2000). "Linear programming for flood control in the Iowa and Des Moines Rivers". *J Water Resour. Plan. Manage.* 126(3). pp.118-127.
- Oliver, C.S.V. Toshio,K. Kun,Y. (2010). "optimal dam operation during flood season using a distributed hydrological model and a heuristic algorithm". *J. Hydrologic Engrg.* 15, 580.
- Oliviera, R. and Loucks, D.P. (1997). "Operating rules for multireservoir systems". *Journal of Water Resour. Res.* Vol.33. No.4. pp. 1589-1603.
- Ozelkana, E.C. Galambosia, A. Gaucheranda, E.F. and Ducksteina, L. (1997). "Linear quadratic dynamic programming for water reservoir management". *Appl. Math. Modell.* 21 (9). pp. 591-598.
- Sinske, B.H. (1983). Gate operation- flood control versus dam safety, ICOLD.
- Stedinger, J.r. Bola, E. Sule,F. and Loucks,D.P. (1984). "Stochastic dynamic programming models for reservoir peration optimization". *Water Resour. Res.* Vol 20. No11.
- Tung, C. Hsu, S. Liu, C.M. and Li, SHJr. (2003). "Application of the genetic algorithm for optimizing operation rules of the LiYutan reservoir in Taiwan". *J. Am. Water Resour. Assoc.*; 39-3. pp. 649-657.
- Unver, OI. and Mays, LW. (1990). "Model for real-time optimal flood control operation of a reservoir system". *Water Resour. Manag.* 4(1). pp. 21-46.
- Windsor, J.S. (1973). "Optimization model for the operation of flood control systems". *Water Resources Research.* No. 9, Vol. 5, pp. 1219- 1226.
- Yakowitz, S. (1982). "Dynamic programming application in water resources". *Water Resour. Res.*, Vol 18. No4.
- Yeniay, O. (2005). "Penalty function methods for constrained optimization with genetic algorithms". *Mathematical and Computational Application.* 10 (1). pp. 45-56.
- W.G.(1991). "Stochastic optimization of multiple-reservoir-system operation". *Water Resour. Plng. and Mgmt.* Volume 117. Issue 4. pp. 471-481.
- Braga, B. and Barbosa, PSF. (2001). "Multiobjective real-time reservoir operation with a network flow algorithm". *J Am. Water Resour. Assoc.* 37(4), pp. 837-852.
- Butcher, W.S. (1971). "Stochastic dynamic programming for optimum reservoir operation". *Water Resour. Bull.* Vol. 7. No1. pp 115-123.
- Cai, X. McKinney, D.C. and Lasdon. L.S. (2001). "Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach". *Adv. Water Resour.* 24_1. pp. 667-676.
- Chang, F. J. Chen, L. and Chang, L.C. (1998). "Real-code genetic algorithm for rule-based flood control reservoir management". *Water Resources Management.* No. 12, pp.185-198.
- Chang, F.J. Chen, L. and Chang, L.C. (2005). "Optimization the reservoir operating rule curves by genetic algorithm". *Hydrological Processes*, No. 19. Vol. 11, pp. 2277 -2289.
- Chang, G.X. Huang, Q. and Wang, Y.M. (2005). "Genetic algorithms for optimal reservoir dispatching". *Water Resources Management.* pp. 321-331.
- Chang, L.C. (2008). "Guiding rational reservoir flood operation using penalty-type genetic algorithm". *Journal of Hydrology.* No. 354, pp. 65-74.
- Chen, L. (2003). "Real coded genetic algorithm optimization of long-term reservoir operation". *Environ. Urbanization.* 39-5. pp. 1157-1165.
- East, V. and Hall, M.J. (1994). "Water resources system optimization using genetic algorithms". *Proceedings of the first international conference on hydroinformatics.* pp. 225-231.
- Fahmy, H.S. King, H.P. Wentzel, M.W. and Seton, G.A. (1994). "Economic optimization of river management using genetic algorithms". *Summer Meeting. Am. Soc. of Agricultural Engrs.*, Paper No. 943034. ASAE 1994 Int.
- Haktanir, T. and Kisi. (2001). "TEN-STAGE discrete flood routing for dams". *Journal of Hydrologic Engineering*, No. 20917. pp. 86-90
- Karaboga1, D. Bagis, A. and Haktanir, T. (2004).