Archive of SID

پژوهش‌های آبخیزداری
(پژوهش و سازندگی)
شماره ۱۱۱، تابستان ۱۳۹۵

سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن با رویکرد احتمال کاهش جریان از سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: سد مخزنی مهاباد)

• **کاظم صابر چناری**
دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (نویسنده مسئول)
• **هیراد عبقری**
دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
• **مهدی عرفانیان**
دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
• **مرضیه قادری**
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت جام، باشگاه پژوهشگران جوان، تربت جام، ایران
• **حسین سلمانی**
دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
• **امید اسدی نلیوان**
دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: مهر ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۳
Email: saber.h64@gmail.com

چکیده

در علم مدیریت منابع آب، بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های آبی موجود از جمله سدها، روز به روز اهمیت بیشتری می‌یابد به گونه‌ای که به دلیل محدود بودن منابع مالی، محدود بودن منابع آبی قابل استحصال و مشکلات زیست محیطی، بهینه‌سازی بهره‌برداری از این سیستم‌ها به تدریج جایگزین احداث سیستم‌های جدید می‌گردد. مسئله بهره‌برداری بهینه از منابع آب معمولاً پیچیده، چندمتغیره و چندمحدودیتی است که حل آن‌ها نیاز به روش‌های بهینه‌سازی توانمند دارد. به همین دلیل محققین در این زمینه به دنبال استفاده از روش‌های کاوشی همچون الگوریتم ژنتیک بوده‌اند. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه از سد مخزنی مهاباد در شمال غربی ایران استفاده شد. تابع هدف تحقیق حداقل سازی اختلاف بین تقاضای آبی پایین دست و مقدار رهاسازی آب از سد در نظر گرفته شد. در ابتدا تحلیل حساسیت الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف انجام شد. در ادامه مسئله مورد نظر با در نظر گرفتن احتمال کاهشی، جریان ورودی به سد برای یک دوره ۲۴ ماهه در سناریوهای مختلف شبیه-سازی شد. نتایج نشان داد که مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک حتی در شرایط بحرانی از خشکسالی کارایی مناسبی داشته و مدل بهینه شده می‌تواند نیاز آبی پایین دست را تأمین کند.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، روش‌های کاوشی، بهینه‌سازی، سد مخزنی مهاباد، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 111 pp: 34-43

Optimization Reservoir Operation Policy with Approach reduces probability of inflow Using Genetic Algorithm (The case study: Mahabad Reservoir Dam)

By: K. Saber Chenari, PhD, Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran (Corresponding Author). H. Abghari, Associate Professor, Faculty of Neutral Resources, Urmia University, Urmia, Iran. M. Erfania, Associate Professor, Faculty of Neutral Resources, Urmia University, Urmia, Iran. M. Ghaderi, Young Researchers and Elite Club, Torbat-e-Jam Branch, Islamic Azad University, Torbat-e-Jam, Iran. H. Salmani, PhD Student, Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran. O. Asadi Nalivan, PhD Student, Watershed Management Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.

In the management water resources science, optimal Operation of existing water systems, such as dams, every day is more important. Due to budget and operational water resources limitations and environmental problems, optimize operation of these systems are gradually replaced by new systems are constructed. Optimal Operation of water resources is a Complex, nonlinear, multi-constraint and multidimensional optimization Problem, so to solve them robust optimization techniques needs are needed. In this study Genetic Algorithm optimization has been used in operation of the Mahabad reservoir Dam in Northwest of Iran. The objective function is minimization of difference between downstream monthly demand and release. Early; Sensitivity analysis of GA model performed by considering of various parameters. Then the method was applied considering the reduce probability of inflow to dam for period 24months in the different scenarios. The results show that, the critical condition of drought could managed by the GA model, the optimized model could satisfy downstream watery demand.

Keywords: Genetic algorithm, Heuristic methods, Optimization, Mahabad Dam reservoir, Iran.

مقدمه

افزایش روز افزون نیازهای آبی و تقاضای مداوم برای آب با کیفیت و توزیع زمانی و مکانی مناسب آن از یک سو و محدودیت منابع آب تجدیدپذیر از سوی دیگر، متخصصین، برنامه‌ریزان و محققان را وادار به تفکر و ارائه طرح‌های جامع‌تر و پیچیده‌تر جهت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود از جمله مخازن سدها به عنوان یکی از اجزاء اصلی ذخیره و تنظیم جریان آب‌های سطحی نموده است. تحلیل سیستم مخازن به صورت چندگانه امکان بهره‌برداری یکپارچه و بهینه از مخازن موجود را ممکن می‌سازد. در سال‌های اخیر الگوریتم‌های فراکاوشی به عنوان یک روش بهینه‌سازی کارا در زمینه حل مسائل پیچیده، بزرگ مقیاس، دارای حجم عملیاتی زیاد، با توابع هدف و قیدهای خطی، ناپیوسته، مشتق‌ناپذیر و غیر محدب، به دلیل همگرایی سریع‌تر به جواب و سادگی نسبت به روش‌های سنتی مانند برنامه‌ریزی خطی و پویا و غیره مورد توجه قرار گرفته است. در بسیاری از مسائل واقعی، حتی در مسائل واقعی مهندسی آب، تصمیم گیرنده تنها با رسیدن به جواب‌های خوب و نه فقط جواب بهینه مطلق ارضا می-شود. به این ترتیب امکان استفاده از روش‌های فراکاوشی که تضمین کننده جواب بهینه مطلق نبوده ولی در طول مسئله، جواب‌های ممکن مختلفی ایجاد نموده و نهایتاً بهترین جواب را انتخاب می‌نمایند، مورد توجه قرار گرفته است (Jalali, 2005). در طول دهه گذشته استفاده از الگوریتم ژنتیک۱، به عنوان یک روش بهینه‌سازی کاوشی برای مخازن، کارنامه قابل قبولی از خود برجای گذاشته است. مطالعه الگوریتم ژنتیک در اواسط دهه ۱۹۷۰ آغاز شد. بعد از آن Goldberg (1989) وMichalewicz (1992) معرفی کامل و دقیق این روش را ارائه کرده‌اند. استفاده از الگورتیم ژنتیک در منابع آب به دو دهه اخیر بر می‌گردد. Chang and Chen (2005) از مدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی رهاسازی آب در یک دوره ۱۲ ماهه با هدف حداکثر کردن انرژی الکتریکی استفاده کردند. Kumar و Raju (2006) جهت بهینه کردن عملکرد مخزن سد یک منظوره مالاپرابها۲ در هند برای آبیاری گیاهان زراعی، الگوریتم ژنتیک را با برنامه‌ریزی خطی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که عملکرد الگوریتم ژنتیک با برنامه‌ریزی خطی در توزیع آب بین مراحل مختلف رشد تفاوت چندانی ندارد. Ghadami, Ghahramani, Sharifiand and Rajabi (2009) با استفاده از الگوریتم ژنتیک قطعی برنامه‌ای برای بهره‌برداری بهینه از سیستم چند مخزنی آبدر شمال خراسان جهت مصارف کشاورزی تدوین کردند. در این مدل، با توجه به مقادیر مشخصی از متغیرهای حالت اعم از حجم جریان در ابتدای سال و رژیم رودخانه در طول فصل زراعی، مناسب‌ترین الگوی بهره‌برداری از مخزن سدها تعیین شد. Hakimi, Ghodsypour and Kerachian (2009) از مدل GA برای بهره‌برداری ماهانه از مخازن سد کارون و دز با در نظر گرفتن اهداف ذخیره آب برای تقاضای پایین دست و تولید انرژی استفاده کردند. Mathr and Nikam (2009) در کاربرد مدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه

www.SID.ir

Archive of SID

از یک مخزن چند منظوره در هند نشـان دادند که مدل GA نتایج خوبی بدسـت می‌دهد که این امر بستگی به انتخاب دقیق متغیرهای مدل GA دارد. Samandizade, Adib and Ahmadianfar (2011) بهره‌برداری بهینه از مخزن سد امیرکبیر را به روش الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی پویا برای سناریوهای مارکوفی و سری مشاهداتی انجام دادند. نتایج نشـان داد که الگوریتم ژنتیک در تمامی سناریوها توانایی ارائه نتایج بهتـری را دارد. Adeyemo (2011) با توجه به تحقیقـات انجام گرفته کارایی الگوریتم‌های کاوشـی در بهره‌برداری بهینه از مخزن سـد را مورد بررسـی قرار داد. نتایج نشـان داد که الگوریتم‌های کاوشـی روش‌های خوبی برای حل مسائل چند بعدی، پیچیده و غیر خطی مخازن سـد هسـتند. Asfaw and Saiedi (2011) مدل کوتاه مدت بهره‌برداری از مخزن سـد را با اسـتفاده از الگوریتم ژنتیک به کار بردند. نتایج با مدل سولور۳ در اکسل مقایسه شد و مشخص شد که سیاست بهره‌برداری مدل الگوریتم ژنتیک بهتر از مدل سولور می‌باشد.

الگوریتم ژنتیک

بهینه‌سـازی در مفهـوم کلی، به معنای رسـیدن بـه هدف مطلوب براسـاس محدودیت‌ها و قیدهای در نظر گرفته شـده برای آن است. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جدید بهینه‌سـازی است که بیشتر برای بهینه‌سـازی مسائل بسـیار پیچیده و غیر خطی به کار می‌رود. اسـاس این روش بر مبنای فرآیند تکامل اسـت. به عبارت دیگر این روش بـا تولید نسـل‌های (مجموعه جواب‌ها) متعـدد از جواب‌های امکان‌پذیر، سـعی می‌کند به سـوی جواب بهینه حرکت کند.در علم بیولوژی تولید نسل توسط یک سری کروموزوم صورت می‌گیرد که به صورت رشته کدگذاری می‌شـوند و هر کروموزوم نیز از یک سری ژن تشکیل می‌شود که نشان دهنده خصوصیات ژنتیکی آن موجود است. در الگوریتـم ژنتیک، یک جمعیت اولیـه از جواب‌ها به طور تصادفی انتخاب می‌شـوند. ارزیابی هر یک از جواب‌ها براسـاس تابع هدف و محدودیت‌ها انجـام می‌گیرد. از جامعه تولید شـده اولیه تعدادی از کروموزوم‌های برتر (جواب بهتر) که مقـدار تابع هدف (تابع برازش) آن‌ها در مسـائل حداکثرسـازی بیشتر و در مسـائل حداقل سازی کمتر است، به عنوان کروموزوم‌های والد برای تولید نسل بعد انتخاب می‌شـوند، سـپس این کروموزوم‌ها به طور تصادفی در دسته‌های دو تایی قرار گرفته و نسل‌های بعد را تولید می‌کنند.

در فرایند بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک از عملگرهای مختلفی استفاده می‌شـود که شـامل عملگرهای انتخاب، ترکیب و جهش می‌باشند. انتخـاب کروموزوم‌های والد توسـط عملگر انتخـاب به چندین روش یکنواخت احتمالی، مسـابقه و غیره انجام می‌شـود. در فرآیند تولید مثـل بخش‌هـای از اطلاعات ژنتیکـی دو کروموزوم با هـم معاوضه می‌شـوند. این عملیات از طریق عملگر ریاضی ترکیب انجام می‌شود. این عملگر عمومـاً بخش-هایی از کروموزم والد را به صورت تصادفی انتخـاب و با هم جابجا می‌کند. انجام عمل ترکیب به صورت احتمالی بوده و مقدار احتمال آن معمولاً بیش از ۰/۷ اسـت. برای جلوگیری از همگرایی جواب‌های مدل بهینه‌سـازی به نقاط بهینه موضعی، مقادیر برخـی از ژن‌های کروموزوم‌های حاصـل از فرآیند ترکیب به صورت تصادفـی تخمین زده می‌شـود که این کار بـا عملگر جهش صورت می‌گیـرد (Ahmadi and Fallahi, Karamuz, 2006). هدف از این تحقیق بهره‌برداری بهینه از سـد مخزنی مهاباد با اسـتفاده از الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن احتمال کاهش جریان از سد در یک دوره ۲۴ ماهه در سناریوهای مختلف می‌باشد

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه مهاباد در شـمال غرب ایران قرار گرفته اسـت و یکی از حوزه‌های اصلی آبخیز دریاچه ارومیه اسـت. مسـاحت کل حوضـه در محل سـد مهاباد ۸۰۷ کیلومتر مربـع و محیط آن ۱۴۲ کیلومتر می‌باشـد. سد مهاباد یک سـد خاکی- سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد که برای مقاصدی از جمله تأمین آب شرب و کشاورزی، کنترل سـیلاب‌های فصلی و تأمین انرژی برقابی احداث شـده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و سد مخزنی مهاباد در شکل ۱ نشـان داده شده اسـت. آب خروجی از سد در مسـیر رودخانه از داخل شـهر عبور کرده و پس از آبگیری دو ایستگاه پمپاژ از رودخانه، وارد سد انحرافی پایین دست می‌شود. بعد از انحراف آب به کانال‌های اصلی، مازاد آن سرریز شده و نهایتاً به دریاچه ارومیه می‌ریزد. سیستم آبی رودخانه مهاباد به صورت شـماتیک در شـکل ۲ نشان داده شده است.

روش کار

در ابتدا آمار و اطلاعات لازم از ایستگاه‌های هیدرومتری و تبخیرسنجی محل سـد مهاباد جمع‌آوری شد که شـامل داده‌های ماهانه جریان ورودی به سـد با دوره آماری۳۲ سال (۱۳۵۴تا۱۳۸۵)، ارتفاع تبخیر خالص از سـطح دریاچه سد، نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست سد و حداکثر میزان خروجی از مخزن براساس شرایط نرمال، خروجی سد و ورودی به نیروگاه جهت تولید برق می‌باشند. سپس آنالیز آماری لازم بر روی داده‌ها انجام شـد. در ادامه تابع هدف مدل بهینه‌سـازی الگوریتم ژنتیک و محدودیت‌های مسـئله بهینه‌سازی مخزن تعریف شدند و سپس تحلیل حساسیت متغیرهای الگوریتم ژنتیک به منظور انتخـاب دقیـق این متغیرها انجام شـد و در نهایت بـا اجرای مدل بهینه‌سـازی مذکور مقادیر رهاسازی ماهانه و حجم بهینه مخزن سد مهاباد با در نظر گرفتن سناریوهای تعریف شده تعیین شدند.

آنالیز آماری داده‌های جریان

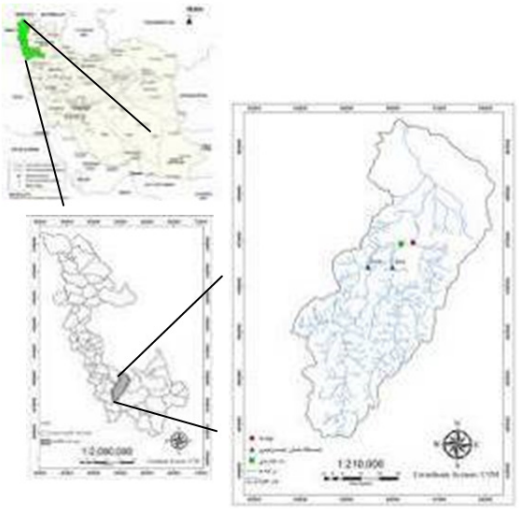
به منظور انجام آنالیز آماری در ابتدا داده‌های جریان ورودی به سـد از نظر همگنی و تصادفی بودن مورد بررسـی قرار گرفت. جهت انجام تسـت همگنی داده‌ها از روش جرم مضاعف۴ استفاده شد. برای انجام این تسـت از داده‌های جریان ورودی به سـد ایسـتگاه‌های بوکان و شهرچای استفاده گردید (شکل ۳).

تست

تصادفی بودن داده‌های جریان نیز با اسـتفاده از آزمون ران‌تست۵ در نرم‌افـزار SPSS مورد پردازش قرار گرفت. این آزمون صحت تصادفی بودن داده‌های جریان را در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان می‌دهد که در جدول (۱) ارائه شده است (Alizadeh, 2007).

www.SID.ir

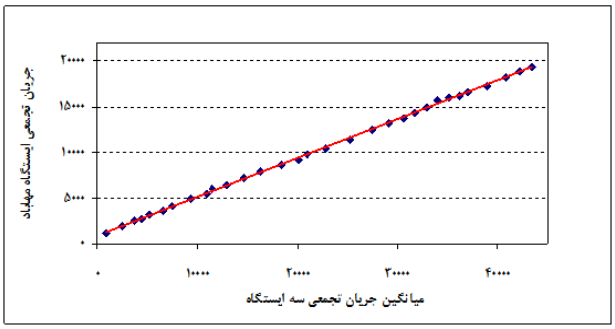
Archive of SID



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- تست تصادفی بودن داده‌های جریان

تست تصادفی بودن داده‌ها	
حد مجاز	مقدار محاسبه شده

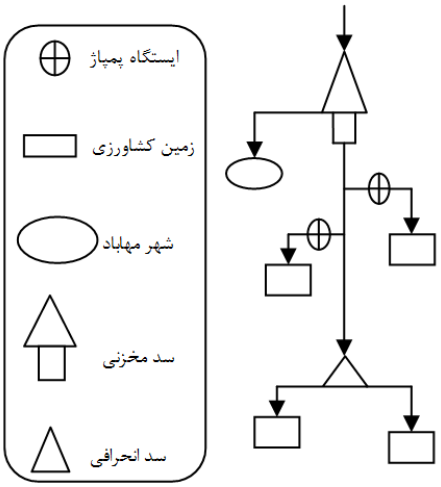


شکل۳- نمودار تست همگنی داده‌های جریان در سایت مهاباد

در ادامه ارتفاع تبخیر خالص ماهانه دریاچه سد براساس معادلات زیر تعیین شـد(Saberchenari,2011)، که در آن ارتفاع تبخیر خالص تابعی از سطح مخزن، ارتفاع تبخیر هر ماه و بارندگی می‌باشد جدول (۲).

$$E_t = \frac{A_t\left(e_t - P_t\right)}{1000} \qquad (۱)$$

که در آن Et: ارتفاع تبخیر خالص ماهانه دریاچه سد به میلی‌متر et: ارتفاع تبخیر از دریاچه در مـاهt به میلی‌متر،Pt:ارتفاع بارندگی روی دریاچه به میلی‌متر، At:سطح مخزن در ماه t (کیلومتر مربع)که At با معادله زیر بیان می‌شود:



شکل۲- نمودار شماتیک سیستم آبی رودخانه مهاباد

$$A_t = \theta + \psi\left(\frac{S_t + S_{t-1}}{2}\right) \qquad (۲)$$

کـه در آنSt: حجم مخزن بـه میلیون مترمکعـب و : ضرایب ثابت رگرسیونی می‌باشند.

که با استفاده از اطلاعات مربوط به حجم و سطح مخزن سد مهاباد معادله رگرسیونی به صورت زیر کالیبره شد(Mohammadpoor,1999).

$$A_t = 3.303 + 0.038\left(\frac{S_t + S_{t-1}}{2}\right) \qquad (۳)$$

ضریب همبستگی رابطه ۳ ، ۰/۹۸۵ می‌باشد.

به منظور آمادگی سیسـتم در شـرایط بحرانی از خشکسالی میزان جریان ورودی به سـد با احتمال کاهشی نسـبت به میانگین واقعی ماهانه در ۵ سـناریوی مختلـف k=۰، k=۰,۲۵، k=۰,۵، k=۰,۷۵ و k=۰,۹۵ براساس رابطه (۴) تعیین شد.

$$I_t = \bar{I}_t + K\,(SD)_t \qquad (۴)$$

کـه در آن It ورودی مخزن در هر ماه، میانگین جریان ورودی ۳۲ ساله در ماه t، t(SD) میزان انحراف از معیار جریان ورودی در ماه t. همان‌طور که در جدول (۲) نشـان داده شـده ماه‌های اردیبهشـت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور دارای بالاترین مقادیر تقاضای آبی شرب و کشـاورزی بوده و این مقادیر بیـش از میانگین جریان ورودی به مخزن در این ماه‌ها می‌باشـد و همچنین حداکثر جریان زمانی اتفاق می‌افتد که تقاضای پایین دسـت کم است. حداکثر میزان خروجی از مخزن براسـاس شرایط نرمال خروجی سد و ورودی به نیروگاه جهت تولید برق بـرای ۶ ماه اول و دوم به ترتیب ۵۳/۵۷ و ۵۱/۸۴ میلیون مترمکعب در ماه می‌باشد.

مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

تابع هدف

در مسـائل مربوط بـه مخزن، تابع هدف معمول جهت بهینه‌سـازی

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم مخازن می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود:

$$Z \quad \sum_{i\ 1}^{N}\sum_{t\ 1}^{T} f\ S_i R_t \qquad (۵)$$

که در آن اندیس i:جهت مشـــخص نمودن شماره مخزن، t:دوره مورد نظر،T: تعداد دوره‌های بهره‌برداری،N: تعداد مخازن،Z:هدفی اســت که باید بیشـــینه یا کمینه شـــود،Sitو Ritبه ترتیب میزان رهاسازی و حجم ذخیره مخزن i در دورهt می‌باشـــد.تابع هدف در این تحقیق در برگیرنده اختلاف مقدار رهاســـازی با نیاز پایین دســـت با توجه به برقراری معادله پیوستگی می‌باشد.

جدول۲- متغیرهای هیدورلوژیک تعیین شده سایت مهاباد بر حسب میلیون متر مکعب

ماه	میانگین جریان ورودی به سد	ارتفاع تبخیر خالص	نیاز آبی پایین دست	حداکثر خروجی از سد
فروردین	۹۷/۱۳	۵۰/۸۸	۶/۹۲	۵۳/۵۷
اردیبهشت	۵۵/۸۸	۱۵۶/۳۹	۲۷/۰۴	۵۳/۵۷
خرداد	۱۰/۹	۲۷۴/۹۱	۳۳/۰۱	۵۳/۵۷
تیر	۲/۴۷	۳۲۱/۵۲	۲۹/۶۴	۵۳/۵۷
مرداد	۱/۱۴	۳۱۴/۳	۳۰/۷۴	۵۳/۵۷
شهریور	۰/۹	۲۴۲/۵	۲۶/۸	۵۳/۵۷
مهر	۱/۳۴	۱۲۰/۵	۲۰/۶۷	۵۱/۸۴
آبان	۷/۸۵	۴۰/۷۷	۹/۱۱	۵۱/۸۴
آذر	۱۱/۰۳	-	۱/۵۳	۵۱/۸۴
دی	۱۶/۲۸	-	۱/۴۳	۵۱/۸۴
بهمن	۲۰/۹۸	-	۱/۴	۵۱/۸۴
اسفند	۵۴	-	۱/۴۴	۵۱/۸۴

پس از تنظیم این تابع مینیمم آن به صورت رابطه (۶) محاسبه خواهد شد:

$$Minimize\ F=\sum_{t=1}^{t=24}\left(R_t-D_t\right)^2+\sum_{t=1}^{n=24}\left(S_t-S_{t+1}+I_t-R_t-E_t\right)^2 \qquad (۶)$$

که در آنRt: مقدار خروجی در ماهt، Dt: نیاز پایین دست سد در ماه t، St: مقدار ذخیره در هر ماه، It: مقدار ورودی به مخزن ســـد در هر ماهt، Et: مقدار تبخیر خالص از ســـطح دریاچه در هر ماهt . نیاز آبی پایین دست در این تحقیق شامل نیاز آبی کشاورزی و شرب می‌باشد. مدل بهینه‌ســـازی مورد نظر برای مدت ۲۴ ماه و با اســـتفاده از دبی میانگین اجرا می‌شود.

متغیرهای تصمیم

تعداد متغیرهای تصمیم بخاطر اینکه برای ۲۴ ماه سال انجام می‌گیرد برابر با ۴۸ می‌باشد. که شـــامل۲۴ متغیر برای مقدار رهاسازی و ۲۴ متغیر برای حجم ذخیره مخزن می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت‌ها یا قیدهای حاکم بر مسئله

الف) قید پیوستگی:

که در توضیح آن می‌توان گفت ذخیره آب مخزن در ماه آینده برابر خواهد بود با ذخیره آب مخزن در ماه جاری به علاوه مقدار آب ورودی به مخزن سد منهای مجموع مقادیر خروجی از سد و مقدار تبخیر خالص از سطح دریاچه سد در همین ماه جاری، که در بخش دوم رابطه (۶) نشان داده شده است.

ب) قید محدودیت حجم مخزن

برای حجم مخزن یک حد بالا و یک حد پایین در نظر گرفته می‌شود. حد پایین متناظر با حجم مرده یا کمینه حجم مخزن در رقوم کمینه بهره‌برداری می‌باشد و حد بالا متناظر با حجم مخزن در رقوم نرمال یا حداکثر ظرفیت مخزن می‌باشد.

$$S_{\min} \le S_t \le S_{\max} \qquad \forall_t \qquad (۷)$$

که در آن Smin،Smax حداقل و حداکثر حجم مخزن برحسب میلیون مترمکعب می‌باشد.

در مورد سد مخزنی مهاباد قید ظرفیت مخزن به صورت زیر است:

$$50 \le S_t \le 198.2 \qquad t = 1,2,3,...,12 \qquad (۸)$$

پ) قید نامنفی بودن رهاسازی:

$$R_t > 0 \qquad \forall_t \qquad (۹)$$

رهاسازی مخزن باید دارای مقادیر مثبت و بزرگ‌تر از صفر در هر ماه باشد.

چون مسئله یک مسئله مقید می‌باشد و GA برای مسائل نامقید است، بنابراین باید تبدیل به یک مسئله نامقید شود. روش‌هایی که تابع هدف و قیدهای آن را داخل یک تابع نامقید تبدیل می‌کنند تابع شبه هدف نامیده می‌شوند. یکی از این روش‌ها استفاده از تابع پنالتی خارجی می‌باشد (Ebrahimifarsangi, 2002). مسئله مذبور را با اضافه کردن تابع پنالتی به تابع هدف به صورت نامقید تعریف شد (رابطه ۱۰)

$$\varphi = F + R_p \cdot \sum_{i=1}^{n_c} \left[\max\left(\frac{g_i}{\overline{g}_i} - 1,0 \right) \right]^2 + R_p \cdot \sum_{j=1}^{n_d} \left[\max\left(1 - \frac{g_j}{\overline{g}_j}, 0 \right) \right]^2 \qquad (۱۰)$$

که در آن ،RPضریب پنالتی، gi، gj، عبارات طرفین قیود نامساوی می‌باشند و همچنین F تابع هدف اولیه می‌باشد.

تحلیل حساسیت متغیرهای الگوریتم ژنتیک

انتخاب دقیق برخی متغیرهای الگوریتم ژنتیک از جمله اندازه جمعیت، کسر ترکیب و تابع جهش در زمان رسیدن مدل به جواب بهینه تأثیر زیادی دارد (Mathr and Nikam, 2009). از این رو تحلیل حساسیت پارامترهای مدل الگوریتم ژنتیک به منظور تعیین بهترین مقادیر انجام شد. اندازه جمعیت زیاد اگر چه باعث حفظ تنوع بیشتر و احتمال رسیدن به جواب بهینه را افزایش می‌دهد اما از طرفی باید مدت زمان بیشتری صرف بهینه‌سازی مسئله گردد. به منظور انجام تحلیل حساسیت اندازه جمعیت،مقدار اولیه آن از ۵۰ شروع شده و تا ۶۵۰ افزایش داده شد (جهت نمایش بهتر تغییرات نمودار اندازه جمعیت (محورx)، از مقادیر ۵۰ تا ۲۰۰ صرفنظر شد). مقدار تابع هدف نیز از ۴۲۵۲,۸۶ تا ۳۶۸,۷۳ کاهش یافت. تا جمعیت ۴۵۰، روند کاهشی تابع هدف چشمگیر بوده اما با افزایش بیشتر اندازه جمعیت تغییر چشمگیری در مقدار تابع هدف مشاهده نشد. از این رو اندازه بهینه جمعیت ۴۵۰ تعیین شد (شکل ۴). یکی دیگر از پارامترهای مهم در الگوریتم ژنتیک نرخ ترکیب می‌باشد. شکل۵ تحلیل حساسیت نرخ ترکیب و کمترین مقدار تابع هدف از نرخ ترکیب ۰,۷۵ را نشان می‌دهد. پارامتر جهش باعث ایجاد گوناگونی بیشتر در جمعیت شده و محدوده جستجوی الگوریتم را برای یافتن راه‌حل گسترش می‌دهد. در این مطالعه از توزیع گوسین به منظور انجام جهش استفاده شد. انحراف معیار این توزیع با استفاده از دو پارامتر مقیاس۶ و انقباض۷ تعیین می‌شوند. پارامتر مقیاس، انحراف معیار را در نسل اول تعیین می‌کند. پارامتر انقباض نحوه کوچک شدن مقدار انحراف معیار را با پیشرفت نسل‌ها تعیین می‌کند(Saberchenari,2011). مقادیر دو پارامتر مقیاس و انقباض با انجام تحلیل حساسیت به ترتیب ۱/۹و ۰/۸ در نظر گرفته شده است (شکل ۶ و ۷). تابع ترکیب مدلGA یکنواخت تصادفی و تعداد تکرارهای اجرای مدل ۲۵۰۰ انتخاب شدند.

جدول ۱- آمار بارندگی و درجه حرارات ۲۰ ساله در حوزه آبخیز چالوس‌رود

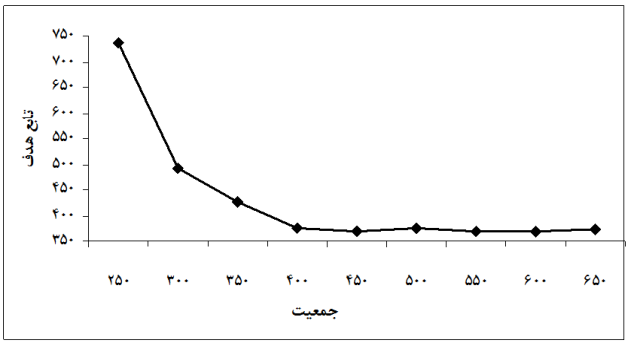
شاخصه آماری	درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر در سال)
حداکثر	۱۵/۶	۵۲۶/۵
میانگین	۱۴/۸	۳۴۱/۵

نتایج و بحث

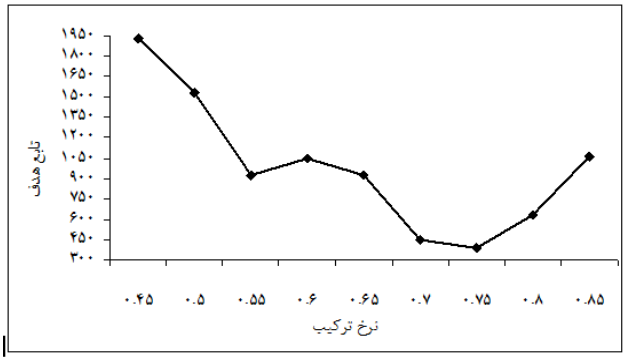
مدل بهینه شده الگوریتم ژنتیک برای بدست آوردن ۴۸ متغیر با اعمال محدودیت‌های مذکور اجرا شد.۲۴ متغیر مربوط به مقادیر رهاسازی ماهانه و ۲۴ متغیر دیگر نیز مربوط حجم ذخیره بهینه مخزن می‌باشند. جدول ۳ مقدار آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شده GAرا در ۵ سناریوی تعریف شده نشان می‌دهد که با مقدار نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست مقایسه شده است. در تمام سناریوها ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد دارای بالاترین حجم رهاسازی می‌باشند. در سناریوهای نرمال (k=0) و خشکسالی(K=0.25) در تمام ماه‌ها حجم آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شده GA بخوبی قادر به تأمین نیاز آبی پایین دست می‌باشد و بجز در ماه‌های فروردین، آذر، دی، بهمن و اسفند در اکثر ماه‌ها از اتلاف آب نیز جلوگیری شده است که دلیل اتلاف آب را می‌توان مقدار بالای جریان ورودی به سد در ابتدای سال ذکر کرد. مقدار اتلاف آب در K=0.25 کمتر از k=0 است.

www.SID.ir

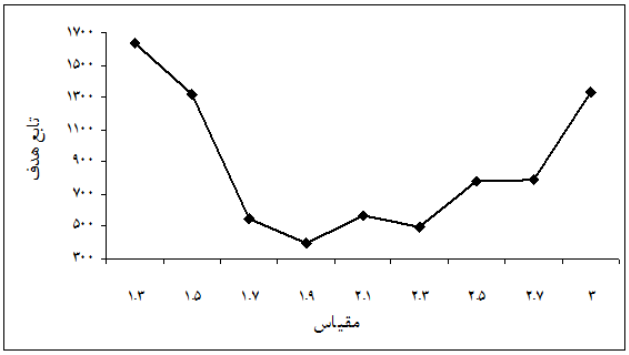
Archive of SID



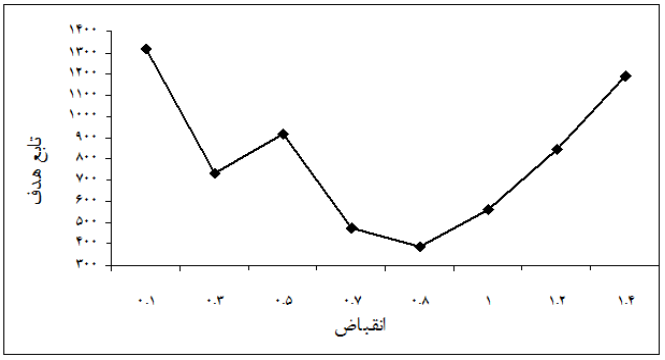
شکل۴- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر اندازه جمعیت الگوریتم ژنتیک



شکل۵- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر نرخ ترکیب الگوریتم ژنتیک



شکل۶- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر مقیاس تابع جهش الگوریتم ژنتیک



شکل۷- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر انقباض تابع جهش الگوریتم ژنتیک

در۲ سناریوی (K=0.5) و (K=0.75) مقدار آب رهاسازی محاسبه شـــده توسط مدل بهینه شده GA در طی ۲۴ ماه قادر به تأمین نیاز آبی شرب و کشـــاورزی پایین دست بخصوص در شش ماه اول سال با تقاضای آبی بالا، می‌باشـــد. در (K=0.5) بجز بهمن ماه در ۱۲ ماه اول و ماه‌های دی و اســـفند در ۱۲ ماه دوم اتلاف آب چشـــمگیری صورت نگرفته، اما در K=0.75 تلفات آب به صفر رسیده که انطباق نمودارهای حاصل از نیاز آبی پایین دست و حجم آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شـــده حاکی از این مطلب می‌باشد که با نتایج تحقیق (2009Mathrand and Nikam،) و (2011Asfawand and Saiedi،) مطابقت دارد (شـــکل۸)). اما در سناریوی آخر خشکسالی (K=0.95) مقدار آب رهاسازی حاصل مدل به استثنای چند ماه، که قادر به تأمین کامل (صد در صدی) نیاز آبی پایین دســـت نمی‌باشد، در سایر ماه‌ها انطباق خوبی با تقاضای آبی پایین دست نشان می‌دهد. حجم ذخیره بهینه محاسبه شـــده برای سد مخزنی مهاباد در شکل ۹ نشـــان داده شـــده است. در ۴ ســـناریوی مطالعه شده بیشترین و کمترین حجم ذخیره بهینه به ترتیب مربوط به ماه‌های اردیبهشت و آبان می‌باشد. به طور کلی هر چه از سناریوی (K=0) به (K=0.95) نزدیک می‌شویم، حجم ذخیره بهینه بدست آمده در ماه‌های مختلف کاهش می‌یابد. در تمام ســـناریوهای تعریف شده، حجم بهینه مخزن در حدود تعیین شـــده می‌باشـــد. در ۴ ســـناریو اول مخزن ذخیره مناسبی برای تأمین نیاز آبی پایین دست و همچنین سایر اهداف در نظر گرفته شده در محل سد از جمله تأمین نیاز برقابی دارا می‌باشد که بـــا نتایج تحقیق (2009Mathrand and Nikam،) مطابقت دارد. می‌توان گفت تغییرات حجم مخزن در سناریوهای تعریف شده چشمگیرتر از تغییرات مقدار آب رهاسازی حاصل از مدل بهینه شده GA می‌باشـــد، به طوری‌که در ســـناریوی آخر (0.95k=) به دلیل کاهش زیاد جریان ورودی به ســـد، ذخیـــره مخزن با توجه به قاعده پیوســـتگی، بخصوص در ماه‌هایی کهنی از آبی پایین دست بالاست، کاهش چشمگیری یافته است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مـــدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه از سد چندمنظوره مهاباد در ۵ سناریوی مختلف نرمال و خشکسالی استفاده شد. به منظور آمادگی سیستم سد مخزنی مهاباد در شرایط بحرانی از خشکســـالی، جریان ورودی به سد با یک احتمال کاهشی نسبت به میانگین واقعی ماهانه در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه جمعیت، نرخ ترکیب و همچنین مقیاس و انقباض از تابع جهش پس از انجام تحلیل حساســـیت به ترتیب معادل با 450 و 0.75 و 1.9 و 0.8 تعیین شدند. مدل تعریف شده برای یک دوره ۲۴ ماهه با درنظر گرفتـــن ۴۸ متغیـــر که ۲۴ متغیر برای مقـــدار خروجی و ۲۴ متغیر برای حجم ذخیره مخزن می‌باشند، اجرا شد. اگر چه در سناریوهای ابتدایی K=0، K=0.25 اتلاف آب در برخی از ماه‌ها وجود داشـــته ولی در سناریوهای K=0، K=0.25، K=0.5 و K=0.75 مقدار آب رهاسازی حاصل از مدل GA دارای تغییرات چشمگیری نبوده و قادر به تأمین تقاضای آبی پایین دســـت می‌باشد، اما حجم بهینه مخزن این ســـناریوها تغییرات بیشتری داشته است. در سناریوی K=0.95

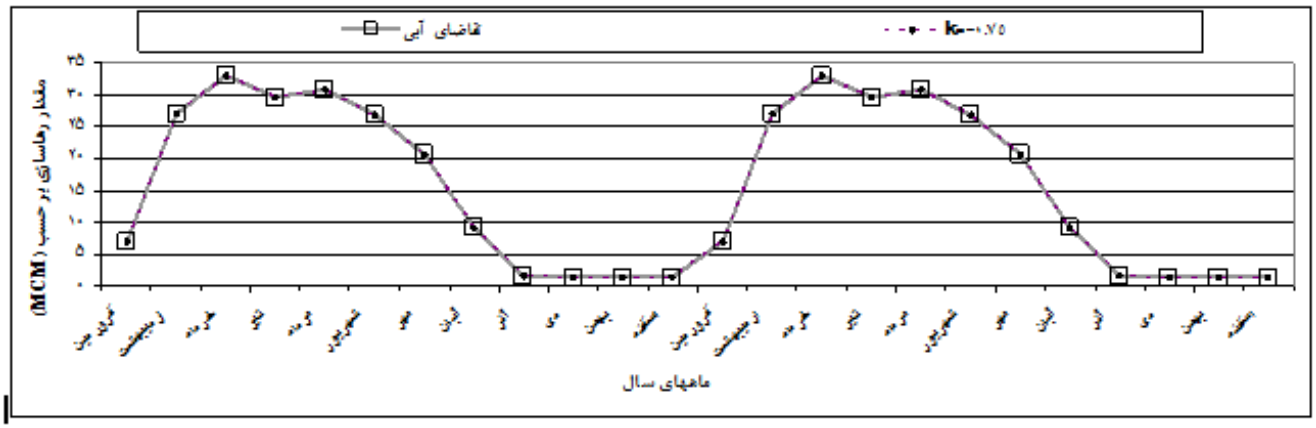
www.SID.ir

Archive of SID

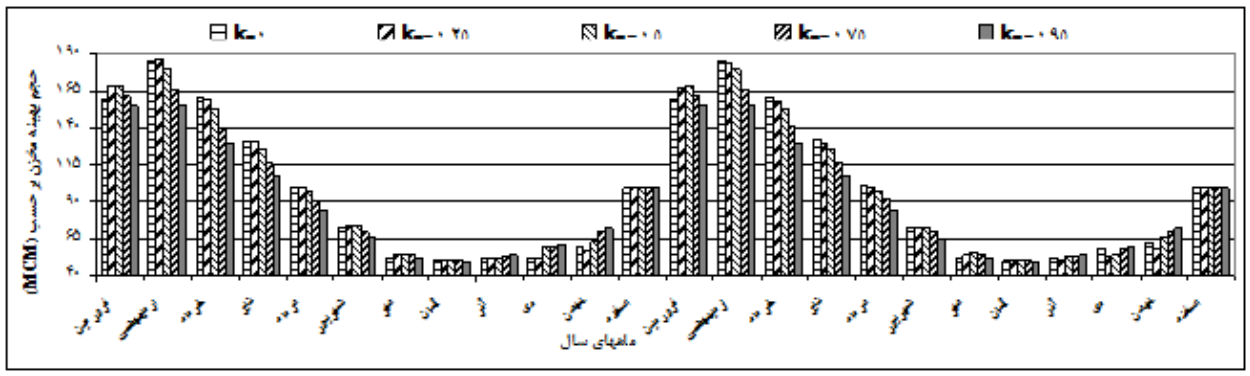
به دلیل کاهش زیاد جریان ورودی به سد، مقدار آب رهاسازی و ذخیره بهینه مخزن محاسبه شده توسط مدل GA در برخی از ماه‌ها، جهت تأمین کامل نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست با مشکل مواجه شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مدل الگوریتم ژنتیک به منظور بهره‌برداری بهینه از سد چندمنظوره مهاباد در ۵ سناریوی مختلف نرمال و خشکسالی استفاده شد. به منظور آمادگی سیستم سد مخزنی مهاباد در شرایط بحرانی از خشکسالی، جریان ورودی به سد با یک احتمال کاهشی نسبت به میانگین واقعی ماهانه در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه جمعیت، نرخ ترکیب و همچنین مقیاس و انقباض از تابع جهش پس از انجام تحلیل حساسیت به ترتیب معادل با ۴۵۰ و ۰,۷۵ و ۱,۹ و ۰,۸ تعیین شدند. مدل تعریف شده برای یک دوره ۲۴ ماهه با درنظر گرفتن ۴۸ متغیر که ۲۴ متغیر برای مقدار خروجی و ۲۴ متغیر برای حجم ذخیره مخزن می‌باشند، اجرا شد. اگر چه در سناریوهای ابتدایی k=0، 0.25 k=اتلاف آب در برخی از ماه‌ها وجود داشته ولی در سناریوهای k=0،0.25k=، 0.5 k=و 0.75 k=مقدار آب رهاسازی حاصل از مدل GA دارای تغییرات چشمگیری نبوده و قادر به تأمین تقاضای آبی پایین دست می‌باشد، اما حجم بهینه مخزن این سناریوها تغییرات بیشتری داشته است. در سناریوی 0.95 k=به دلیل کاهش زیاد جریان ورودی به سد، مقدار آب رهاسازی و ذخیره بهینه مخزن محاسبه شده توسط مدل GA در برخی از ماه‌ها، جهت تأمین کامل نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست با مشکل مواجه شده است.



شکل۸- مقایسه مقدار نیاز آبی شرب و کشاورزی پایین دست سد مهاباد و حجم رهاسازی محاسبه شده با استفاده از مدل GA



شکل۹- حجم بهینه مخزن محاسبه شده استفاده از مدل GA

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۷- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر انقباض تابع جهش الگوریتم ژنتیک

ماه‌های سال	تقاضای آبی پایین دست (MCM)	حجم رهاسازی ۱۲ ماه اول برحسب (MCM)					تقاضای آبی پایین دست (MCM)	حجم رهاسازی ۱۲ ماه دوم برحسب (MCM)				
		k=0	k=-0.25	k=-0.5	k=-0.75	k=-0.95		k=0	k=-0.25	k=-0.5	k=-0.75	k=-0.95
فروردین	۶,۹۲	۳۴,۵۹۸	۱۳,۵۷۹	۶,۹۱۸	۶,۹۵۴	۶,۸۷۱	۶,۹۲	۳۴,۱۱۹	۱۵,۴۳۹	۶,۹۲۷	۶,۹۲۵	۶,۸۷۴
اردیبهشت	۲۷,۰۴	۲۷,۰۵۴	۲۷,۰۵۲	۲۷,۰۴۰	۲۷,۰۳۲	۲۶,۳۲۳	۲۷,۰۴	۲۷,۰۴۸	۲۷,۰۳۵	۲۷,۰۳۷	۲۷,۰۴۰	۲۶,۳۶۰
خرداد	۳۳,۰۱	۳۳,۰۱۵	۳۳,۰۲۱	۳۲,۹۹۹	۳۳,۰۰۸	۳۱,۹۷۶	۳۳,۰۱	۳۳,۰۰۵	۳۳,۰۰۳	۳۳,۰۲۱	۳۲,۹۹۵	۳۱,۹۸۸
تیر	۲۹,۶۴	۲۹,۶۳۳	۲۹,۶۶۰	۲۹,۶۴۷	۲۹,۶۴۰	۲۸,۷۸۵	۲۹,۶۴	۲۹,۶۴۱	۲۹,۶۴۹	۲۹,۶۲۴	۲۹,۶۴۱	۲۸,۸۰۵
مرداد	۳۰,۷۴	۳۰,۷۵۲	۳۰,۷۲۷	۳۰,۷۴۷	۳۰,۷۳۳	۲۹,۸۰۶	۳۰,۷۴	۳۰,۷۵۱	۳۰,۷۲۴	۳۰,۷۳۳	۳۰,۷۳۸	۲۹,۸۱۲
شهریور	۲۶,۸	۲۶,۷۹۸	۲۶,۸۰۵	۲۶,۷۸۶	۲۶,۷۸۴	۲۶,۰۸۸	۲۶,۸	۲۶,۷۹۵	۲۶,۷۹۴	۲۶,۷۸۷	۲۶,۷۹۸	۲۶,۰۷۷
مهر	۲۰,۶۷	۲۰,۶۶۵	۲۰,۶۶۲	۲۰,۶۷۰	۲۰,۶۵۷	۲۰,۲۸۲	۲۰,۶۷	۲۰,۶۸۴	۲۰,۶۵۹	۲۰,۶۷۰	۲۰,۶۷۲	۲۰,۲۲۴
آبان	۹,۱۱	۹,۱۱۳	۹,۱۲۵	۹,۱۰۹	۹,۱۱۲	۹,۰۳۲	۹,۱۱	۹,۱۱۱	۹,۱۲۶	۹,۱۱۱	۹,۱۲۰	۹,۰۱۶
آذر	۱,۵۵	۹,۸۳۹	۷,۰۱۱	۲,۷۰۷	۱,۵۴۸	۱,۵۲۹	۱,۵۵	۸,۳۷۰	۷,۶۲۵	۲,۳۶۱	۱,۵۴۰	۱,۵۳۰
دی	۱,۴۳	۱۴,۹۱۳	۱۲,۳۰۵	۱,۹۸۶	۱,۴۴۳	۱,۴۳۳	۱,۴۳	۱۰,۹۷۶	۹,۴۰۳	۷,۴۰۲	۱,۴۴۵	۱,۴۲۹
بهمن	۱,۴۳	۱۴,۱۰۲	۱۲,۷۹۶	۹,۸۷۳	۱,۴۲۴	۱,۴۰۰	۱,۴۳	۱۶,۷۲۷	۱۳,۲۰۹	۲,۹۱۴	۱,۴۱۸	۱,۳۹۴

www.SID.ir

Archive of SID

پاورقی‌ها

۱- Genetic Algorithm (GA)
۲- Malaprabha
۳- Solver Model
۴- Double mass
۵- Run Test
۶- Scale
۷- Shrink

منابع مورد استفاده

1- Adeyemo, J.A. (2011). Reservoir operation using Multi-objective Evolutionary algorithms a review. Asian Journal of scientific Research, 1)4), pp 27-16.

2- Alizadeh , A. (2007). Principles of Applied Hydrology.AstanGhodseRazavi Publication, Edition 23.

3- Asfaw, T.D. and Saiedi, S. (2011). Optimal Short-term cascade reservoir Operation using Genetic Algorithm.Asian Journal of scientific Research, 3)4), pp 305-297.

4- Chang, F.J and Chen, C.L. (2005). Optimization the Reservoir Operation Rule Curves Genetic Algorithm Wiley and Sons Ltd, Hydrological Processes, 11)19), pp 2289-2277.

5- Ebrahinifarsangi, H. (2002). Topological optimization of double layer Grids using genetic algorithm. Ph.D Thesis, University of Surry, England.

6- Esat, V. and Hall, M. J. (1994) Water Resources System Optimization using genetic algorithm. In: Proc. First Int. Conf. on Hydroinformatics (Delft, the Netherlands), pp231-225. Balkema, Rotterdam.

7- Ghadami, S.M., Ghahramani, B., Sharifi, M.B. and Rajabi, H. (2009). Optimization of Multireservoir Water Resources Systems Operation Using Genetic Algorithm, Iran-Water Resources Research Journal, Volume 5, No. 2, pp 15-1.

8- Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, pub. Co.

9- Hakimi-asiabar, M., Ghodsypour, S.H. and Kerachian, R. (2009). Multi-objective Genetic local search algorithm using cohune's neural map. Coputers& industrial Engineering, 4)56), pp -1566 1576.

10- Jalali, M. R. (2005). Optimum design and operation of hydrosystems by ant colony optimization algorithms; A new methaheuristic approach Ph.D. Dissertation, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

11- Karamouz, M., Ahamdi, A. and Fallahi, M. (2006). System Engineering, Amir Kabir Publication.

12- Kumar, D., Raju, K. S., and Ashok.B. (2006). Optimal Reservoir Operation for Irrigation of Multiple Crops Using Genetic Algorithms. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 132, No. 2, pp.129-123.

13- Mathr, Y.P, and Nikam, S.J. (2009). Optimal Reservoir Operation Policies Using Genetic Algorithm, International Journal of Engineering and Technology, Vol.1, No.2, pp. 187-184.

14- Michalewicz, Z. 1992. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. New York: Springer-Verlag.

15- Mohamadpour, O. (1999). Optimization Operation of System multi-objective Dam using Deterministic and Chance Goal Programming Models, MSc Thesiss, ShahidBahonar University, Kerman

16- Saber chenari, K. (2011). Investigation of Particle Swarm Optimization Algorithm in Reservoir Dam Management, Msc Thesis, Urmia University, Urmia, Iran.

17- Samandizadh, M.A., Adib, A. and Ahmadianfar, A. (2011). Optimization Operation of Amirkabir Dam Reservoir Using Genetic Algorithm and Dynamic Programming for Markov chains and Series observations,4th Congress of Water Resources Management Iran, 3-2 May, Amir Kabir University, Tehran.

www.SID.ir