نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۱۰۸-۱۱۰۱

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1101-1108

مقایسه نتایج بکارگیری الگوریتم‌های PSO، GA و SA در بهینه‌سازی سیستم‌های تک‌مخزنه (مطالعه‌موردی: سدشهرچای، ارومیه)

هاله آذرافزا[۱]- حسین رضایی[۲]- جواد بهمنش[۳]*- سینا بشارت[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱

چکیده

با توجه به لزوم استفاده بهینه از منابع آب و وجود روش‌های مختلف بهینه سازی، در این تحقیق سه نوع الگوریتم فراکاوشی از جمله الگوریتم مجموعه ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آنیلینگ به‌منظور استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهرچای به کار گرفته شدند. بهینه سازی مخزن برای آورد ۵ ساله رودخانه شهرچای و با هدف تامین نیاز پایین دست از جمله نیاز شرب، کشاورزی و زیست محیطی انجام گرفت. همچنین به منظور تعیین میزان وابستگی رها سازی به عوامل مختلف از جمله حجم ذخیره و دبی رودخانه، روابط بین متغیرها به‌صورت یک رابطه غیر خطی درجه ۲ درنظر گرفته شد و بر اساس این رابطه پارامترهای مختلف الگوریتم‌های معرفی شده طوری تعیین گردیدند تا مقدار مینیمم تابع هدف را نتیجه دهند. پارامترهای بهینه برای هر کدام از الگوریتم‌ها از طریق ۱۰ بار اجرای برنامه (به دلیل وجود متغیرهای تصادفی در هر یک از الگوریتم ها) به‌دست آمد و مقایسه نتایج منتهی به تعیین بهترین روش برای حل مسئله گردید. طبق نتایج به‌دست آمده، الگوریتم بهینه سازی مجموعه ذرات به‌صورت موثرتری نسبت به سایر روش‌ها در حل مسئله مخزن سد شهرچای عمل نمود و منحنی‌های فرمان رهاسازی و حجم ذخیره برای سد شهرچای با استفاده از این روش استخراج گردید.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌آنیلینگ، الگوریتم‌ژنتیک، الگوریتم‌مجموعه‌ذرات، بهینه‌سازی، منحنی‌فرمان

مقدمه

از آنجایی که ساخت سدها و سایر سازه‌های هیدرولیکی مستلزم صرف هزینه‌های کلان می‌باشد و با توجه به بحران کم آبی موجود، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب یکی از مسائلی است که امروزه بیش از پیش مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است. در میان روش‌های کلاسیک بهینه سازی می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی خطی[۵] (LP)، برنامه‌ریزی غیر خطی[۶] (NLP) و برنامه‌ریزی پویا[۷] (DP) اشاره کرد.

روش‌های کلاسیک که به آنها اشاره شد، عموماً پیچیده بوده و برای دستیابی به جواب مناسب، زمان طولانی راطلب مینمایند. البته این موضوع، به نوع مسأله همواره بستگی شدید دارد. به طوریکه گاهی در مسائل پیچیده حتی از دستیابی به جواب یا جوابهای بهینه باز می‌مانند. اما در طی ۲ دهه اخیر الگوریتم‌های فراکاوشی مختلفی برای حل مسائل بهینه سازی توسعه پیدا کردند. این الگوریتم‌ها با استفاده از فرآیند جستجو، به مجموعه‌ای از جوابهای غیر غالب دست می‌یابند که بهترین حالت مجموعه جواب بوده و یا می‌توان امیدوار بود که بامجموعه جواب اصلی فاصله زیادی نداشته باشد. بسیاری از این الگوریتم‌های فراکاوشی در حل مسائل مخازن نیز به کار گرفته شده‌اند که از جمله آنها می‌توان به الگوریتم مجموعه ذرات[۸] (PSO)، الگوریتم ژنتیک[۹] (GA)، الگوریتم آنیلینگ[۱۰] (SA)، الگوریتم جامعه مورچگان[۱۱] (ACO) اشاره کرد.

الیوریا و لوکاس (۱۹۹۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک روشی را برای بهره‌برداری از سیستم مخازن پیشنهاد کردند و به این نتیجه

۱، ۲، ۳ و ۴ –به ترتیب دانشجوی سابق کارشناس ارشد آبیاری زهکشی و استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: j.behmanesh@urmia.ac.ir Email)

5-Linear Programming
6- Nonlinear Programming
7 -Dynamic Programming

8- Particle Swarm Optimization
9- Genetic Algorithm
10- Simulated Annealing
11- Ant Colony Optimization

Archive of SID
www.SID.ir

رسیدند که این روش بر مشکلاتی کـه روش‌هـای سـنتی دارا بودنـد، غلبه کرده است. دبروین (۱) مدل کنترل فازی را برای بهـره‌بـرداری سیستم مخازن چند منظوره بـه کـار گرفـت. جلالـی (۴) از الگـوریتم جامعه مورچگان برای بهینه سازی سیستم‌های تـک مخزنـه اسـتفاده کردند. حداد (۲) الگوریتم بهینه سـازی زنبـور عـسل را بـرای تعیـین منحنی فرمان مخازن استفاده کردند. معراجی و افشار (۷) با استفاده از این الگوریتم، طراحی و بهره برداری بهینه از سیستم مخزن را با هدف کشاورزی مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به گوناگونی الگوریتم‌های فراکاوشی، در اینتحقیـق سـه نوع الگوریتم فراکاوشـی مختلـف از جملـه الگـوریتم مجموعـه ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آنیلینگ برای استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهرچای بـا هـدف تـامین نیـاز پـایین دسـت (شرب، کشاورزی و زیست محیطی) مورد استفاده قرار گرفته و نتـایج آنها برای تعیین روش بهینه در حل مسائل مخازن با یکدیگر مقایـسه گردیدند.

مواد و روش‌ها

مشخصات سد مخزنی شهرچای

سد مخزنی شهرچای از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی مـی‌باشـد که در طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۵ دقیقه و عـرض جغرافیـایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه واقـع گردیـده اسـت. مشخـصات اصـلی ایـن سـد عبارت‌اند از: ارتفاع از کف ۱۱۶ متر، طول تـاج ۵۵۰ متـر، حجـم کـل مخزن (حجم مفید به علاوه حجم مرده) 220/38 میلیون مترمکعـب، حجم مفید مخـزن ۲۱۱/۳۵ میلیـون مترمکعـب و حجـم مـرده ۹/۰۳ میلیون مترمکعب که بر روی رودخانه شهرچای در اسـتان آذربایجـان غربی واقع شده است.

$$v_{id}^{n+1} = X.\left(w.v_{id}^{n} + c_1 r_1^n (Pbest_{id}^{n} - x_{id}^{n}) + c_2 r_{id}^{n} (Gbest_{d}^{n} - x_{id}^{n})\right) \quad (۱)$$

$$x_{n+1}^{id} = x_{id}^{n} + v_{id}^{n+1} \quad (۲)$$

$$w = w_{max} - \frac{(w_{max} - w_{min}) \times n}{iter_{max}} \quad (۳)$$

که در آن X، فاکتور انقبـاض، w ، وزن اینرسـی، N، تعـداد تکرارهـا، c_1& c_2 ، ضرایب شناختی و اجتماعی و r_1 و r_2 اعداد تصادفی در بازه [0,1] با توزیع یکنواخت می‌باشد. همچنـین w_{max} میـزان اولیـه وزن اینرسـی و w_{min} میـزان نهـایی وزن اینرسـی و $iter_{max}$ حداکثرتعـداد تکرارهاو n نیزشمارهتکرارجاریمی‌باشد.

معراجی و افشار (۷) به این نتیجه رسـیدند کـه از آنجاییکـه هـیچ فرآیندی جهت کنترل سرعت ذرات وجود ندارد، لازم اسـت کـه یـک مقدار حداکثر (V_{max}) برای آن در نظر گرفته شود. اگر سـرعت از ایـن حد فراتر رود، باید برابر V_{max} قرار گیرد. مقدار این پارامتر برای فرآیند بهینه سازی تعیین کننده است، زیرا ممکن است به ازای مقادیر بیشتر از آن، ذرات از روی راه حل‌های مناسب عبور کنند و با مقادیر کم آن، از جستجوی مناسب جلوگیری شود.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک برای اولین بار توسط هلند (۱۹۷۵) استفاده و بـه عنوان ابزار قوی بهینه سـازی توسـعه پیـداکرد. GA یـک الگـوریتم جـستجو برگرفتـه از طبیعـت بیولـوژیکی و فرآینـد انتخـاب طبیعـی می‌باشد. اساس این روش مبتنی بر نظریه داروین که در محیط متغیـر همواره موجوداتی ادامه حیات دارند که از همه پایدارترند، می‌باشد.

این الگوریتم از مجموعه‌ای از جوابهـای تـصادفی اولیـه بـه نـام

الگوریتم‌های فراکاوشی

در ایـن بخـش بـه طـور مختـصر اشـاره ای بـه هـر یـک از الگوریتم‌های فراکاوشی PSO، GA و SA داده شده است.

الگوریتم مجموعه ذرات

الگوریتم مجموعه ذرات اولین بـار توسـط کنـدی و ابراهـارت در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد گردید. این الگوریتم الهام گرفته شده از رفتارهای اجتماعی برخی گروه‌هـای دسـته جمعـی مثـل پرنـدگان و مـاهی‌هـا می‌باشد. اساس این الگوریتم در این است که هرگونه کنش و واکنش در حرکت گروه تاثیر گذاشته و متعاقباً هر یـک از اعـضای مجموعـه، می‌توانند از اکتشافات و مهارت‌های سایر اعضای گروه بهره‌مند گردند. تفاوت اساسی این الگوریتم با سایر الگوریتم‌های بهینه‌سـازی در ایـن است که در این الگوریتم هر ذره علاوه بر داشتن بردار حرکـت دارای یک بردار سرعت نیز می‌باشد که اعضای مجموعه را به تغییر موقعیت در فضای جستجو وادار می‌کند. این بردار سرعت خود برایند دو بـردار به نامهای P_{best} و G_{best} می‌باشد. P_{best} بهترین موقعیتی است که یک ذره تا کنون به آن رسیده و G_{best} بهترین موقعیتی است کـه بهتـرین ذره در همسایگی آن ذره تا کنون به آن رسیده است. در این الگوریتم هر کدام از اعضای مجموعه در هر تکرار یک راه حل را ارائه می‌دهد. در جستجوی یک فضای D بعدی، مکان iامـین ذره بـه وسـیله یـک بردار D بعدی موقعیت به نام $X_i=(x_{i1},x_{i2},\ldots,x_{iD})$ و سرعت هـر ذره به وسیله یک بردار D بعدی سرعت به نام$V_i=(v_{i1},v_{i2},\ldots,v_{iD})$ نشان داده می‌شود. درنهایت جمعیت، بااسـتفاده از روابـط زیـر و بـه‌صـورت هدفمند به سمت نقطه بهینه حرکت می‌کند (شی و ابراهارت 1998 و 1999).

Archive of SID

www.SID.ir

جمعیت[1] آغاز می‌گردد. هر جمعیت از مجموعه کروموزومها[2] که هر کدام یک جواب مسأله هستند، تشکیل می‌شود و هر کروموزوم مجموعه‌ای از ژنها[3] و در واقع متغیرهای تصمیم مسأله می‌باشد.

اندازه جمعیت بر عملکرد GA تأثیر می‌گذارد. اگر تعداد جمعیت خیلی کم باشد، به دلیل عدم جستجوی تمام فضای جواب، ممکن است الگوریتم به جواب مطلوب همگرا نگردد و اگر تعداد آن زیاد باشد، گر چه فضای بیشتری جستجو می‌شود ولی سرعت همگرایی به سمت جواب بهینه کند خواهد بود.

در الگوریتم ژنتیک دو نوع عملگر موجود است: عملگرهای تکاملی مانند انتخاب[4] و عملگرهای ژنتیک مانند جابجایی[5] و جهش[6]. فرآیند انتخاب بر مبنای میزان شایستگی توابع هدف متناظر با هر کروموزوم در هر نسل[7] می‌باشد و معیار انتخاب کروموزوم‌ها بر اساس شایستگی آنهاست. جهت ایجاد نسل بعدی که فرزندان نامیده می‌شوند، می‌توان از دو روش استفاده کرد: ترکیب دوکروموزوم، با استفاده از عملگر جابجایی و اصلاح برخی کروموزومها با استفاده از عملگر جهش ژنی، در نهایت تولید نسل‌ها آنقدر ادامه می‌یابد تا اینکه معیار توقف ارضا شده و مقدار تابع هدف کمینه شود.

الگوریتم آنیلینگ

روش شبیه سازی آنیلینگ که برای اولین بار توسط کرک پاتریک و همکاران (۱۹۸۲) ارائه شد، یکی از روش های جستجوی تصادفی در بهینه سازی میباشد. اساس این الگوریتم بر اساس شبیه‌سازی فرآیند نورد می‌باشد. هرگاه ماده ای را در محفظه گرمایش، جهت رسیدن به پایین‌ترین سطح انرژی ممکن و یا کمترین حرارت سرد کنند، فرآیند نورد صورت گرفته است. در هر دمایی امکان تغییر انرژی کل ماده با تغییر مکانهای کوچک وجود دارد که به این فرآیند آشفتگی[8] گویند. در هر دمایی ممکن است چندین فرآیند آشفتگی صورت گرفته و در هر کدام از نتایج، میزان انرژی باقیمانده ماده متفاوت باشد، اما پس از چند تکرار از این فرآیند، میزان تغییرات انرژی کل ماده بسیار اندک می‌گردد. در این حالت ماده به تعادل گرمایی رسیده است، یعنی دریک دمای ثابت به پایین‌ترین تراز ممکن انرژی خود رسیده است.

در واقع با کاهش دما و ایجاد آشفتگی مجدد در دمای جدید، ماده به حالت تعادل گرمایی[9] خود می‌رسد و در نهایت فرآیند نورد با رسیدن به پایین‌ترین دمای ممکن به پایان می‌رسد.

بهره‌برداری از سدها

در بهره‌برداری مخزن جهت تأمین آب، آب یا می‌تواند برای مصارف سودمند رهاسازی شود یا جهت استفاده‌های آینده در مخزن باقی بماند. انتخاب نا آزموده این دو گزینه در هنگام وقوع جریانهای نامعلوم، منافع اقتصادی نامناسبی را ارائه می‌دهد. در این مطالعه تابع هدف به‌صورت مجموع مجذور تفاضل از نیاز در هر دوره می‌باشد که رابطه تابع هدف و قیدهای آن در ذیل آورده شده است.

$$\mathrm{Min(f)}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{R_t-D_t}{D_{max}}\right)^2 \quad (۴)$$

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad (۵)$$

$$S_{min} \le S_t \le S_{max} \quad (۶)$$

$$S_1 = S_{min} \quad (۷)$$

که درآن R_t میزان رهاسازی ماهانه، D_t میزان نیاز در هر ماه، D_{max} حداکثر نیاز ماهانه، I_t میزان ورودی به مخزن و S_t و S_{t+1} میزان حجم ذخیره مخزن در ابتدا و انتهای دوره می‌باشد. برای تحلیل سیستم مخازن از طریق الگوریتم‌های ذکر گردیده (PSO، GA و SA) از داده‌های ماهیانه جریان رودخانه شهرچای استفاده شده است که شامل ۴۵ سال آماری (از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۰) می‌باشد. برای تولید داده‌های مصنوعی جریان از مدلهای سری زمانی استفاده شده است.از بین مدلهای مختلف سری زمانی، مدل خودهمبستگی[10] (AR) به دلیل کاربرد بیشتر در هیدرولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین با استفاده از مدل AR پنج سال داده مصنوعی برای جریان رودخانه تولید گردیده که برای استخراج منحنی‌های فرمان مخزن سد شهرچای به کار گرفته شدند.

به‌منظور تعیین میزان وابستگی رهاسازی به عوامل مختلف از جمله حجم ذخیره و آورد رودخانه، روابط بین متغیرها به‌صورت غیر خطی درجه 2 درنظرگرفته شده که به شرح زیر می‌باشد:

$$R_{t+1} = f(S_t, I_t) = a_t S_t^2 + b_t I_t^2 + c_t S_t + d_t I_t + e_t \quad (۸)$$

که در آن f رابطه غیر خطی درجه 2 ، I_t مقدار جریان ورودی، R_{t+1} میزان رهاسازی از مخزن دردوره t و S مقدارحجم ذخیره مخزن در هر دوره می‌باشد. همچنین ضرایب g,f,e,d,c,b,a پارامترهای قوانین بهره‌برداری می‌باشند. بنابراین ۶۰ متغیر تصمیم (۵ متغیر در هر ماه) وجود دارند که باید برای کمینه کردن تابع هدف توسط الگوریتم‌های ذکر گردیده محاسبه گردند.

برنامه الگوریتم PSO بر اساس روابط ذکر گردیده در نرم افزار

1-population
2-Chromosome
3 -Genes
4-Selection
5-Crossover
6 -Mutation
7-Generation
8-Perturbation
9 -Thermal equilibrium
10 -Auto Regressive

Archive of SID

www.SID.ir

برنامه نویسی MATLAB نوشته شد و پارامترهای مختلف برنامه برای دستیابی به جواب بهینه از طریق سعی و خطا به‌دست آمدند که این پارامترها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- پارامترهای الگوریتم PSO در سیستم‌های تک مخزنه

تعداد تکرار	تعداد ذرات	C_1	C_2	W_{max}	W_{min}	χ
۵۰۰۰	۳۰	۲۰	۱۰	۲	۲	۰/۹	۰/۴	۱

همچنین برای انتخاب پارامترهای مختلف الگوریتم ژنتیک از قبیل اندازه جمعیت، احتمال انتخاب، جابجایی، جهش و غیره و پارامترهای مختلف الگوریتم آنیلینگ از قبیل تابع آنیلینگ، تابع بهنگام سازی دما و غیره گزینه‌های مختلفی در جعبه ابزار نرم افزار برنامه نویسی MATLAB وجود دارند که انتخاب صحیح هر یک از این پارامترها در نحوه حل مسئله و نیز سرعت اجرای برنامه به طرز چشمگیری تاثیرگذار است. مقادیر بهینه این پارامترها از طریق آزمون سعی و خطا حاصل شده‌اند که به ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه گردیده اند.

نتایج

در این بخش نتایج بهینه سازی برای هر یک از الگوریتم‌های ذکر شده آورده شده که بهترین جواب هر الگوریتم از طریق ۱۰ بار اجرای برنامه به‌دست آمده است.

نتایج الگوریتمPSO

مقادیر تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه توسط الگوریتم PSO در جدول۴ ارائه گردیده است.

همانگونه که از جدول فوق مشخص می‌باشد کمترین مقدار برای تابع هدف۱۹/۴۶ محاسبه گردیده است که این مقدار با استفاده از ۲۰ ذره به‌دست آمده است. همچنین پارامترهای آماری بهترین جواب مسئله و نیز منحنی تغییرات تابع هدف برای بدترین، متوسط و بهترین اجرا به ترتیب در جدول ۵ و شکل ۱ ارائه گردیده است.

نتایج GA

مقادیر تابع هدف برای پارامترهای مختلف الگوریتم ژنتیک در ۱۰ بار اجرای برنامه در جدول ۶ آورده شده است.

طبق نتایج به‌دست آمده کمترین مقدار برای تابع هدف ۲۴/۲۲ به‌دست آمده است که این مقدار برای ۵۰۰۰ نسل و جابجایی دو نقطه ای محاسبه گردیده است. پارامترهای آماری بهترین حل و همچنین منحنی تغییرات بدترین، متوسط و بهترین اجرا به ترتیب در جدول ۷ و شکل ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

تعداد نسلهای ایجاد شده	تابع جابجایی	نوع انتخاب	تابع تولید نسل	اندازه جمعیت	نوع جمعیت
۵۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰ تک نقطه‌دو نقطه	چرخ رولت	یکنواخت	۵۰	بردار دوتایی

جدول ۳- پارامترهای الگوریتم آنیلینگ

تابع بهنگام سازی دما	تابع سرد کردن (آنیلینگ)	تعداد تکرار
خطی لگاریتمی	نمایی سرد کردن به روش بولتزمن‌سرد کردن سریع	۵۰۰۰

جدول ٤- مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم PSO

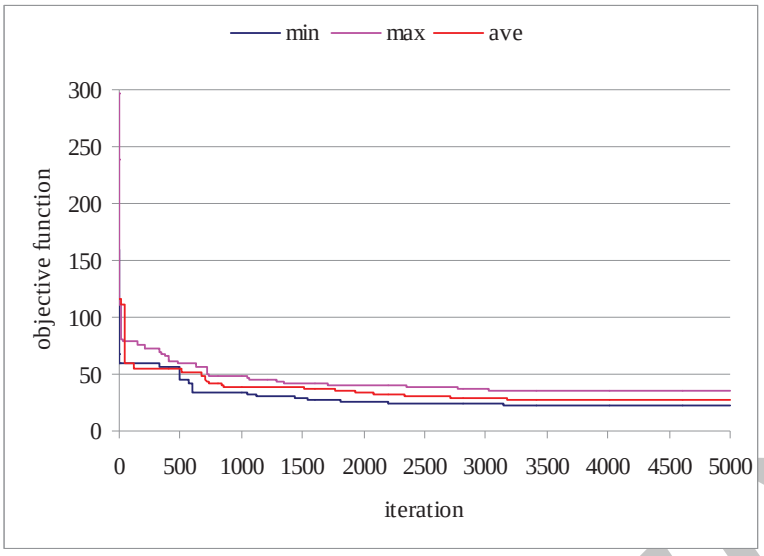
تعداد ذرات	تعداد اجرا									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
۱۰	۲۳/۹۳	۲۵/۷	۲۳/۲	۲۸/۹۸	۲۲/۶۸	۲۱/۴۶	۲۳/۲۴	۲۴/۰۴	۲۳/۴۸	۲۴/۷۲
۲۰	۲۰/۹۳	۲۲/۷	۲۰/۲	۲۵/۹۸	۱۹/۶۸	۱۹/۴۶	۲۰/۲۴	۲۲/۰۴	۲۰/۴۸	۲۱/۷۲
۳۰	۲۵/۲۸	۲۷/۰۵	۲۳/۵۵	۳۰/۳۳	۲۴/۰۳	۲۳/۸۱	۲۴/۵۹	۲۶/۳۹	۲۲/۸۳	۲۶/۰۷

جدول ۵- پارامترهای آماری تابع هدف

پارامتر	کمینه بیشینه	متوسط	انحراف معیار	ضریب تغییرات
مقدار تابع هدف	۲۵/۹۸ ۱۹/۴۶	۲۱/۳۴	۱/۹۳	۰/۰۹۱

Archive of SID

www.SID.ir



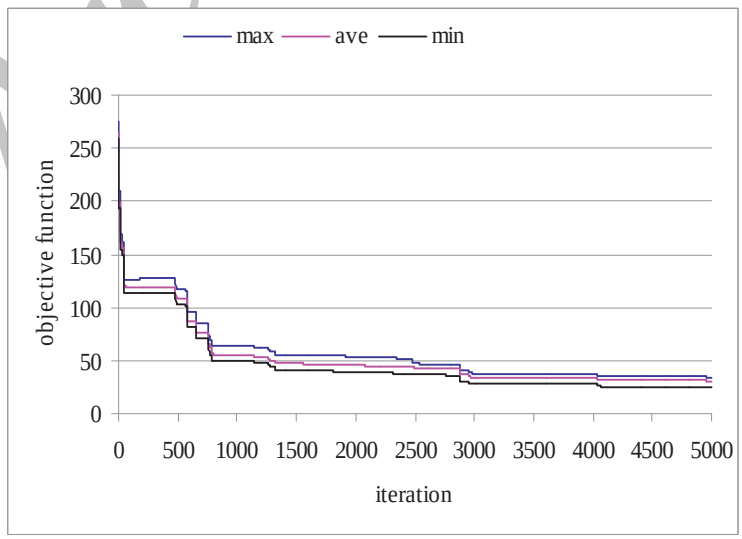
شکل ۱- تغییرات تابع هدف در بدترین، متوسط و بهترین اجرا در روش PSO

جدول ٦- مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم ژنتیک

تعداد نسل	تابع جابجایی	تعداد اجرا									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
۱۰۰	تک نقطه	۳۱/۶۸	۳۷/۲۶	۴۳/۸	۴۱/۲۵	۳۹/۱۸	۳۹/۳۵	۴۸/۲۲	۳۶/۹۵	۴۱/۳۱	۳۱/۶۶
	دو نقطه	۴۲/۹۳	۳۵/۹۴	۳۷/۲۸	۳۳/۳۱	۳۵/۱۵	۴۲/۸۶	۳۹/۳۴	۳۳/۱۱	۲۷/۱۲	۳۱/۴۶
۱۰۰۰	تک نقطه	۴۰/۰۲	۴۴/۲۷	۳۲/۰۲	۴۱/۷۶	۵۶/۳	۳۶/۷۲	۴۳/۹۵	۴۳/۲۷	۵۱/۶۸	۴۵/۲
	دو نقطه	۳۷/۵۵	۳۶/۵۹	۳۵/۱۱	۴۷/۷۵	۵۲/۴۴	۴۱/۲۶	۳۴/۵۶	۴۲/۱۳	۴۹/۴۶	۳۱/۲۲
۵۰۰۰	تک نقطه	۳۹/۵۵	۳۸/۵۹	۳۷/۱۱	۴۹/۷۵	۴۷/۴۴	۳۶/۲۶	۲۹/۵۶	۳۷/۱۳	۴۴/۴۶	۲۶/۲۲
	دو نقطه	۳۷/۵۵	۴۲/۵۹	۴۰/۱۱	۴۷/۷۵	۴۵/۴۴	۳۴/۲۶	۲۴/۲۲	۳۹/۱۳	۴۳/۴۶	۲۷/۵۶

جدول ۷- پارامترهای آماری تابع هدف

پارامتر	بیشینه	کمینه	متوسط	انحراف معیار	ضریب تغییرات
تابع هدف	۴۷/۷۵	۲۴/۲۲	۳۸/۲۱	۷/۶۰	۰/۲۰



شکل ۲- تغییرات تابع هدف در بدترین، متوسط و بهترین اجرا در روش GA

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸- مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم آنیلینگ

تابع بهنگام سازی دما	تابع آنیلینگ	تعداد اجرا 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
نمایی	سریع	۲۷/۴۲	۳۹/۲	۲۸/۳	۳۵/۳۷	۳۰/۶	۴۶/۴۶	۳۷/۶۵	۲۹/۳	۲۶/۵۴	۴۱/۳۳
	بولتزمن	۲۹/۱۲	۳۳/۳۱	۳۵/۱۵	۳۵/۹۲	۲۸/۱۲	۵۶/۸۳	۴۲/۳۴	۴۱/۷۶	۳۱/۳۳	۳۱/۵۶
لگاریتمی	سریع	۳۸/۱۲	۴۲/۳۱	۴۴/۱۵	۴۴/۹۲	۳۷/۱۲	۶۵/۸۳	۵۱/۳۴	۵۰/۷۶	۴۰/۳۳	۴۰/۵۶
	بولتزمن	۳۵/۱۲	۳۹/۳۱	۴۱/۱۵	۴۸/۹۲	۴۱/۱۲	۶۹/۸۳	۵۵/۳۴	۴۸/۷۶	۳۸/۳۳	۳۸/۵۶
خطی	سریع	۳۵/۱۲	۳۹/۳۱	۴۱/۱۵	۴۸/۹۲	۴۱/۱۲	۶۹/۸۳	۵۵/۳۴	۴۸/۷۶	۳۸/۳۳	۳۸/۵۶
	بولتزمن	۳۱/۴۷	۳۵/۶۶	۳۷/۵	۳۸/۲۷	۳۰/۴۸	۴۸/۸۳	۳۴/۳۴	۳۳/۷۶	۳۴/۳۳	۳۴/۵۶

نتایج SA

نتایج تابع هدف برای پارامترهای مختلف الگوریتم SA در ۱۰ بار اجرای برنامه در جدول ۸ ارائه گردیده است.

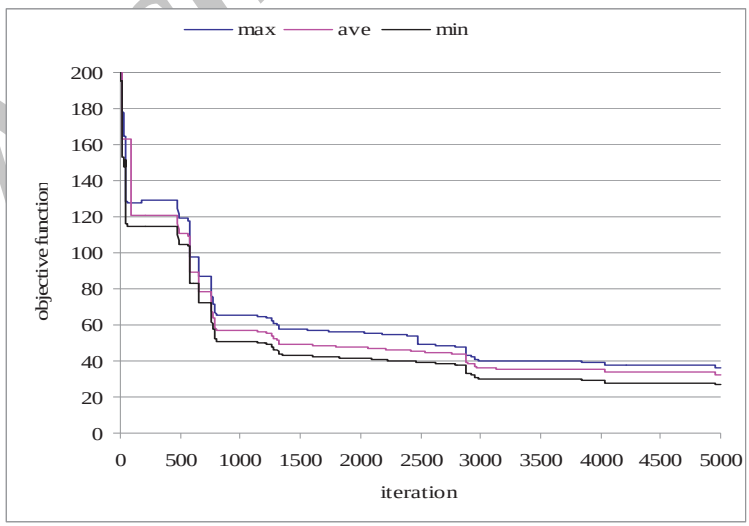
طبق نتایج به‌دست آمده کمترین مقدار برای تابع هدف ۲۶/۵۴ محاسبه گردیده که این مقدار برای ۵۰۰۰ تکرار، تابع نمایی بهنگام سازی دما و همچنین تابع آنیلینگ سریع به‌دست آمده است. پارامترهای آماری مربوطه و نیز منحنی تغییرات بدترین، متوسط و بهترین اجرا به ترتیب در جدول ۹ و شکل ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۹-پارامترهای آماری تابع هدف

پارامتر	بیشینه	کمینه	متوسط	انحراف معیار	ضریب تغییرات
تابع هدف	۴۶/۴۶	۲۶/۵۴	۳۴/۲۲	۶/۸۰	۰/۲۰

نتیجه‌گیری

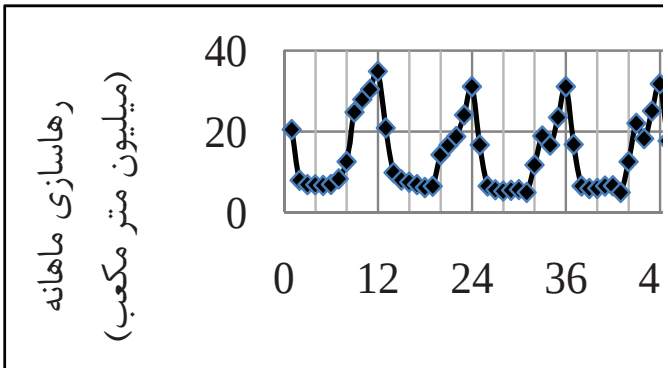
الگوریتم‌های فراکاوشی که بیشتر در طی دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند، در بهینه سازی سیستم مخازن نیز استفاده شده انـد. در این مقاله ۳ نوع الگوریتم فراکاوشی مختلف مورد بحث قـرار گرفتـه و برای استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهرچای به کار گرفته شده اند. نتایج به‌دست آمده از طریق ۱۰ بار اجـرای برنامـه در نرم افزار برنامه نویسی MATLAB ، نشان می‌دهد کـه کمتـرین مقدار برای تابع هدف توسط الگوریتم PSO محاسبه گردیده است که این مسئله نشان از کارامدی این الگوریتم در حل مسائل مخازن دارد. بنابراین با استفاده از یک رابطه غیر خطی درجه ۲ بین متغیرها، و نیز انتخاب بهترین الگوریتم، مقادیر رهاسازی مخزن و نیز حجـم ذخیـره در ماه‌های مختلف برای ۵ سال آماری استخراج شدند که نمودار آنهـا در شکل‌های شماره (۴) و (۵) ارائه گردیده است.



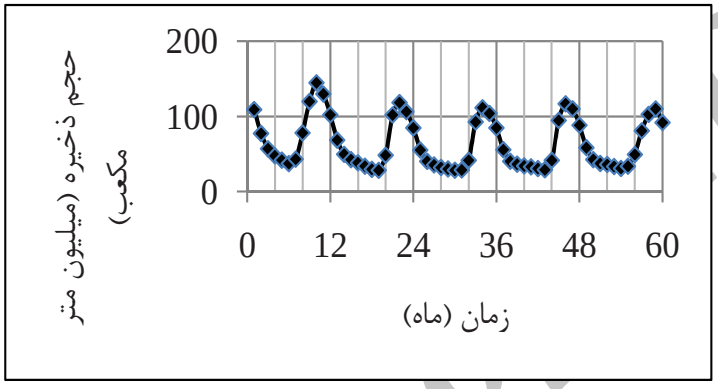
شکل ۳- تغییرات تابع هدف در بدترین، متوسط و بهترین اجرا در روش SA

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤- مقادیر رهاسازی ماهانه



شکل ٥- حجم زخیره برای ماه‌های مختلف

منابع

1- Dubrovin T., Jolma A. and Turunen E. 2002, Fuzzy model for real time reservoiroperation. Water Resources Planning and Management 128(1): 66-73.
2- Haddad B .2005. HBMO (Honey Bees Mating Optimization) Algorithm for Hydro system Optimization.Ph.D. thesis, Iran University of Science & Technology.
3- Holland J. H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: University of Michigan Press.
4- Jalali M.R. 2005. Optimum Design and Operation of Hydro system by Ant Colony Optimization Algorithms; A New meta heuristic Approach, Ph.D. thesis, Iran University of Science & Technology.
5- Kennedy J., and Eberhart R. 1995. Particle Swarm Optimization. Proceeding of the international conference on neural networks, Pert Australia, IEEE, Piscataway 1995,pp.1942 1948
6- Kirkpatrick S., Gelatt C.D., and Vecchi M.P. 1982. Optimization by Simulated Annealing. Science,Vol.220, 671-680.
7- Meraji S. H., and Afshar M. H. 2006.“ Reservoir operation byparticle swarm optimization algorithm.” 7th International conference of civil engineering(Icce7th), Tehram, Iran.
8- Oliveria R., and loucks D.P. 1997. Operating rules for multi reservoir systems. J. water resource. 33(4):839-852
9- Shi Y., and Eberhart R. 1998 Parameter selection in particle Swarm Optimization. In: Porto VW, SaravananN,Waagen D and Eiben AE (eds) Evolutionary Programming VII. pp:611-616.
10- Shi Y., and Eberhart R. 1999. Empirical study of Particle Swarm Optimization. Proceeding IEEE International Congress Evolutionary Computation, Washington, DC., USA. pp:1945-50.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1101-1108

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۱۰۸-۱۱۰۱

Results Comparison of Employing PSO, GA and SA Algorithms in Optimizing Reservoir Operation (Case Study: Shaharchai Dam, Urmia, Iran)

H. Azarafza[1] - H. Rezaei[2] - J. Behmanesh[3]*- S. Besharat[4]

Received: 27-08-2011
Accepted: 22-07-2012

Abstract

With respect to necessity of the optimum use of water resources and existence of many various optimization methods, in this study 3 kinds of heuristic algorithms have been used including Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm and Simulated Annealing to optimize the operation of Shaharchai dam reservoir as an application. The optimization was carried out considering the probability of inflow for a period of 5 years. In order to obtain the best operation of reservoir, monthly release was defined as a second order polynomial according to storage volume and inflow, and different parameters of these algorithms have beenadjusted to minimize the objective function in which supplying the required demand of downstream was defined as the target. The best state of each algorithm is selected through 10 times running of programs (due to intrinsic random behavior of algorithms) and the results comparison leads to realization of which method can perform the best. According to the results, Particle Swarm Optimization method operates more effectively and produces the best results in solving reservoir operation problems. So as an application, control curves of release and storage volume have been extracted for Shaharchai dam reservoir using this method.

Keywords: Genetic Algorithm, Optimization, Particle Swarm Optimization, Rule curve, Simulated Annealing

Archive of SID

1,2,3,4- Msc Student and Assistant Professors, Department of Water Eng, Urmia University, Iran, respectively
(*-Corresponding Author Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir)

www.SID.ir