

## مقایسه نتایج بکارگیری الگوریتم‌های PSO، GA و SA در بهینه‌سازی سیستم‌های تک‌مخزنه (مطالعه موردی: سد شهرچای، ارومیه)

هاله آذرافزا<sup>۱</sup> - حسین رضایی<sup>۲</sup> - جواد بهمنش<sup>۳\*</sup> - سینا بشارت<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱

### چکیده

با توجه به لزوم استفاده بهینه از منابع آب و وجود روش‌های مختلف بهینه‌سازی، در این تحقیق سه نوع الگوریتم فراکاوشی از جمله الگوریتم مجموعه ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آنیلینگ به منظور استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهرچای به کار گرفته شدند. بهینه‌سازی 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 به صورت یک رابطه غیر خطی درجه ۲ در نظر 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 الگوریتم‌ها) به دست آمد و مقایسه نتایج منتهی به تعیین بهترین روش برای حل مسئله گردید. طبق نتایج به دست آمده، الگوریتم بهینه‌سازی مجموعه ذرات به صورت موثرتری نسبت به سایر روش‌ها در حل مسئله مخزن سد شهرچای عمل نمود و منحنی‌های فرمان رها سازی و حجم ذخیره برای سد شهرچای با استفاده از این روش استخراج گردید.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم آنیلینگ، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مجموعه ذرات، بهینه‌سازی، منحنی فرمان

### مقدمه

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 بهینه‌سازی 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 با مجموعه 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<sup>۸</sup> (PSO)، الگوریتم ژنتیک<sup>۹</sup> (GA)، الگوریتم آنیلینگ<sup>۱۰</sup> (SA)، الگوریتم جامعه مورچگان<sup>۱۱</sup> (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

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 بهینه‌سازی می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی خطی<sup>۵</sup> (LP)، برنامه‌ریزی غیر خطی<sup>۶</sup> (NLP) و برنامه‌ریزی پویا<sup>۷</sup> (DP) اشاره کرد.

روش‌های کلاسیک که به آنها اشاره شد، عموماً پیچیده بوده و برای دستیابی به جواب مناسب، زمان طولانی را طلب مینمایند. البته

۱، ۲، ۳ - به ترتیب دانشجوی سابق کارشناس ارشد آبیاری زهکشی و استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

(\* - نویسنده مسئول: j.behmanesh@urmia.ac.ir)

8- Particle Swarm Optimization

9- Genetic Algorithm

10- Simulated Annealing

11- Ant Colony Optimization

5-Linear Programming

6- Nonlinear Programming

7 -Dynamic Programming

### الگوریتم‌های فراکاوشی

در این بخش به طور مختصر اشاره ای به هر یک از الگوریتم‌های فراکاوشی GA، PSO و SA داده شده است.

### الگوریتم مجموعه ذرات

الگوریتم مجموعه ذرات اولین بار توسط کندی و ابراهارت در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد گردید. این الگوریتم الهام گرفته شده از رفتارهای اجتماعی برخی گروه‌های دسته جمعی مثل پرندگان و ماهی‌ها می‌باشد. اساس این الگوریتم در این است که هرگونه کنش و واکنش در حرکت گروه تاثیر گذاشته و متعاقباً هر یک از اعضای مجموعه، می‌توانند از اکتشافات و مهارت‌های سایر اعضای گروه بهره‌مند گردند. تفاوت اساسی این الگوریتم با سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی در این است که در این الگوریتم هر ذره علاوه بر داشتن بردار حرکت دارای یک بردار سرعت نیز می‌باشد که اعضای مجموعه را به تغییر موقعیت در فضای جستجو وادار می‌کند. این بردار سرعت خود برآیند دو بردار 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 که بهترین 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 آامین ذره به وسیله یک بردار  $D$  بعدی موقعیت به نام  $X_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$  و سرعت هر ذره به وسیله یک بردار  $D$  بعدی سرعت به نام  $V_i=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$  نشان داده می‌شود. در نهایت جمعیت، با استفاده از روابط زیر و به صورت هدمند به سمت نقطه بهینه حرکت می‌کند (شی و ابراهارت 1998 و 1999).

$$v_{id}^{n+1} = X. (w.v_{id}^n + c_1 r_1^n (Pbest_{id}^n - x_{id}^n) + c_2 r_2^n (Gbest_{id}^n - x_{id}^n)) \quad (1)$$

بهینه‌سازی 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 به عنوان ابزار قوی بهینه‌سازی توسعه پیدا کرد. GA یک الگوریتم جستجو برگرفته از طبیعت بیولوژیکی و فرآیند انتخاب طبیعی می‌باشد. اساس این روش مبتنی بر نظریه داروین که در محیط متغیر همواره موجوداتی ادامه حیات دارند که از همه پایدارترند، می‌باشد. این الگوریتم از مجموعه‌ای از جوابهای تصادفی اولیه به نام

رسیدند که این روش بر مشکلاتی که روش‌های سنتی دارا بودند، غلبه کرده است. دبروین (۱) مدل کنترل فازی را برای بهره‌برداری سیستم مخازن چند منظوره به کار گرفت. جلالی (۴) از الگوریتم جامعه مورچگان برای بهینه‌سازی سیستم‌های تک مخزنه استفاده کردند. حداد (۲) الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل را برای تعیین منحنی فرمان مخازن استفاده کردند. معراجی و افشار (۷) با استفاده از این الگوریتم، طراحی و بهره‌برداری بهینه از سیستم مخزن را با هدف کشاورزی مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به گوناگونی الگوریتم‌های فراکاوشی، در این تحقیق سه نوع الگوریتم فراکاوشی مختلف از جمله الگوریتم مجموعه ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم آنیلینگ برای استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهرچای با هدف تامین نیاز پایین دست (شرب، کشاورزی و زیست محیطی) مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آنها برای تعیین روش بهینه در حل مسائل مخازن با یکدیگر مقایسه گردیدند.

### مواد و روش‌ها

#### مشخصات سد مخزنی شهرچای

سد مخزنی شهرچای از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد که در طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه واقع گردیده است. مشخصات اصلی این سد عبارت‌اند از: ارتفاع از کف ۱۱۶ متر، طول تاج ۵۵۰ متر، حجم کل مخزن (حجم مفید به علاوه حجم مرده) 220/38 میلیون مترمکعب، حجم مفید مخزن ۲۱۱/۳۵ میلیون مترمکعب و حجم مرده ۹/۰۳ میلیون مترمکعب که بر روی رودخانه شهرچای در استان آذربایجان غربی واقع شده است.

$$x_{id}^{n+1} = x_{id}^n + v_{id}^{n+1} \quad (2)$$

$$W = W_{max} - \frac{(W_{max} - W_{min}) \times n}{iter_{max}} \quad (3)$$

که در آن  $X$ ، فاکتور انقباض،  $w$ ، وزن اینرسی،  $N$ ، تعداد تکرارها،  $c_1$  و  $c_2$ ، ضرایب شناختی و اجتماعی و  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی در بازه  $[0,1]$  با توزیع یکنواخت می‌باشد. همچنین  $W_{max}$  میزان اولیه وزن اینرسی و  $W_{min}$  میزان نهایی وزن اینرسی و  $iter_{max}$  حداکثر تعداد تکرارها و  $n$  نیز شماره تکرار جاری می‌باشد.

معراجی و افشار (۷) به این نتیجه رسیدند که از آنجاییکه هیچ فرآیندی جهت کنترل سرعت ذرات وجود ندارد، لازم است که یک مقدار حداکثر ( $V_{max}$ ) برای آن در نظر گرفته شود. اگر سرعت از این حد فراتر رود، باید برابر  $V_{max}$  قرار گیرد. مقدار این پارامتر برای فرآیند

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 به صورت مجموع مجذور تفاضل از نیاز در هر دوره می‌باشد که رابطه تابع هدف و قیده‌های آن در ذیل آورده شده است.

$$\text{Min}(f) \sum_{t=1}^T \left( \frac{R_t - D_t}{D_{\max}} \right)^2 \quad (4)$$

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad (5)$$

$$S_{\min} \leq S_t \leq S_{\max} \quad (6)$$

$$S_1 = S_{\min} \quad (7)$$

که در آن  $R_t$  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 (GA، PSO) 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<sup>۱۰</sup> (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.

به منظور تعیین میزان وابستگی رهاسازی به عوامل مختلف از جمله حجم ذخیره و آورد رودخانه، روابط بین متغیرها به صورت غیر خطی درجه 2 در نظر گرفته شده که به شرح زیر می‌باشد:

$$R_{t+1} = f(S_t, I_t) = a_t S_t^2 + b_t I_t^2 + c_t S_t + d_t I_t + e_t \quad (8)$$

که در آن  $f$  رابطه غیر خطی درجه 2،  $I_t$  مقدار جریان ورودی،  $R_{t+1}$  میزان رهاسازی از مخزن در دوره  $t$  و  $S$  مقدار حجم ذخیره مخزن در هر دوره می‌باشد. همچنین ضرایب  $a, b, c, d, e$  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

جمعیت<sup>۱</sup> آغاز می‌گردد. هر جمعیت از مجموعه کروموزومها<sup>۲</sup> که هر کدام یک جواب مسأله هستند، تشکیل می‌شود و هر کروموزوم مجموعه‌ای از ژنها<sup>۳</sup> 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<sup>۴</sup> و عملگرهای ژنتیک مانند جابجایی<sup>۵</sup> و جهش<sup>۶</sup>. فرآیند انتخاب بر مبنای میزان شایستگی توابع هدف متناظر با هر کروموزوم در هر نسل<sup>۷</sup> می‌باشد و معیار انتخاب کروموزوم‌ها بر اساس شایستگی آنهاست. جهت ایجاد نسل بعدی که فرزندان نامیده می‌شوند، می‌توان از دو روش استفاده کرد: ترکیب دو کروموزوم، 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 روش‌های 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 آشفستگی<sup>۸</sup> گویند. در هر دمایی ممکن است چندین فرآیند آشفستگی 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 آشفستگی مجدد در دمای جدید، ماده به حالت تعادل گرمایی<sup>۹</sup> خود می‌رسد و در نهایت فرآیند نورد با

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

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

اجرای برنامه به دست آمده است.

### نتایج الگوریتم PSO

مقادیر تابع هدف برای ۱۰ بار اجرای برنامه توسط الگوریتم PSO در جدول ۴ ارائه گردیده است.

همانگونه که از جدول فوق مشخص می‌باشد کمترین مقدار برای تابع هدف ۱۹/۴۶ محاسبه گردیده است که این مقدار با استفاده از ۲۰ ذره به دست 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 به دست آمده کمترین مقدار برای تابع هدف ۲۴/۲۲ به دست 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 ۱- پارامترهای الگوریتم PSO در سیستم‌های تک مخزنه

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

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

### جدول ۲- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

تعداد نسلهای ایجاد شده	تابع تولید نسل	اندازه جمعیت	نوع جمعیت
۵۰۰۰	۱۰۰	۵۰	نوع جمعیت بردار دوتایی

### جدول ۳- پارامترهای الگوریتم آنیلینگ

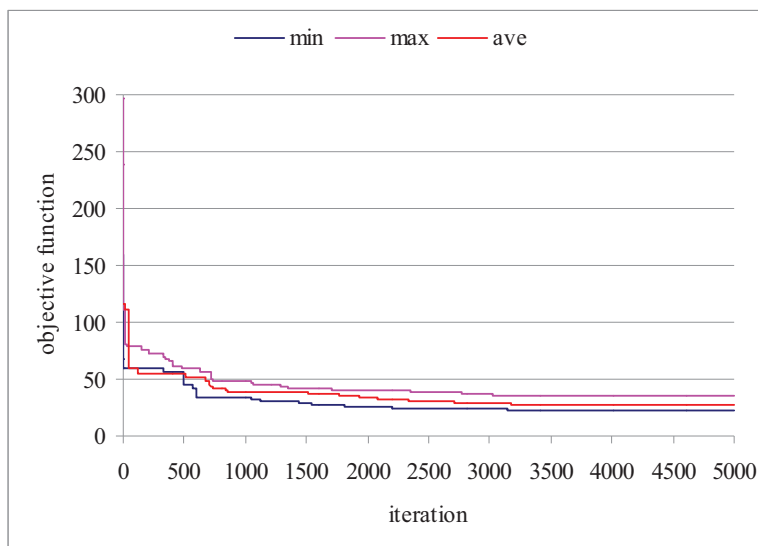
تابع بهنگام سازی دما	تابع سرد کردن (آنیلینگ)	تعداد تکرار
خطی لگاریتمی	نمایی سرد کردن به روش بولتزمن سرد کردن سریع	۵۰۰۰

### جدول ۴- 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

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



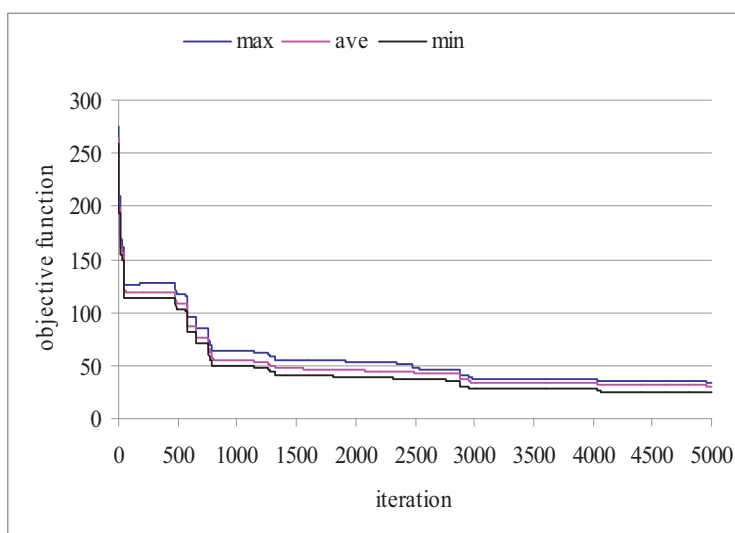
شکل ۱- تغییرات تابع هدف در بدترین، متوسط و بهترین اجرا در روش PSO

جدول ۶- مقادیر تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه برای الگوریتم ژنتیک

تعداد نسل	تابع جایابی	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

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



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

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

تابع بهنگام سازی	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
	بولتنزمن	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
	بولتنزمن	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
	بولتنزمن	۳۱/۴۷	۳۵/۶۶	۳۷/۵	۳۸/۲۷	۳۰/۴۸	۴۸/۸۳	۳۴/۳۴	۳۳/۷۶	۳۴/۳۳	۳۴/۵۶

قرار گرفته‌اند، در بهینه سازی سیستم مخازن نیز استفاده شده اند. در این مقاله ۳ نوع الگوریتم فراکاوشی مختلف مورد بحث قرار گرفته و برای استخراج منحنی‌های فرمان بهره‌برداری مخزن سد شهرچای به کار گرفته شده اند. نتایج به‌دست آمده از طریق ۱۰ بار اجرای برنامه در نرم افزار برنامه نویسی MATLAB، نشان می‌دهد که کمترین مقدار برای تابع هدف توسط الگوریتم PSO محاسبه گردیده است که این مسئله نشان از کارآمدی 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 حجم ذخیره در ماه‌های مختلف برای ۵ سال آماری استخراج شدند که نمودار آنها در شکل‌های شماره (۴) و (۵) ارائه گردیده است.

### نتایج SA

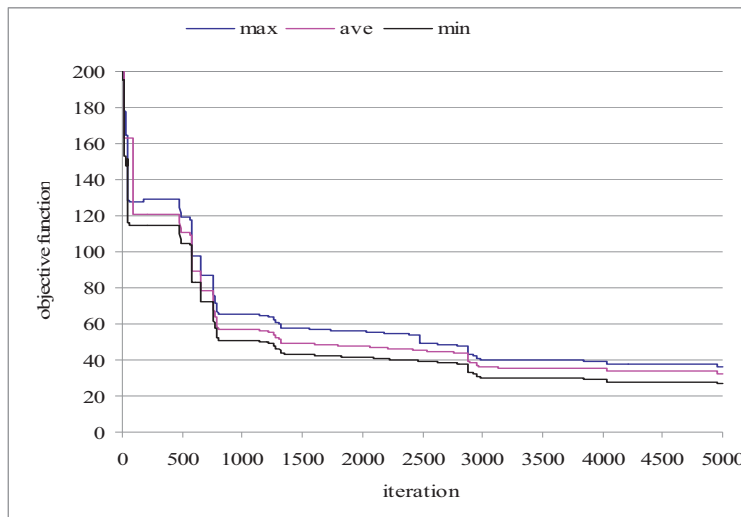
نتایج تابع هدف برای پارامترهای مختلف الگوریتم SA در ۱۰ بار اجرای برنامه در جدول ۸ ارائه گردیده است. طبق نتایج به‌دست آمده کمترین مقدار برای تابع هدف ۲۶/۵۴ محاسبه گردیده که این مقدار برای ۵۰۰۰ تکرار، تابع نمایی بهنگام سازی دما و همچنین تابع آنیلینگ سریع به‌دست آمده است. پارامترهای آماری مربوطه و نیز منحنی تغییرات بدترین، متوسط و بهترین اجرا به ترتیب در جدول ۹ و شکل ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۹- پارامترهای آماری تابع هدف

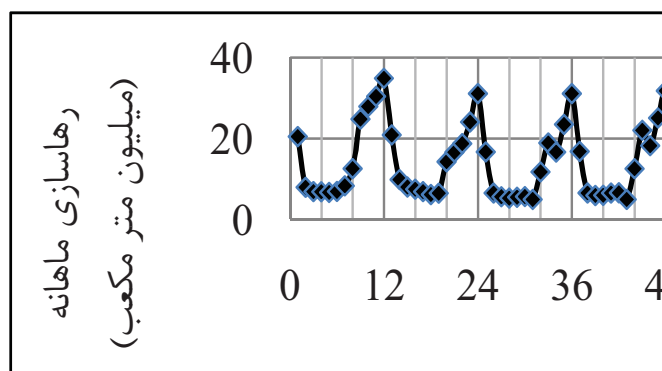
ضریب تغییرات	انحراف معیار	متوسط	کمینه	بیشینه	پارامتر
۰/۲۰	۶/۸۰	۳۴/۲۲	۲۶/۵۴	۴۶/۴۶	تابع هدف

### نتیجه‌گیری

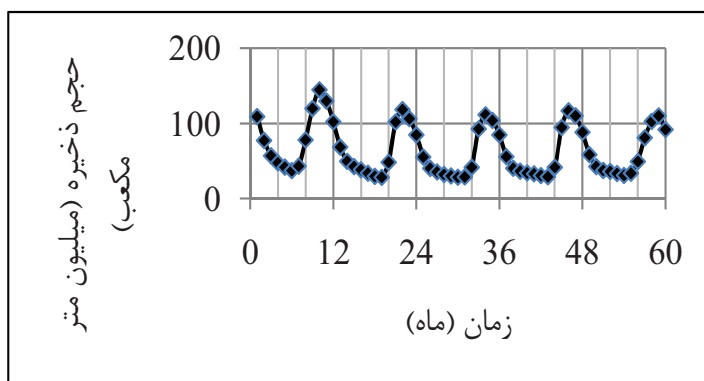
الگوریتم‌های فراکاوشی که بیشتر در طی دو دهه اخیر مورد توجه



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



شکل ۴- مقادیر رهاسازی ماهانه



شکل ۵- حجم ذخیره برای ماه‌های مختلف

## منابع

- 1- Dubrovin T., Jolma A. and Turunen E. 2002, Fuzzy model for real time reservoir operation. 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, Perth 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 by particle swarm optimization algorithm.” 7th International conference of civil engineering(Icce7th ), Tehran, 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, Saravanan N, 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.

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

H. Azarafza<sup>1</sup> - H. Rezaei<sup>2</sup> - J. Behmanesh<sup>3\*</sup> - S. Besharat<sup>4</sup>

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 been adjusted 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

---

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](mailto:j.behmanesh@urmia.ac.ir))