Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۹ شماره ۳صفحه‌های ۴۳ تا ۵۴ / سال ۱۳۹۸

ارزیابی الگویتم توسعه و جهش یافته ازدحام ذرات در بهره‌برداری از سیستم‌های مخزنی

حسن ترابی پوده*[۱]، رضا دهقانی[۲]، پرستو همه زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰٤ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۵

۱-دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان
۲-دانشجوی دکترای سازه آبی، دانشگاه لرستان
۳-دانشجوی دکترای سازه آبی، دانشگاه لرستان
مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:torabi.ha@lu.ac.ir

چکیده

رشد تقاضای آب با کیفیت و کمیت مطلوب، مهندسین و برنامه‌ریزان را وادار به تفکر و ارائه طرحهای پیشرفته برای بهره‌برداری بهینه از سیستمهای منابع آب نموده است. روش‌های بهینه‌سازی فراکاوشی مانند الگوریتم ازدحام ذرات که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است، از روش‌های نوین مورد بحث در دهه‌های اخیر می‌باشد. در این تحقیق یک مدل توسعه یافته از الگوریتم ازدحام ذرات بسط داده شد و به‌همراه الگوریتم ازدحام ذرات با یک مسئله بهینه-سازی غیر خطی و مقید سیستم تک‌مخزنی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا برای یک دوره پنج ساله سیستم مذکور بهینه‌سازی شد. برای مقایسه نتایج از نرم‌افزار لینگو که یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی می‌باشد، استفاده شده است. مقدار تابع هدف در الگوریتم توسعه یافته تنها ۰/۱۲ درصد با بهینه سراسری اختلاف نشان داده است. پس از اینکه تحلیل حساسیت پارامترها و کارآیی الگوریتم در دوره پنج ساله بررسی شد، دوره ده ساله برای بهینه‌سازی انتخاب شد. در این حالت نیز تابع هدف کمتر از ۱ درصد با بهینه سراسری اختلاف داشته است. در هر دو حالت نتایج الگوریتم توسعه یافته ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات، بهبود یافته و قادر است از بهینه‌های محلی خارج شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم توسعه یافته ازدحام ذرات از توانایی بسیار بالایی جهت حل مسائل پیچیده بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم فراکاوشی، بهره‌برداری از مخازن، بهینه‌سازی، لینگو، منابع آب

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluating the Developed and Mutated Particle Swarm Algorithm (DMPSO) for Optimal Reservoir Operation

H. Torabi Podeh [1*], R. Dehghani [2], P. Hamezade[3]

Received: November 24, 2016 Accepted: May 26, 2019
[1]Assoc. Prof. Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran
[2]Ph.D. Student of Water Structure, Faculty of Agric., Lorestan University, Khorramabad, Iran
[3]Ph.D. Student of Water Structure, Faculty of Agric., Lorestan University, Khorramabad, Iran
Corresponding Author, Email: torabi.ha@lu.ac.ir

Abstract

The increasing in consuming water with good quality and quantity has prompted engineers and designers to plan and present the advanced plans for optimal utilization of water resource systems. Heuristic optimization methods such as particle swarm algorithm that is investigated in this paper are among the latest methods that have been widely used in recent decades. In this study, a developed model of particle swarm algorithm was described and the particle swarm algorithm was evaluated with a nonlinear and constrained single-reservoir optimization equation. For this purpose, at the first step the system was optimized for a period of five years. Lingo software, a non-linear programming model, was used to compare the results. The value of the objective function in the developed algorithm showed only 0.12 differences with the global optimum. After analyzing the sensitivity of the parameters and the efficiency of the algorithm in the five-year period, the ten-year period was selected for optimization. In this case, the objective function had less than 1% difference with the global optimum as well. In both cases, the developed particle swarm algorithm gave better results than the particle swarm algorithm, and sticking in local optimizations value could be removed. Therefore, it could be concluded that the developed particle swarm algorithm had a high ability to solve the complex problems of water resources systems operation.

Keywords: Heuristic algorithms, Exploitation of reservoirs, Optimization, Lingo software, Water resources

مقدمه

روش برنامه‌ریزی خطی[1] (LP) یکی از روش‌های پرکاربرد جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن با اهداف مختلف از جمله تعیین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری، تعیین ظرفیت مخازن، کنترل سیلاب و ارزیابی عملکرد مخازن بیان شده است (باروس و همکاران ۲۰۰۳). از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش می‌توان به قابلیت کاربرد آن در سیستم‌های بزرگ منابع آب، همگرایی به پاسخ بهینه عمومی و دسترسی آسان از طریق بسته‌های نرم‌افزاری مختلف اشاره کرد. از معایب اصلی LP می‌توان به لزوم استفاده از توابع هدف خطی و محدب و نیز قیود خطی اشاره نمود. از دیگر روش‌های مورد استفاده در یافتن رهاسازی بهینه آب از مخازن استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی غیرخطی[2] (NLP) است که جهت حل مستقیم این نوع مسائل پیشنهاد شده است (رانی و موریرا ۲۰۱۰). بازارا و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که بیشتر روش‌های غیرخطی تنها قادر به حل مسائل محدب هستند. عدم وجود تضمین برای دستیابی به پاسخ بهینه عمومی در مسائل مقعر، مهم‌ترین دلایل برای کاربرد کم NLP در موارد عملی بیان کردند. روش برنامه‌ریزی پویا[3] (DP) نیز جهت بهینه‌سازی میزان رهاسازی آب از مخازن با توجه نیازهای پایین‌دست استفاده می‌شود. این روش برای اولین بار توسط بلمن (۱۹۵۷) به عنوان یک روش بهینه‌سازی جهت حل مسائل تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای معرفی گردید و یکی از ویژگی‌های برجسته‌ی این روش

[1] Linear programming

[2] Nonlinear programming
[3] Dynamic programming

www.SID.ir

Archive of SID

که باعث کاربرد آن در حل مسئله‌ی بهره‌برداری از مخازن شده این است که یک مسئله‌ی تصمیم گیری چند مرحله‌ای پیچیده به تعدادی زیر مسئله‌ی ساده تجزیه می‌شود که به‌صورت بازگشتی حل می‌شوند. الگوریتم‌های هوش محاسباتی نیز در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. بسیاری از این روش‌ها از رفتارهای طبیعی موجودات زنده الهام گرفته شده‌اند. از میان این روش‌ها می‌توان به الگوریتم مورچگان[1] (دوریگو ۱۹۹۶) ، الگوریتم ژنتیک[2] (هلند ۱۹۷۵) ، بهینه یابی جفت‌گیری زنبور عسل[3] (عباس ۲۰۰۱) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات[4] (کندی و ابرهارت ۱۹۹۵) اشاره نمود. واردلاو و شریف (۱۹۹۹) الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان یک جایگزین برای برنامه‌ریزی پویا در حل مسائل چند مخزنه به‌کار بردند. کای و همکاران (۲۰۰۱) به حل مسائل غیر خطی در منابع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. جلالی و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از الگوریتم مورچگان یک مسئله تک مخزنه را حل نمودند و به نتایجی بهتر در مقایسه با الگوریتم ژنتیک رسیدند. افشار و همکاران (۲۰۰۷)، همچنین بزرگ حداد و همکاران (۲۰۰۶) روش جفت‌گیری زنبور عسل را برای بهره‌برداری از مخازن بکار بردند. احمد و همکاران (۲۰۱۶) به منظور حداقل‌سازی کمبود آب کشاورزی سد تیما تاسو[5] واقع در مالزی، عملکرد دو الگوریتم کلونی زنبور عسل[6]و جستجوی گرانشی[7] را مقایسه نمودند و نشان دادند الگوریتم جستجوی گرانشی (ABC) با داشتن ویژگی‌هایی از جمله همگرایی سریعتر، اطمینان‌پذیری بیشتر و آسیب‌پذیری کمتر برای بهره‌برداری از مخازن مناسب‌تر است.

روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود به‌عنوان یکی از روش‌های کاربردی در زمینه‌ی بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه مطرح است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) از ترکیب الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی انرژی در یک سیستم چند مخزنه استفاده کردند و نشان دادند روش تلفیقی از کارایی مناسبی جهت بهینه‌سازی برخوردار است. گارگ (۲۰۱۶) در پژوهشی جهت حل مسائل بهینه‌سازی هزینه طراحی مخازن تحت فشار از الگوریتم PSO_GA استفاده نمود. نتایج نشان داد که الگوریتم مذکور روشی مؤثر، کارآمد و قابل اعتماد برای حل مسائل مختلف بهینه‌سازی است. بای و همکاران (۲۰۱۷) از الگوریتم ازدحام ذرات جهت بهینه‌سازی دو مخزنه رودخانه زرد واقع در چین استفاده کردند و آن را ابزاری قدرتمند باری یافتن استراتژی های بهینه مدیریت منابع آب ارزیابی نمودند. مهمترین مزایای PSO می‌توان به مفاهیم ساده، کاربرد راحت، توانمندی مناسب در کنترل پارامترها و کارایی محاسباتی اشاره نمود. اما مهم‌ترین محدودیت این روش همگرایی زودرس (و در نتیجه عدم دست‌یابی به پاسخ بهینه عمومی) و مشکلات محاسباتی در حل مسائل غیرقطعی است (چانگ و همکاران ۲۰۰۹). شی و ابرهارد (۲۰۰۹) با لحاظ تغییرات خطی در ضریب اینرسی الگوریتم ازدحام ذرات نشان دادند که این تغییر اثرات زیادی در بهینه کردن روش داشته است. همانطورکه بیان گردید یکی از مشکلات عمده این الگوریتم همگرایی زودرس و گیرافتادن در نقطه بهینه محلی می‌باشد. در تحقیق حاضر بهینه‌سازی بهره‌برداری سیستم تک مخزنه برای دوره ۵ ساله و ده ساله صورت پذیرفته که در آن با اعمال جهش در درصدی از ذرات جستجوگر، این الگوریتم توسعه خواهد یافت و با نتایج قبل از جهش مقایسه خواهد شد. همچنین برای نتیجه‌گیری بهتر، نتایج این دو مسئله با حل دقیق که از طریق نرم‌افزار لینگو به‌دست خواهد آمد، مقایسه می‌شود.

[1] Ant colony optimization
[2] Genetic algorithm
[3] Honey bees mating optimization
[4] Particle swarm optimization
[5] Timah Tasoh
[6] Artificial bee colony
[7] Gravitational search algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

در این قسمت به‌ترتیب الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم پیشنهادی ازدحام ذرات توسعه یافته، مسئله مخزن به همراه تابع هدف و قیدها و مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ارائه می‌گردد.

طرح مسئله

جهت بررسی نحوه عملکرد الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ازدحام ذرات توسعه یافته و مدل برنامه‌ریزی غیرخطی از سیستم تک مخزنه سد دز در جنوب ایران واقع در استان خوزستان استفاده شد. مشخصات مخزن مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات سد دز.

رقوم تاج سد	۳۵٤ m
ارتفاع از پی	۲۰۳m
حجم حداقل مخزن	۸۳۰ Mm^3
حجم حداکثر مخزن	۳۳٤۰ Mm^3
عرض سد در تاج	٤/٥m
عرض سد در پی	۲۷m
مساحت حوزه آبریز	۱۷٤۳۰ Km^2
تعداد دریچه های آبیاری	۳ دریچه هر کدام به قطر ۱/٥m
حداکثر ظرفیت تخلیه	۲۳٥ m^3/s

حجم مفید مخزن سد دز معادل ۲٥۱۰ میلیون مترمکعب و حجم جریان ورودی سالیانه در یک دوره ٤۰ ساله معادل ٥۹۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. ابتدا برای تحلیل حساسیت و بررسی الگوریتم یک دوره پنج ساله انتخاب گردید. از آنجایی که هدف اصلی از این پژوهش ارزیابی الگوریتم می‌باشد انتخاب هر یک از دوره‌های آماری تأثیری در روند حل نداشته و تنها ممکن است با توجه به تغییر جریان ورودی، تابع هدف نهایی اندکی متفاوت شود. پس از بررسی دوره پنج ساله این بار طول دوره افزایش یافته و ده سال در نظر گرفته می‌شود. مقادیر نیاز ماهانه به‌همراه آبدهی ۱۲۰ ماه در شکل ۱ نشان داده شده است. حجم کمینه و بیشینه مخزن به ترتیب ۸۳۰ و ۳۳٤۰ میلیون مترمکعب می‌باشد.

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات(PSO)

این الگوریتم که به نام الگوریتم پرندگان نیز مشهور است، یک خانواده از روش‌های هوش جمعی و یکی از الگوریتم‌های موفق در زمینه بهینه‌سازی پیوسته و گسسته می‌باشد. این روش بهینه‌سازی اولین بار در سال ۱۹۹٥ توسط کندی و ابرهارد، با الهام از رفتار جمعی پرندگان و ماهی‌ها و بکارگیری مفاهیم الگوریتم‌های تکاملی معرفی شد. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مشابه با الگوریتم‌های تکاملی، یک الگوریتم جمعیتی بوده که در آن تعدادی ذره که راه‌حل‌های کاندیدای یک تابع یا یک مسئله هستند، یک ازدحام (جمعیت) را تشکیل می‌دهند. این ذرات در فضای مسئله حرکت کرده و بر اساس تجربیات فردی خود و تجربیات جمعی سعی می‌کنند تا راه‌حل بهینه در فضای جستجو را بیابند. این روش به‌وسیله ابعاد و غیرخطی بودن مسئله خیلی تحت تأثیر قرار نگرفته و نتایج خوبی در محیط‌های استاتیک, نویزی و محیط‌های به‌طور پیوسته در حال تغییر می‌گیرد. این ویژگی‌ها به‌علاوه سادگی پیاده‌سازی، عدم الزام بر پیوستگی تابع هدف و توانایی وفق دادن به محیط پویا باعث شد که این الگوریتم در حوزه‌های بسیار مختلفی بکار گرفته شود. در این الگوریتم سرعت و مکان جدید هر ذره که بر اساس موقعیت بهترین ذره گروه و بهترین مکانی که خود ذره تجربه کرده بر اساس فرمولهای زیر بدست می‌آید.

$$V(t+1) = w * V(t) + C_1 * R_1 * \left(Pbest_i - X(t)\right) + C_2 * R_2 * \left(Gbest_i - X(t)\right) \quad [۱]$$

$$X(t+1) = X(t) + V(t+1) \quad [۲]$$

در این روابط $V(t)$ و $V(t+1)$ به ترتیب سرعت ذره در تکرارهای t و $t+1$ ، R_1 و R_2 اعداد تصادفی بین صفر تا یک ، C_1 و C_2 به‌ترتیب ضرایب تأثیر اثرات

www.SID.ir

Archive of SID

فردی و اجتماعی بوده و معمولاً بین صفر تا دو می‌باشند، $Pbest_i$ بهترین موقعیت تجربه شده به‌وسیله ذره و $Gbest_i$ بهترین موقعیت تجربه شده توسط کل ذرات می‌باشد و $X(t)$ و $X(t+1)$ نیز به‌ترتیب موقعیت قبلی و فعلی ذره می‌باشد. w ضریب اینرسی است که توسط رابطه زیر تعریف می گردد (کندی و ابرهارد۱۹۹۵):

$$w = (w_{max} - w_{min}) * ((iter_{max} - iter)/iter_{max}) + w_{min} \quad [۳]$$

w_{max} و w_{min} به‌ترتیب ضریب اینرسی بیشینه و ضریب اینرسی کمینه است که در این تحقیق به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۵ در نظر گرفته شد (کندی و ابرهارد۱۹۹۵). iter شماره تکرار و $iter_{max}$ ماکزیمم تعداد تکرار می‌باشند.

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهش یافته و توسعه داده شده (DMPSO)

یکی از مشکلات الگوریتم ازدحام ذرات گیر افتادن در نقاط بهینه محلی است. بنابراین اگر بتوان پس از گیر افتادن در این نقاط، تعدادی از ذرات به‌طور تصادفی به نقاط دیگری از فضای جستجو منتقل شوند، این مشکل حل می‌شود. در یک مسئله n بعدی هر ذره جستجوگر دارای n بعد می‌باشد. در این عملیات فقط یکی از ابعاد ذره تغییر داده می‌شود. رابطه ٤ موقعیت یک ذره در یک فضای n بعدی را به‌صورت برداری نشان می‌دهد. جهت انجام عملیات جهش ابتدا درصد جهش تعیین گردیده و سپس با استفاده از رابطه ٥ تعداد ذرات مورد نظر جهت تغییر و یا جهش محاسبه می‌گردد. پس از تعیین تعداد ذرات جهت انجام عملیات جهش ، شماره ذره از رابطه ٦و شماره بعد جهت تغییر از رابطه ۷ تعیین می‌گردد. در نهایت با استفاده از رابطه ۸ مقدار جدید محاسبه و جایگزین بعد انتخابی از ذره انتخاب شده می‌گردد:

$$x_i = (x_1, x_2, x_3, \ldots . x_n) \quad [٤]$$

$$N_{mut} = n * N_{pop} * Mut \quad [٥]$$

$$pop = (Round(R_1 * N_{pop}) \quad [٦]$$

$$m = (Round(R_2 * n) \quad [۷]$$

$$x_{(pop,m)} = (R_3 * (x_{max} - x_{min})) + x_{min} \quad [۸]$$

در این روابط X_{min}و X_{max} به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار پارامترها، Mut درصد جهش و یا تغییر ، n تعداد ابعاد مسئله، N_{pop} تعداد ذرات جستجوگر، R_1، R_2 و R_3 اعداد تصادفی بین صفر تا یک، pop شماره ذره و m موقعیت بعد ذره جهت تغییر می باشند. جهت افزایش توانایی الگوریتم PSO ضریب اینرسی که در $V(t)$ در رابطه ۱ ضرب می شد از این رابطه حذف و به‌عنوان ضریبی برای $V(t+1)$ در رابطه ۲ درنظر گرفته شد. این موضوع در افزایش توانایی روش جهت یافتن مقدار بهینه تابع هدف بسیار مؤثر واقع شد. بنابراین روابط ۱ و ۲ برای روش DMPSO به‌ترتیب به‌صورت روابط ۹ و ۱۰ بصورت زیر بازنویسی گردید.

$$V(t+1) = V(t) + C_1 * R_1 * (Pbest_i - X(t)) + C_2 * R_2 * (Gbest_i - X(t)) \quad [۹]$$

$$X(t+1) = X(t) + w * V(t+1) \quad [۱۰]$$

مدل‌سازی بهره‌برداری از مخزن

تابع هدف و قیود در الگوریتم ازدحام ذرات و ازدحام ذرات توسعه یافته به‌صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\text{Min TSD} = \sum_{t=1}^{nt} \left(\frac{(R_t - D_t)}{D_{max}}\right)^2 \quad [۱۱]$$

$$\text{S.t.} = \begin{cases} S(t) = S(t+1) - Q(t) + R(t) & \forall t \\ R_{min}(t) \le R(t) \le R_{max}(t) & \forall t \\ S_{min}(t) \le S(t) \le Cap & \forall t \\ S_1 = 1430 \end{cases} \quad [۱۲]$$

در مسائل بهینه‌سازی قید ها یکی از ارکان اصلی هستند. قیود در مسائل محدوده جواب ممکن را تعریف می نمایند. در خصوص اعمال قیود مسئله کارهای زیادی صورت گرفته است (اولسن ۱۹۹۹). گلور و گرینبرگ در سال ۱۹۸۹ پیشنهاد کردند که برای بهینه‌سازی سریع و رسیدن به جواب نهایی بهتر، امکان عبور از محدوده های غیر ممکن به الگوریتم داده شود. یکی از این راه‌کارها حذف قید و اعمال جریمه به تخطی از قیدها و وارد نمودن آن به تابع هدف است. در مقاله حاضر توابع جریمه به صورت زیر تعریف شده اند:

www.SID.ir

Archive of SID

$$Pen_i^{(min)} = \begin{cases} C^{(min)}.(1 - S_i/S_{min}) & \text{if} \quad S_i < S_{min} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad [۱۳]$$

$$Pen_i^{(max)} = \begin{cases} C^{(max)}.(1 - S_i/S_{max}) & \text{if} \quad S_i > S_{max} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad [۱۴]$$

که در آن $Pen_i^{(min)}$ و $Pen_i^{(max)}$ به ترتیب مقدار جریمه در دوره i برای قید حجم کمینه و حجم بیشینه و C^{min} و C^{max} ضرایب جریمه برای این دو قید می‌باشند. به این ترتیب تابع هدف به‌صورت زیر تصحیح می‌گردد.

$$P.F. = \sum_{i=1}^{NT}[(D_i - R_i)/D_{max}] + \sum_{i=1}^{NT}(Pen_i^{(min)} + Pen_i^{(max)}) \quad [۱۵]$$

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی

با توجه به اینکه مسئله مورد نظر یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی بوده، این مسئله را می‌توان با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل نمود. مدل لینگو توانایی حل مدل‌های غیر خطی را دارا بوده و در مواردی مانند مسئله مورد نظر که تابع هدف محدب می‌باشد، جواب بهینه مطلق را ارائه می‌دهد. بنابراین جواب‌های حاصل از مدلهای PSO و DMPSO با جوابهای حاصل از نرم افزار لینگو مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج در ادامه خواهد آمد.

نتایج و بحث

نتایج مدل برنامه‌ریزی غیرخطی حل شده توسط نرم‌افزار لینگو

در ابتدا مسئله مورد نظر برای دوره پنج ساله (۶۰ متغیر تصمیم) که یک مسئله غیرخطی محدب می‌باشد با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی و با نوشتن برنامه آن در محیط نرم‌افزار لینگو حل گردید. با توجه به اینکه در مواردی که مسئله غیرخطی محدب می‌باشد، این روش جواب بهینه مطلق را ارائه می‌دهد، بنابراین جواب بقیه روشها و از جمله روش توسعه داده شده ازدحام ذرات با جواب نرم‌افزار لینگو مقایسه گردید. کمینه مقدار تابع هدف در این روش برابر با ۰/۷۹۶۳۸۰۹ به‌دست آمد. نتایج بهینه کلی حاصل شده از حل مدل برنامه‌ریزی غیرخطی توسط نرم‌افزار لینگو در شکل ۲ نشان داده شده است. در ادامه برای یک دوره ده ساله (۱۲۰ متغیر تصمیم) بار دیگر مسئله با لینگو حل شد که مطابق آن جواب بهینه مطلق برابر با ۱/۹۸۴۹۲۶ محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۳ ارائه گردیده است.

نتایج مدل PSO و DMPSO

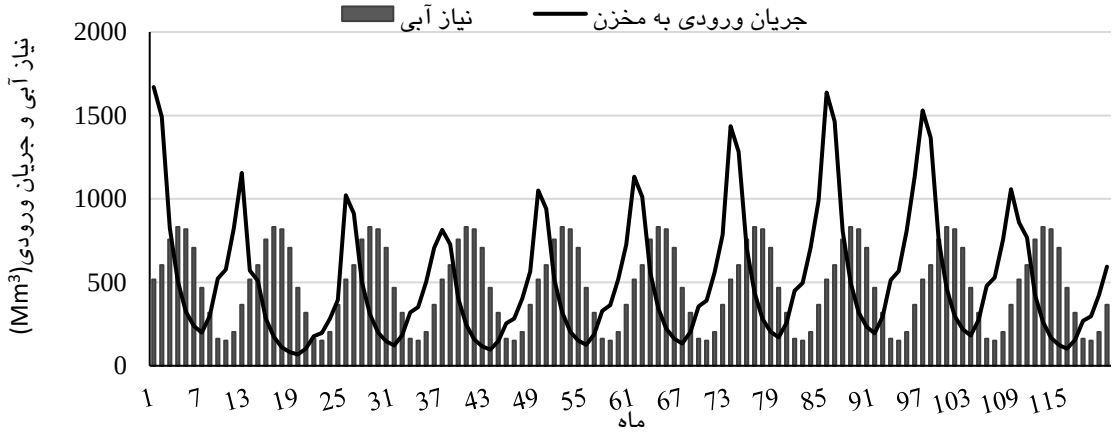
در این قسمت ابتدا نتایج روش‌های فراکاوشی PSO و DMPSO در حل مسئله پنج ساله ارائه و سپس نتایج این روش‌ها با نتایج حاصل از روش و برنامه-ریزی غیرخطی مقایسه می‌گردد. پس از به‌دست آمدن پارامترهای بهینه نتایج ده ساله ارائه می گردد. اگر در ورودی‌های روش DMPSO مقدار پارامتر جهش و یا پارامتر تغییر برابر صفر درصد باشد روش DMPSO به PSO تبدیل می‌گردد. پس از اجرای برنامه روش فراکاوشی DMPSO به تعداد بسیار زیاد ضرایب بهینه تابع هدف این روش به شرح جدول ۲ حاصل گردید.

جدول ۲ - ضرایب تابع هدف الگوریتم DMPSO.

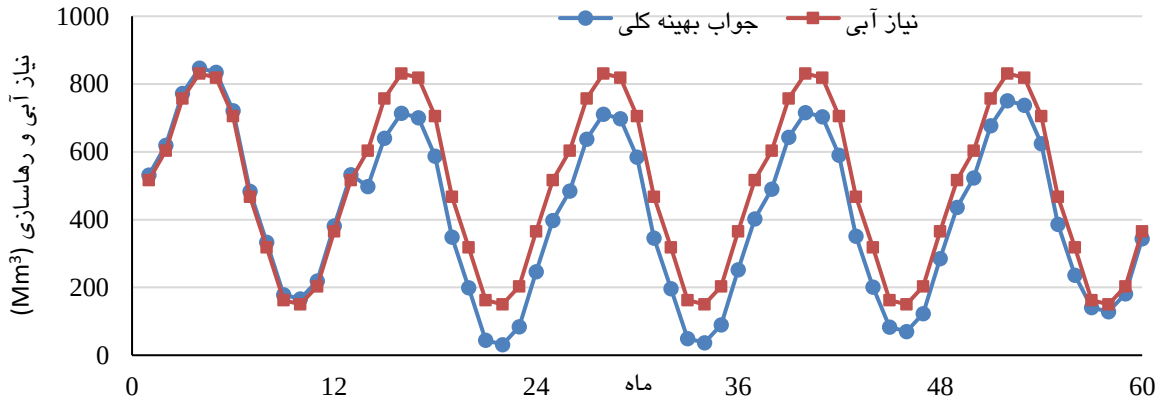
C_2	C_1	W_{MIN}	W_{MAX}
۱	۰/۵	۰/۵	۰/۹

www.SID.ir

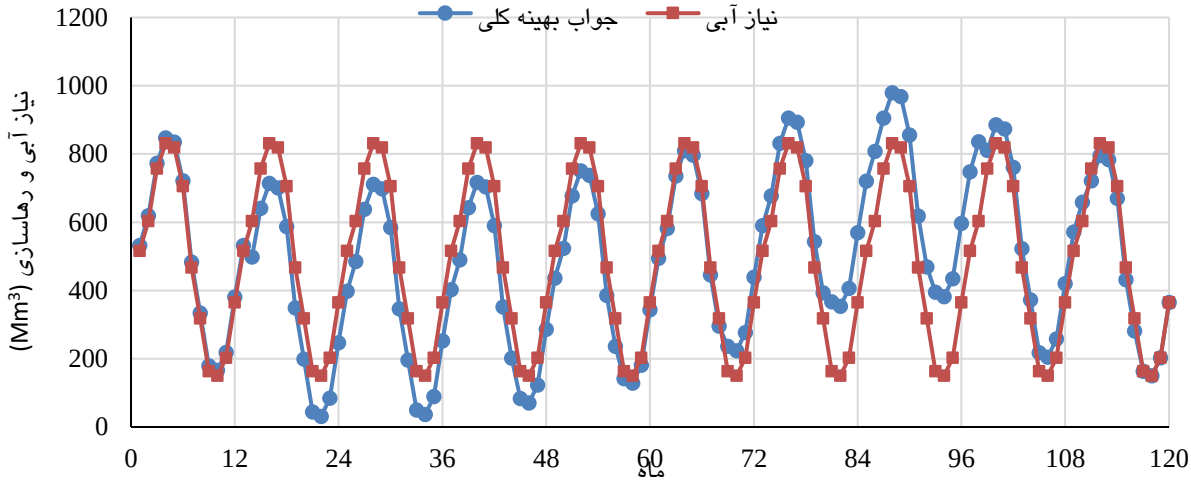
Archive of SID



شکل ۱ – مقادیر نیاز آبی ماهانه و جریان ورودی به مخزن سد برای ۱۲۰ ماه بر حسب میلیون مترمکعب.



شکل ۲ – نیاز آبی و میزان رهاسازی جریان حاصل شده برای دوره ۶۰ ماهه از حل برنامه‌ریزی غیر خطی توسط نرم‌افزار لینگو.



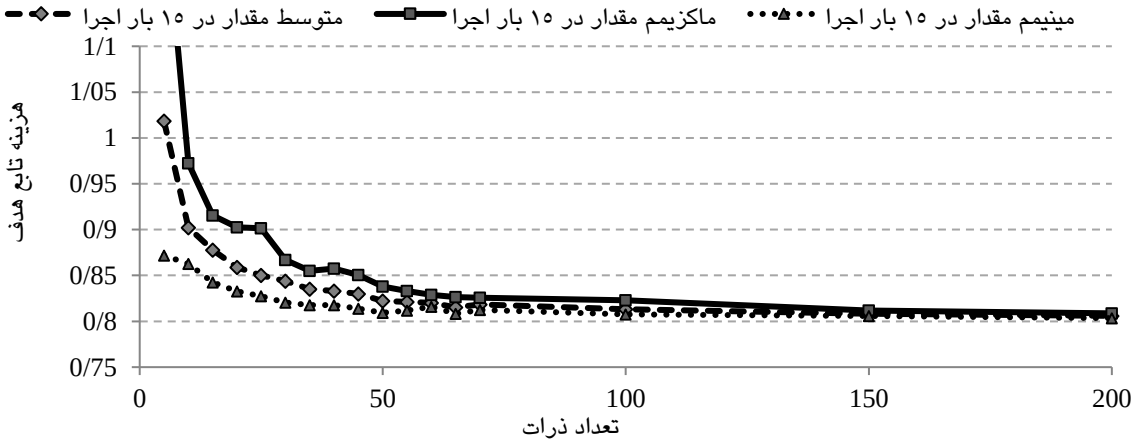
شکل ۳ – نیاز آبی و میزان رهاسازی جریان حاصل شده برای دوره ۱۲۰ ماهه از حل برنامه‌ریزی غیر خطی توسط نرم‌افزار لینگو.

یکی از پارامترهای مهم جهت یافتن جواب بهینه در روش PSO و DMPSO تعداد ذرات جستجوگر می‌باشد. ابتدا با فرض جهش ۱ درصد، برنامه برای دسته ذرات ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ ، ۲۰ ، ۲۵ ، ۳۰ ، ۳۵ ، ۴۰ ، ۴۵ ،

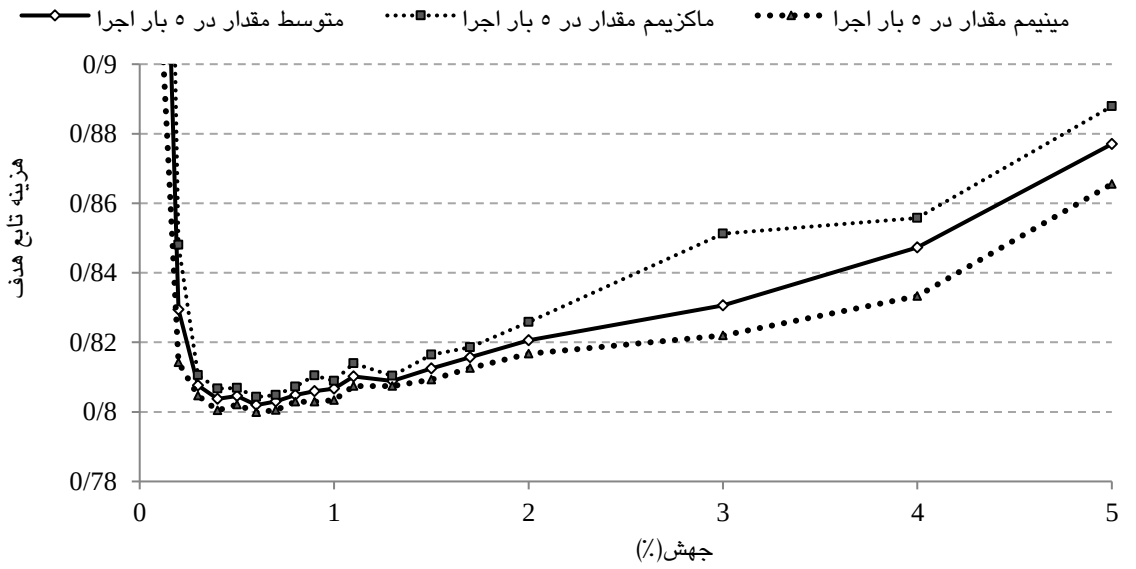
www.SID.ir

Archive of SID

۵۰ ، ۵۵ ، ۶۰ ، ۶۵، ۷۰ ، ۱۰۰ ، ۱۵۰ و ۲۰۰ تایی و برای هر دسته ۱۵ بار اجرا گردید. برای هر دسته ذرات مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط تابع هدف استخراج گردید و مقادیر مذکور در شکل ٤ در مقابل تعداد دسته ذرات نشان داده شده است. همانطورکه دیده می‌شود با زیاد شدن تعداد دسته ذرات، جواب بهینه حاصل شده بهتر می‌گردد. همچنین با افزایش تعداد دسته ذرات دامنه تغییرات جوابهای حاصله (فاصله بین کمینه و بیشینه) کاهش می‌یابد. با توجه به کاهش دامنه تغییرات جواب‌ها برای تعداد ذرات بیشتر ، با انتخاب ذرات بیشتر در اجراهای کمتری جواب بهینه حاصل خواهد شد. بنابراین جهت بررسی تغییرات مقدار تابع هدف برای مقادیر مختلف جهش تعداد ۲۰۰ ذره ، ۱۵ اجرا و تعداد ۱۰۰۰۰ تکرار مد نظر قرار گرفت. نتایج بررسی‌های مذکور در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴- تغییرات مقدار تابع هدف برای تعداد دسته ذرات جستجوگر مختلف در ۱۰۰۰۰ تکرار.

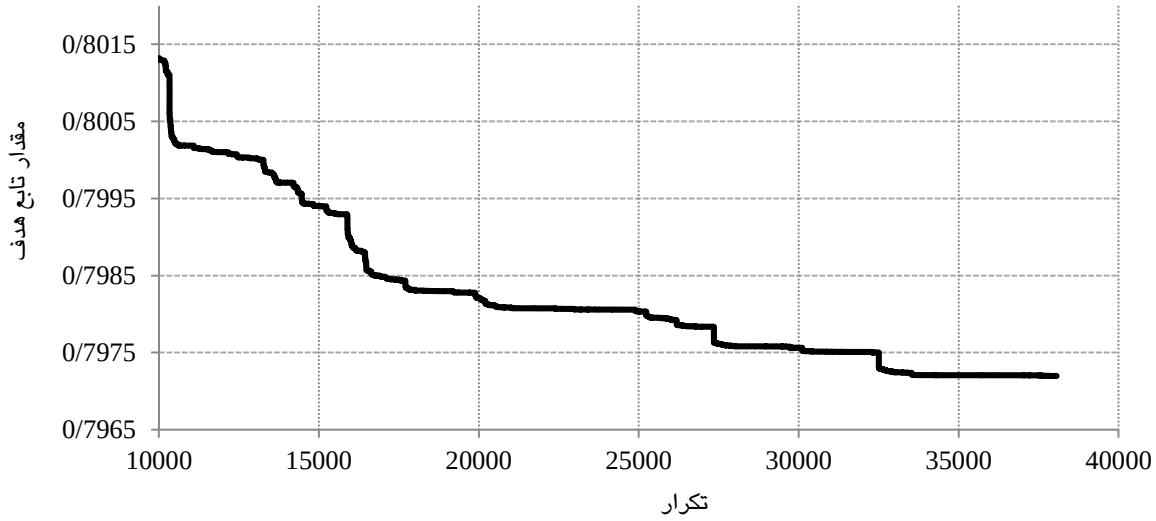


شکل ۵ - تغییرات مقدار تابع هدف برای مقادیر مختلف جهش برای دسته ذرات ۲۰۰ تایی در ۱۰۰۰۰ تکرار.

www.SID.ir

Archive of SID

همانطورکه در این شکل دیده می‌شود بهترین جهش برای دسته ذرات ۲۰۰ تایی برای ۱۰۰۰۰ تکرار معادل ۰/٦ درصد می‌باشد. با افزایش درصد جهش به بیشتر از۰/٦درصد مقادیر تابع هدف افزایش یافته و به عبارتی جواب از جواب بهینه دور می‌گردد. برای درصد جهش کمتر از ۰/۳ درصد مقادیر تابع هدف به شدت افزایش می‌یابد. بهترین مقادیر جهش بین ۰/۵ تا ۰/۹ درصد می‌باشد. بررسی‌های انجام شده نشان داد که بهترین تعداد ذرات، ۲۰۰ عدد و بهترین جهش ، ۰/٦ درصد می‌باشد. در جدول ۳ نتایج برخی از اجراها برای الگوریتم DMPSO و PSO نشان داده شده است. شکل ٦ تغییرات مقدار تابع هدف برای جهش ۰/٦ درصدی و دسته ذرات ۲۰۰ تایی (٦۰ ماهه) نشان می‌دهد. نتایج روش DMPSO در مقایسه با PSO بسیار دقیقتر بوده و به عبارتی می‌توان چنین گفت که روش PSO اصلا قادر به یافتن جواب بهینه نبوده و این در صورتی است که روش DMPSO نه تنها به بهینه مطلق بسیار نزدیک شد، بلکه جواب آن با روش‌های سایر محققان که در ادامه به آن اشاره خواهد شد بسیار بهتر بوده است.



شکل ۶ – تغییرات مقدار تابع هدف برای جهش ۰/۶ درصدی و دسته ذرات ۲۰۰ تایی (۶۰ ماهه).

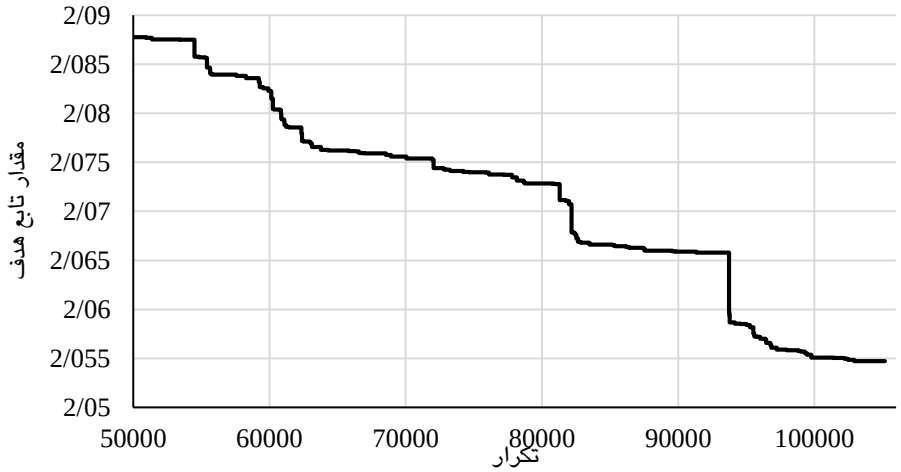
جدول ۳ – نتایج تعدادی از اجراها در الگوریتم DMPSO و مقایسه آن با PSO(۶ ردیف اول دوره ۶۰ ماهه و ۶ ردیف دوم دوره ۱۲۰ ماهه).

	شماره ردیف	تعداد تکرار	تعداد ذرات	درصد جهش	W_{max}	W_{min}	مقدار تابع هدف
روش DMPSO (دوره ٦۰ ماهه)	۱	۵۰۰۰۰	۲۵۰	۰/٦	۰/۹	۰/۵	۰/۷۹۷۸۲
	۲	٤۰۰۰۰	۲۰۰	۰/٦	۰/۹	۰/۵	۰/۷۹۷۱۲
	۳	۵۰۰۰۰	۳۰۰	۰/٦	۰/۹	۰/۵	۰/۷۹۷۸۵
روش PSO (دوره ٦۰ ماهه)	٤	۵۰۰۰۰	۲۵۰	۰	۰/۹	۰/۵	۳/۲٤۵۳۷
	۵	٤۰۰۰۰	۲۰۰	۰	۰/۹	۰/۵	٤/۵۳٤۵۲
	٦	۵۰۰۰۰	۳۰۰	۰	۰/۹	۰/۵	٤/۵۲۷۸۳
روش DMPSO (دوره ۱۲۰ ماهه)	۷	۱۰۰۰۰۰	۲۵۰	۰/٦	۰/۹	۰/۵	۲/۰۷۸۲۵
	۸	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰	۰/٦	۰/۹	۰/۵	۲/۰۵٤۷۲۸
	۹	۱۰۰۰۰۰	۳۰۰	۰/٦	۰/۹	۰/۵	۲/۰۹۵٤۱۲
روش PSO (دوره ۱۲۰ ماهه)	۱۰	۱۰۰۰۰۰	۲۵۰	۰	۰/۹	۰/۵	۸/۲۵٤٤۷
	۱۱	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰	۰	۰/۹	۰/۵	۵/۱۲۵٤۰۱
	۱۲	۱۰۰۰۰۰	۳۰۰	۰	۰/۹	۰/۵	٦/۵۳۱۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

پس از محاسبه پارامترهای بهینه، بهینه‌سازی برای ده سال بهره‌برداری جهت بررسی عملکرد الگوریتم صورت گرفت. شکل ۷ تغییرات تابع هدف برای مسئله ده ساله را نشان می‌دهد. همانطورکه بیان گردید بهینه مطلق توسط نرم‌افزار لینگو در این حالت برابر ۱/۹۸٤۹۲٦می‌باشد که این مقدار با استفاده از روش DMPSO در بهترین حالت با ۱۰۰۰۰۰ تکرار برابر ۲/۰۰٤۷۲۸ حاصل گردیده و کمتراز ۱ درصد با بهینه مطلق اختلاف دارد.



شکل ۷ – تغییرات مقدار تابع هدف برای جهش ۰/۶ درصدی و دسته ذرات ۳۰۰ تایی (۱۲۰ ماهه).

مقایسه نتایج روش DMPSO با روش‌های سایر محققان

با توجه به این موضوع که مسئله ده ساله در تحقیقات گذشته انجام نشده است بنابراین مقایسه نتایج تنها برای مسئله پنج ساله صورت گرفته است. افشار و همکاران در سال 2007 الگوریتم HBMO را در بهره‌برداری از مخزن بکار بردند. آن‌ها مخزن مورد مطالعه در تحقیق حاضر را بهینه‌سازی نمودند. همچنین جلالی (۱۳۸٤) در پژوهشی مثال مخزن فوق‌الذکر را با استفاده از روش کلونی مورچه‌ها (ACO) بهینه‌سازی نمودند. جدول ٤ نتایج به‌دست آمده از الگوریتم HBMO، ACO ، DMPSO و حل دقیق را در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود نتایج حاصل از روش DMPSO نسبت به ACO و HBMO بسیار بهتر بوده و دارای اختلاف بسیار کمی با حل دقیق می‌باشد. کمتر شدن تابع هدف در این مسئله نشان از بهره‌برداری بهینه‌تر از آب مخزن می‌باشد و کمک می‌کند تا از آب ذخیره شده در مخزن به‌گونه‌ای استفاده شود که علاوه بر تأمین نیاز پایین‌دست از رهاسازی بیش از نیاز و یا کمتر از آن جلوگیری شود.

جدول۴– مقایسه روش HBMOو DMPSO(برای دوره ۶۰ ماهه).

نام روش	تابع هدف	اختلاف با حل دقیق
HBMO (افشار و همکاران۲۰۰۷)	۰/۸۰۳	۰/۰۰٦
ACO (جلالی و همکاران ۱۳۸٤)	۰/۹٤۹	۰/۱۵۲
DMPSO (مطالعه حاضر)	۰/۷۹۷	۰/۰۰۰۷
حل دقیق توسط لینگو	۰/۷۹٦	۰

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی الگویتم توسعه و جهش یافته ازدحام ذرات در بهره‌برداری از سیستم‌های مخزنی به عنوان یک روش جدید در حوزه بهینه‌سازی است. بر مبنای حرکت دسته‌جمعی پرندگان، در ابتدا الگوریتم ازدحام ذرات مطرح شد که از معایب الگوریتم ازدحام ذرات، گیر افتادن در نقاط بهینه محلی است. لذا در طول سالیان اخیر پژوهشگران، الگوریتم‌های مختلفی بر اساس اصول الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای غلبه بر این معایب ارائه نمودند. در این پژوهش از الگوریتم بهبود یافته PSO با اعمال تغییرات و اضافه شدن یک پارامتر جهش، به‌منظور بهبود روش استفاده شد. ابتدا یک مسئله بهره‌برداری بهینه از سد در دوره پنج ساله در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد روش بهبود یافته DMPSO در مقایسه با روش PSO و سایر روش‌های ارائه شده توسط دیگر پژوهشگران دارای نتایج دقیق‌تری است. جهت بررسی توانایی روشDMPSO، حل دقیق مسئله توسط نرم‌افزار لینگو بدست آمد و با نتایج روش DMPSO مقایسه گردید. نتایج نشان داد که این روش تنها نسبت به حل دقیق دارای ۰/۱۲ درصد اختلاف می‌باشد. سپس مسئله پیچیده‌تر شده و ده سال بهره‌برداری در نظر گرفته شد که در این حالت نیز جواب نهایی الگوریتم توسعه یافته دارای کمتر از ۱ درصد اختلاف است. در مجموع نتایج نشان داد روش DMPSO یکی از بهترین روشها جهت بهینه‌سازی در بهره‌برداری از مخازن سدها در منابع آب می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصل شده، استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات به‌ویژه الگویتم توسعه و جهش یافته ازدحام ذرات برای حل سایر مسائل بهینه‌سازی پیچیده علوم مهندسی از جمله مهندسی آب پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

Abbass HA, 2001. MBO: marriage in honey bees optimization-a Haplometrosis polygynous swarming approach. Pp. 207- 214. In Conference Evolutionary Computation, 27-30 May, Seoul.

Afshar A, Bozorg Haddad O, Marino MA and Adams BJ, 2007. Honey-bee mating optimization (HBMO) algorithm for optimal reservoir operation. Journal of the Franklin Institute 344: 452–462.

Ahmad A, Razali SFM, Mohamed ZS and El-shafie A, 2016. The application of artificial bee colony and gravitational search algorithm in reservoir optimization. Water Resources Management 30: 2497-2516.

Bai T, Kan Y, Chang J, Huang Q and Chang F, 2017. Fusing feasible search space into PSO for multi-objective cascadereservoir optimization. Applied Soft Computing 51: 328-340.

Barros M, Tsai F, Yang S, Lopes J and Yeh W, 2003. Optimization of large-scale hydropower system operation. Journal of Water Resources Planning and Management 129(3): 178-188.

Bazaraa MS, Sherali HD and Shetty CM, 2006. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms 3rd Edition. John Wiley and Sons,Inc., Hoboken, New Jersey.39-50.

Bellman R, 1957. Dynamic Programming. Princeton, N.J.: Princeton, University Press.

Bozorg Haddad O, Afshar A and MarinoArino MA, 2006. Honey-Bees mating optimization (HBMO) algorithm: A new heuristic approach for water resources optimization. Water Resources Management 20: 661–680.

Bozorg Haddad O, Afshar A, Adams BJ, 2005. HBMO in optimal reservoir operation. Pp. 999- 1008. Ninth International Water Technology Conference, IWTC9. 17-20 March, Sharm El-Sheikh, Egypt.

Cai X, McKinney DC and Lasdon LS, 2001. Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach. Advances in Water Resources 24: 667-676.

Chang W, Luo X and Yu H, 2009. A fuzzy adaptive particle swarm optimization for long-term optimal scheduling of cascaded hydropower station. Pp. 1- 5. Power Systems Conference and Exposition. 15-18 March, Seattle, WA, USA.

Dorigo M, 1996. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. IEEE Transaction on Systems. 26 (1): 29-41.

www.SID.ir

Archive of SID

Garg H, 2016. A hybrid PSO-GA algorithm for constrained optimization problems. Applied Mathematics and Computation 274: 292-305

Glover F and Greenberg HJ, 1989. New approaches for heuristic search: linkage with artificial intelligence European. Journal of Operational Research 39: 119-130.

Holland JH, 1975. Adaption in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press.

Jalali MR, Afshar A and Marino MA, 2006. Improved ant colony optimization algorithm for reservoir operation. Scientia Iranica 13(3): 295-302.

Kennedy J and Eberhart R, 1995. Particle Swarm Optimization. Pp. 1942- 1948. IEEE International Conference on Neural Networks.

Kumar N and Reddy J, 2006. Ant colony optimization for multi-purpose reservoir operation. Water Resources Management 20: 879–898.

Maier HR, Simpson AR, Aaron C, Zecchin AC, Foong WK, Phang KY, Seah HY, Chan L and Tan CL, 2003. Ant colony optimization for design of water distribution systems. Journal of Water Resources Planning and Management. 129: 200-209.

Olsen AL, 1994. Penalty functions and the knapsack problem. Pp. 554-558. IEEE World Congress on Computational Intelligence, Proceedings of the First IEEE Conference. 27-29 June, Orlando, USA.

Rani D and Moreira MM, 2010. Simulation–optimization modeling: a survey and potential application in reservoir systems operation. Water Resources Management 24: 1107–1138.

Wardlaw R and Sharif, M, 1999. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system reservoir system operation. Water Resources Planning and Management. 125: 25-33.

Yuhui Shi Y and Eberhart R, 2009. Monitoring of particle swarm optimization. Frontiers of Computer Science in China 3 (1):31-37.

Zhang J, Wu Z, Cheng CT and Zhang SQ, 2011. Improved particle swarm optimization algorithm for multi-reservoir system operation. Water Science and Engineering 4(1): 61-74.

www.SID.ir