بهینه سازی بهره‌برداری انرژی برقابی از سدها با استفاده از روش ترکیبی الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: سد دز)

ایمان احمدیان فر[۱] و آرش ادیب [۲*]

۱- دانشجوی دکترای گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز arasshadib@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۱۸ تاریخ پذیرش:۹۳/۳/۱۸

چکیده

در این تحقیق بهبود الگوریتم ازدحام ذرات برای حل مسائل پیچیده بهینه سازی منابع آب مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از مشکلات اساسی این روش همگرایی زود رس می‌باشد. برای بهبود این مشکل، ترکیب الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت. اساس این ترکیب به گونه‌ای است که مزایای الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک به طور هم‌زمان به‌کار گرفته می‌شوند. در الگوریتم حاصل دو عملگر کارامد الگوریتم ژنتیک، جهش و تقاطع به‌کار می‌روند، جهش باعث افزایش گوناگونی جمعیت و تقاطع اطلاعات بین دو ذره از جمعیت را مبادله می‌کند. برای ارزیابی الگوریتم ترکیبی، بهینه سازی انرژی برقابی سد دز در نظر گرفته شد. مقایسه نتایج روش ترکیبی با الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک، مشخص کرد که الگوریتم حاصل باعث افزایش انعطاف‌پذیری و بهبود توانایی الگوریتم ازدحام ذرات جهت ایجاد جمعیتی با سرعت همگرایی بالا شده و کارایی بسیاری در حل مسائل بهینه‌سازی بهره‌برداری منابع آب دارد.

کلید واژه‌ها: الگوریتم ازدحام ذرات ، الگوریتم ژنتیک ، بهینه سازی بهره برداری از مخزن برقابی.

Optimizing Hydropower Dams Operation Using Hybrid of PSO and GA (Case Study : Dez Dam)

I. Ahmadianfar[1] and A. Adib[2*]

1- Ph.D Student, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

2*- Associate Professor, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Received:7 April 2013 Accepted:8 June 2014

Abstract

In this paper presented the evaluation of particle swarm optimization for solving complex optimization water resources problems. The main problem with PSO is it's prematurity. Therefore a new adjustable PSO-GA hybrid algorithm which combines PSO with genetic operators was proposed. The basis behind this is that such a hybrid approach is expected to have merits of PSO with those of GA. The main idea of GA is due to its genetic operators crossover and mutation. By applying crossover operation, information can be swapped between two particles to have the ability of flying to the new search area. The purpose of applying mutation to PSO is to increase the diversity of the population. For evaluating of the proposed algorithm the optimization of the hydropower operation of ''Dez" single reservoir has been studied. The results of HPSOGA compare to PSO and GA indicated the proposed algorithm increases the flexibility and capability of PSO to generate strong-developing individuals that can achieve faster convergence rate to optimum point and it is very useful in solving optimization operation water resources.

Keywords: Particle swarm optimization, Genetic algorithm, Optimizing hydropower reservoir operation.

مقدمه

بهره‌برداری از مخزن یکی از موضوعات کلیدی در بین مسائل گوناگون منابع آب می‌باشد. یک سیاست بهره برداری شامل مجموعه‌ای از قوانین است که در، شرایط مختلف بهره برداری، مقدار آبی را که بایستی ذخیره یا رهاسازی گردد، تعیین می‌نماید (وربز[1]، ۱۹۹۳). تعیین یک برنامه بهره برداری مناسب از سیستم‌های منابع آب، به گونه‌ای که در تمام شرایط مورد نظر بتوان عملکرد مطلوبی از سیستم به دست آورد، بهینه سازی نامیده می‌شود. در نتیجه برای تعیین برنامه بهره‌برداری از مخازن، کاربرد روش‌های بهینه سازی الزامی است. در دنیای واقعی مدیریت بهینه سازی مخازن سد می‌تواند بسیار پیچیده باشد. افزایش پیچیدگی در مسائل مهندسی و نگاه سیستمی به مدیریت به خصوص در مهندسی منابع آب باعث کاهش کارائی روش‌های کلاسیک شده است. در چند دهه اخیر، تلاش‌های گسترده‌ای به منظور تهیه و ارایه الگوریتم‌های مناسب‌تر صورت پذیرفته است. الگوریتم‌های تکاملی[2] از جمله این روش‌ها هستند که در سال‌های اخیر در بسیاری از مقوله‌های علمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ازجمله تفاوت‌های الگوریتم‌های تکاملی و الگوریتم‌های کلاسیک، تولید دسته‌ای از جواب‌ها در هر گام به جای تولید یک جواب توسط الگوریتم‌های تکاملی است. در این صورت اگر مسئله‌ای تنها یک جواب بهینه داشته باشد، انتظار می‌رود که همه جواب‌های الگوریتم تکاملی با آن همگرا شود. با توجه به اینکه بسیاری از مسائل مهندسی آب، تنها نیازمند جواب‌های خوب و تا حد مناسبی نزدیک به جواب بهینه می‌باشند، لذا الگوریتم‌های فراکاوشی که تضمین کننده چنین جواب‌هایی هستند، مورد توجه قرار گرفتند. الگوریتم ژنتیک[3] یکی از الگوریتم‌های فراکاوشی است که در زمینه منابع آب مورد توجه قرار گرفته است، واردلا و شریف[4] (۱۹۹۹) نیز از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی یک سیستم چهار مخزنی استفاده کرده و نشان دادند که این روش می‌تواند جواب‌های توانمند و قابل قبولی ارایه دهد. یک سال بعد این کار توسط شریف و واردلا[5] (۲۰۰۰) توسعهٔ بیشتری یافت. همچنین برای یک سیستم ۱۰ مخزنی که توسط موری و یاکوویتز[6] (۱۹۷۹) طرح گردید و نیز توسط واردلا و شریف (۱۹۹۹) مورد استفاده قرار گرفت، الگوریتم ژنتیک به‌کار گرفته شد. دقت نتیجه حاصل از روش الگوریتم ژنتیک برای این مسئله بزرگ کاملا قابل قبول بوده است. همچنین کای و همکاران[7] (۲۰۰۱) در تحقیقات خود از ترکیب الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی[8] برای حل مدل‌های مدیریت آب غیرخطی استفاده کردند. یوان و همکاران[9] (۲۰۰۲) نیز از الگوریتم ژنتیک به صورت یک روش ترکیبی به همراه روش بهینه‌سازی آشفته[10] استفاده کردند و آن را الگوریتم ژنتیک آشفته‌ترکیبی[11] نامیدند. از این روش برای یافتن برنامه زمان‌بندی بهینه یک سیستم برق آبی با نیروگاه‌های متوالی در افق زمانبندی ۲۴ ساعته با فواصل زمانی یک ساعت استفاده شد. چانگ و همکاران[12] (۲۰۰۵) الگوریتم ژنتیک را برای پیدا کردن منحنی فرمان[13] ماهانه بهینه در یک سیستم تک سدی چند هدفه در تایوان به کار بردند. داریان و ممتحن (۲۰۰۹) سیاست بهره برداری خطی و خطی قطعه‌ای را با انجام پاره‌ای اصلاحات در عملگرهای الگوریتم ژنتیک در سیستم‌های چند مخزنه به کار بردند. الگوریتم ازدحام ذرات[14] اولین بار توسط ابرهارت و کندی[15] (۱۹۹۵) ارائه شد. این الگوریتم از حرکت دسته جمعی جاندارانی مانند پرندگان و ماهیان الهام گرفته شده است. کومار و ردی[16] (۲۰۰۷) از الگوریتم ازدحام ذرات پیشنهادی با عنوان جهش[17] نخبه گرایی هجوم ذرات برای حل مسئله معروف چهار مخزنه معروف لارسون استفاده نمودند. سپس با روش‌های مختلف مقایسه کردند که در تمامی این نتایج برتری روش مورد نظر گزارش شده بود. شوریان و همکاران (۲۰۰۸) از تلفیق الگوریتم ازدحام ذرات و مادسیم[18] برای طراحی و بهره برداری از سیستم مخازن سیروان استفاده کردند. ژانگ و همکاران[19] (۲۰۱۱) از ترکیب الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی انرژی در یک سیستم چند مخزنه استفاده کردند.

در این مقاله الگوریتم ترکیبی[20] که ترکیبی از الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک است برای بهینه سازی انرژی برقابی سد دز مورد استفاده قرار گرفته است، در این الگوریتم خصوصیات خوب هر دو الگوریتم مبنا با هم ترکیب شده و الگوریتمی با کارایی بالا حاصل شد، و نهایتاً نتایج به‌دست آمده، با نتایج الگوریتم‌های ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک مقایسه گردیده است.

1- Wurbs
2-Meta heuristic algorithms
3-Genetic algorithm
4- Wardlaw and Sharif
5- Sharif and Wardlaw
6- Murray and Yakowitz
7- Cai *et al.*
8-Linear programming
9- Yuan *et al.*
10-Chaotic optimization
11-Hybrid Chaotic Genetic Algorithm
12- Chang *et al.*
13-Rule Curve
7-Particel Swarm Oprimization
15- Eberhart and Kennedy
16- Kumar and Reddy
17-Mutation
18-MODSIM
19- Zhang *et al.*
20- Hybrid of Particel Swarm Oprimization and Genetic Algorithm

بهبود عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات توسط ترکیب با الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ازدحام ذرات از حرکت دسته جمعی جاندارانی مانند پرندگان و ماهیان الهام گرفته شده است. در این الگوریتم از جمعیتی از ذرات استفاده می‌شود که فضای شدنی را برای پیدا کردن جواب‌های بهینه مورد کاوش قرار می‌دهند. در این جمعیت هر ذره دارای یک موقعیت و سرعت اولیه است. همچنین هر ذره بهترین موقعیتی که قبلاً مشاهده کرده است را به خاطر دارد. توانمندی الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک در حل مسائل پیچیده و مختلف بارها به اثبات رسیده است. به هر حال هرکدام از این دو روش دارای نقاط ضعف و قوتی هستند، مقایسه بین الگوریتم‌های ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک توسط ابرهارت و شی[1] (۱۹۹۸) و انجلاین[2] (۱۹۹۸) صورت گرفته و با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط آنها، پیشنهاد کردند که با ترکیب این دو الگوریتم مدل به‌دست آمده تبدیل به مدلی با کارایی قوی در حل مسائل و ایجاد یک فضای جستجوی خوب خواهد شد. در این مقاله هدف اصلی ترکیب الگوریتم‌های ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک است و اساس کلی این روش بدین صورت است که مزایای الگوریتم ازدحام ذرات بهمراه عملگرهای بسیار سودمند الگوریتم ژنتیک (جهش و تقاطع[3]) ترکیب و الگوریتم ترکیبی بوجود می‌آید (انجلاین، ۱۹۹۸) . یکی از مزایای الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک ساده بودن و کم بودن پارامترهای آن نسبت به الگوریتم ژنتیک است. تفاوت واضح دیگر توانایی در کنترل همگرایی به جواب بهینه می‌باشد. نرخ عملگرهای جهش و تقاطع می‌تواند به شیوه بسیار مناسبی کمک به همگرایی الگوریتم ژنتیک کند. اما این عملگرها با عملگر استهلاک[4] وزن سرعت در الگوریتم ازدحام ذرات متفاوت است، و در واقع با کاهش اثر این وزن طی تکرارهای متوالی، باعث افزایش همگرایی الگوریتم می‌شود. یکی از مشکلات اساسی الگوریتم ازدحام ذرات همگرایی زود رس این روش است که این همگرایی لزوماً رسیدن به جواب بهینه نمی‌باشد، برای جلوگیری از این اتفاق، موقعیت ذرات و همچنین بهترین ذره[5] باید تغییر کند و تغییر این موقعیت از طریق همان ترکیب با الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. عملگرهای بسیار کارامد الگوریتم ژنتیک، عملگر جهش و تقاطع می‌باشند که که با به‌کار گرفتن عملگر تقاطع اطلاعات بین دو ذره از جمعیت مبادله می‌شوند و بدین ترتیب ذره مورد نظر می‌تواند به یک نقطه جدید در فضای تصمیم منتقل شود. هدف از به‌کاربردن دومین عملگر مورد نظر(جهش) افزایش گوناگونی و ایجاد تنوع در جمعیت و نهایتا جلوگیری از رسیدن به جواب بهینه موضعی می‌باشد.

1- Eberhart and Shi
2- Angeline
3- Mutation and Crossover
4-Damping
5-Global best

اگر فضای جستجو D بعدی باشد، در این صورت موقعیت اولیه هر ذره با بردار D بعدی Xi=(xi1,xi2,...xiD) و سرعت اولیه آن با Vi=(vi1,vi2,...,viD) نشان داده می‌شود. همچنین بهترین موقعیت این ذره و بهترین موقعیتی که گروه آن را تجربه کرده است به ترتیب با Pi=(pi1,pi2,...,piD) و Pg نشان داده می‌شود. در این‌صورت موقعیت و سرعت ذره را می توان با دو رابطه زیر بیان کرد:

$$V^{n+1} = V^n + C_1 r_1 (P_i^n - X_i^n) + C_2 r_2 (P_g^n - X_i^n) \qquad (۱)$$

$$X_i^{n+1} = X_i^n + V_i^{n+1} \qquad (۲)$$

که در آن n: شماره تکرار، c_1 و c_2: ضرایب ثابتی هستند که به ترتیب پارامترهای شناختی و اجتماعی خوانده می‌شوند و r_1 وr_2: اعداد تصادفی در بازه ۰ و ۱ هستند. این دو رابطه در واقع نشان دهنده نسخه اولیه الگوریتم ازدحام ذرات هستند. در این الگوریتم هیچ مکانیسمی برای کنترل سرعت ذرات وجود ندارد. بنابراین سرعت ذرات به‌صورت غیرقابل کنترلی افزایش می‌یابد. و این باعث می‌شود که ذرات از روی جواب‌های مناسب عبور کنند. به همین دلیل از روش‌های مختلفی برای کنترل سرعت ذرات استفاده می شود. یکی از این روش‌ها اعمال مقدار حداکثر برای سرعت است. بدین شکل که در صورتی که سرعت ذرات از این مقدار بیشتر شد، سرعت را برابر حداکثر در نظر می‌گیریم. روش دیگر، که بیشتر مرسوم است، استفاده از ضریب w است که به آن اینرسی وزنی می‌گویند. درصورت استفاده از این ضریب رابطه (۱) به صورت زیر در خواهد آمد:

$$V^{n+1} = \lambda (wV^n + C_1 r_1 (P_i^n - X_i^n) + C_2 r_2 (P_g^n - X_i^n)) \qquad (۳)$$

c_1، c_2 و w: از طریق روابط زیر به‌دست می‌آیند. در رابطه بالا λ: ضریب انقباض نام دارد (کلرک[6]، ۱۹۹۹)، و هدف از به‌کار بردن آن اطمینان از همگرایی الگوریتم است. نحوه به‌دست آوردن این ضریب در زیر آمده است:

$$\varphi_1 = 2.05 , \quad \varphi_2 = 2.05 , \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \qquad (۴)$$
$$C_1 = \varphi_1 \lambda , C_2 = \varphi_2 \lambda$$

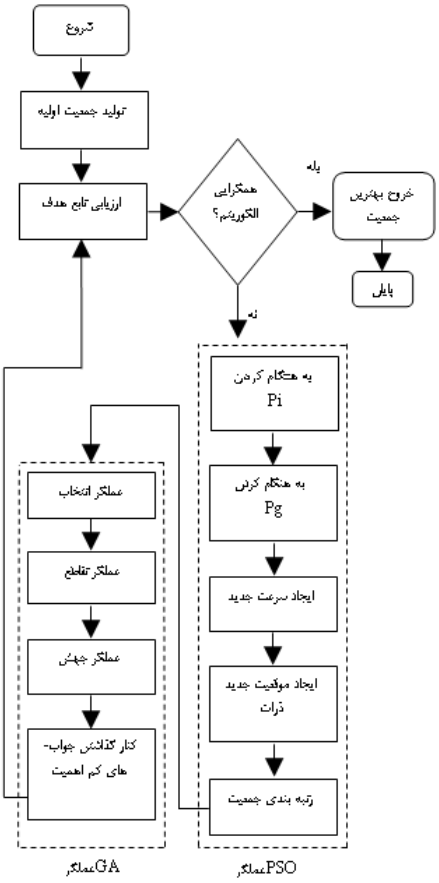
$$\lambda = \frac{2}{\varphi_1 - 2 + \sqrt{\varphi^2 - 4\times\varphi}} \qquad (۵)$$

$$w = w_{\max} - \frac{(w_{\max} - w_{\min}) \times n}{Iter_{\max}} \qquad (۶)$$

6- Clerc

که در آن w_{max} و w_{min}: به ترتیب اینرسی در ابتدا و انتهای فرایند می‌باشد. n: تعداد دفعات تکرار الگوریتم تا این لحظه، و $Iter_{max}$: تعداد کل تکرار در الگوریتم می‌باشد.

در الگوریتم ژنتیک کروموزوم‌ها به طور تصادفی برای افزایش تناسبشان اصلاح می‌شوند. دو راه حل اساسی برای این کار وجود دارد. اولین راه حل استفاده از عملگر تقاطع است که این فرآیند بر اساس ترکیب کروموزوم‌ها در طول تولید مثل در موجودات زنده شبیه سازی شده و دومین راه حل استفاده از عملگر جهش می‌باشد. گوناگونی و تنوع ژن‌ها از طریق این دو عملگر به طور مؤثری بهبود می‌یابد و این دو عملگر را می‌توان در الگوریتم ازدحام ذرات به منظور بهبود کارایی آن نیز به‌کار برد. نمودار نحوه ترکیب این دو الگوریتم در شکل (۱) آمده است.



شکل۱- الگوریتم ترکیبی ازدحام ذرات و ژنتیک اعمال الگوریتم ترکیبی در بهینه سازی انرژی برقابی[1]

جدول۱- مقادیر پارامترهای روش الگوریتم ترکیبی

احتمال تقاطع(درصد)	۰/۸
احتمال جهش(درصد)	۰/۰۵تا ۰/۵
λ	۰/۷۲۹
C_2	۱/۴۹۶
C_1	۱/۴۹۶
تعداد تکرار	۹۰۰۰-۲۵۰۰
تعداد ذرات	۵۰

1-Hydropower

برای تشریح پتانسیل الگوریتم توسعه یافته مورد نظر در کنترل و حل مسائل غیر خطی و غیر محدب در زمینه مدیریت منابع آب، بهینه سازی بهره‌برداری انرژی برقابی سد دز که در جنوب ایران واقع شده است به منظور آزمایش کارایی عملکرد روش مورد نظر مورد استفاده قرار گرفته است. سد دز بلندترین سد ایران و در زمان ساخت نیز مرتفع ترین سد مخزنی در خاورمیانه بوده و بر روی رودخانه دز در استان خوزستان، جنوب غربی ایران ساخته شده محل سد در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان دزفول قرار دارد. رودخانه دز که از ارتفاعات غربی زاگرس (کوه‌های بختیاری) سرچشمه می‌گیرد از نظر میزان آبدهی دومین رودخانه ایران محسوب می‌شود و در ۴۵ کیلومتری شمال اهواز به رودخانه کارون می‌پیوندد. سد دز از نوع بتنی دوقوسی می‌باشد که ارتفاع آن از پی ۲۰۳ متر و از کف رودخانه ۱۹۰ متر است. عرض بدنه در پی ۲۷ متر و در تاج ۴/۵ متر، طول تاج ۲۱۲ متر و رقوم تاج سد ۳۵۴ متر از سطح دریا می‌باشد. سطح دریاچه در این رقوم به ۶۵ کیلومتر مربع می‌رسد. در این مساله، حجم حداقل و حداکثر مخزن به ترتیب معادل۸۳۰ و ۳۳۴۰ میلیون متر مکعب و حجم اولیه مخزن ۱۳۴۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. از بین۴۰ سال آمار، پنج سال و ۲۰ سال ابتدایی (۶۰ و۲۴۰ دوره ماهیانه) به منظور مدل‌سازی انتخاب گردید. مقادیر نیاز و ورودی‌های ماهیانه مشخص می‌باشد، به گونه‌ای که جمع ورودی ماهیانه به مخزن در این۶۰ ماه معادل ۲۶۵۱۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. مقادیر مجاز آب رها شده از مخزن در بازه [۱۰۰۰،۰] می‌باشد. علاوه بر آن تراز پایاب نیروگاه سد دز معادل۱۷۲ متر از سطح دریا منظور شده است. و نیروگاه آن از ۸ و احد ۸۰/۸ مگاواتی تشکیل شده است که زمان کارکرد آن در طول روز حدود۱۰ ساعت می‌باشد. به این ترتیب در محاسبات ضریب کارکرد[1] معادل۰/۴۱۷ منظور شده است. ظرفیت نصب نیروگاه معادل۶۵۰ مگاوات و بازده آن معادل۹۰ درصد منظورگردیده است. در این مسأله تابع هدف به صورت حداقل سازی کمبود توان تولیدی نسبت به ظرفیت نصب نیروگاه تعریف شده است:

$$Minimize \quad F=\sum_{t=1}^{T}(1-\frac{P(t)}{PPC}) \qquad (۷)$$

که در رابطه فوق $P(t)$: توان تولیدی در دوره زمانی t و PPC: ظرفیت نصب نیروگاه می‌باشد.

به منظور محاسبه توان تولیدی، علاوه بر میزان آب رها شده از مخزن، میزان بار آب موثر بر توربین ها نیز می‌بایست تعریف گردد. بنابراین، مسأله بهره برداری بهینه برقابی از مخزن سد دارای قیود غیر خطی بوده و فضای جستجوی آن به صورت غیر محدب[2] می‌باشد. به طور کلی قیود این مساله را می توان به شکل زیر تعریف نمود:

$$P(t)=\min[(\frac{g\times\eta\times r(t)}{PF})\times(\frac{h(t)}{1000}),PPC] \qquad (۸)$$

$$h(t)=(\frac{H(t)+H(t+1)}{2})-TWL \qquad (۹)$$

$$H(t)=a+b\times S(t)+c\times S(t)^2+d\times S(t)^3 \qquad (۱۰)$$

$$S_{\min}\le S(t)\le S_{\max} \qquad (۱۱)$$

$$R_{\min}\le R(t)\le R_{\max} \qquad (۱۲)$$

$$S(t+1)=S(t)+Q(t)+R(t)-loss(t) \qquad (۱۳)$$

$$r(t)=c(t)\times R(t) \qquad (۱۴)$$

در فرمول‌های فوق g: شتاب ثقل (بر حسب m/s^2)، η: بازده نیروگاه، PF: ضریب کارکرد نیروگاه، h(t): بار آب موثر بر نیروگاه (با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود) H(t): تراز مخزن در دوره زمانی t (تابعی از حجم مخزن در دوره زمانی t)، R(t): میزان دبی آب عبوری از توربین در دوره زمانی t، S(t): حجم مخزن در ابتدای دوره زمانی t، Q(t): میزان جریان ورودی به مخزن در دوره زمانی t، losst: میزان تلفات(منظور از تلفات سرریز و تبخیر است که در اینجا از تبخیر صرف نظر شده است) در دوره زمانی t، R_{min}: کمترین میزان رهاسازی از مخزن، R_{max}: بیشترین میزان رهاسازی از مخزن،S_{min}: کمترین حجم مجاز مخزن، S_{max}: بیشترین حجم مجاز مخزن، c(t): ضریب تبدیل دبی عبوری از توربین به (m^2/s)، TWL: تراز پایاب نیروگاه، به منظور محاسبه بار آبی مؤثر بر توربین‌ها، با استفاده از اطلاعات حجم- ارتفاع مخزن، یک تابع چند جمله‌ای درجه سوم به رابطه (۴) برازش داده شده است که ضرایب ثابت آن در زیر آورده شده است:

a=۲۴۹/۸۳ b=۰/۰۵۸۷ c= $-۱/۳۷\times۱۰^{-۵}$

d= $-۱/۵۲۶\times۱۰^{-۹}$

نتایج و بحث

مسئله مورد نظر با روش الگوریتم ترکیبی در حالت با پنج سال و۲۰ سال آماری به ازای مقادیر جدول (۱) حل شده است. در این جدول مقدار احتمال جهش (درصد) به صورت خطی از ۰/۳ تا

1- Plant Factor

2- Non-Covex

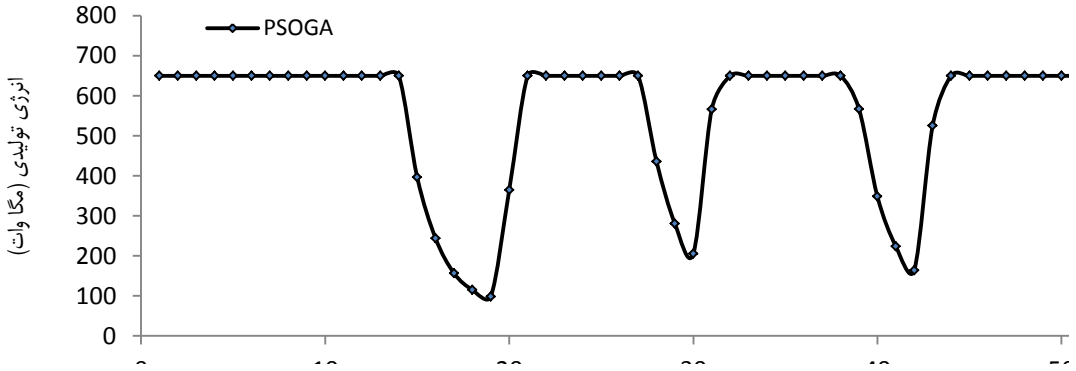
۰/۰۵ تغییر می‌کند. تعداد تکرارها برای دوره۶۰ ماهه ۲۵۰۰ و برای دوره ۲۴۰ ماهه ۹۰۰۰ می‌باشد.

جدول(۲) مقادیر تابع هدف مساله را به ازای ۱۰ اجرای مختلف، نشان می‌دهد.

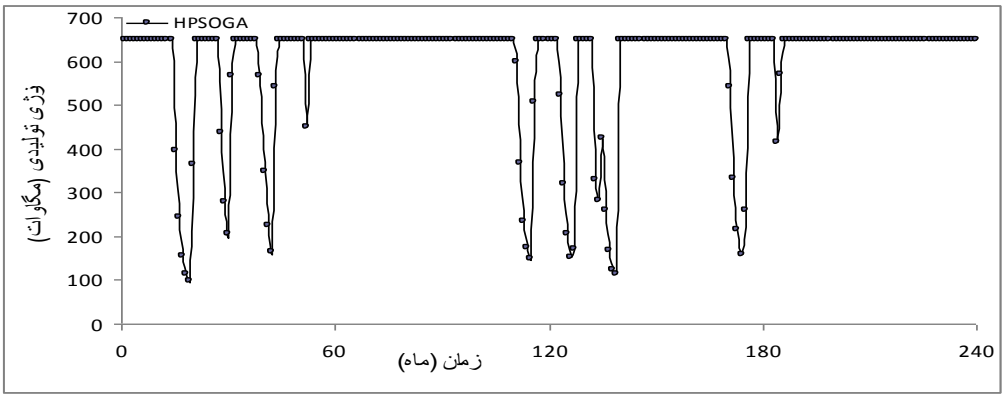
جدول۲- نتایج روش HPSOGA به ازای ۱۰ اجرای مختلف

تعداد اجرا	دوره ۶۰ ماهه	دوره ۲۴۰ ماهه
۱	۷/۵۶۶	۲۲/۱۶
۲	۷/۵۶۸	۲۳/۴۵۹
۳	۷/۷۹۱	۲۳/۵۴۴
۴	۷/۵۶۴	۲۲/۵۵۶
۵	۷/۵۶۶	۲۲/۸۱۱
۶	۷/۵۶۵	۲۱/۷۷۷
۷	۷/۵۶۶	۲۲/۶۵۶
۸	۷/۵۶۳	۲۳/۴۳۶
۹	۸/۰۸۳	۲۳/۰۵۵
۱۰	۷/۶۱۲	۲۲/۴۷۵
میانگین	۷/۷۹۱	۲۲/۸۱۱
حداکثر	۸/۰۸۳	۲۳/۵۴۴
حداقل	۷/۵۶۴	۲۱/۷۷۷
انحراف معیار	۰/۱۶۹۱	۰/۵۸۶۶

شکل‌های (۲ الف و ب) مقادیر انرژی تولیدی بدست آمده برای دوره‌های آماری ۲۴۰ و ۶۰ ماهه را نشان می‌دهند. همچنین در شکل‌های (۳ الف و ب) مقادیر رهاسازی به‌دست آمده از روش الگوریتم ترکیبی برای دوره‌های آماری ۲۴۰ و ۶۰ ماهه نشان داده شده است.

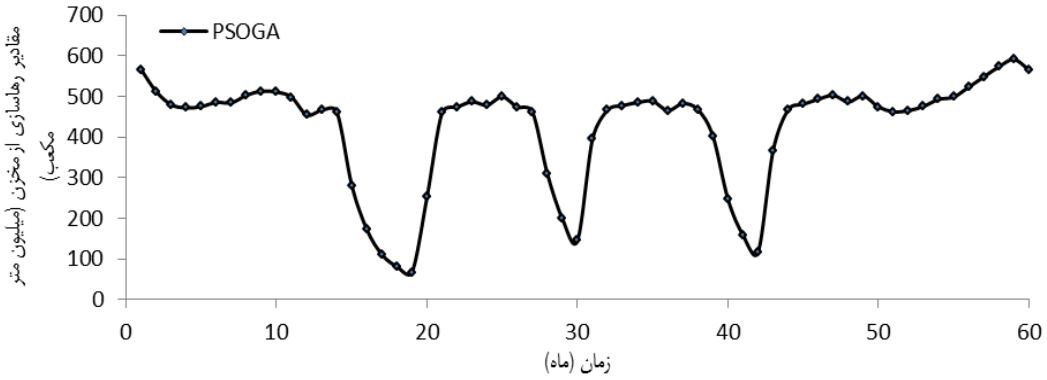


الف: دوره زمانی ۶۰ ماهه

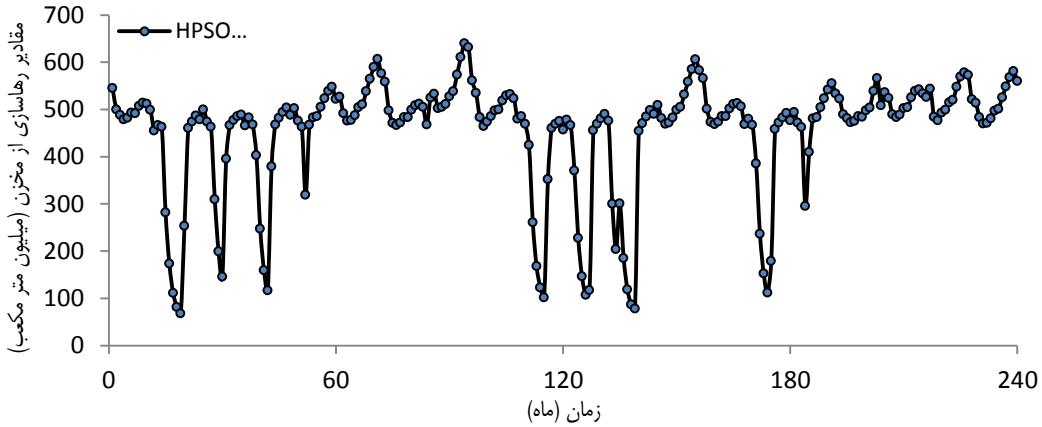


ب: دوره زمانی ۲۴۰ ماهه

شکل ۲- مقادیر انرژی تولیدی در دوره های زمانی ٦٠ و ٢٤٠ ماهه



الف : دوره زمانی ۶۰ ماهه



ب: دوره زمانی ۲۴۰ ماهه

شکل ۳- مقادیر آب رهاسازی شده از مخزن در دوره‌های زمانی ٦٠ و ٢٤٠ ماهه

جدول۳- نتایج روش‌های مختلف برای بهینه سازی بهره برداری انرژی برقابی

روش	دوره(ماه)	مینیمم	ماکزیمم	میانگین
ژنتیک الگوریتم	۶۰	۸/۰۸	۹/۱	۸/۴۸
	۲۴۰	۵۵/۱	۶۱۷	۱۵۹
ازدحام ذرات	۶۰	۹/۲۶	۱۴/۳	۱۴/۳
	۲۴۰	۲۲۱	۴۳۲۰	۱۶۰۰
روش ترکیبی الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک	۶۰	۷/۵۶۶۴	۸/۰۸۳۱	۷/۶۵۵۲
	۲۴۰	۲۱/۷۷۷	۲۳/۵۴۴۲	۲۲/۸۱۱۵

الگوریتم موردنظر (الگوریتم ترکیبی) برای مشخص کردن مقادیر رهاسازی مطلوب برای دوره‌های بهره‌برداری۶۰ و۲۴۰ ماه سد دز به کار گرفته شده است. برای ارزیابی کارایی الگوریتم مورد نظر، نتایج به دست آمده، با نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات (افشار و معینی، ۲۰۰۸؛ افشار و شهیدی، ۲۰۰۹)، که در جدول (۳) آورده شده است مقایسه شده‌اند.

نتیجه گیری

الگوریتم ازدحام ذرات بر اساس شبیه سازی یک رفتار جمعی است که توانایی آن در حل مسائل بهینه سازی بارها به اثبات رسیده است. الگوریتم ترکیبی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است می‌تواند از مشکلاتی که الگوریتم ازدحام ذرات در به دست آوردن بهینه مطلق که همان همگرایی زود رس و کند آن است جلوگیری کرده و باعث ارتقاع و افزایش اعتماد پذیری الگوریتم ازدحام ذرات در پیدا کردن جواب بهینه شده و نتایج حاصل از آن تا حد زیادی قابل قبول می‌باشد به طوری که بدون قرار گرفتن در بهینه موضعی، در مسائل منابع آب از جمله بهینه سازی انرژی برقابی سد، به طور مؤثری کارامد می‌باشد. الگوریتم ترکیبی، در واقع سرعت الگوریتم ازدحام ذرات و توانایی شناخته شده الگوریتم ژنتیک را در به دست آوردن جواب‌های بهینه با هم ترکیب کرده و تعادلی بین این دو برقرار می‌کند، بدین ترتیب باعث افزایش توانمندی و کارامدی فضای جستجو می‌شود به طوری که در فضاهای جستجوی پیچیده جواب‌های مناسبی ارائه می‌دهد. الگوریتم بهبود داده شده حاصل، برای بهینه سازی انرژی برقابی سد دز در دو دوره۶۰ و ۲۴۰ ماهه به کار گرفته شده و نتایج حاصل از آن با نتایج الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک مقایسه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از روش ترکیبی، در مقایسه با روش های مبنای این روش یعنی ازدحام ذرات و ژنتیک ، جواب‌های حاصل شده بهبود قابل توجهی داشته‌اند و مخصوصاً با افزایش متغیرها از ۶۰ به ۲۴۰ مشاهده شد که مقدار تابع هدف نسبت به دو روش دیگر کاهش محسوس تری داشته و این موضوع بیانگر عملکرد مناسب این روش در زمینه بهینه سازی انرژی برقابی سد می‌باشد.

منابع

1- Afshar, M. H. and R. Moeini. 2008. Partially and fully constrained ant algorithms for the optimal solution of large scale reservoir operation problems. Water Resources Management, 22(12): 1835–1857.

2- Afshar, M. H. and M. Shahidi. 2009. Optimal solution of large-scale reservoir-operation problems: Cellular-automata versus heuristic-search methods. Engineering Optimization, 41(3):275-293.

3- Angeline, P. J. 1998. Evolutionary optimization versus particle swarm optimization: Philosophy and performance differences. Evolutionary Programming VII, Lecture Notes in Computer Science, 1447: 601-611.

4- Cai, X., McKinney, D. C. and L. S. Lasdon. 2001. Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach. Advances in Water Resources, 24(6): 667–676.

5- Chang, F. J., Chen, L. and L. C. Chang. 2005. Optimizing reservoir operating rule curves by genetic algorithms. Hydrological Processes, 19(11): 2277-2289.

6- Clerc, M. 1999. The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization. In Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, 3: 1951-1957.

7- Dariane, A. B. and S. Momtahen. 2009. Optimization of multireservoir systems operation using modified direct search genetic algorithm. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 135(3):141–148.

8- Eberhart, R. and J. Kennedy. 1995. A new optimizer using particle swarm theory. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 1: 39-43.

9- Eberhart, R. C. and Y. Shi. 1998. Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization. Evolutionary Programming VII, Lecture Notes in Computer Science, 1447: 611-616.

10- Kumar, D. N. and M. J. Reddy. 2007. Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 133(3): 192-201.

11- Murray, D. M. and S. J. Yakowitz. 1979. Constrained differential dynamic programming and its application to multireservoir control. Water Resources Research, 15(5): 1017–1027.

12- Sharif, M. and R. Wardlaw. 2000. Multireservoir systems optimization using genetic algorithms: Case study. Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 14(4): 255-263.

13- Shourian, M., Mousavi S. J. and A. Tahershamsi. 2008. Basin-wide water resources planning by integrating PSO algorithm and MODSIM. Water Resourceces Management, 22(10): 1347-1366.

14- Wardlaw, R. and M. Sharif. 1999. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 125(1): 25-33.

15- Wurbs, R. A. 1993. Reservoir-system simulation and optimization models. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 119(4): 455-472.

16- Yuan, X., Yuan, Y. and Y. Zhang. 2002. A hybrid chaotic genetic algorithm for short-term hydro system scheduling. Mathematics and Computers in Simulation, 59(4): 319-327.

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