

## توسعه و کاربرد الگوریتم JPSO در بهینه سازی بهره برداری از آبگیرها سدها

رسول رجب پور<sup>\*</sup>، ناصر طالب‌بیدختی<sup>۲</sup>، غلامرضا رخشنده‌رو<sup>۲</sup>

### چکیده

اخیراً روشهای فراکاشی به عنوان ابزاری کارآمد جهت حل مسائل پیچیده‌ی مهندسی مورد استفاده‌ی بسیار قرار گرفته است. یکی از این روشها الگوریتم JPSO می‌باشد که در این تحقیق با اعمال تغییراتی ابتکاری در ماهیت پرش الگوریتم JPSO، امکان حل مسائل مبتنی بر ساخت نمودار در آن فراهم گردیده و الگوریتم جدیدی به نام G-JPSO<sup>۳</sup> ارائه شده است. مساله بهره‌برداری ساده و برقایی از آبگیرها سدها یکی از مسائل مهم در حوزه‌ی مدیریت منابع آب می‌باشد، که یکی از الزامات حل این گونه مسائل در فضای گسسته، ساختن نمودار مناسب است. در این مقاله کاربرد الگوریتم جدید توسعه داده شده در تابع پیچیده‌ی ریاضی اکلی<sup>۴</sup>، و مساله‌ی بهره‌برداری ساده و برقایی از آبگیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته، و در نهایت نتایج آن با الگوریتم جامعه‌ی مورچگان مقایسه شده است. نتایج نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی در حل تابع اکلی به بهینه‌ی مطلق رسید، و کمترین مقدار تابع هدف در مساله بهره‌برداری ساده و برقایی با  $200/000$  بار محاسبه تابع هدف برابر با  $1/07$  و  $7/83$  به دست آمد که این مقادیر برای الگوریتم جامعه مورچگان به ترتیب برابر با  $0/93$  و  $10/1$  می‌باشد. این مقایسه نشان‌دهنده‌ی توانایی بالای الگوریتم ارائه شده در پیدا کردن جوابهائی نزدیک به پاسخ بهینه با صرف هزینه‌ی محاسباتی مناسب می‌باشد.

**واژه های کلیدی:** بهینه سازی، الگوریتم PSO، بهره‌برداری ساده و برقایی.

<sup>۱</sup> - دانشجوی دکترای مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

<sup>۲</sup> - استاد، بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز

<sup>\*</sup> - نویسنده مسوول مقاله: rasoul\_1360@yahoo.com

<sup>۳</sup> Graph- Jumping Particle Swarm Optimization

<sup>۴</sup> Ackley

## مقدمه

منابع آب به منظور دستیابی به اهداف گوناگونی همچون تامین نیازهای آبی، مهار کردن و کاهش سیلاب، تولید کارمایه برقایی و غیره مورد بهره برداری قرار می-گیرند. یکی از سازه‌های ساخته شده برای این منظور سد است. به همین دلیل است که مساله بهره‌برداری بهینه از آبگیرها سدها یکی از اهداف مهم مهندسين منابع آب بوده است.

تاکنون روشهای مختلفی به منظور مساله بهره‌برداری بهینه از آبگیرها سدها پیشنهاد شده که از آن جمله می-توان روش برنامه ریزی خطی و غیرخطی، برنامه‌ریزی پویا و اخیرا روشهای فراکاووشی را نام برد. برخی از این روشهای حل مسائل بهینه سازی توانائی رسیدن به جوابهای بهینه مطلق را دارا می‌باشند و برخی دیگر مانند الگوریتمهای فراکاووشی<sup>۱</sup> تنها به رسیدن به جوابهای خوب و مناسب بسنده می‌کنند. فلسفه پیدایش روشهایی که توانائی رسیدن به جوابهای نزدیک به جواب بهینه را دارا می‌باشند را می‌توان در این واقعیت دانست که برخی از مسائل بهینه‌سازی شدیداً غیرخطی می‌باشند به گونه‌ای که الگوریتمی صریح برای حل آنها وجود ندارد. الگوریتمهای فراکاووشی نامی معمول برای روشهایی است که عموماً برگرفته از طبیعت هستند و اساساً سعی در ترکیب اصول اولیه روشهای کاوشی برای رسیدن به یک جستجوی موثر و کارا در محدوده مورد نظر دارند.

مساله بهره‌برداری بهینه از آبگیر سد یک مساله غیر خطی غیرمحدب می‌باشد که در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته است. یه در سال ۱۹۸۵، بررسی جامعی از روشهای مورد استفاده در این مساله را انجام داد. از روش برنامه‌ریزی خطی برای حل مساله بهره‌برداری از آبگیر استفاده شده در حالی که این مساله در مقیاس واقعی کاملاً غیرخطی می‌باشد، با این حال با خطی سازی آن می‌توان در حل آن اقدام نمود. روش برنامه‌ریزی غیرخطی برای مساله بهره‌برداری از آبگیر زیاد مناسب نیست زیرا هم کند و هم برای مسائل غیرمحدب کارا نمی‌باشد. پنگ و بورس(۲۰۰۰) و کسای و همکاران(۲۰۰۲) از روش

برنامه‌ریزی غیرخطی جهت بهینه سازی آبگیر چند منظوره استفاده نمودند.

از آنجا که مساله بهره‌برداری از آبگیر یک فرایند پی در پی می‌باشد روش برنامه‌ریزی پویا جهت حل این مساله استفاده گردید. روش برنامه ریزی پویا به راحتی می‌تواند مسائل غیرخطی غیرمحدب را حل نماید. مارینو و لویسیاگا(۱۹۸۵) و بکر و یه(۱۹۷۴) مساله بهره‌برداری از آبگیر را با روش برنامه ریزی پویا حل نمودند.

در سال‌های اخیر استفاده از روشهای فراکاووشی با پیشرفتی سریع در حل مسائل پیچیده و مشکل بهینه سازی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته اند. است و هال(۱۹۹۴) از الگوریتم ژنتیک در حل مساله چهارآبگیره با تابع هدف بیشینه سازی منفعت برقایی و تامین آب آبیاری استفاده نمودند. آنها در تحقیقشان نشان دادند که الگوریتم ژنتیک با برتری زیادی نسبت به روش برنامه-ریزی پویا می‌تواند در حل مساله بهره‌برداری از آبگیر کمک نماید. همچنین واشاخلاو و شریف(۱۹۹۹) از الگوریتم ژنتیک، جلالی و همکاران(۲۰۰۶) از الگوریتم جامعه مورچگان، بزرگ حداد و همکاران(۲۰۰۶) از الگوریتم کلونی زنبور عسل جهت حل مساله بهره‌برداری بهینه از آبگیر استفاده نمودند. در زمینه بهره‌برداری از آبگیر، بالتر و فوتنن در سال ۲۰۰۶ کاربرد الگوریتم پیشنهادی کوئلو و لکونتا در سال ۲۰۰۲ را در مساله بهره-برداری آبگیر بررسی کرده‌اند و نتایج را با روش قید-اپسیلون مقایسه نموده‌اند. کومار و ردی در سال ۲۰۰۷ با استفاده از الگوریتم PSO و با روش وزن دهی و تبدیل نخبه‌گرایی و جهش در فرایند جستجوی تک هدفه، مساله بهره‌برداری آبگیر با اهداف کشاورزی و تولید کارمایه برقایی را مورد بررسی قرار داد. جلالی و همکاران در سال ۲۰۰۷ از الگوریتم مورچگان با ساختار گسسته در یک سامانه چند آبگیره استفاده کردند. معینی و افشار در سال ۲۰۰۹ با سه فرمول‌بندی مساله بهره‌برداری بهینه از آبگیر را با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان بررسی نمودند. افشار و همکاران در سال ۱۳۹۰ با استفاده از ساز و کار نظریف تطبیقی قطعی در الگوریتم مورچه‌ها، بهره‌برداری بهینه از آبگیر سدها را انجام دادند. مقایسه نتایج تحقیقشان با نرم افزار LINGO نشان دهنده تاثیر بسزای

<sup>1</sup> Meta heuristic Algorithms

### مروری بر الگوریتم‌های PSO ناپیوسته

اولین بار کندی و ابره‌ارت (Kennedy and Eberhart, 1997) با ایجاد تغییر ساده‌ای در ماهیت PSO معیار، این الگوریتم را برای حل مسائل ناپیوسته شاخص شده به صورت صفر و یک به کار بردند. در PSO معیار منظور از سرعت، بردار حرکت جزء در فضای جستجو می‌باشد، اما در فضای گسسته دیگر نمی‌توان چنین معنایی برای سرعت قائل بود. در این الگوریتم تحول یافته، سرعت آستانه احتمالی است که بر اساس آن متغیر  $x_{ij}$  مقدار صفر یا یک را اختیار می‌نماید.

در این الگوریتم نحوه بهنگام سازی سرعت تقریباً مشابه PSO معیار است، با این تفاوت که فراسنج لختی وزنی ( $w$ ) در آن اعمال نمی‌شود.

$$v'_{ij} = v_{ij} + c_1 \text{rand}() (b_{ij} - x_{ij}) + c_2 \text{rand}() (g_j^* - x_{ij})$$

برای تعیین مقدار جدیدی برای متغیر  $x_{ij}$  ابتدا لازم است مقدار سرعت به عددی بین صفر و یک تبدیل شود. برای این منظور از تابع زیگمید<sup>۱</sup>  $S(x)$  استفاده می‌شود.

$$S(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2)$$

سپس مقدار متغیر  $x_{ij}$  به صورت تصادفی و رابطه‌ی ۳ انتخاب می‌شود.

$$x'_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } (\text{rand}() < S(v'_{ij})) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

یانگ و همکاران (Yang et al. 2004) و الکاظمی و موهان (Al-Kazemi and Mohan, 2000) بر پایه الگوریتم PSO ناپیوسته کندی و ابره‌ارت، الگوریتم‌های PSO مشابهی را برای حل مسائل شاخص شده به صورت صفر و یک ارائه نمودند. نحوه به روز نمودن سرعت‌ها، تفاوت عمده این دو الگوریتم با الگوریتم PSO ناپیوسته کندی و ابره‌ارت می‌باشد.

الگوریتم PSO در بهینه‌سازی مسائل ناپیوسته جایگشتی<sup>۲</sup> نیز مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از نمونه‌های بارز مسائل جایگشتی، مساله فروشنده دوره‌گرد (TSP) می‌باشد. اولین بار کلرک (Clerc, 2000) الگوریتمی مبتنی بر PSO جهت حل مساله TSP ارائه نمود. سپس هندلااس (Hendtlass, 2003) الگوریتم اولیه کلرک را بهبود داده و

ساز و کار استفاده شده در بهبود جواب مسائل داشت. در سال ۱۳۸۹ برهانی داریان و مرادی، شبیه‌سازی بهره‌برداری از سامانه‌های پیچیده‌ی چند آبگیره با الگوریتم جامعه مورچگان مطرح و نتایج را با الگوریتم ژنتیک مقایسه نمودند. روش پیشنهادی آنها در کاهش زمان محاسبات و بهبود جواب‌ها تاثیر بسزایی داشته است. مهدی‌پور و همکاران در سال ۱۳۹۳ بهره‌وری بهینه از سامانه‌ی تلفیقی آبخوان-سد را با رویکرد برنامه ریزی ژنتیک مورد بررسی قرار دادند.

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مسائل مختلف منابع آب با استفاده از الگوریتم PSO به عنوان یکی از روشهای فراکاوشی شده است. به عنوان مثال رجب‌پور و افشار در سال ۲۰۰۹ در بهره‌برداری بهینه ایستگاه‌های آبکشی، معراجی و همکاران در سال ۲۰۰۶ در بهره‌برداری تک هدفه سد دز استفاده نمودند. در تمام این مسائل از الگوریتم PSO پیوسته استفاده شد. مهدی‌پور و بزرگ‌حداد در سال ۱۳۹۱ بهینه‌سازی بهره‌برداری از آبگیرها سدهای چند منظوره را با الگوریتم PSO با اهداف برقیابی، تامین نیاز پایین‌دست، مهار کردن سیلاب و تفریحات مورد بررسی قرار دادند. افشار در سال ۲۰۱۲ دو نسخه از الگوریتم PSO مقید را جهت بهره‌برداری موثر و کارآمد از آب و تولید کارمایه از سامانه تک آبگیره سد دز در ایران را پیشنهاد داد. در سال ۲۰۱۲ ژانگ و همکاران یک الگوریتم PSO چند هدفه برای بهینه‌سازی سامانه‌های کارمایه گرمایی با در نظر گرفتن دو جنبه اقتصادی و زیست-محیطی را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. افشار و همکاران در سال ۲۰۱۴ بهینه‌سازی بهره‌برداری آب و برقیابی را با الگوریتم رقابت استعماری انجام دادند.

در این پژوهش سعی بر آن است که با اعمال تغییراتی ابتکاری در ماهیت پرش الگوریتم JPSO، قابلیت حل مسائل گسسته نموداری در آن ایجاد شده و الگوریتم جدید توسعه داده شده در تابع پیچیده ریاضی اکلی و مساله بهره‌برداری ساده و برقیابی از آبگیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و در نهایت نتایج آن با الگوریتم جامعه مورچگان مقایسه شود.

<sup>1</sup> sigmoid

<sup>2</sup> Permutation

۵- مراحل ۲ تا ۵ تا زمان رسیدن به شرط توقف تکرار می‌شود.

جدول Error! No text of specified style in document.  
۱- فراسنجهای لازم در روش MVPSO

۱	$x_1 \dots x_i \dots x_n$	n متغیر تصمیم
۲	$\begin{bmatrix} v_{1i} \\ \vdots \\ v_{ki} \\ \vdots \\ v_{ni} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} v_{1i} \\ \vdots \\ v_{ki} \\ \vdots \\ v_{ni} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} v_{1i} \\ \vdots \\ v_{ki} \\ \vdots \\ v_{ni} \end{bmatrix}$	مقادیر مجاز برای متغیرهای تصمیم
۳	$\begin{bmatrix} s_{1i} \\ \vdots \\ s_{ki} \\ \vdots \\ s_{ni} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} s_{1i} \\ \vdots \\ s_{ki} \\ \vdots \\ s_{ni} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} s_{1i} \\ \vdots \\ s_{ki} \\ \vdots \\ s_{ni} \end{bmatrix}$	بیان یک جزء در MVPSO

مرونو-پرز و همکاران (Morono-Perez et al, 2007) روش جدیدی را بر پایه PSO، برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی ابداع نمودند. آنها با اشاره به این موضوع که در فضای گسسته سرعت به صورت بردار حرکت جزء در فضای جستجو قابل تعریف نیست، از وارد کردن آن در روش خود صرف نظر نمودند. در این روش حرکت یک جزء در فضای ناپیوسته به صورت پرش آن جزء از پاسخی به پاسخ دیگر، تعبیر می‌شود. چنین حرکتی را می‌توان به پرش قورباغه‌ها روی نیلوفرها تشبیه نمود. نام این الگوریتم PSO جهنده<sup>۴</sup> (JPSO)، می‌باشد.

### PSO جهنده (JPSO)

در این روش موقعیت یک جزء  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{is})$  (S تعداد متغیرهای تصمیم است) به صورت یک پاسخ قابل قبول برای مساله بهینه‌سازی ترکیبی مورد بررسی شاخص می‌شود. موقعیت جزء در هر تکرار از طریق پرش از پاسخی به پاسخ دیگر تغییر می‌کند. در یک تکرار چهار نوع پرش می‌تواند وجود داشته باشد که یکی از آنها انتخاب می‌گردد. نوع اول، پرش کاملاً تصادفی است. نوع دوم، پرش به سمت بهترین موقعیت قبلی جزء  $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{is})$ ، نوع سوم، پرش به سمت بهترین موقعیت در همسایگی محلی جزء  $G_i = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{is})$  و نوع چهارم، پرش به سمت بهترین موقعیت در تکرار  $G^* = (g_1, g_2, \dots, g_s)$  می‌باشند. در این روش به  $B_i$

در حل مساله فروشنده دوره‌گرد با ابعاد بزرگتر از آن استفاده نمود. ونگ و همکاران (Wang et al, 2003) با ایجاد تغییراتی ابتکاری در عملگرهای PSO، اقدام به حل مساله فروشنده دوره‌گرد نمودند. آنها با تعریف مفاهیم عملگرهای معاوضه‌ای و توالی معاوضه‌ای، روش نوینی را برای حل مسائل جایگشتی ارائه نمودند. بعدها شی و همکاران (Shi et al, 2007) روش ونگ و همکاران را بهبود بخشیده و از آن در حل مساله فروشنده دوره‌گرد و مساله فروشنده دوره‌گرد عمومیت یافته<sup>۱</sup> استفاده نمودند.

پوق و مارتینلی (Pugh and Martinoli, 2006) الگوریتم PSO ناپیوسته‌ای را برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی با نام MVPSO<sup>۲</sup> ارائه نمودند. در این روش لزومی ندارد مساله به صورت صفر و یک شاخص شده باشد و متغیرهای تصمیم می‌توانند مقادیر مختلفی را به خود اختصاص دهند. در PSO معیار، هر جزء یک آرایه یک بعدی از مقادیر تخصیص داده شده به متغیرهای تصمیم است. اما در MVPSO هر جزء یک آرایه دو بعدی از نمره‌های نسبت داده شده به مقادیر مجاز در هر متغیر تصمیم می‌باشد (ردیف ۳ جدول ۱). نمره فراسنجی پیوسته است. به این ترتیب به راحتی می‌توان از PSO معیار استفاده نمود. فرض کنید برای مساله‌ای n متغیر تصمیم موجود باشد و به ازاء هر متغیر تصمیم  $x_i$  مقدار قابل انتخاب موجود باشد. در این صورت در MVPSO موقعیت یک جزء به صورت ردیف ۳ جدول ۱-۳ نشان داده می‌شود که در آن  $s_{ki}$  نمره<sup>۳</sup> مقدار  $v_{ki}$  را نشان می‌دهد. حال در هر تکرار مراحل زیر انجام می‌شود:

- ۱- موقعیت اولیه اجزاء تعیین می‌شود (نمره‌ها به صورت تصادفی تعیین می‌شوند).
- ۲- به ازاء هر جزء یک پاسخ ساخته می‌شود. در این مرحله برای هر متغیر تصمیم یکی از مقادیر مجاز با احتمالی متناسب با نمره آن انتخاب می‌شود.
- ۳- تابع هدف برای پاسخ ایجاد شده به وسیله ی هر جزء محاسبه می‌شود.
- ۴- موقعیت اجزاء مشابه روش PSO معیار بهنگام می‌شود (نمره‌ها به هنگام می‌شوند).

<sup>1</sup> Generalized Travelling Salesman Problem

<sup>2</sup> Multi Value PSO

<sup>3</sup> Score

<sup>4</sup> Jumping Particle Swarm Optimization

تغییرات ایجاد شده در الگوریتم JPSO، مربوط به ماهیت پرش در آن می‌باشد که در ادامه نحوه اعمال پرش در  $G$ -JPSO شرح داده می‌شود.

شکل ۲ تمامی مراحل انجام پرش به سمت جاذب را نشان می‌دهد. در مرحله ۵-۴ (شکل ۲) یا مرحله انجام پرش در جزء  $i$  ام، ابتدا جزء (شکل ۲ الف) و جاذب (یک زیر مجموعه تصادفی از درون کل مجموعه گزینه‌های تصمیم) (شکل ۲ ب) بر هم نهی شده و یک آرایش پایه (زیر آرایشی از آرایش حداکثر) به دست می‌آید (شکل ۲ ج). سپس یک نمودار پاسخ جدید از میان این آرایش پایه انتخاب می‌شود (شکل ۲ د). لازم به ذکر است که هر جزء و هر جاذب ایجاد شده یک نمودار پاسخ می‌باشد.

#### الگوریتم G-JPSO

در این روش هر جزء زیر مجموعه‌ای از مجموعه گزینه‌های تصمیم می‌باشد.

۱- تولید اولیه جمعیتی از اجزاء به صورت تصادفی (ساخت نمودار اولیه)

۲- محاسبه تابع هدف

۳- بهنگام سازی بهترین موقعیت قبلی هر جزء  $B_i$  و بهترین موقعیت در همسایگی محلی هر جزء  $G_i$  و بهنگام سازی بهترین موقعیت در تکرار  $G^*$

۴- بهنگام سازی  $C_1, C_2, C_3, C_4$  (رابطه ۴)، (در طول تکرارها بطور خطی از مقدار  $C_1$  کاسته شده و به مقدار  $C_2, C_3$  و  $C_4$  اضافه می‌شود).

۵- بهنگام سازی اجزاء:

۵-۱-  $i$  را برابر ۱ قرار بده

۵-۲- اگر  $i$  بزرگتر از اندازه جمعیت باشد برو به مرحله ۶

۵-۳- انتخاب جاذب جزء  $i$  ام.

تولید عدد تصادفی  $R$  ( $0 < R < 1$ ).

اگر  $(0 < R < C_1)$  آنگاه پرش به صورت تصادفی می‌باشد.

اگر  $(C_1 < R < C_1 + C_2)$  آنگاه  $B_i$ ، (هدایت کننده  $B_i \rightarrow$ )

اگر  $(C_1 + C_2 < R < C_1 + C_2 + C_3)$  آنگاه

(هدایت کننده  $G_i \rightarrow$ )

اگر  $(C_1 + C_2 + C_3 < R < 1)$  آنگاه (هدایت کننده  $G^* \rightarrow$ )

۵-۴- انجام پرش در جزء  $i$  ام.

۵-۵-  $i$  را برابر  $i+1$  قرار بده و برو به مرحله ۵-۲

۶- اگر شرط توقف (حداکثر تکرار) حاصل گردید، عملیات خاتمه می‌یابد. در غیر این صورت از مرحله ۲ مراحل مجدداً تکرار می‌شوند.

#### شکل ۱- الگوریتم G-JPSO

$G_i^*$  و  $G_i$  اصطلاحاً جاذب<sup>۱</sup> گفته می‌شود. بهنگام سازی موقعیت اجزاء با رابطه ۴ بیان می‌شود:

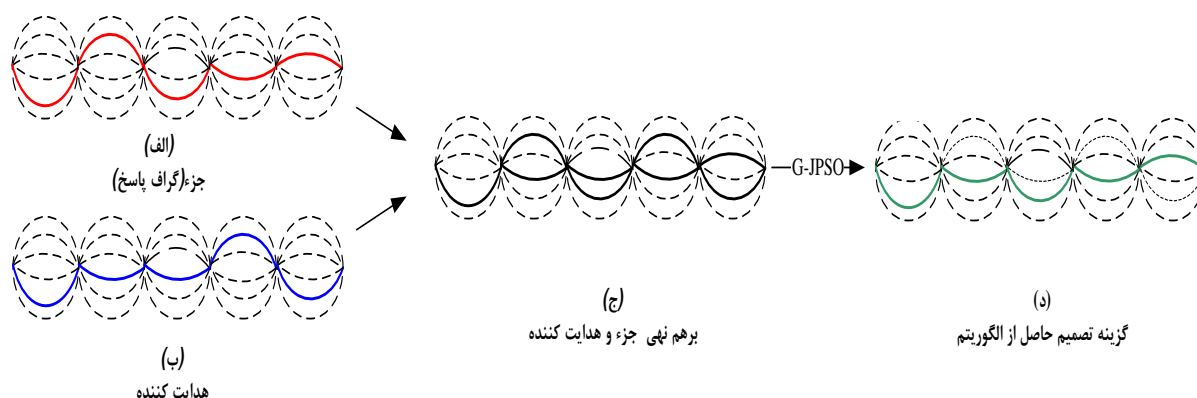
$$X_i = c_1 X_i \oplus c_2 B_i \oplus c_3 G_i \oplus c_4 G^* \quad (4)$$

این رابطه بیان می‌کند که با احتمال  $C_1$  پرش به صورت تصادفی انجام می‌شود (پرش نوع اول)، با احتمال  $C_2$  پرش به سمت  $B_i$  صورت می‌گیرد (پرش نوع دوم)، با احتمال  $C_3$  پرش به سمت  $G_i$  صورت می‌گیرد (پرش نوع سوم) و با احتمال  $C_4$  پرش به سمت  $G^*$  صورت می‌گیرد (پرش نوع چهارم). مجموعه مقادیر  $C_1, C_2, C_3$  و  $C_4$  برابر یک می‌باشد و در هر مرحله صرفاً یکی از آنها عمل می‌کند. در هر مرحله پرش به صورت گام به گام انجام می‌شود. فرض کنید یکی از انواع پرش با احتمال انتخاب  $C_i$ ، برای جزء مورد نظر انتخاب شده باشد. در گام اول پرش، یکی از متغیرهای تصمیم به صورت تصادفی و با احتمالی یکنواخت انتخاب شده و مقدار آن تغییر داده می‌شود. در پرش نوع اول تغییر مقدار متغیر تصمیم کاملاً تصادفی است در حالی که در پرش‌های نوع دوم، سوم و چهارم مقدار متغیر تصمیم انتخاب شده با مقدار متناظر آن در جاذب جایگزین می‌شود. پس از تکمیل گام اول، عدد تصادفی  $R$  با احتمال یکنواخت، بین صفر و یک انتخاب می‌شود. اگر  $R$  کوچکتر از  $C_i$  بود، آنگاه یکی دیگر از متغیرهای تصمیم به صورت تصادفی و با احتمالی یکنواخت انتخاب شده و مقدار آن تغییر داده می‌شود و در غیر این صورت پرش متوقف می‌شود.

#### ساز و کار الگوریتم پیشنهادی

اولین بار کشکولی و منعم (۱۳۸۸) با اعمال تغییراتی ابتکاری در ماهیت پرش الگوریتم JPSO، الگوریتم روش درخت را جهت حل مساله آرایش بهینه شبکه آبیاری تحت فشار آزمودند. در این پژوهش با الگوبرداری از آن روش و با اعمال تغییرات دیگری قابلیت حل مسائل گسسته نموداری در آن ایجاد شده است. این الگوریتم به عنوان G-JPSO نامگذاری شده و اساس آن در شکل ۱ ارائه شده است.

<sup>1</sup> Attractor



شکل ۲- نحوه اعمال پرش و بهنگام سازی یک جزء در G-JPSO

این تابع دارای چندین حداقل موضعی است که از هر طرف به سمت یک حداقل مطلق در حرکت است. بدلیل وجود این حداقلهای موضعی، روشهای بهینه‌سازی صریح که مبتنی بر صعودقله می‌باشند مطمئناً در یکی از این حداقلهای موضعی محصور خواهند شد. اما راهکارهای جستجو که محدوده همسایگی وسیعتری را در بر می‌گیرند همچون روشهای فراکاووشی، ممکن است به جوابهای خوبتری ختم شود.

بدلیل متقارن بودن تابع نسبت به متغیرهای تصمیم آن، مقادیر بهینه این متغیرها مساوی یکدیگر بوده و فارغ از بعد مساله می‌باشند. مقدار بهینه مطلق این تابع در مقادیر صفر متغیرهای تصمیم اتفاق افتاده و برابر با صفر است.

جهت شبیه سازی مساله حداقل سازی تابع فوق محدوده  $[-5,5]$  به  $[-30,30]$  افزایش یافته و برای ۶ حالت مختلف ابعاد تابع از حالت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ بعدی استفاده شد. به دلیل ماهیت گسسته الگوریتم پیشنهادی، محدوده متغیرهای تصمیم می‌بایست دسته بندی شود. به این منظور محدوده‌های مورد نظر به ۱۱ دسته مساوی تقسیم شده است و با فراسنجهای زیر اجزای تابع هدف انجام گردید. در جدول (۲) فراسنجهای الگوریتم JPSO مورد استفاده در حل تابع اقلی شده است.

جدول ۲- فراسنجهای الگوریتم JPSO در حل تابع اقلی

تعداد تکرار	تعداد ذرات	C1	C2	C3	C4
۱۰۰۰	۲۰	۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵

### مسائل نمونه

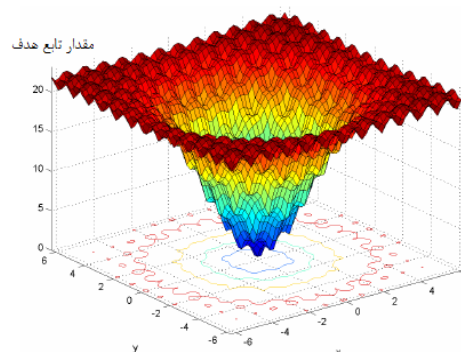
به منظور بررسی قابلیت الگوریتم پیشنهادی، در ابتدا، تابع پیچیده ریاضی اقلی و در ادامه مساله بهره‌برداری بهینه ساده و برقابی از آبنگه سد دز، بعنوان یک مساله بهینه سازی واقعی در حوزه مهندسی آب، مورد بررسی قرار گرفته است.

### تابع ریاضی اقلی

شکل ۳ تابع اقلی را که یک تابع آزمایشی پیوسته و Multimodal با توابع غیر خطی نمایی و کسینوسی می‌باشد را نشان می‌دهد. شکل کلی تابع مذکور به صورت زیر می‌باشد (Gen and Cheng, 1997):

$$f(x) = 20 + e - 20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)\right) \quad (5)$$

$$-5 \leq x_i \leq 5 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$



شکل ۳- تابع دو بعدی اقلی

آبگیر می تواند به صورت های مختلف تعریف گردد. تابع هدف می تواند حداکثر سازی درآمد، حداقل سازی هزینه، حداکثرسازی انرژی تولیدی، حداقل سازی میزان کمبود اعمال شده به یک نیاز مشخص و غیره در نظر گرفته شود. در این تحقیق، دو هدف حداقل سازی میزان کمبود اعمال شده نسبت به یک نیاز مشخص (در مساله بهره-برداری ساده) و حداقل سازی کمبود توان تولیدی نسبت به ظرفیت نصب نیروگاه (در مساله بهره برداری برقی) مدنظر قرار گرفته است.

### مساله بهره برداری بهینه از آبگیر سد

به عنوان مسأله نمونه واقعی، از اطلاعات سد دز استفاده شده است.

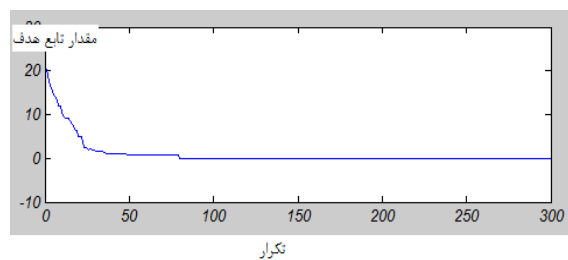
در این مسأله، حجم حداقل و حداکثر آبگیر به ترتیب برابر با ۸۳۰ و ۳۳۴۰ میلیون متر مکعب و حجم اولیه آبگیر ۱۳۴۰ میلیون مترمکعب می باشد. از بین ۴۰ سال آمار، ۵ سال ابتدایی (دوره ماهیانه) به منظور شبیه سازی انتخاب گردید. مقادیر نیاز و ورودی های ماهیانه مشخص می باشد، به گونه ای که جمع ورودی ماهیانه به آبگیر در این ۶۰ ماه برابر با ۲۶۵۱۵ میلیون مترمکعب و جمع نیاز ماهیانه برابر با ۲۹۵۰۲ میلیون مترمکعب می باشد. مقدار جریان ورودی به آبگیر سد و مقادیر نیاز ماهانه در این ۵ سال آمار در شکل (۵) ارائه شده است. علاوه بر آن، در این مساله، جهت تعیین مقدار بار آبی موثر بر مولد برق، تراز پایاب نیروگاه سد دز برابر با ۱۷۲ متر از سطح دریا منظور شده است. این سد ۱۲۵۰۰۰ هکتار از اراضی پایین دست را آبیاری می کند و نیروگاه آن از ۸ واحد ۸۰ مگاواتی تشکیل شده که زمان کارکرد آن در طول روز حدود ۱۰ ساعت (PF) می باشد. به این ترتیب در محاسبات ضریب کارکرد برابر با ۰/۴۱۷ منظور شده است. ظرفیت نصب نیروگاه برابر با ۶۵۰ مگاوات و بازده آن برابر با ۹۰٪ منظور گردیده است.

نتایج حاصل در جدول (۳) نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود با اعمال ساز و کار پیشنهادی، در کلیه ابعاد مساله به جواب بهینه مطلق رسیده است. نحوه همگرایی متوسط ۱۵ اجرای انجام شده برای ابعاد ۳۰ در شکل (۴) ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد همگرایی مناسبی جهت یافتن جواب بهینه ایجاد شده است.

### جدول ۳- مشخصات آماری نتایج تابع Ackley در ابعاد

#### و الگوریتم های مختلف

Algorithm	Dim	Mean	Best	Worst	S.D.*	C.V.*
Standard ACO	۵	۵/۰۴	۰	۱۳/۳۱	۶/۵۲	۱/۲۹
	۱۰	۱۵/۶۳	۱۰/۷۸	۱۸/۵۵	۲/۰۸	۰/۱۳
	۱۵	۱۷/۹	۱۷/۱۰	۱۸/۹۶	۰/۶۴	۰/۰۴
	۲۰	۱۸/۰۲	۱۶/۳۰	۱۸/۵۳	۰/۶۶	۰/۰۴
	۲۵	۱۸/۴۹	۱۷/۷۴	۱۸/۹۶	۰/۳۸	۰/۰۲
	۳۰	۱۸/۶۵	۱۸/۱۰	۱۹/۱۳	۰/۳۷	۰/۰۲
G-JPSO	۵	۰	۰	۰	۰	۰
	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۱۵	۰	۰	۰	۰	۰
	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰



شکل ۴- نحوه همگرایی متوسط ۱۵ بار اجراء برای حالت ۳۰ بعدی تابع Ackley در الگوریتم پیشرفت داده شده JPSO

جهت بررسی نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مهندسی آب، دو مساله واقعی تک هدفه بهره برداری بهینه ساده و برقی از آبگیر سد مورد بررسی قرار گرفت. این مسائل از جمله مسائل بهینه سازی مقید می باشد، که به منظور تعریف مسأله، لازم است که تابع هدف و قیود مساله تعریف شوند. تابع هدف در مساله بهره برداری از

مقدار حجم آبیگر می‌باشد. در این مسأله از روش تابع جریمه برای اعمال قیود استفاده شده است. بنابراین تابع هدف بصورت زیر اصلاح می‌شود:

$$\text{Min O. F.} = \sum_{t=1}^{NT} \left[ \frac{d_t - R_t}{d_{max}} \right]^2 + \sum_{t=1}^{NT} (pen_t^{min} + pen_t^{max}) \quad (10)$$

که در آن:

$$\begin{cases} pen_t^{min} = c \times \frac{S_{min} - S_t}{S_{min}} & \text{if } S_t < S_{min} \\ pen_t^{max} = c \times \frac{S_t - S_{max}}{S_{max}} & \text{if } S_t > S_{max} \end{cases} \quad (11)$$

در روابط فوق:

$pen_t^{min}$  و  $pen_t^{max}$  به ترتیب مقدار جریمه برای قید حداکثر و حداقل حجم آبیگر و  $c$  ضریب ثابتی است که برابر ۱۳۰ در نظر گرفته شده است.

در این تحقیق، به منظور تعریف نمودار مسأله، محدوده مجاز مقدار آب رها شده از آبیگر ۰ تا ۱۰۰۰ می‌باشد.

جدول (۴) مقادیر بیشترین، میانگین و کمترین مقدار تابع هدف در تعداد گسسته‌سازی ۱۰ و ۱۸ با ۲۰۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف نشان داده شده است.

همانگونه که مشاهده می‌شود در این مسأله الگوریتم max-min جامعه مورچگان بهترین جواب برابر ۰/۷۸ در

۴۰۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف و ۱۸ گسسته‌سازی

داشته است که این برای الگوریتم پیشنهادی ۰/۹۶ می-

باشد. مقدار تابع هدف برای الگوریتم معیار جامعه

مورچگان با ۲۰۰۰۰۰ بار تکرار تابع هدف و ۱۰ گسسته-

سازی برابر ۰/۹۳ و برای الگوریتم پیشنهادی برابر ۱/۱۹

می‌باشد. ملاحظه می‌شود در هر دو حالت ساز و کار

پیشنهادی نتوانسته به جواب بهتری دست یابد، اما

توانسته تا حد قابل قبولی به جوابهای الگوریتم جامعه

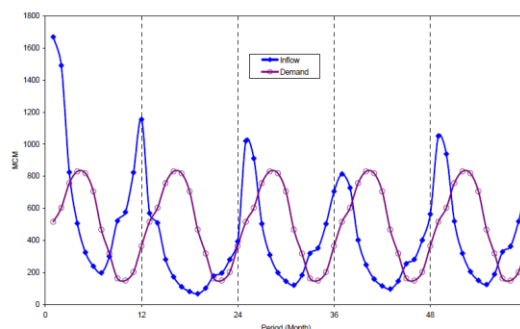
مورچگان نزدیک شود. از طرفی با افزایش تعداد گسسته-

سازیها و تعداد تکرار محاسبه تابع هدف امکان رسیدن به

جواب بهتر مهیا شده است. در شکل ۶ مقایسه مقادیر

خروجی آبیگر حاصل از الگوریتم JPSO و نیاز آبی و

شکل ۷ نحوه همگرایی مقادیر تابع هدف مسأله بهره-



شکل ۵- مقادیر جریان ورودی و نیاز ماهانه در دوره زمانی ۵ ساله

### مسأله بهره برداری ساده از آبیگر سد

در این مسأله تابع هدف به صورت حداقل سازی میزان کمبود اعمال شده نسبت به یک نیاز مشخص تعریف شده است:

$$\text{Min O. F.} = \sum_{t=1}^{NT} \left[ \frac{d_t - R_t}{d_{max}} \right]^2 \quad (6)$$

که در آن  $R_t$ ، مقدار آب رها شده از آبیگر در دوره زمانی

$t$ ؛ ماهیانه  $d_{max}$ ، حداکثر نیاز در تمام دوره‌های زمانی

$(NT)$  و  $d_t$  نیاز در تمام دوره زمانی  $t$  می‌باشد. در این

مسأله، دوره‌های زمانی بهره برداری از آبیگر به عنوان

نقاط تصمیم و مقدار آب رها شده از آبیگر به عنوان متغیر

تصمیم منظور شده است. گزینه‌های تصمیم مسأله برابر با

گسسته‌سازیهای صورت گرفته برای مقادیر آب رها شده از

آبیگر سد در دوره‌های زمانی می‌باشد. قیود مسأله بهره

برداری ساده از آبیگر به صورت رابطه پیوستگی، حداکثر و

حداقل مقدار آب رها شده از آبیگر و حجم آبیگر تعریف

می‌گردند. بطور کلی می‌توان قیود مسأله را به شکل زیر

تعریف نمود:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad (7)$$

$$S_{min} \leq S_t \leq S_{max} \quad (8)$$

$$R_{min} \leq R_t \leq R_{max} \quad (9)$$

که در روابط فوق  $S_t$  مقدار حجم آبیگر در دوره

$t$ ؛  $S_{t+1}$  مقدار حجم آبیگر در دوره زمانی  $t+1$ ؛

$I_t$ ؛ مقدار آب ورودی به آبیگر در دوره زمانی  $t$ ؛  $R_t$ ؛ مقدار آب

رها شده از آبیگر در دوره زمانی  $t$ ؛  $R_{max}$ ؛ حداکثر مقدار

آب رها شده از آبیگر؛  $R_{min}$ ؛ حداقل مقدار آب رها شده

از آبیگر،  $S_{min}$ ؛ حداقل مقدار حجم آبیگر،  $S_{max}$ ؛ حداکثر



## مساله بهره برداری برقایی از آبرگیر سد

در این مساله تابع هدف به صورت حداقل سازی کمبود توان تولیدی نسبت به ظرفیت نصب نیروگاه تعریف شده است.

$$\text{Min O. F.} = \sum_{t=1}^{NT} [1 - \frac{P_t}{\text{Power}}] \quad (12)$$

که در آن  $P_t$  توان تولیدی در دوره زمانی  $t$  و Power ظرفیت نصب نیروگاه می باشد.

علاوه بر قیود منظور شده برای مساله بهره برداری ساده، قیود دیگری نیز برای مساله بهره برداری برقایی از آبرگیر می بایست منظور گردد. به عنوان نمونه، به منظور محاسبه توان تولیدی، علاوه بر میزان آب رها شده از آبرگیر، میزان بار آب موثر بر مولد برق نیز می بایست تعریف گردد. بنابراین، مساله بهره برداری بهینه برقایی از آبرگیر سد دارای قیود غیر خطی بوده و فضای جستجوی می باشد. به (Non Convex) آن به صورت غیر محدب طور کلی قیود این مساله را می توان به شکل زیر تعریف نمود:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t \quad (13)$$

$$S_{\min} \leq S_t \leq S_{\max} \quad (14)$$

$$R_{\min} \leq R_t \leq R_{\max} \quad (15)$$

$$P_t = \min \left( \frac{\gamma \times \eta \times R_t \times h_t \times CO_t}{PF}, \text{power} \right) \quad (16)$$

$$h_t = \frac{H_t + H_{t+1}}{2} - TWL \quad (17)$$

$$H_t = f(S_t) \quad (18)$$

که روابط فوق:

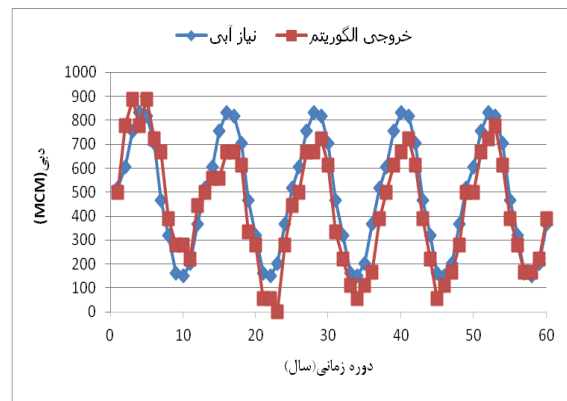
$\eta$  بازده؛  $\gamma$  وزن مخصوص آب،  $h_t$  بار آبی موثر بر نیروگاه در دوره زمانی  $t$ ؛  $CO_t$  ضریب تبدیل حجم به بده در دوره زمانی  $t$ ؛  $PF$  ضریب کارکرد نیروگاه،  $H_t$  تراز آبرگیر در دوره زمانی  $t$ ؛  $R_t$  دبی در دوره زمانی  $t$ ،  $TWL$  تراز پایاب نیروگاه تابعی از حجم آبرگیر در دوره زمانی  $t$  می باشد.

بعنوان یک مساله واقعی، مساله تک هدفه بهره برداری برقایی از آبرگیر سد دز مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات اولیه این مساله پیش از این ارائه شده است. همچنین، به منظور محاسبه میزان بار آبی موثر بر مولد برق، با استفاده

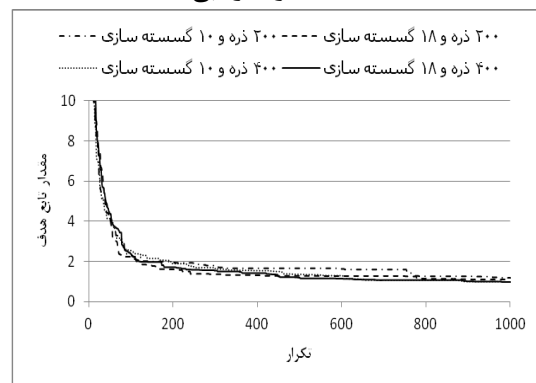
بردارای آبرگیر ساده بر حسب تعداد ذرات و تعداد گسسته سازی (جواب بهینه) ارائه شده است.

## جدول ۴- مقادیر بیشترین، میانگین و کمترین مقدار تابع هدف مساله بهره برداری ساده

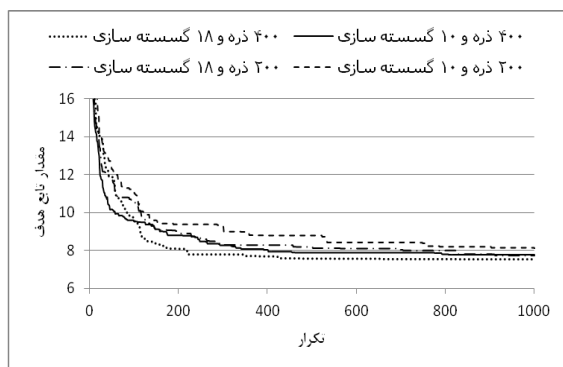
الگوریتم	تعداد محاسبه تابع هدف	تعداد گسسته سازی	بیشترین مقدار تابع هدف	میانگین مقدار تابع هدف	کمترین مقدار تابع هدف
MMAS	۴۰۰۰۰۰	۱۸	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۸
AS	۲۰۰۰۰۰	۱۰	۱/۲۱	۱/۰۶	۰/۹۳
	۴۰۰۰۰۰	۱۸	۱/۱۶	۱/۰۴	۰/۹۶
G-JPSO	۲۰۰۰۰۰	۱۸	۱/۴۳	۱/۲۱	۱/۰۷
	۴۰۰۰۰۰	۱۰	۱/۲۳	۱/۰۸	۰/۹۶
	۲۰۰۰۰۰	۱۰	۱/۴۶	۱/۳	۱/۱۹



شکل ۶- مقایسه مقادیر خروجی آبرگیر حاصل از الگوریتم JPSO و نیاز آبی



شکل ۷- نحوه همگرایی مقادیر تابع هدف مساله بهره برداری آبرگیر ساده بر حسب تعداد ذرات و تعداد گسسته سازی (جواب بهینه)



شکل ۸- نحوه همگرایی مقادیر تابع هدف مساله بهره-

برداري آبيگر برقابي بر حسب تعداد ذرات و تعداد

گسسته‌سازی (جواب بهینه)

در این مساله مقدار تابع هدف الگوریتم max-min جامعه مورچگان در ۴۰۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف و ۱۸ گسسته‌سازی برابر ۷/۹ بوده که این برای الگوریتم پیشنهادی ۷/۵۶ می‌باشد. از طرفی الگوریتم معیار جامعه مورچگان با ۲۰۰۰۰۰ بار تکرار تابع هدف و ۱۰ گسسته‌سازی به جواب ۱۰/۱ رسیده است در حالی که الگوریتم پیشنهادی مقدار تابع هدف را ۸/۱ به دست آورده است. ملاحظه می‌شود در هر دو حالت ساز و کار پیشنهادی به جواب بهتری دست یافته است و در مساله برقابی بر خلاف مساله بهره‌برداری ساده بسیار توانمند عمل کرده است. در این مساله نیز با افزایش تعداد گسسته‌سازی‌ها و تعداد تکرار محاسبه تابع هدف، امکان رسیدن به جواب بهتر، مهیا شده است.

نتایج خروجی الگوریتم در مساله‌های بهره‌برداری ساده و بهره‌برداری برقابی برای ۴۰۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف و ۱۸ گسسته‌سازی در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است. جهت صحت‌سنجی نتایج تابع هدف مجدداً محاسبه گردید و ملاحظه شد که جواب به دست آمده با خروجی الگوریتم یکسان است.

از اطلاعات حجم - ارتفاع آبیگر، یک تابع چند جمله‌ای درجه سوم به صورت زیر بر آنها برازش داده شده است:

$$H_t = a + b \times s_t + c \times S_t^2 + d \times S_t^3 \quad (19)$$

$$a = 249.83364, b = 0.0587205, c = -1.37 \times 10^{-5}, d = 1.526 \times 10^{-9}$$

برای اعمال قیود این مساله نیز از روش تابع جریمه ای که در مساله بهره برداری ساده شرح داده شد، استفاده شده است.

در جدول (۵) فراسنجهای الگوریتم JPSO مورد استفاده در حل مساله بهره‌برداری ساده و برقابی ارائه شده است. جدول (۶) مقادیر بیشترین، میانگین و کمترین مقدار تابع هدف در تعداد گسسته‌سازی ۱۰ و ۱۸ با ۲۰۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با اعمال ساز و کار پیشنهادی، الگوریتم JPSO در مقایسه با الگوریتم جامعه مورچگان به جواب بهتری رسیده است؛ این در حالی است که تجربیات محققان نشان می‌دهد که الگوریتم جامعه مورچگان در حل مسائل با ماهیت نموداری نظیر مساله بهره‌برداری از آبیگر بسیار توانمند و کاراست. در شکل ۸ نحوه همگرایی مقادیر تابع هدف مساله بهره‌برداری آبیگر برقابی بر حسب تعداد ذرات و تعداد گسسته‌سازی (جواب بهینه) ارائه شده است.

جدول ۵- فراسنجهای الگوریتم JPSO در حل مساله

بهره‌برداری ساده و برقابی

تعداد تکرار	تعداد ذرات	C1	C2	C3	C4
۱۰۰۰	۲۰۰	۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
۱۰۰۰	۴۰۰	۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵

جدول ۶- مقادیر بیشترین، میانگین و کمترین مقدار تابع

هدف مساله برقابی

الگوریتم	تعداد محاسبه تابع هدف	تعداد گسسته سازی بیشترین	مقدار تابع هدف بیشترین	میانگین مقدار تابع هدف	کمترین مقدار تابع هدف
MMAS	۴۰۰۰۰۰	۱۸	۸/۰۶	۸	۷/۹۰
AS	۲۰۰۰۰۰	۱۰	۱۱/۳	۱۰/۷	۱۰/۱
	۴۰۰۰۰۰	۱۸	۸/۲۰	۷/۷۰	۷/۵۶
G- JPSO	۲۰۰۰۰۰	۱۸	۸/۴۸	۸/۱۴	۷/۷۸
	۴۰۰۰۰۰	۱۰	۸/۱۹	۷/۹۹	۷/۷۳
	۲۰۰۰۰۰	۱۰	۸/۶۷	۸/۳۰	۸/۱۰

جدول ۷- خروجی الگوریتم در مساله بهره‌برداری ساده برای ۴۰۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف و ۱۸ گسسته‌سازی

ماه	نیاز	خروجی الگوریتم	ماه	نیاز	خروجی الگوریتم	ماه	نیاز	خروجی الگوریتم	ماه	نیاز	خروجی الگوریتم	ماه	نیاز	خروجی الگوریتم
1	516.4	500.0	1	516.4	500.0	2	516.4	444.4	3	516.4	389.0	4	516.4	500.0
	0	0	3	0	0	5	0	4	7	0	0	9	0	0
2	603.7	778.0	1	603.7	556.0	2	603.7	500.0	3	603.7	500.0	5	603.7	500.0
	0	0	4	0	0	6	0	0	8	0	0	0	0	0
3	757.2	888.8	1	757.2	556.0	2	757.2	667.0	3	757.2	611.1	5	757.2	667.0
	0	9	5	0	0	7	0	0	9	0	1	1	0	0
4	831.1	778.0	1	831.1	667.0	2	831.1	667.0	4	831.1	667.0	5	831.1	722.2
	0	0	6	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	2
5	818.8	889.0	1	818.8	667.0	2	818.8	722.2	4	818.8	722.2	5	818.8	778.0
	0	0	7	0	0	9	0	2	1	0	2	3	0	0
6	706.0	722.0	1	706.0	611.1	3	706.0	611.1	4	706.0	611.0	5	706.0	611.0
	0	0	8	0	1	0	0	1	2	0	0	4	0	0
7	467.6	666.6	1	467.6	333.3	3	467.6	333.3	4	467.6	389.0	5	467.6	389.0
	0	7	9	0	3	1	0	3	3	0	0	5	0	0
8	318.0	388.8	2	318.0	278.0	3	318.0	222.2	4	318.0	222.2	5	318.0	278.0
	0	9	0	0	0	2	0	2	4	0	2	6	0	0
9	163.0	277.7	2	163.0	56.00	3	163.0	111.0	4	163.0	56.00	5	163.0	166.6
	0	8	1	0	56.00	3	0	0	5	0	56.00	7	0	7
10	150.1	277.7	2	150.1	56.00	3	150.1	56.00	4	150.1	111.1	5	150.1	166.6
	0	8	2	0	56.00	4	0	56.00	6	0	1	8	0	7
11	203.0	222.0	2	203.0	0.00	3	203.0	111.0	4	203.0	167.0	5	203.0	222.0
	0	0	3	0	0.00	5	0	0	7	0	0	9	0	0
12	365.5	444.0	2	365.5	278.0	3	365.5	167.0	4	365.5	278.0	6	365.5	388.8
	0	0	4	0	0	6	0	0	8	0	0	0	0	9

جدول ۸- خروجی الگوریتم در مساله بهره‌برداری برقایی برای ۴۰۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف و ۱۸ گسسته‌سازی

ردیف	نیاز	خروجی الگوریتم	ردیف	نیاز	خروجی الگوریتم	ردیف	نیاز	خروجی الگوریتم	ردیف	نیاز	خروجی الگوریتم	ردیف	نیاز	خروجی الگوریتم
1	516.4	556.0	13	516.4	500.0	25	516.4	444.4	37	516.4	444.4	49	516.4	500.0
	0	0		0	0		0	4		0	4		0	0
2	603.7	667.0	14	603.7	444.4	26	603.7	444.4	38	603.7	444.4	50	603.7	500.0
	0	0		0	4		0	4		0	4		0	0
3	757.2	833.3	15	757.2	444.0	27	757.2	444.4	39	757.2	389.0	51	757.2	500.0
	0	3		0	0		0	4		0	0		0	0
4	831.1	556.0	16	831.1	444.4	28	831.1	388.8	40	831.1	444.4	52	831.1	444.4
	0	0		0	4		0	9		0	4		0	4
5	818.8	444.4	17	818.8	56.00	29	818.8	388.8	41	818.8	444.4	53	818.8	444.4
	0	4		0	56.00		0	9		0	4		0	4
6	706.0	611.1	18	706.0	56.00	30	706.0	167.0	42	706.0	56.00	54	706.0	500.0
	0	1		0	56.00		0	0		0	56.00		0	0
7	467.6	556.0	19	467.6	167.0	31	467.6	444.0	43	467.6	278.0	55	467.6	500.0
	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0
8	318.0	500.0	20	318.0	111.1	32	318.0	444.0	44	318.0	500.0	56	318.0	555.5
	0	0		0	1		0	0		0	0		0	6
9	163.0	500.0	21	163.0	500.0	33	163.0	444.0	45	163.0	444.4	57	163.0	611.0
	0	0		0	0		0	0		0	4		0	0
10	150.1	611.1	22	150.1	389.0	34	150.1	444.0	46	150.1	500.0	58	150.1	611.1
	0	1		0	0		0	0		0	0		0	1
11	203.0	500.0	23	203.0	389.0	35	203.0	500.0	47	203.0	500.0	59	203.0	666.6
	0	0		0	0		0	0		0	0		0	7
12	365.5	444.4	24	365.5	444.4	36	365.5	333.0	48	365.5	500.0	60	365.5	1000.00
	0	4		0	4		0	0		0	0		0	00

## نتیجه گیری

در این تحقیق تغییرات مناسبی در ماهیت الگوریتم بهینه سازی JPSO، به منظور افزایش آن برای حل مسائل بهینه سازی گسسته با ماهیت نموداری، ارائه شد. تغییرات ایجاد شده در الگوریتم JPSO، مربوط به ماهیت پرش در آن می باشد بدین صورت که در ابتدا جزء و جاذب (یک زیر مجموعه تصادفی از درون کل مجموعه گزینه های تصمیم) بر هم نهی شده و یک آرایش پایه (زیر آرایشی از آرایش حداکثر) به دست می آید. سپس یک نمودار پاسخ جدید از میان این آرایش پایه انتخاب می شود.

قابلیت مکانیزم پیشنهادی، با بکارگیری الگوریتم JPSO، در حل مساله پیچیده ریاضی اکلی و مساله بهره برداری بهینه ساده و برقایی از آبیگر سد دز مورد آزمون قرار گرفته و نتایج حاصل با نتایج حاصل از الگوریتم جامعه مورچگان مقایسه شده است. الگوریتم پیشنهادی در حل تابع اکلی به بهینه مطلق رسید. در مساله بهره برداری بهینه ساده الگوریتم max-min جامعه مورچگان بهترین جواب برابر  $0/78$  در  $400000$  بار محاسبه تابع هدف داشته است که این برای الگوریتم پیشنهادی  $0/96$  می باشد. مقدار تابع هدف برای الگوریتم معیار جامعه مورچگان با  $200000$  بار تکرار تابع هدف برابر  $0/93$  و برای الگوریتم پیشنهادی برابر  $1/19$  به دست آمد. در مساله بهره برداری برقایی مقدار تابع هدف الگوریتم max-min جامعه مورچگان در  $400000$  بار محاسبه تابع هدف برابر  $7/9$  بوده که این برای الگوریتم پیشنهادی  $7/56$  به دست آمد. از طرفی الگوریتم معیار جامعه مورچگان با  $200000$  بار تکرار تابع هدف به جواب  $10/1$  رسیده است در حالی که الگوریتم پیشنهادی مقدار تابع هدف را  $8/1$  به دست آورده است. ملاحظه می شود در مساله برقایی بر خلاف مساله بهره برداری ساده در هر دو حالت ساز و کار پیشنهادی به جواب بهتری دست یافته است. این مقایسه نشان دهنده توانایی بالای الگوریتم ارائه شده در پیدا کردن جوابهایی نزدیک به جواب بهینه با صرف هزینه محاسباتی مناسب می باشد.

## منابع

1. برهانی داریان، ع. و ا. مرادی، ۱۳۸۹. الگوریتم مورچگان پیوسته در بهینه سازی بهره برداری از سامانه های پیچیده ی چند آبیگره، مجله آب و فاضلاب، شماره ۴، ۸۱-۹۱.
2. سامی کشکولی، ب و م. ج. منعم، ۱۳۸۸. توسعه و کاربرد شبیه بهینه سازی شبکه های آبیاری تحت فشار با استفاده از روش تلفیقی JPSO/LIDM، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، آذر ۸۸.
3. مهدی پور، ا. و ا. بزرگ حداد، س. علیمحمدی، ۱۳۹۳. بهره وری بهینه از سامانه تلفیقی آبخوان-سد: رویکرد برنامه ریزی ژنتیک، مجله مهندسی منابع آب، شماره ۲۱، ۵۱-۶۶.
4. مهدی پور، ا. و ا. بزرگ حداد، ۱۳۹۱. بهینه سازی بهره برداری از آبیگرها سدهای چند منظوره با کاربرد الگوریتم بهینه سازی مجموعه ذرات، مجله آب و فاضلاب، شماره ۴، ۹۷-۱۰۵.
5. Abbas Afshar, A., M. J., Emami, F., Masoumi, 2014, Optimizing water supply and hydropower reservoir operation rule curves: An imperialist competitive algorithm approach., Engineering Optimization., 46(10), 170-181.
6. Afshar, M.H., 2012, Large scale reservoir operation by Constrained Particle Swarm Optimization algorithms, Journal of Hydro-environment Research, 6, 75-87.
7. Al-kazemi, B. and C. K.Mohan, (2002), Multi-phase Discrete Particle Swarm Optimization. In: Fourth International Workshop on Frontiers in Evolutionary Algorithms, Kinsale, Ireland.
8. Becker L., and W., Yeh 1974, Optimization of real-time operation of a multiple reservoir system, water Resource Res, 10(6), 1107-1112.
9. Bozorg Haddad, O., A., Afshar, and M.A., Marino, 2006, Honey-Bees Mating Optimization (HBMO)

- Problem, Water Resources Management, 21(9), 1429-1447.
18. Kennedy, J. and R. Eberhart, (1997), Adiscrete binary version of the particle swarm algorithm. In: IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernerics, vol 5, pp 4104-4108.
  19. Kumar, D., and J. Reddy, (2007). "Multiple reservoir operation using particle swarm optimization." J. of Water Resources Planning and Management, 133(3), 192-202.
  20. Marino, M.A. and H.A. Loaiciga, "Dynamic model for multi reservoir operation", Water Resource Res., 21(5), pp. 619-630 (1985).
  21. Meraji, S.H., M.H., Afshar, and A. Afshar, (2006). "Reservoir operation by particle swarm optimization algorithm." 7<sup>th</sup> International Conference of Civil Engineering, Tehran, Iran.
  22. Moeini, R. and M. H. Afshar. (2009), Application of an Ant Colony Optimization Algorithm for Optimal Operation of Reservoirs: A Comparative Study of Three Proposed Formulations. Civil engineering. Vol. 16, No. 4, pp. 273-285.
  23. Moreno-Perez, J. A., J. P, Castro-Gutierrez, F. J., Martinez-Garcia B., Melian, J. M. Moreno-Vega, and J. Ramos, (2007), Discrete Particle Swarm Optimization for the p-median problem. In: Proceedings of the 7th Metaheuristics International Conference, Montreal, Canada.
  24. Peng, C.H, Buras N., 2000, Dynamic operation of a surface water resources systems, Water Resour Res, 36(9),2701-2709.
  25. Pugh, J., and A. Martinoli, (2006), Discrete multi-valued particle swarm optimization. In: Proceedings of IEEE Swarm Intelligence Symposium, vol 1, pp 103-110.
  26. Shi, X. H., Y. C., Liang, H. P., Lee, C. Lu, and Wang, Q. X. (2007), Particle Algorithm: A New Heuristic Approach for Water Resources Optimization, Water Resources Management, 20, 661-680.
  10. Balter, A.M., and D.G. Fontane, (2006). "A multiobjective particle swarm optimization model for reservoir operations and planning." Proceeding of International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal, 1544-1552.
  11. Cai X., Mckinney DC. and LS., Lasdon 2002, Piece-by-piece approach to solving large nonlinear water resources management models, ASCE J Water Resour Plann Mgmt, 127(6),363-368.
  12. Clerc, M. (2000), Discrete particle swarm optimization illustrated by the traveling salesman problem, <http://www.mauriceclerc.net>.
  13. Coello, C.A., and M.S. Lechunga, (2002). "MOPSO: A proposal for multiple objective particle swarm optimization." Proceeding of IEEE Congress on Evolutionary omputation, IEEE Service Center. Piscataway, NJ, 2, 1677-1681.
  14. East V., M.J. Hall,1994, water resource system optimization using genetic algorithms, hydro informatics'94, Pro., 1st Int. Conf. on Hydro informatics, Balkerma, Rotterdam, The Netherlands, 225-231.
  15. Gen, M., and R. W., Cheng, (1997). Genetic Algorithm and Engineering Design. John Wiley and Sons, Inc.
  16. Hendtlass, T. (2003), Preserving Diversity in Particle Swarm Optimization, in: Lecture Notes in Computer Science, vol. 2718, Springer, pp: 4104-4108.
  17. Jalali, M. R. A.Afshar, and M.A., Mariño, 2007, Multi-Colony Ant Algorithm for Continuous Multi-Reservoir Operation Optimization

- swarm optimization-based algorithms for TSP and generalized TSP, *Information Processing Letters*, 103 (2007) 169-176.
27. Wang, K-P., L., Huang, C. Zhou, and W. Pang, (2003), *Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Xi'an, 2-5 November 2003.*
  28. Wardlaw R., M., Sharif 1999, Evaluation of genetic algorithms For Optimal Reservoir system operation, *Journal of water resources planning and management*, January 1999, 25-33.
  29. Yang, S. M. Wang, and L. Jiao, (2004), A Quantum Particle Swarm Optimization. In: *Proceedings of CEC2004, the Congress on Evolutionary Computing*, vol 1, pp 320-324.
  30. Yeh WW-G., 1985, Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review. , *Water Resource Reservoir*, 1797-818.
  31. Zhang R, J, and Y., Zhou Wang 2012, Multi-objective optimization of hydrothermal energy system considering economic and environmental aspects, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42, 384-95.