

## پخش بار اقتصادی دینامیکی نیروگاه های آبی حرارتی با الگوریتم جستجوی گرانشی GSA با در نظر گرفتن اثر موقعیت شیر بخار

امین عبایی فر\*<sup>۱</sup>، حسن براتی<sup>۲</sup>

\*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، amin\_abae67@yahoo.com

۲- استادیار گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، barati216@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۸

**چکیده:** توزیع اقتصادی روزانه در سیستم های حرارتی (DHS<sup>۱</sup>) در یک مقیاس بزرگ به عنوان یک مسئله بهینه سازی که محدودیت های دینامیکی غیر خطی را شامل می شود، نقش مهمی را در بهره برداری اقتصادی سیستم های قدرت ایفا می کند. این مقاله الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA<sup>۲</sup>) را برای حل مسئله (DHS) مطرح می کند. در نظر گرفتن اثر شیر بخار سبب شده تا این مساله توزیع اقتصادی را به یک مساله غیر محدب تبدیل نماید. امکان پذیری و استفاده از روش GSA در حل مساله توزیع اقتصادی بار در سیستم های آبی حرارتی در محیط نرم افزاری MATLAB، شبیه سازی کامپیوتری شده است و نتیجه حاصله با و بدون اثر موقعیت شیر بخار در واحدهای حرارتی مقایسه و تحلیل شده اند. برنامه کامپیوتری تهیه شده روی یک سیستم آبی حرارتی پیاده سازی شده است و با بررسی نتایج، سودمندی و قابلیت روش مورد استفاده (GSA) در مقایسه با سایر روش ها نشان داده شده است.

**واژه های کلیدی:** مخازن آبشاری، توزیع اقتصادی، الگوریتم جستجوی گرانشی، استراتژی جستجو اکتشافی

### ۱-مقدمه

ایجاد می کنند. با در نظر گرفتن محدودیت های منابع آبی، هدف اصلی، توزیع اقتصادی روزانه سیستم های آبی حرارتی می باشد، برای تعیین مقدار بهینه آب جاری شده برای تولید برق از نیروگاه آبی از مخازن آبشاری به گونه ای که مجموع هزینه سوخت نیروگاه های حرارتی را به حداقل ممکن برساند در حالی که محدودیت های مختلف رعایت شوند.

به علت محدودیت های الگوریتم های بهینه سازی سنتی در حل کردن مسائل بهینه سازی با بعد های بالا، الگوریتم های بهینه سازی متااکتشافی مختلفی توسعه یافته اند. عناوین عمده این الگوریتم ها به شرح ذیل می باشد: الگوریتم ژنتیک (GA) [۱]، الگوریتم دیفرانسیل تکاملی (DE) [۲]، کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC) [۳]، الگوریتم بهینه سازی ذرات عمومی (PSO) [۴]، الگوریتم کلونی مورچگان (AC) [۵]،

مساله توزیع بهینه روزانه کوتاه مدت سیستم های آبی حرارتی (DHS) یکی از مسائل مهم و مشکل بهینه سازی در بهره برداری اقتصادی از سیستم های قدرت می باشد. در سال های اخیر، به خاطر نگرانی زیست محیطی، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به مقدار زیادی مورد توجه قرار گرفته است. با افزایش نفوذ انرژی های تجدیدپذیر در سیستم های برق قدرت، مشکلات بهره برداری بیشتری را به ما نشان می دهد. در سیستم های آبی حرارتی منابع آبی برای تولید برق که در واقع نمایندگان جاری شدن به نیروگاه های آبی و ذخیره شده در مخازن هستند، قابل دسترسی می باشد. بنابراین منابع آبی در هر منطقه به توزیع آب استفاده شده در گذشته بستگی دارند، که یک رابطه دینامیکی در میان تصمیمات بهره برداری ما در طول کلی افق مورد نظر ما

دارند، که با این حال به همان مقدار موثر می‌باشد و می‌توان به عنوان یک الگوریتم یادگیری تطبیقی در نظر گرفته شود.

## ۲- مساله توزیع اقتصادی نیروگاه‌های آبی-حرارتی

برنامه‌ریزی سیستم قدرت با اهداف گوناگون و در افق‌های متعدد صورت می‌گیرد و ویژگی‌های خاص انرژی الکتریکی سبب می‌گردد تا نگرش در برنامه‌ریزی با محافظه‌کاری بیشتری همراه باشد. در برنامه‌ریزی کوتاه مدت، با در نظر گرفتن قیود موجود و محدودیت‌های فنی-اقتصادی واحدهای تولیدی و شبکه انتقال، در مورد ورود و خروج اقتصادی واحدهای تولیدی با هدف تامین بار مشترکین با کمترین هزینه ممکن تصمیم‌گیری می‌کنند. از آن‌جا که ظرفیت نصب شده و قابل بهره‌برداری در اکثر ساعات از میزان مصرف بیشتر است، لزوم استفاده بهینه و اقتصادی از منابع موجود از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

### ۲-۱- تابع هدف

هدف مسئله توزیع روزانه تولید بهینه آبی-حرارتی، حداقل کردن مجموع هزینه‌های حرارتی با استفاده از منابع آبی در دسترس است تا جایی که امکان داشته باشد. هزینه حرارتی عمدتاً به صورت تابع درجه دوم تصور می‌شود. تابع هدف و قیود مرتبط با مسئله به شکل زیر فرمول بندی می‌شوند.

$$\min F = \sum_{i=1}^T \sum_{s=1}^{N_s} f_i(P_{si}^t) = \sum_{i=1}^T \sum_{s=1}^{N_s} \left\{ a_i + b_i P_{si}^t + c_i (P_{si}^t)^2 + \left| d_{gi} \times \sin \left[ e_{gi} \times (PG_{i,\min} - PG_{i,s}) \right] \right| \right\} \quad (1)$$

که F تابع هزینه سوخت مرکب است،

$f_i(P_{si}^t)$  هزینه سوخت واحد i ام حرارتی در مدت زمان t،

$N_s$  تعداد واحدهای حرارتی، T مجموع زمان‌های مورد نظر،

$a_i$  و  $b_i$  و  $c_i$  ضرایب تولید حرارتی از واحد i ام،

$d_{gi}$  و  $e_{gi}$  ضرایب مربوط به اثر شیر بخار از واحد i ام

$P_{si}^t$  توان تولیدی واحد حرارتی i ام در فاصله زمانی t می‌باشند.

### ۲-۲- محدودیت تولید توان نیروگاه حرارتی

یختن شبیه‌سازی شده (SA) [۶]، الگوریتم جستجوی هارمونی (HAS) [۷]، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر غالب شده (NSGAI) [۸]، جستجوی سیستم‌های شارژ شده (CSS) [۹]، بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیا (BBO) [۱۰] و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی غذای باکتری (BFO) [۱۱].

این الگوریتم‌ها برای حل مسائل بهینه‌سازی مختلف بوسیله محققان در بسیاری از مسائل علمی مختلف اجرا شده‌اند. تابع هدف همه الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای پیدا کردن بهترین جواب (بهینه‌سازی عمومی) برای مسائل بهینه‌سازی عمل می‌نماید. با این حال، این الگوریتم‌های متاکتشافی باید خودشان دارای ویژگی اصلی که اکتشاف و بهره‌برداری است، باشند. اکتشاف به عنوان توانایی الگوریتم برای جستجوی همه قسمت‌های مشخص شده مسائل بهینه‌سازی در فضای جستجو معرفی می‌شود. بهره‌برداری به عنوان قابلیت همگرایی بهترین جواب خروجی بدست آمده نزدیک به راه حل بهینه‌سازی عمومی توصیف می‌شود [۱۲].

توزیع اقتصادی بار (ELD<sup>۲</sup>) از تولید در سیستم‌های برق پیشرفته یکی از مسائل خیلی مهم بهره‌برداری می‌باشد.

به تازگی، راه‌حل‌های مساله ELD به یک وظیفه قابل توجه در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت تبدیل شده‌است. تابع هدف مساله ELD به عنوان مینی‌م‌ساز مجموعه هزینه سوخت تولید انرژی الکتریکی برای برطرف کردن تقاضای بار مصرفی با مینی‌م‌کردن مجموع هزینه سوخت معرفی می‌شود در حالی که رضایت همه واحدهای تولیدی و قیود مساوی و نامساوی سیستم را برطرفی نماید. یکی از الگوریتم‌های متاکتشافی بهبود یافته اخیر الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) می‌باشد، که مبتنی بر قانون گرانش نیوتن و قانون حرکت است. و بوسیله راشدی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ مطرح گردیده شد [۱۳].

در این مقاله، مساله توزیع بهینه روزانه کوتاه مدت سیستم‌های آبی حرارتی (DHS) با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) حل خواهد شد. GSA با عملکردی با کیفیت بالا در حل مسئله بهینه‌سازی در مقالات و کنفرانس‌های گذشته تأیید شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به: پخش بار اقتصادی و توزیع توان راکتیو بهینه در سیستم قدرت، و پیش‌بینی بار آینده اشاره کرد. از بیش‌ترین ویژگی‌های قابل توجه GSA که در واقع تنظیم کردن ثابت گرانش است، دقت در جستجو می‌باشد و از این رو برای سرعت بخشیدن به روند راه حل استفاده می‌شود. به علاوه GSA به حافظه کمتری در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها نیاز

می‌باشد. ضرایب ثابت یاد شده براساس اطلاعات مربوط به سابقه تولید واحدهای برقایی بدست می‌آیند و با گذشت زمان نیز به دلیل رسوب آب در مخزن سد و دیگر عوامل تأثیرگذار بر تولید واحد تغییر می‌کنند.

که البته محدودیت‌های تولید توان نیروگاه آبی به صورت

زیر بیان می‌گردد

$$P_{hi}^{min} \leq P_{hi}^t \leq P_{hi}^{max}, \quad i = 1, 2 \dots N_h; \quad t = 1, 2 \dots T \quad (5)$$

## ۲-۴- محدودیت مربوط به حجم مخازن

یکی از مقاصد احداث سدهای مخزنی علاوه بر تولید انرژی، کنترل جریان‌های سیلابی در حوضه آبریز سد و نیز ذخیره آب برای مقابله با خشکسالی است. براساس مطالعات مربوط به جریان‌های سیلابی در حوضه آبریز و نیز آمار خشک سالی در منطقه، محدودیت‌هایی برای حداقل و حداکثر حجم مخازن در طول سال تعیین می‌شود، به این ترتیب حجم هر یک از مخازن در هر بازه زمانی، باید بین حد فوقانی و حد تحتانی قرار داشته باشد، به عبارت دیگر:

$$V_i^{min} \leq V_i^t \leq V_i^{max} \quad i = 1, 2 \dots N; \quad t = 1, 2 \dots T \quad (6)$$

که  $V_i^t$  اندازه‌ی آب مخزن  $i$  در پایان دوره‌ی زمانی  $t$ ،  $V_i^{min}$  و  $V_i^{max}$  مینیمم و ماکزیمم اندازه آب مخزن  $i$  هستند. همچنین حجم ذخیره سازی اولیه و عبوری مخزن به صورت زیر معرفی می‌گردد

$$V_i^0 = V_i^{begin}, \quad V_i^T = V_i^{end} \quad i = 1, 2 \dots N \quad (7)$$

که  $V_i^{begin}$  حجم ذخیره اولیه مخزن  $i$  و  $V_i^{end}$  حجم ذخیره نهایی مخزن  $i$  در پایان توزیع مورد نظر می‌باشد.

## ۲-۵- محدودیت مربوط به دبی خروجی سدها

حداقل آب خروجی از دریچه توربین نیز به دلیل مشکلات مکانیکی و ایجاد جریان‌های گردابی محدود است. به علاوه، مخازن چند منظوره، مصارف دیگری نظیر شرب، صنعت و کشاورزی نیز دارند که اهمیت آن‌ها معمولاً بیشتر از تولید انرژی بوده و میزان تخلیه از مخازن باید به نحوی تنظیم شود که این مصارف نیز تأمین گردند. در این مقاله برای منظور نمودن کلیه محدودیت‌های فوق، لازم است متغیر تصمیم

$$P_{sj}^{min} \leq P_{sj}^t \leq P_{sj}^{max} \quad j = 1, 2 \dots N_s; \quad t = 1, 2 \dots T \quad (2)$$

که  $P_{sj}^{min}$  و  $P_{sj}^{max}$  مینیمم و ماکزیمم توان تولیدی واحد حرارتی هستند.

## ۲-۳- قید تامین بار

یکی از اصلی‌ترین وظایف ISO<sup>۶</sup> در برنامه ریزی کوتاه مدت و لحظه‌ای ایجاد تعادل بین تولید و مصرف انرژی الکتریکی در هر ساعت است. بهره‌بردار مستقل سیستم با توجه به میزان بار پیش بینی شده آرایش تولید واحدهای در مدار را به نحوی انجام می‌دهد که مجموع تولید در هر ساعت با تقاضای بار و تلفات شبکه برابر باشد.

$$\sum_{i=1}^{N_h} P_{hi}^t + \sum_{j=1}^{N_s} P_{sj}^t = P_D^t, \quad t = 1, 2 \dots T \quad (3)$$

که  $P_D^t$  بار معرفی سیستم در دوره زمانی  $t$

$N_h$  تعداد نیروگاه‌های آبی،

$N_s$  تعداد نیروگاه‌های حرارتی

$P_{hi}^t$  توان تولیدی نیروگاه آبی  $i$  در دوره زمانی  $t$  می‌باشند.

## ۲-۳- تابع تولید نیروگاه‌های آبی

بنابر ماهیت غیر خطی تولید واحدهای برقایی و وابستگی توان تولیدی به میزان دبی خروجی، حجم و به تبع آن ارتفاع آب ذخیره شده پشت سد، از رابطه دو متغیره و در فضای سه بعدی به منظور معرفی قابلیت تولید این قبیل واحدها استفاده می‌شود. به نمایندگی از ویژگی‌های تولید نیروگاه‌های آبی، تابع درجه دومی انتخاب می‌شود به عنوان یک تقریب در فرمول سازی که تأثیرات رأس<sup>۵</sup> نیز شامل آن می‌شوند. در این مقاله از مدل تابع با ۶ ضریب ثابت استفاده می‌شود تا خروجی تولید برق نیروگاه آبی را محاسبه کند.

$$P_{hi}^t = C_{1i} \cdot (V_i^t)^2 + C_{2i} \cdot (Q_i^t)^2 + C_{3i} \cdot V_i^t \cdot Q_i^t + C_{4i} \cdot V_i^t + C_{5i} \cdot Q_i^t + C_{6i} \quad (4)$$

که در آن

$C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}, C_{4i}, C_{5i}, C_{6i}$  ضرایب تولید برق نیروگاه برق

آبی  $i$  ام هستند.

$V_{it}$ : حجم آب ذخیره شده واحد آبی  $i$  ام در ساعت  $t$  ام

$Q_{it}$ : دبی آب خارج شده از واحد آبی  $i$  ام در ساعت  $t$  ام

$PH_{it}$ : انرژی تولید شده واحد آبی  $i$  ام در ساعت  $t$  ام

می باشد، دارای یک پتانسیل بسیار زیاد به یک روش بهینه سازی از طریق شکستن است. در GSA، عواملی در نظر گرفته می شوند مانند اشیاء و عملکرد آن‌ها که بوسیله جرمشان اندازه گیری می‌شوند. همه‌ی آن اشیاء جذب یکدیگر می‌شوند بوسیله نیروی گرانشی و این نیرو باعث حرکت عمومی همه اشیاء نسبت به اشیاء با توده‌ای سنگین تر می‌شود. از این رو توده با استفاده از یک فرم مستقیم ارتباطی از طریق قدرت گرانشی همبسته می‌شوند. توده‌های سنگین راه حل‌های خوب و حرکت آهسته تر دارد. و بر عکس توده سبک راه حل‌های ضعیف دارند و حرکت به طرفین آن از توده‌های سنگین بسیار سریع تر است.

این گام، بهره بردای الگوریتم را تضمین می‌کند. هر جرمی (عاملی) دارای ۴ خصوصیات در GSA است. موقعیت، اینرسی جرم، جرم گرانشی فعال و جرم گرانشی غیر فعال. سرعت هر عامل بعد از محاسبه شتاب هر عامل، با استفاده از قانون نیوتن به روز می‌شود. در نتیجه مکان هر عامل با استفاده از سرعت اصلاح شده به روز می‌شود. موقعیت جرم به راه حل بهینه‌سازی مساله مربوط می‌شود و همچنین گرانش و جرم‌های اینرسی (جرمی که از قانون اینرسی نیوتن تبعیت می‌کند) تابع متناسب را نمایش می‌دهد. الگوریتم GSA می‌تواند به صورت مراحل زیر خلاصه شود.

مرحله اول مقداردهی اولیه: که فرض می‌شود یک سیستم با  $n$  (بعد از فضای جستجو) جرم‌ها، موقعیت جرم  $i$  ام به شکل زیر توصیف می‌شود. در ابتدا، موقعیت توده‌ها و جرم‌ها به طور اتفاقی تنظیم می‌شوند. که به صورت  $X_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n)$  است که  $x_i^d$  موقعیت جرم  $i$  ام در بعد  $d$  ام می‌باشد.

مرحله دوم ارزیابی متناسب کردن همه عوامل: در این مرحله برای اجرای همه عوامل در هر تکرار و بهترین و بدترین تناسب را در هر تکرار به شرح زیر محاسبه می‌کنند برای یک مسئله مینیمم‌سازی

$$worst(tt) = \max_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(tt) \quad (10)$$

$$best(tt) = \min_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(tt) \quad (11)$$

برای یک مسئله ماکزیمم‌سازی

$$best(tt) = \max_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(tt) \quad (12)$$

مربوط به میزان تخلیه از دریچه توربین نیروگاه آبی نام در بازه  $t$  ام بین حد فوقانی  $Q_{it}^{max}$  و حد تحتانی  $Q_{it}^{min}$  قرار گیرد. به عبارت دیگر:

$$Q_i^{min} \leq Q_i^t \leq Q_i^{max} \quad (8)$$

$$i = 1, 2 \dots N; t = 1, 2 \dots T$$

که  $Q_i^t$  آب تخلیه شده از نیروگاه آبی  $i$  در فاصله زمانی  $t$ ،  $Q_i^{min}$  و  $Q_i^{max}$  مینیمم و ماکزیمم تخلیه آب نیروگاه هستند.

## ۲-۶- محدودیت مربوط به بقاء آب

در مطالعات برنامه ریزی معمولاً از تبخیر آب صرف نظر می‌شود و به همین دلیل فرض می‌شود که مجموع حجم آب موجود در مخزن در ابتدای هر بازه زمانی و میزان ورودی به مخزن در طی بازه زمانی، برابر با حجم آب موجود در مخزن در انتهای بازه زمانی و میزان خروجی از مخزن در طی بازه زمانی باشد. به عبارت دیگر از  $V_{it-1}$  معرف حجم آب موجود در مخزن نام در شروع بازه  $t$  ام،  $I_i$  معرف حجم آب ورودی به این مخزن در طول بازه  $t$ ،  $Q_t$  بیان گر متغیر تصمیم گیری مربوط به حجم آب خروجی از مخزن در طی بازه  $t$  و  $S_t$  بیانگر حجم سر ریز از حوضچه طی بازه  $t$  باشد، موازنه بین مقادیر فوق، با معادله زیر نمایش داده می‌شود

$$V_i^t = V_i^{t-1} + I_i^t - Q_i^t - S_i^t + \sum_{m=1}^{N_u} [Q_m^{t-\tau_{m,i}} + S_m^{t-\tau_{m,i}}] \quad (9)$$

$$i = 1, 2 \dots N; t = 1, 2 \dots T$$

که  $I_i^t$  جریان طبیعی به مخزن  $i$  در دوره‌ی زمانی  $t$ ،  $S_i^t$  آب نشت داده شده نیروگاه آبی  $i$  در فاصله زمانی  $t$ ،  $N_u$  تعداد نیروگاه‌های آبی بالا دست مسیر نیروگاه آبی  $i$ ،  $\tau_{m,i}$  زمان تاخیر انتقال آب از مخزن  $m$  به  $i$ .

## ۳- الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)

الگوریتم جستجوی گرانشی یکی از جدیدترین الگوریتم جستجوی تصادفی توسعه یافته شده بوسیله گروه راشدی و همکاران می‌باشد که در سال ۲۰۰۹ بدست آمد [۱۳]. این الگوریتم که بر پایه قانون جاذبه نیوتن و اثر متقابل جرم

$$F_{ij}^d(tt) = G(tt) \cdot \frac{M_{pi}(tt) \times M_{aj}(tt)}{R_{ij}(tt) + \varepsilon} (x_j^d(tt) - x_i^d(tt)) \quad (19)$$

که  $R_{ij}(tt)$  فاصله اقلیدسی بین عوامل نام و نام است  $\left| |X_i(tt) - X_j(tt)| \right|_2$  و  $\varepsilon$  ثابت کوچک است.

مرحله ۶: محاسبه شتاب و سرعت

در این مرحله شتاب  $a_i^d(tt)$  و سرعت  $v_i^d(tt)$  از عامل نام در تکرار  $(tt)$  در بعد  $d$  از طریق قانون جاذبه و قانون حرکت به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$a_i^d(tt) = \frac{F_{ij}^d(tt)}{M_{ii}(tt)} \quad (20)$$

$$v_i^d(tt + 1) = rand_i \times v_i^d(tt) + a_i^d(tt) \quad (21)$$

که  $rand_i$  عدد اتفاقی بین فاصله  $[0, 1]$  است.

مرحله ۷: به روز کردن موقعیت عوامل:

در این مرحله موقعیت بعدی عوامل نام در بعد  $d$  نام  $x_i^d(tt + 1)$  به شکل زیر به روز می‌شوند.

$$x_i^d(tt + 1) = x_i^d(tt) + v_i^d(tt + 1) \quad (22)$$

مرحله ۸: تکرار:

در این مرحله، مراحل ۲ تا ۷ تکرار می‌شوند تا وقتی که تکرارها به معیار برسند. در تکرار نهایی، بازده الگوریتم، مقدار موقعیت‌های عامل مربوطه در ابعاد مشخص را می‌دهد. این مقادیر راه‌حل‌های عمومی مسئله بهینه‌سازی هستند.

#### ۴- شبیه‌سازی کامپیوتری

به منظور بررسی موثر بودن الگوریتم GSA در حل مساله DHS که هدف مساله مینیم کردن هزینه تولید نیروگاه‌های حرارتی با بهره‌گیری از ماکزیمم ظرفیت تولید نیروگاه‌های برقی، در حالی که محدودیت‌های عملیاتی در سیستم پنج نیروگاهی (شامل چهار نیروگاه آبی و یک نیروگاه حرارتی) می‌باشد، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

پیکره بندی این سیستم در شکل (۱) نشان داده شده است. این مدل شبکه هیدرولیکی مورد آزمایش با پیچیدگی‌های زیادی در شبکه‌های آبی عملی مواجه می‌شود. جزئیات

$$worst(tt) = \min_{j \in \{1, \dots, N\}} fit_j(tt) \quad (13)$$

که  $fit_j(tt)$  تناسب عامل نام از تکرار  $tt$ ،  $best(tt)$  و  $worst(tt)$  بهترین (مینیمم) و بدترین (ماکزیمم) تناسب همه عوامل هستند.

مرحله سوم: محاسبه ثابت گرانشی  $G(tt)$

در این مرحله ثابت گرانشی در تکرار  $tt$  به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$G(tt) = G_0 \exp\left(-\alpha \frac{tt}{T_{max}}\right) \quad (14)$$

که  $G$  مقدار اولیه ثابت گرانشی است که به صورت اتفاقی انتخاب شده است  $\alpha$  ثابت است،  $tt$  تکرار جاری است،  $T_{max}$  مجموع تعداد تکرارها می‌باشند.

مرحله ۴: به روز کردن گرانش و اینرسی جرم:

در این مرحله گرانشی و اینرسی جرم‌ها برای هر عامل در هر تکرار به صورت زیر به روز می‌شود.

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

$$m_i(tt) = \frac{fit_i(tt) - worst(tt)}{best(tt) - worst(tt)} \quad (16)$$

که  $fit_i(tt)$  تناسب عامل نام در تکرار  $tt$  می‌باشد.

$$M_i(tt) = \frac{m_i(tt)}{\sum_{j=1}^N m_j(tt)} \quad (17)$$

که  $M_{ai}$  جرم گرانشی فعال از عوامل نام،  $M_{pi}$  جرم گرانشی غیر فعال از عامل نام،  $M_{ii}$  جرم اینرسی عامل نام،  $M_i(tt)$  جرم عامل نام در تکرار  $tt$  می‌باشند.

مرحله ۵: محاسبه نیروی کل:

در این مرحله نیروی کل قطعی روی عامل  $(F_i^d(tt))$  به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$F_i^d(tt) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j \cdot F_{ij}^d(tt) \quad (18)$$

که  $rand_j$  عدد اتفاقی بین فاصله  $[0, 1]$  است.

نیروی قطعی روی جرم نام  $M_i(tt)$  از جرم نام  $M_i(tt)$  در تکرار خاص  $tt$  بر اساس توصیف تئوری گرانشی به شکل زیر می‌باشد:

جدول (۱) بار مصرفی (MW)

زما ن بار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	۱۳۷	۱۳۹۰	۱۳۶۰	۱۲۹۰	۱۲۹۰	۱۴۱۰	۱۶۵۰	۲۰۰۰
زما ن بار	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
	۲۲۴	۲۲۲	۲۲۳	۲۳۱۰	۲۲۳	۲۲۰	۲۱۳	۲۰۷
زما ن بار	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
	۲۱۳۰	۲۱۴۰	۲۲۴	۲۲۸	۲۲۴	۲۱۲	۱۸۵	۱۵۹

جدول (۲) ضرائب تولید برق نیروگاه آبی

Plant	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
۱	-۰,۰۰۴۲	-۰,۴۲	۰,۰۳۰	۰,۹۰	۱,۰۰	-۰,۰
۲	-۰,۰۰۴۰	-۰,۳۰	۰,۰۱۵	۱,۱۴	۹,۵	-۱,۰
۳	-۰,۰۰۱۶	-۰,۳۰	۰,۰۱۴	۰,۵۵	۵,۵	-۴,۰
۴	-۰,۰۰۳۰	-۰,۳۱	۰,۰۲۷	۱,۴۴	۱۴,۰	-۹,۰

جدول (۳) ویژگی های نیروگاه آبی

Plant	$V^{\min}$ ( $\times 10^4$ $m^3$ )	$V^{\max}$ ( $\times 10^4$ $m^3$ )	$V_{begin}$ ( $\times 10^4$ $m^3$ )	$V_{end}$ ( $\times 10^4$ $m^3$ )	$Q^{\min}$ ( $\times 10^4$ $m^3/h$ )	$Q^{\max}$ ( $\times 10^4$ $m^3/h$ )
۱	۸۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۲۰	۵	۱۵
۲	۶۰	۱۲۰	۸۰	۷۰	۶	۱۵
۳	۱۰۰	۲۴۰	۱۷۰	۱۷۰	۱۰	۳۰
۴	۷۰	۱۶۰	۱۲۰	۱۴۰	۱۳	۲۵

جدول (۴) اطلاعات مربوط به مخازن زنجیره ای

نیروگاه	۱	۲	۳	۴
$R_u$	۰	۰	۲	۱
$\tau_d$ (h)	۲	۳	۴	۰

$R_u$ : تعداد نیروگاه  $\tau_d$ : زمان تاخیر عبور آب

اطلاعات استفاده شده برای شبکه آزمایشی ارائه شده در جداول (۱) تا (۶) داده شده است.

اطلاعات بار مصرفی برای ۲۴ ساعت در جدول (۱) داده شده است. در حالی که جدول (۲) ضرائب تولید برق نیروگاه آبی را می دهد. مرزهای حجم ذخیره مخازن، میزان تخلیه آب و شرایط مرزی حجم ذخیره مخازن در جدول (۳) داده شده اند. در جدول (۳) واحدهای ذخیره  $10^4 m^3$  هستند، در حالی که واحدهای میزان تخلیه آب  $10^4 m^3/h$  هستند. اطلاعات مربوط به زمان تأخیر انتقال آب و تعداد نیروگاه های بالا دست در جدول (۴) داده شده است. اطلاعات مربوط به واحد حرارتی در جدول (۵) آورده شده است.

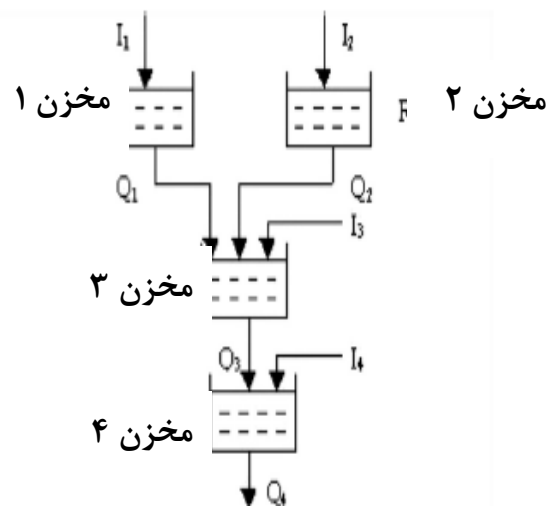
الگوریتم GSA جهت حل مساله توزیع اقتصادی روزانه در سیستم مورد مطالعه در محیط نرم افزاری MATLAB کدنویسی شده است. دوره زمان بندی ۲۴ ساعته با فواصل یک ساعته در نظر گرفته شده است. برای پیاده سازی الگوریتم GSA برای حل مسئله DHS، تنظیمات بهینه پارامترهای مختلف مورد نیاز هستند. برای این سیستم مورد مطالعه، برنامه کامپیوتری چندین بار اجرا شده است. بر این اساس پارامترهای بهینه ذیر مشخص شده اند تا بهترین عملکرد الگوریتم GSA ارائه شده به دست آیند:

۵۰ = اندازه جمعیت

۱۳۰ =  $G_0$  ثابت گرانشی اولیه

۲۰ = فاکتور  $\alpha$

۲۵۰۰ = حداکثر تکرار تولید.



شکل (۱) سیستم شبکه مورد مطالعه هیدرولیکی

جدول (۵) اطلاعات واحد حرارتی

واحد	$a_s$ (\$/h)	$b_s$ (\$/MWh)	$c_s$ (\$/(MW) <sup>2</sup> h)	$d_s$ (\$/h)	$e_s$ (rad/MW)	$a_s$ (ton/h)	$\beta_s$ (ton/MWh)	$\gamma_s$ (ton/MW <sup>2</sup> h)	$\eta_s$ (ton/h)	$\delta_s$ (1/MW)	$P_{min}$ (MW)	$P_{max}$ (MW)
۱	۵۰۰۰	۱۹,۲	۰,۰۰۲	۷۰۰	۰,۰۸۵	۴,۲۵۸	۵,۰۹۴	۴,۵۸۶	$10^{-6}$	۰,۰۰۸	۵۰۰	۲۵۰۰

جدول (۶) میزان جریان آب ورودی به مخازن سد ها ( $\times 10^4 m^3$ )

بر اساس پارامترهای انتخاب شده، الگوریتم GSA را ۲۵ بار از جمعیت‌های اولیه مختلف به صورت متوالی اجرا و بهترین نتیجه انتخاب می‌شود. مجموع هزینه نیروگاه حرارتی در فاصله زمانی به دست آمده برابر \$ ۹۱۹۵۰۹ است. ساعت نهایی هر نشت مخزن، ذخیره سازی به دست آمده با GSA به ترتیب در جدول (۷) و جدول (۸) داده شده است.

ساعت	مخازن			
	۱	۲	۳	۴
۱	۱۰	۸	۸,۱	۲,۸
۲	۹	۸	۸,۲	۲,۴
۳	۸	۹	۴	۱,۶
۴	۷	۹	۲	۰
۵	۶	۸	۳	۰
۶	۷	۷	۴	۰
۷	۸	۶	۳	۰
۸	۹	۷	۲	۰
۹	۱۰	۸	۱	۰
۱۰	۱۱	۹	۱	۰
۱۱	۱۲	۹	۱	۰
۱۲	۱۰	۸	۲	۰
۱۳	۱۱	۸	۴	۰
۱۴	۱۲	۹	۳	۰
۱۵	۱۱	۹	۳	۰
۱۶	۱۰	۸	۲	۰
۱۷	۹	۷	۲	۰
۱۸	۸	۶	۲	۰
۱۹	۷	۷	۱	۰
۲۰	۶	۸	۱	۰
۲۱	۷	۹	۲	۰
۲۲	۸	۹	۲	۰
۲۳	۹	۸	۱	۰
۲۴	۱۰	۸	۰	۰

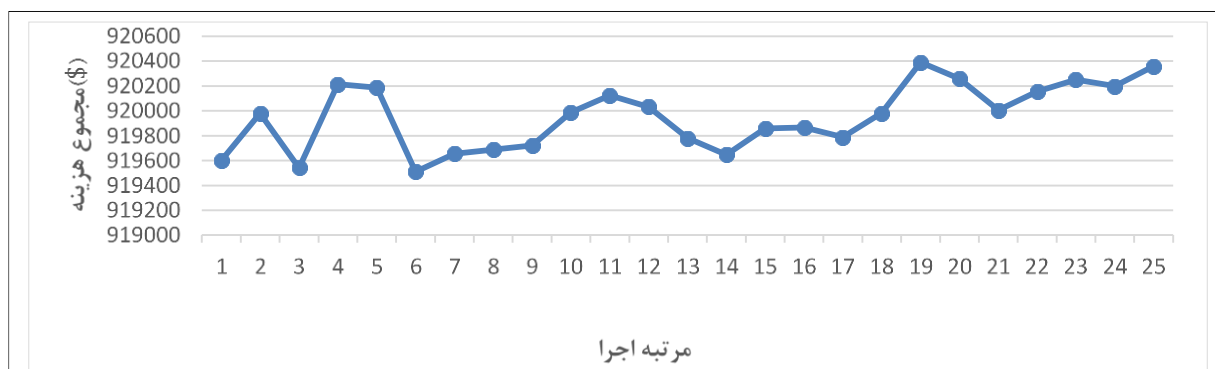
جدول (۷) تخلیه ساعتی نیروگاه آبی ( $\times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ )

نیروگاه ۴	نیروگاه ۳	نیروگاه ۲	نیروگاه ۱	زمان
۱۳,۰۰	۳۰,۰۰	۶,۵۶	۸,۸۶	۱
۱۳,۰۰	۳۰,۰۰	۷,۰۷	۱۰,۰۶	۲
۱۳,۰۰	۳۰,۰۰	۶,۲۸	۸,۵۷	۳
۱۳,۰۰	۳۰,۰۰	۶,۲۵	۸,۷۲	۴
۱۳,۰۰	۱۷,۸۱	۶,۰۴	۸,۶	۵
۱۳,۰۰	۱۸,۱۴	۶,۳۳	۸,۴۲	۶
۱۳,۰۰	۱۶,۵۳	۶,۵۵	۸,۲۹	۷
۱۳,۰۰	۱۶,۶۶	۶,۷۴	۸,۶۹	۸
۱۳,۰۰	۱۴,۸۹	۶,۹۵	۸,۷۳	۹
۱۳,۰۰	۱۴,۵۵	۷,۱۹	۹,۰۸	۱۰
۱۳,۰۰	۱۵,۴۰	۷,۴۲	۸,۶۸	۱۱
۱۳,۰۸	۱۴,۷۴	۷,۶۷	۸,۳۲	۱۲
۱۴,۸۱	۱۵,۷۵	۷,۷۸	۸,۱۸	۱۳
۱۴,۵۰	۱۶,۱۴	۸,۸۴	۸,۲۹	۱۴
۱۵,۴۰	۱۷,۰۲	۸,۹۰	۸,۲۹	۱۵
۱۴,۷۴	۱۷,۳۶	۹,۹۵	۸,۲۳	۱۶
۱۵,۸۳	۱۵,۷۴	۸,۰۹۳	۸,۲۳	۱۷
۱۶,۱۱	۱۶,۵۵	۹,۵۶	۷,۷۶	۱۸
۱۶,۹۷	۱۴,۹۳	۱۰,۱۴	۸,۰۱	۱۹
۱۷,۵۰	۱۳,۷۹	۱۰,۹۶	۷,۵۱	۲۰
۱۸,۶۵	۱۰,۰۹	۱۱,۵۷	۷,۷۰	۲۱
۲۰,۲۴	۱۰,۰۲	۱۰,۳۷	۷,۰۶	۲۲
۲۰,۱۴	۱۰,۱۶	۱۰,۶۹	۵,۴۸	۲۳
۲۱,۸۴	۱۰,۲۴	۱۱,۰۳	۵,۰۲۲	۲۴

جدول (۸) ذخیره سازی ساعتی نیروگاه آبی ( $\times 10^4 \text{ m}^3$ )

نیروگاه ۴	نیروگاه ۳	نیروگاه ۲	نیروگاه ۱	ساعت
۱۰۹,۸	۱۴۸,۱	۷۹,۲۱	۱۰۱,۱۴	۱
۹۹,۲۰	۱۲۶,۳۰	۸۰,۱۴	۱۰۰,۰۸	۲
۸۷,۸۰	۱۰۹,۱۶	۸۲,۸۶	۹۹,۵۱	۳
۷۴,۸۰	۱۰۰,۰۱	۸۵,۶۱	۹۷,۷۹	۴
۹۱,۸۰	۱۰۰,۸۴	۸۷,۵۷	۹۶,۱۹	۵
۱۰۸,۸	۱۰۱,۰۷	۸۸,۲۴	۹۳,۷۷	۶
۱۲۵,۸	۱۰۳,۰۲	۸۷,۶۹	۹۳,۴۸	۷
۱۴۲,۸	۱۰۲,۸۲	۸۷,۹۵	۹۳,۷۸	۸
۱۴۷,۵۱	۱۰۳,۵۵	۸۹,۰۰	۹۵,۰۶	۹
۱۵۲,۷۴	۱۰۵,۲۴	۹۰,۸۱	۹۶,۹۸	۱۰
۱۵۶,۶۲	۱۰۶,۳۰	۸۲,۳۸	۱۰۰,۰۳	۱۱
۱۵۹,۸۶	۱۰۹,۶۰	۹۲,۷۱	۱۰۱,۹۸	۱۲
۱۵۹,۹۴	۱۱۳,۷۲	۹۲,۹۳	۱۰۱,۷۹	۱۳
۱۵۹,۹۹	۱۱۶,۳۲	۹۳,۰۹	۱۰۸,۵۰	۱۴
۱۶۰,۰۰	۱۱۸,۶۲	۹۳,۱۹	۱۱۱,۲۱	۱۵
۱۶۰,۰۰	۱۱۸,۸۸	۹۱,۲۴	۱۱۲,۹۸	۱۶
۱۵۹,۹۲	۱۲۲,۲۶	۸۹,۳۱	۱۱۳,۷۵	۱۷
۱۵۹,۹۵	۱۲۴,۸۵	۸۵,۷۵	۱۱۳,۹۹	۱۸
۱۶۰,۰۰	۱۲۹,۰۹	۸۲,۶۱	۱۱۲,۹۸	۱۹
۱۵۹,۸۶	۱۳۲,۹۹	۷۹,۶۵	۱۱۱,۴۸	۲۰
۱۵۶,۹۵	۱۴۲,۴۸	۷۷,۰۸	۱۱۰,۷۷	۲۱
۱۵۳,۲۶	۱۵۲,۱۰	۷۵,۷۲	۱۱۱,۷۱	۲۲
۱۴۸,۰۵	۱۶۱,۶۱	۷۳,۰۳	۱۱۵,۲۱	۲۳
۱۴۰,۰۰	۱۷۰,۰۰	۷۰,۰۰	۱۲۰,۰۰	۲۴

بر اساس این جدول مقدار آب تخلیه شده از هر نیروگاه در هر یک از ساعات شبانه روز آورده شده است.



شکل (۲) توزیع بهترین هزینه هر آزمایش

وجود دارد، در حالی که آن را در طی مراحل بعدی به آرامی کاهش می‌دهد و در نهایت هزینه نیروگاه حرارتی را در راه حل به دست آمده تثبیت می‌کند.

جدول (۱۰) میزان تولید نیروگاه‌های آبی-حرارتی و میزان آلودگی واحد حرارتی

ساعت	Ph1(M W)	Ph2(M W)	Ph3(M W)	Ph4(M W)	Ph(M W)	ef(to n)
۱	۸۲,۴۵۹	۶۵,۸۷۹	۵۶,۳	۱۲۰,۸۸۶	۱۰۴۶	۰,۳۳
۲	۱۰۱,۱۸۱	۶۰,۷۰۷	۵۶,۳۱۴	۱۲۰,۱۰۱	۱۰۵۲	۰,۳۵
۳	۸۳,۵۳۹	۵۰,۶۲۸	۵۶,۶۲۸	۱۲۰,۰۸۳	۱۰۵۰	۰,۳۴
۴	۸۶,۰۳۳	۵۱,۶۲۵	۵۶,۶۲۵	۱۲۰,۰۲۵	۹۷۱	۰,۲۶
۵	۸۷,۱۵۸	۴۹,۶۰۴	۳۵,۱۸۷	۱۲۰,۴۱۵	۹۹۸	۰,۲۸
۶	۸۳,۷۴۲	۵۰,۶۳۳	۳۶,۱۰۱	۱۲۰,۵۸	۱۱۲۰	۰,۳۶
۷	۸۱,۶۳۱	۵۰,۶۵۵	۳۰,۸۲۹	۱۲۰,۶۶۶	۱۳۶۸	۰,۳۷
۸	۸۵,۶۳۳	۵۱,۶۷۴	۳۰,۱۶۶	۱۲۰,۴۵۸	۱۷۱۳	۰,۳۹
۹	۸۶,۸۱۰	۵۲,۸۹۷	۲۰,۴۲۲	۱۲۰,۴۵۵	۱۹۶۰	۰,۵۱۵
۱۰	۹۰,۸۳۴	۶۰,۷۱۹	۲۵,۴۵۵	۱۲۰,۵۴۰	۲۰۲۴	۰,۵۳
۱۱	۸۵,۷۶۱	۶۰,۷۸۴	۲۷,۵۴۰	۱۲۰,۳۶۵	۱۹۲۷	۰,۵۱
۱۲	۸۴,۶۴۹	۶۰,۱۰۹	۲۰,۴۷۴	۱۲۵,۱۴۸	۲۰۲۰	۰,۵۳
۱۳	۸۰,۸۰۹	۶۰,۱۴۹	۲۲,۵۷۵	۱۴۸,۷۸	۱۹۱۸	۰,۵۱
۱۴	۸۴,۶۹	۶۵,۸۴۵	۲۶,۶۱۴	۱۴۵,۲۹	۱۸۷۹	۰,۴۷
۱۵	۸۲,۲۹۴	۶۵,۸۹۰	۲۵,۷۰۲	۱۷۰,۱۲۵	۱۷۸۶	۰,۴۳
۱۶	۸۲,۵۴۲	۷۰,۹۹۵	۲۵,۹۰۲	۱۵۰,۳۲	۱۷۴۲	۰,۴۱
۱۷	۸۲,۱۷۲	۶۹,۸۹۳	۲۲,۵۷۸	۱۷۰,۳۲۰	۱۷۸۶	۰,۴۳
۱۸	۶۸,۷۴۶	۷۰,۹۵۶	۲۶,۶۵۵	۱۹۰,۹۲۰	۱۷۸۵	۰,۴۳
۱۹	۸۰,۸۰۱	۷۵,۱۰۱	۲۰,۴۹۳	۱۹۰,۸۴۴	۱۸۷۴	۰,۴۷
۲۰	۶۵,۷۵۱	۷۸,۱۰۹	۱۸,۳۰۷	۲۰۰,۴۱۵	۱۹۱۸	۰,۵۱
۲۱	۶۲,۱۰۰	۸۰,۱۱۵	۱۱,۲۶۵	۲۳۰,۲۵۴	۱۸۵۶	۰,۴۷
۲۲	۶۰,۰۲۴	۷۹,۱۸۶	۱۰,۰۰۲	۲۹۰,۷۰۶	۱۶۸۰	۰,۳۹
۲۳	۷۵,۰۸۴	۷۶,۵۱۴	۱۱,۰۱۶	۲۸۸,۵۴	۱۳۹۹	۰,۳۷
۲۴	۵۶,۲۵۴	۸۰,۲۱۲	۱۲,۱۸۴	۲۹۶,۵۲	۱۱۴۵	۰,۳۷

به منظور اعتبارسنجی حاصل از اجرای الگوریتم GSA جهت حل مساله DHS، در مقایسه با الگوریتم DE. برنامه کامپیوتری تهیه شده، ۲۵ بار اجرا شده و بر اساس آن ماکزیمم، میانگین و مینیمم، هزینه کلی واحد حرارتی در دو حالت با و بدون اثر موقعیت شیر بخار در جدول (۹) مقایسه شده‌است و مقادیر حاصل از روش GSA در مقایسه با DE بهتر می‌باشد.

جدول (۹) مقایسه هزینه کلی واحد حرارتی در روش GSA (برحسب \$/h)

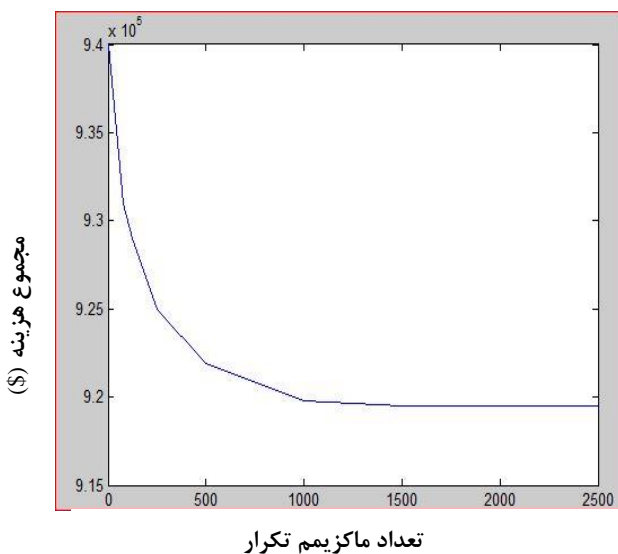
روش	مینیمم	متوسط	ماکزیمم
DE بدون اثر شیربخار	۹۲۲۸۹۴	۹۲۳۲۲۳	۹۲۳۷۹۲
GSA بدون اثر شیربخار	۹۱۹۴۷۲	۹۱۹۷۹۵	۹۲۰۳۵۹
GSA با اثر شیربخار	۹۱۹۵۰۹	۹۱۹۸۶۷	۹۲۰۳۸۹

به منظور بررسی کیفیت راه حل، تنوع در هزینه نیروگاه حرارتی از ۲۵ آزمایش با استفاده از روش GSA مطرح شده را با در نظر گرفتن اثر شیر بخار بررسی می‌کنیم. بهترین، میانگین و بدترین مجموع هزینه نیروگاه به ترتیب ۹۱۹۵۰۹ و ۹۲۰۳۸۹ و ۹۱۹۸۶۷ می‌باشد. هزینه کلی واحد حرارتی به ازای ۲۵ بار اجرای برنامه با در نظر گرفتن ماکزیمم تعداد تکرار در همگرایی ۲۵۰۰ با برنامه کامپیوتری با استفاده از الگوریتم GSA در شکل (۲) نشان داده شده است.

پس از مشخص شدن بهترین جواب برای کمینه کردن هزینه تولید نیروگاه حرارتی، مقادیر تولید هریک از نیروگاه های آبی و همچنین میزان تولید نیروگاه حرارتی و مقدار آلاینده‌گی این واحد حرارتی برای هریک از ساعات شبانه‌روز در جدول (۱۰) نشان داده خواهد شد.

در این میان تنوع مجموع هزینه‌های نیروگاه حرارتی با تعداد تکرار شونده‌ها بررسی خواهد شد، که نشان‌دهنده رسیدن به بهبود در ویژگی همگرایی روش GSA مطرح شده می‌باشد. شکل (۳) تاثیر ماکزیمم تعداد تکرار را در همگرایی و بهترین جواب روش GSA جهت حل مساله DHS و محاسبه هزینه کلی واحد حرارتی را نشان می‌دهد.

برای روش GSA مطرح شده، یک کاهش تند و تیز در مجموع هزینه نیروگاه حرارتی در آغاز مراحل تکاملی تحت تولید ۵۰۰



شکل (۳) تنوع بهترین مجموع هزینه با تعداد تولید

- [11] Passino KM. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. *IEEE Control Syst Mag* 2002;52-67.
- [12] Mirjalili S, Hashim SZM. A new hybrid PSO-GSA algorithm for function optimization. In: *International conference on computer and information application (ICCIA 2010)*; 2010. p. 374-7.
- [13] Rashedi E, Nezamabadi-pour H, Saryazdi S. GSA: a gravitational search algorithm. *Inform Sci* 2009;179:2232-48.

## ۶- نتیجه گیری

در توزیع اقتصادی روزانه سیستم‌های آبی حرارتی، به طور کلی هدف ما کم کردن هزینه سوخت نیروگاه‌های حرارتی بواسطه افزایش تولید نیروگاه‌های آبی می‌باشد. ولی با توجه به اینکه هدف اصلی از احداث سدها مصارف آبی آن می‌باشد، حضور واحدهای حرارتی در سیستم‌های برقی الزامی می‌باشد. بی‌بیچیدگی مصرفی به وسیله آبخاری بودن مخازن شبکه هیدرولیکی، ارتباط برنامه زمان‌بندی، روابط غیرخطی در متغیرهای مسئله و زمان تأخیر انتقال آب، سبب می‌شود تا این مسئله را مشکل سازد و به جهت این امر نیازمند روش‌های بهینه‌تری برای حل شدن می‌باشد. در این مقاله از الگوریتم جستجوی گرانشی جهت حل توزیع بهینه روزانه سیستم‌های آبی - حرارتی استفاده شد که به خوبی توانایی حل مساله مذکور را دارا بود.

## رزومه



امین عبایی فرسال (۱۳۶۷) در دزفول متولد شد. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت در سال (۱۳۸۹)، از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، اخذ نمود و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد

مهندسی برق - قدرت در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد. فعالیت پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت و ادوات فکتس می‌باشد.



حسن براتی در دزفول متولد شده است (۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه

تبریز (۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۷) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

## مراجع

- [1] Goldberg DE. Genetic algorithms in search optimization and machine learning. Reading: Addison-Wesley; 1989.
- [2] Storn R, Price K. Differential evolution: a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *J Global Optim* 1997;11:341-59.
- [3] Karaboga D, Basturk B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *J Global Optim* 2007;39(3):459-71.
- [4] Kenedy J, Eberhart RC. Particle swarm optimization. *IEEE Int Conf Neural Netw* 1995;4:1942-8.
- [5] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part B* 1996;26(1):29-41.
- [6] Kitpatrick S, Gelatto CD, Vecchi MP. Optimization by simulated annealing. *Science* 1983;220:671-80.
- [7] Geem ZW, Kim JH, Loganathan GV. A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation* 2001;76(2):60-8.
- [8] Deb K, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA II. *IEEE Trans Evol Comput* 2002;6(2):182-97.
- [9] Kaveh A, Talatahari S. A novel heuristic optimization method: charged system search. *Acta Mech* 2010;213:267-89.
- [10] Simon D. Biogeography-Based Optimization. *IEEE Trans Evol Comput* 2008;12(6):712-3.

## زیر نویس ها

- <sup>1</sup> dispatching of hydrothermal system
- <sup>2</sup> Gravitational Search Algorithm
- <sup>3</sup> economic load dispatch
- <sup>4</sup> Independent System Operator
- <sup>5</sup> head