مهندسی عمران شریف
دوره‌ی ۲ - ۲۶، شماره‌ی ۱، ص. ۱۴۵-۱۵۰، (یادداشت فنی)

بهره برداری بهینه از مخزن سد بااستفاده از روش جستجوی ممنوعه‌ی احتمالاتی رتبه-معیار و برازندگی-معیار

سیدحسین حسینی نورزاد (کارشناس ارشد)
محمدهادی افشار (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

امروزه روش‌های فراکاوشی در حل مسئله‌ی بهره‌برداری از مخزن سد، که یکی از مسائل مورد علاقه‌ی محققان در حوزه‌ی مدیریت منابع آب در سراسر دنیاست، سهم مهمی را به خود اختصاص داده‌اند. در این عرصه به روش جستجوی ممنوعه کمتر از سایر روش‌ها توجه شده است. در این نوشتار، ابتدا در مرحله‌ی انتخاب روش جستجوی ممنوعه‌ی استاندارد، یک مکانیزم احتمالاتی با دو معیار رتبه‌ی پاسخ در همسایگی و مقدار تابع هدف پاسخ، با روش چرخ‌گردان اعمال شد و سپس دو مسئله‌ی بهره‌برداری ساده و برق‌آبی مخزن سد دز با این روش‌ها حل شد. با توجه به نتایج، روش رتبه -معیار موفق‌تر از روش مقدار -معیار بوده است و این روش موفق‌تر از روش استاندارد ارزیابی می‌شود. همچنین در مقایسه با نتایج سایر محققان، با وجود اینکه بهترین پاسخ در این روش‌ها به پاسخ مبنا نزدیک‌تر است (حل با LINGO)، محدوده و به عبارتی انحراف از معیار پاسخ‌ها در مقایسه با پاسخ‌های بعضی محققان بزرگ‌تر است. به منزله‌ی پیشنهادی برای اصلاح این مورد در آینده، می‌توان این روش‌ها را با مفاهیم تشدد و تشتت بهبود بخشید.

واژگان کلیدی: بهره برداری بهینه از مخزن سد، جستجوی ممنوعه، توسعه‌ی احتمالاتی.

shhn80@gmail.com
mhafshar@iust.ac.ir

۱. مقدمه

بشر از دیرباز برای تأمین منابع آب، کنترل سیلاب‌های رودخانه‌ها و تأمین انرژی مورد نیاز خود سازه‌هایی را روی رودها بنا کرده است که از این میان سدها نقش مهمی داشته‌اند. دانشمندان روش‌های فراوانی را برای انتخاب بهینه‌ترین سیاست بهره‌برداری از این سازه‌ها ارائه کرده‌اند که می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی خطی[۱]، برنامه‌ریزی غیرخطی[۲]، برنامه‌ریزی پویا[۳] و روش‌های فراکاوشی[۴] اشاره‌کرد. در این میان روش‌های فراکاوشی، سهم شایان توجهی را به خود اختصاص داده‌اند و تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است.[۱]

به عبارت دیگر، حل مسائل پیچیده‌ی بهینه‌سازی در دنیای واقعی، محققان را با چالش‌های فراوانی روبرو کرده است. یکی از راه‌های غلبه بر این پیچیدگی‌ها به‌کار بستن روش‌های فراکاوشی بر مبنای طبیعت یا هوش بشری است. با استفاده از این روش‌ها پاسخ‌هایی نزدیک به پاسخ بهینه و در زمان محاسباتی معقولی به دست می‌آید؛ که هیچ‌کدام تضمینی برای یافتن پاسخ بهینه‌ی مسئله نیست؛ و نسبت به روش‌های ریاضی، سرعت بالاتری در حل مسائل خصوصاً از نوع بزرگ مقیاس[۵] دارند.[۲] در این نوشتار یکی از روش‌های بهینه‌سازی ترکیبی[۶] به نام جستجوی ممنوعه[۷] ارائه می‌شود. مفاهیم اولیه‌ی روش جستجوی ممنوعه را برخی از محققان ارائه کرده‌اند.[۳-۵] و پس از آن به منزله‌ی یکی از روش‌های قدرتمند در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی شناخته شده است. در این نوشتار، بهبود روش مذکور مبتنی بر استفاده از انتخاب احتمالاتی به جای انتخاب قطعی بررسی می‌شود.

در ادامه، نگارندگان این نوشتار روش جستجوی ممنوعه‌ی استاندارد و سپس روش توسعه‌ی احتمالاتی پیشنهادی را معرفی می‌کنند. در بخش‌های بعدی اصول بهره‌برداری ساده و برق‌آبی از مخزن، یک مسئله‌ی نمونه، نتایج حل آن با روش‌های پیشنهادی و همچنین نتیجه‌گیری از مباحث ارائه می‌شوند.

۲. روش جستجوی ممنوعه‌ی استاندارد

روش جستجوی محلی نزولی[۸] منشأ ابتدایی روش جستجوی ممنوعه است. این روش از یک پاسخ اولیه‌ی تصادفی شروع و با اندکی تغییر در پاسخ، تعدادی پاسخ در همسایگی نقطه‌ی جاری تولید می‌کند و به سمت پاسخی که مقدار تابع هدف را بهبود بخشد حرکت می‌کند. این حرکت تا زمانی ادامه می‌یابد که دیگر بهبودی در

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۹/۱۲، داوری ۱۳۸۷/۶/۱۰، پذیرش ۱۳۸۸/۶/۴.

Archive of SID
www.SID.ir

تابع هدف مشاهده نشود.

روش جستجوی ممنوعه، بر کاوش در همسایگی -لیکن با پرهیز از گرفتار شدن در بهینه‌های موضعی -استوار است. ایده‌ی کلی این روش در مراجعه به ناحیه‌هایی است که به‌تازگی کاوش شده‌اند؛ بنابراین، جستجو از یک پاسخ اولیه‌ی تولیدشده‌ی تصادفی شروع می‌شود و در همسایگی نقطه‌ی جاری، نقطه‌یی را که از سایر نقاط همسایگی بهتر است و مراجعه به آن ممنوع نیست می‌یابد و به سمت آن حرکت می‌کند؛ این فرآیند تا جایی ادامه می‌یابد که معیار توقف ارضاء شود و هر بار پاسخ یافته شده‌ی اخیر با بهترین پاسخ یافته شده تا این مرحله مقایسه و در صورت بهبود، جایگزین آن می‌شود.[۶-۱۱] با توجه به توضیحات فوق اجزاء و مفاهیم اساسی این روش در ذیل آمده است.

۱.۲. پاسخ اولیه[۹]

در اغلب روش‌های کاوشی در هنگام شروع حل، یک (یا یک دسته) پاسخ به صورت تصادفی تولید می‌شود تا کاوش از آن نقطه (یا نقاط) آغاز شود. در روش جستجوی ممنوعه نیز در اولین گام، یک پاسخ اولیه با کمک فرآیندی تصادفی تولید می‌شود.

۲.۲. حرکت در همسایگی

دومین مفهوم اساسی این روش، مفهوم حرکت است. حرکت، انتقال از پاسخ جاری به بهترین پاسخ موجود در یک همسایگی است که ممنوعیتی برای مراجعه ندارد. برای تعیین نحوه‌ی حرکت، الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد که ساده‌ترین آن‌ها تولید پاسخ جدید با ایجاد یک آشفتگی[۱۰] در یکی از متغیرهای تصمیم پاسخ است، برای مثال با تعریف یک گام حرکت ثابت (یا متغیر)، در واقع، هر حرکت تغییر در مقدار یکی از متغیرهای تصمیم به اندازه یک گام است. با انجام تمامی حرکات ممکن روی پاسخ جاری، همسایگی مورد نظر تولیدمی‌شود. در نهایت حرکت به سوی بهترین پاسخ‌های همسایگی که در لیست ممنوعه وجود ندارند، انجام می‌شود.

۳.۲. لیست ممنوعه[۱۱]

همواره بهترین پاسخ‌های اخیر در لیست ممنوعه ذخیره می‌شود. سیاست کلی، اعمال محدودیت برای عدم بازگشت به نواحی کاوش شده‌ی اخیر و پرهیز از دور شدن و گرفتاری در بهینه‌های موضعی است. طول این لیست نباید آن‌قدر کوتاه باشد که منجر به گرفتار شدن در بهینه‌های موضعی شود و نه آن‌قدر بلند باشد که کارایی روش در انتخاب مسیری به سمت پاسخ بهینه از دست برود. به عبارت دیگر هر قدر لیست کوچک‌تر باشد این امکان فراهم می‌آید که یک ناحیه دقیقاً کاوش شود (تشدد[۱۲]) و هر قدر بزرگ‌تر باشد فرصت جستجو در نواحی گسترده‌تری را پدید می‌آورد (تشتط[۱۳])؛ لذا باید بین این دو مهم به تعادل رسید.

برای ذخیره‌ی پاسخ در لیست ممنوعه دو امکان وجود دارد: ذخیره‌ی تمامی متغیرهای تصمیم یا ذخیره‌ی یک یا چند متغیر. انتخاب روش اول نیازمند فضا و زمان زیادی برای ذخیره‌سازی خصوصاً در مسائل با ابعاد بزرگ است. برای حل این مشکل، یک یا چند ویژگی از پاسخ ذخیره می‌شود. علی‌رغم اینکه با این کار حجم و زمان مورد نیاز برای ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد، حرکت به سمت پاسخ‌های دیگری که در یک یا چند ویژگی با پاسخ‌های موجود در لیست ممنوعه مشترک هستند، نیز ممنوع می‌شود.

۴.۲. معیار رد ممنوعیت[۱۴]

برای پرهیز از مشکل فوق از معیار رد ممنوعیت استفاده می‌شود. براساس این معیار گاهی در صورتی که پاسخ بهینه‌یی در همسایگی آن، حتی در لیست ممنوعه، موجود باشد؛ ممنوعیت حرکت به سمت آن نادیده گرفته می‌شود.

۵.۲. معیار توقف[۱۵]

برای پایان دادن به کار جستجو، معیارهای مختلفی را می‌توان به کار بست که از آن جمله می‌توان به محدودکردن تعداد تکرارهای برنامه به میزان حداکثر یا محدودکردن تعداد تکرار بدون ایجاد بهبودی در پاسخ بهینه اشاره کرد.

۳. توسعه‌ی احتمالاتی پیشنهادی

روش جستجوی ممنوعه گاهی حتی مسیرهای سربالایی[۱۶] را به امید فرار از بهینه‌های محلی و دست‌یابی به پاسخ های بهتر در تکرارهای بعدی انتخاب می‌کند. در فرآیند انتخاب بهترین پاسخ در همسایگی موجود، این سؤال پیش می‌آید که اگر بهترین پاسخ همسایگی از پاسخ جاری بهتر نباشد به چه علتی روش جستجو آن را به مابقی پاسخ‌ها ترجیح می‌دهد؟ تفاوت آن پاسخ با سایر پاسخ‌های همسایگی چیست؟ لذا صحیح‌تر است که گفته شود به احتمال بیشتر، با این حرکت به پاسخ بهینه می‌رسیم. به عبارتی، احتمال دست‌یابی به پاسخ بهینه با میزان خوبی پاسخی که می‌خواهیم به سمت آن حرکت کنیم رابطه‌ی مستقیم دارد، لذا با تعریف معیاری برای خوبی پاسخ، به جای انتخاب قطعی بهترین پاسخ موجود، فرآیند انتخاب را به شیوه‌ی احتمالاتی می‌توان طوری تنظیم کرد که احتمال انتخاب هر پاسخ، متناسب با میزان خوبی آن باشد. در این نوشتار دو معیار برای میزان خوبی تعریف می‌شود: یکی رتبه‌ی پاسخ در بین سایر پاسخ‌های همسایگی و دیگری مقدار تابع هدف متناظر با پاسخ.

۱.۳. روش جستجوی ممنوعه احتمالاتی رتبه - معیار (RBPTS)[۱۷]

در این حالت احتمال انتخاب هر پاسخ بدین شکل تعریف می‌شود:

$$Pr_i = \frac{\frac{1}{k_i}}{\sum_j \frac{1}{k_j}} \qquad (1)$$

که در آن k_i رتبه پاسخ iاُم در بین پاسخ‌های موجود در همسایگی پاسخ جاری و Pr_i احتمال پذیرش پاسخ iاُم به‌عنوان پاسخ جاری گام بعد است.

براساس رابطه‌ی ۱ پاسخ‌های با رتبه‌ی بهتر، مقدار k_i کمتر و $\frac{1}{k_i}$ بیشتر؛ شانس بیشتر برای انتخاب شدن دارند.

۲.۳. روش جستجوی ممنوعه احتمالاتی برازندگی - معیار(FBPTS) [۱۸]

در این حالت احتمال انتخاب پاسخ به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$Pr_i = \frac{\frac{1}{(Objective)_i}}{\sum_j \frac{1}{(Objective)_j}} \qquad (2)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$(Objective)_i$ مقدار تابع هدف در نقطه‌ی i و $\Pr_i$ احتمال انتخاب نقطه‌ی i به‌عنوان نقطه‌ی جاری گام بعد است.

براساس رابطه‌ی ۲ پاسخ‌هایی که مقدار تابع هدف $(Objective)_i$ در آن‌ها کمتر است، مقدار $\frac{۱}{(Objective)_i}$ آن‌ها بیشتر است، و شانس بیشتری برای انتخاب دارند.

۳.۳. روش چرخ گردان[۱۹] برای اعمال فرآیند احتمالاتی

برای انتخاب احتمالاتی در هر دو مکانیزم فوق از چرخ گردان استفاده شده است. این روش، روشی متداول در سایر روش‌ها نظیر الگوریتم ژنتیک است. برای استفاده از این روش در الگوریتم جستجوی ممنوعه، مجموع مقادیر برازندگی کل اجزاء در همسایگی حساب می‌شود و هر یک از اعضاء با توجه به مقدار برازندگی‌اش، سهمی را به خود اختصاص می‌دهد. برای انتخاب یک نقطه‌ی بهینه در همسایگی، یک عدد تصادفی بین صفر و مجموع محاسبه‌شده انتخاب می‌شود و این عدد تصادفی با هر قسمت از چرخ رولت که برخورد داشت، جزء متناظر آن قسمت به‌عنوان نقطه‌ی برگزیده انتخاب می‌شود. عیب اعمال این مکانیزم در روش احتمالاتی برازندگی معیار این است که اگر یک یا چند نقطه‌در همسایگی دارای برازندگی بالا باشند، درصد قابل ملاحظه‌یی از سطح چرخ گردان را به خود اختصاص می‌دهند و درصد کمتری از سطح چرخ‌گردان برای نقاط با برازندگی متوسط متناسب باقی می‌ماند. در نتیجه، احتمال انتخاب این نقاط به‌عنوان نقاط برگزیده کاهش‌می‌یابد و در رقابت تقریباً حذف می‌شوند. برای کاستن این ضعف به جای مقدار تابع هدف به منزله‌ی برازندگی، می‌توان از رتبه‌ی نقطه در همسایگی استفاده کرد. هر دو مکانیزم فوق در این تحقیق بررسی شده‌اند.

۴. بهره برداری بهینه از مخزن سد

برای حل این مسئله، دو الگوریتم وجود دارد: یکی الگوریتم بهینه‌ساز که در واقع اصول روش جستجوی ممنوعه را مدل می‌کند و دیگری الگوریتم شبیه‌ساز که رفتار مخزن را در شرایط مختلف شبیه‌سازی می‌کند.

۱.۴. متغیر تصمیم

متغیر تصمیم در مسئله‌ی بهره‌برداری بهینه از مخزن سد می‌تواند حجم ذخیره‌ی مخزن در هر دوره‌ی S_t و یا میزان آب رها شده در هر دوره‌ی زمانی R_t باشد؛ در این نوشتار میزان آب رها شده به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است.

۲.۴. تابع هدف

الف) بهره برداری ساده

در این مسئله رابطه‌ی ۳، با هدف کمینه‌سازی کمبود، به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است:

$$Minimize\ O.F = \sum_{t=۱}^{NT}\left[\frac{D_i - R_i}{D_{\max}}\right]^۲ \qquad (۳)$$

که در آن D_i میزان نیاز در هر دوره‌ی زمانی برای متغیر تصمیم iاُم؛ R_i میزان رهاسازی در هر دوره‌ی زمانی برای متغیر تصمیم iاُم؛ NT تعداد دوره‌ها؛ $D_{\max}$ بیشینه‌ی نیاز است.

ب) بهره برداری برق‌آبی

در این حالت، برای حل مسئله با هدف بیشینه‌سازی، استفاده از ظرفیت نصب نیروگاه یا به عبارت دیگر کمینه سازی کمبود توان تولیدی از ظرفیت نصب، رابطه‌ی ۴ به‌عنوان تابع هدف لحاظ شده است:

$$Minimize\ O.F = \sum_{t=۱}^{NT}\left[۱ - \frac{P_t}{P_{pp}}\right]$$
$$h_t = \left(\frac{H_t + H_{t+۱}}{۲}\right) - TWL,$$
$$P_t = \min\left[\left(\frac{g \times \eta \times R_t}{PF}\right) \times \left(\frac{h_t}{۱۰۰۰}\right), P_{pp}\right] \qquad (۴)$$

P_i توان تولیدی نیروگاه در دوره‌ی زمانی tاُم (مگاوات)؛ P_{pp} ظرفیت نصب نیروگاه (Power Plant) (مگاوات)؛ NT تعداد کل دوره‌های زمانی؛ g شتاب ثقل $(m^۲/s)$؛ η بازده نیروگاه؛ PF ضریب کارکرد[۲۰] نیروگاه؛ R_t دبی عبوری از توربین در دوره‌ی زمانی tاُم $(m^۳/s)$؛ h_t بار آب موثر بر نیروگاه (m)؛ H_t تراز مخزن از سطح دریا (m)؛ TWL تراز پایاب نیروگاه از سطح دریا (m)؛ h_t بار آب مؤثر بر نیروگاه (m).

۳.۴. قیود

اساسی‌ترین قید مسئله، معادله‌ی پیوستگی مخزن (رابطه‌ی ۵) است:

$$S_{t+۱} = S_t + I_t - R_t - L_t \qquad (۵)$$

که در آن S_t حجم مخزن در ابتدای دوره‌ی زمانی t؛ I_t آب ورودی به مخزن در دوره‌ی زمانی t؛ R_t آب رها شده در دوره‌ی زمانی t؛ L_t تلفات در دوره‌ی زمانی t است. یکی دیگر از قیود، ناشی از محدودیت حجم مخزن (رابطه‌ی ۶) است:

$$S_{\min} \le S_t \le S_{\max} \qquad (۶)$$

$S_{\min}, S_{\max}$ بیشینه و کمینه‌ی حجم مخزن. و قید آخر ناشی از محدودیت آب رها شده از مخزن (رابطه‌ی ۷) است:

$$R_{\min} \le R_t \le R_{\max} \qquad (۷)$$

$R_{\min}, R_{\max}$ بیشینه و کمینه‌ی آب رها شده از مخزن است.

برای اعمال قیود فوق در مسئله، روش‌های مختلفی وجود دارد که روش اعمال ضریب پنالتی یکی از متداول‌ترین آن‌هاست. در نوشتار حاضر به کمک سعی و خطا-برای هر کدام از دو نوع بهره‌برداری به‌صورت جداگانه-هر بار ضریب پنالتی متغیری محاسبه و در مقدار مجموع تخلف از قیود ضرب و به مقدار تابع هدف اضافه می‌شود (رابطه‌ی ۸):

$$F_p = F + \alpha_p \times \sum_{t=۱}^{NT} CSV_t \qquad (۸)$$

که در آن F_p تابع هدف جریمه‌دار؛ F تابع هدف حقیقی؛ α_p ضریب پنالتی؛ CSV_t مجموع مقدار تخلف از قیود در دوره‌ی زمانی t است.

مقدار ضریب پنالتی باید متناسب با مقدار حقیقی تابع هدف باشد. نباید خیلی کوچک باشد زیرا نیازمند محاسبات زیاد برای یافتن پاسخ ممکن و یا انحراف به سمت پاسخ‌های ناممکن می‌شود. همچنین در نظرگرفتن مقادیر خیلی بزرگ در حکم جریمه، سبب محدودشدن فضای جستجوی مسئله و هم‌گرایی به پاسخ‌های بهینه‌ی موضعی می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

۴.۴. اطلاعات مسئله‌ی نمونه

مسئله‌ی نمونه در این تحقیق، مسئله‌ی بهره‌برداری ساده و برق‌آبی از مخزن سد دز است. این مسئله برای یک دوره‌ی پنج‌ساله (۶۰ ماهه) حل شده است. همان‌گونه که شرح داده شد متغیر تصمیم آب رها شده از مخزن در ماه‌های مورد مطالعه است؛ لذا این مسئله ۶۰ متغیر تصمیم دارد. اطلاعات موجود در ارتباط با مسئله به شرح زیر است:

$$S_1 = ۱۴۳۰ mcm; \quad S_{\min} = ۸۳۰ mcm; \quad S_{\max} = ۳۳۴۰ mcm;$$
$$R_{\min} = ۰ mcm; \quad R_{\max} = ۱۰۰۰ mcm.$$

نیروگاه سد دز از ۸ واحد ۸۰٫۸ مگا واتی تشکیل شده‌است که زمان کارکرد آن حدود ۱۰ ساعت در طول روز است. به این ترتیب در مسئله‌ی برق‌آبی مقادیر زیر در محاسبات قرار داده می‌شود:

$$PF = ۰٫۴۱۷; \quad P_{pp} = ۶۵۰ Mw; \quad \eta = ٪۹۰;$$
$$TWL = ۱۷۲ m.$$

برای استفاده از مقادیر حجم -ارتفاع مخزن، یک چند جمله‌یی درجه‌ی سه (رابطه ۹) بر مقادیر برازش داده شده‌است:

$$H_t = a + b.S_t + c.S_t^2 + d.S_t^3$$
$$a = ۲۴۹٫۸۳۳۶۴; \quad b = ۰٫۰۵۸۷۲۰۵; \quad c = -۱٫۳۷ \times ۱۰^{-۵};$$
$$d = ۱٫۵۲۶ \times ۱۰^{-۹}. \qquad (۹)$$

۵. نتایج حل مسئله‌ی نمونه

برای حل مسئله‌ی بهره‌برداری بهینه از مخزن سد، مسئله به تعداد ۱۰ بار اجرا شد تا علاوه بر یافتن پاسخ بهینه، تأثیر موارد تصادفی (مانند پاسخ اولیه) در کارایی آن نیز بررسی شود. هم‌چنین پارامترهای روش بهینه‌ساز به‌صورت سعی و خطا برای هر دو مسئله زیر محاسبه و مورد استفاده قرار گرفته است.(جدول ۱)

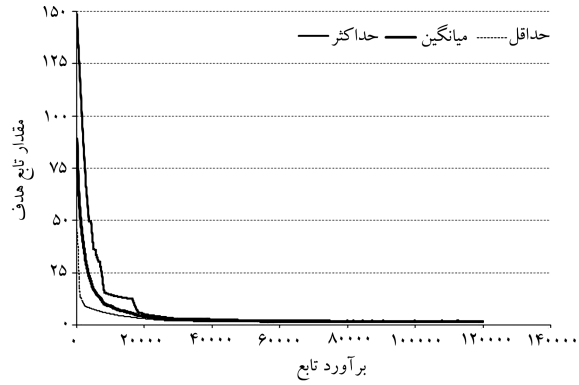
الف) بهره برداری ساده

مسئله‌ی بهره‌برداری ساده‌ی سد دز با هر سه مکانیزم روش جستجوی ممنوعه‌ی: استاندارد (شکل ۱)، احتمالاتی رتبه -معیار (شکل ۲) و احتمالاتی برازندگی-معیار (شکل ۳) با ۱۰ بار تکرار حل شده است و بهترین، بدترین و متوسط پاسخ‌ها و انحراف از معیار تابع هدف برای هر روش محاسبه شده است. هزینه‌ی محاسباتی (مدت زمان انجام محاسبات) با رایانه‌یی با مشخصات $(IntelCore۲DuoCPU@GHz, \ RAM \ ۲GHz)$ برای ده بار اجرای برنامه، ۳۲ ثانیه بوده‌است. نتایج سایر محققان و پاسخ مبنا (نتیجه‌ی حل با نرم افزار Lingo ۹) نیز ارائه شده‌است (جدول ۲). توضیحات مربوط به اشکال و جداول در بخش تفسیر نتایج ارائه شده است.

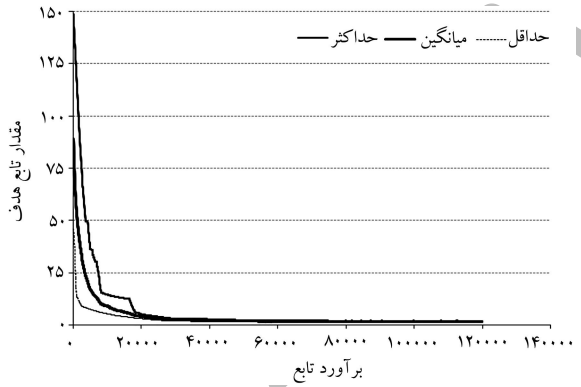
جدول ۱. پارامترهای روش بهینه‌ساز.

نسبت گام حرکت	تعداد تکرار	طول لیست ممنوعه
۰٫۰۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰

شکل ۱. نتایج حل مسئله‌ی بهره‌برداری ساده به روش جستجوی ممنوعه‌ی استاندارد.



شکل ۲. نتایج حل مسئله‌ی بهره برداری ساده به روش جستجوی ممنوعه‌ی احتمالاتی رتبه معیار.



شکل ۳. نتایج حل مسئله‌ی بهره برداری ساده به روش جستجوی ممنوعه‌ی احتمالاتی برازندگی معیار.

ب) بهره برداری برق آبی

درگام بعد، مسئله‌ی بهره‌برداری برق‌آبی سد دز، با هر سه مکانیزم روش جستجوی ممنوعه‌ی استاندارد (شکل ۴)، روش جستجوی ممنوعه‌ی احتمالاتی رتبه-معیار (شکل ۵) و روش جستجوی ممنوعه‌ی احتمالاتی برازندگی-معیار (شکل ۶) با ۱۰ بار تکرار حل و بهترین پاسخ، بدترین پاسخ و متوسط مقدار تابع هدف برای هر روش محاسبه شده است. در این حالت هزینه‌ی محاسباتی (مدت زمان انجام محاسبات) با

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. نتایج حاصل از ۱۰ بار حل مسئله‌ی بهره برداری ساده از مخزن سد دز به روش‌های مختلف.

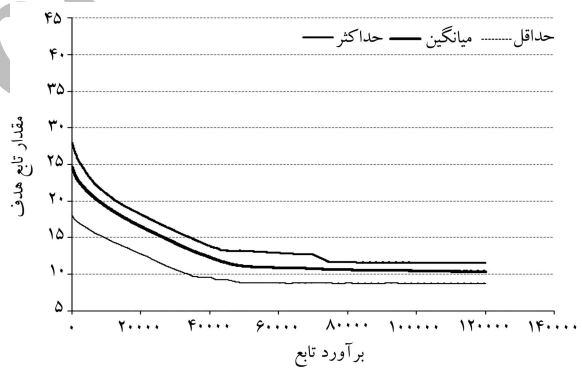
ردیف	روش		بهترین پاسخ	متوسط پاسخ‌ها	بدترین پاسخ	انحراف از معیار
۱	استاندارد		۱٫۴۹۶۷	۲٫۵۹۱۹	۳٫۷۰۱۰	۰٫۸۰۹۳
۲	احتمالاتی	رتبه معیار	۰٫۷۶۲۴	۱٫۳۲۰۲	۱٫۸۸۵۱	۰٫۴۱۲۲
۳		برازندگی معیار	۱٫۰۸۷۹	۱٫۸۸۳۹	۲٫۶۹۰۰	۰٫۵۸۸۲
۴	پاسخ مبنا (حل با نرم‌افزار LINGO 9)،[۱]		۰٫۷۳۱۰۰	-	-	-
۵	روش MMAS با ۲۰۰ مورچه،[۱]		۰٫۸۰۰۸۲	۰٫۸۳۲۴۰	۰٫۸۵۱۱۶	-
۶	روش ACS با ۱۵۰ مورچه، (جلالی)*،[۱]		۰٫۹۴۹۰۰	-	-	-

*این نتایج مربوط به مراحل اولیه تحقیقات وی بوده است.

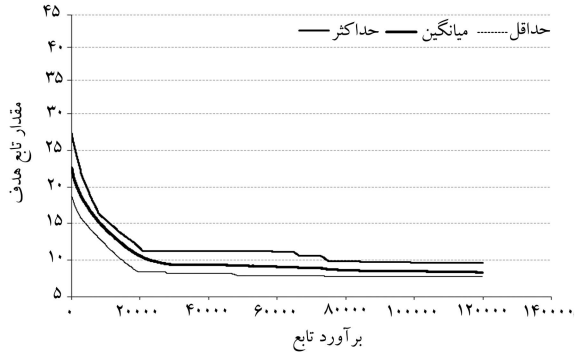
جدول ۳. نتایج حاصل از ۱۰ بار حل مسئله‌ی بهره برداری برق آبی از مخزن سد دز به روش های مختلف.

ردیف	روش		بهترین پاسخ	متوسط پاسخ‌ها	بدترین پاسخ	انحراف از معیار
۱	استاندارد		۸٫۷۵۳۳	۱۰٫۳۵۷۷	۱۱٫۵۶۶۴	۰٫۹۵۷۴
۲	احتمالاتی	رتبه معیار	۷٫۶۰۱۷	۸٫۷۱۱۴	۹٫۹۸۰۰	۰٫۷۰۲۳
۳		برازندگی معیار	۷٫۶۱۶۴	۸٫۳۷۸۳	۱۰٫۱۳۹۸	۰٫۸۸۸۵
۴	پاسخ مبنا (حل با نرم‌افزار LINGO۹)،[۱]		۷٫۳۷۲	-	-	-
۵	روش MMAS با ۲۰۰ مورچه،[۱]		۸٫۲۲۸۹	۸٫۸۳۳۷۰	۸٫۶۹۹۶۹	-
۶	روش ACS با ۱۵۰ مورچه، (جلالی)*،[۱]		غیر موجه (Unfeasible)			

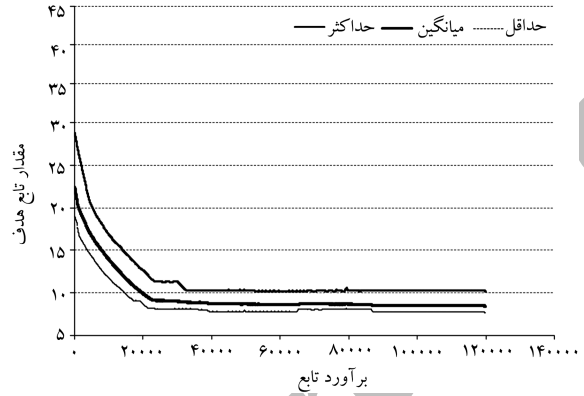
*این نتایج مربوط به مراحل اولیه تحقیقات وی بوده است.



شکل ۴. نتایج حل مسئله‌ی بهره برداری برق آبی به روش جستجوی ممنوعه‌ی استاندارد.



شکل ۵. نتایج حل مسئله‌ی بهره برداری برق آبی به روش جستجوی ممنوعه‌ی احتمالاتی رتبه معیار.



شکل ۶. نتایج حل مسئله‌ی بهره برداری برق آبی به روش جستجوی ممنوعه‌ی احتمالاتی برازندگی معیار.

رایانه‌یی با مشخصات ($IntelCore۲DuoCPU@GHz,\ RAM\ ۲GHz$) برای ده بار اجرای برنامه، ۴۴ ثانیه بوده‌است. نتایج سایر محققان و پاسخ مبنا (نتیجه حل با نرم‌افزار Lingo۹) نیز ارائه شده‌است (جدول ۳). توضیحات مربوط به اشکال و جداول در بخش تفسیر نتایج ارائه شده است.

ج) تفسیر نتایج

با توجه به اجرای مدل در شرایط مختلف (اشکال ۱الی ۶) و (جداول ۱ الی ۳) نتایج زیر حاصل شده‌است.

۱. روش جستجو در حالت بهره‌برداری ساده پس از حدود ۱۵۰ تکرار (معادل

www.SID.ir

۲۰۰۰۰ بار برآورد تابع) و در حالت بهره‌برداری برق‌آبی پس از ۲۵۰ تکرار (معادل ۳۰۰۰۰ بار برآورد تابع) به پاسخ نهایی نزدیک شده است.

۲. دامنه‌ی تغییرات نتایج در ۱۰ بار تکرار در بهره‌برداری ساده بسیار کمتر از بهره‌برداری برق‌آبی است. این موضوع نشان‌گر پیچیدگی بیشتر مسئله‌ی برق‌آبی و در نتیجه حساسیت بالا به پاسخ اولیه‌ی انتخابی است.

۳. انتخاب اندازه‌ی گام حرکت تأثیر قابل توجهی در زمان محاسبات و پاسخ نهایی دارد. در این تحقیق اندازه‌ی گام حرکت در طول اجرا ثابت (معادل ۰٫۰۲ طول بازه‌ی متغیر تصمیم) انتخاب شد و نتایج ارائه شده بیانگر مطلوبیت این انتخاب است.

۴. بهترین پاسخ روش‌های پیشنهادی در مقایسه با نتایج سایر محققان (در ۱۰ بار تکرار) مطلوب‌تر است، لیکن متوسط پاسخ‌ها و بدترین پاسخ یافته شده (در مقایسه با نتایج دیگران و پاسخ مبنا) مطلوب نیست و توسعه از نوع اعمال تشدد و تشتط را می‌طلبد.

۵. با مقایسه‌ی انحراف از معیارها، مکانیزم‌های احتمالاتی نسبت به حالت استاندارد پاسخ‌ها را بهبود بخشیده‌اند و همچنین مکانیزم احتمالاتی رتبه -معیار موفق‌تر از مکانیزم احتمالاتی برازندگی -معیار عمل کرده‌است؛ علت را می‌توان این گونه ارزیابی‌کرد که مکانیزم دوم موجب رفع نقص روش چرخ گردان می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا روش جستجوی ممنوعه‌ی استاندارد با اعمال یک مکانیزم احتمالاتی با روش چرخ‌گردان اجرا شد و سپس برای بهره‌برداری بهینه‌ی ساده و برق‌آبی مخزن سد دز به‌کار گرفته شده‌است؛ این مکانیزم احتمالاتی در مرحله‌ی انتخاب نقطه‌ی بعدی حرکت، با دو معیار رتبه پاسخ در همسایگی و مقدار تابع هدف اعمال شده‌است. همچنین متغیر تصمیم، میزان آب رها شده از مخزن در هر دوره لحاظ و مسئله با هرکدام از روش‌ها به تعداد ۱۰ بار حل شده‌است تا تأثیر فرآیندهای تصادفی بررسی شود. نتایج حاکی از موفقیت توسعه‌ها در مقایسه با روش استاندارد است؛ همچنین روش رتبه-معیار موفق‌تر از روش برازندگی-معیار عمل کرده‌است، که می‌توان علت را رفع نقص روش چرخ‌گردان در این حالت دانست. از مقایسه‌ی پاسخ‌ها با پاسخ مبنا و پاسخ‌های سایر محققان مشاهده می‌شود که علی‌رغم اینکه بهترین پاسخ یافته شده در ده تکرار در این تحقیق از پاسخ‌های سایر محققان به پاسخ مبنا نزدیک‌تر بوده‌است، با وجود این محدوده و به عبارتی انحراف از معیار پاسخ‌ها بیش از نتایج آنان بوده‌است؛ این موضوع بیان‌گر آنست که توسعه‌های ارائه‌شده نیاز به اصلاح بیشتری دارد؛ برای نمونه می‌توان فرآیندهای تشدد و تشتط را در روش جستجو اعمال‌کرد تا انحراف از معیار پاسخ در تکرارها را کاهش و اطمینان‌پذیری استفاده از روش انتخابی را افزایش دهد.

پانوشت

1. linear programming (LP)
2. non-linear programming (NLP)
3. dynamic programming (DP)
4. meta-heuristic
5. large scale problem
6. combinatorial optimization
7. tabu search
8. descend local search
9. initial solution
10. perturbation
11. tabu list
12. intensification
13. diversification
14. aspiration criteria
15. termination criteria
16. uphill climbing
17. ranking-based-probabilistic tabu search (RBPTS)
18. fitness-based-probabilistic tabu search (FBPTS)
19. roulette wheel selection method
20. plant factor

منابع

1. Moieni, R., "Fully and partially constrained ant algorithm for the optimization of sequential problem: Application to optimal operation of reservoir", *Master of Science Thesis,* IUST, Iran (2007).
2. Misevicius, A.; Blazauskas, T.; Blonskis, J., and Smolinskas, J., "An overview of some heuristic algorithms for combinatorial optimization problems", *ISSN 1392–124X Information technologijos ir valdymas,* **1**(30), (2004).
3. Hansen, P., and Jaumard, B., "Algorithms for the maximum satisfiability problem" In: Rutcor Research Report, Rutgers university, USA, pp. 43-87 (1987).
4. Glover, F.,"Tabu search: Part I", In: *ORSA Journal on Computing*, **1**, (3), pp. 190-206 (Summer 1989).
5. Glover, F.,"Tabu search: Part II", In: *ORSA Journal on Computing*, **2**, (1), pp.4-32 (Winter 1990).
6. Misevicius, A.; Lenkevicius, A.l, and Rubliauskas, D.; "Iterated tabu search: An improvement to standard tabu search", *ISSN 1392–124X Information technology and Control,* **35**,(3) (2006).
7. Blum, C., and Roli, A.; "Meta-heuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison", *ACM Computing Surveys,* **35**,(3), (Sep. 2003).
8. Cunha, M., and Ribeiro, L., "Tabu search algorithms for water network optimization", *European Journal of Operational Research,* **157** , pp. 746-758 (2006).
9. Glover, F., "Tabu search- wellsprings and challenges", *European Journal of Operations Research,* **106**, pp. 221-225 (1998).
10. Ming-Hsu, L.; Ching-Pin, T.; Chung-Hsiung, S., and Fu-Hsiung, Y., "Estimating seasonal basin rainfall using tabu search", *TAO,* **17**,(1), pp. 295-316 (March 2006).
11. Battiti. R., and Tecchiolli, G., "The reactive tabu search", *ORSA Journal on Computing*, **6**,(2), pp. 126-140 (1994).

Archive of SID

www.SID.ir