Archive of SID

به کارگیری الگوریتم کرم شبتاب در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سد درودزن

محمد جواد زینلی[۱]، ام البنی محمدرضاپور[۲]، فرید فروغی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۲۹

چکیده

مسائل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها از جمله مسائل مهم در علوم آب می‌باشد که تا کنون با انواع روش‌های بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری مانند، الگوریتم کرم شب‌تاب و مورچگان، یکی از این روش‌های بهینه‌سازی می‌باشد. در این تحقیق، بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن در یک دوره ۹۹ ماهه، با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب مورد بررسی قرار گرفته است. در آنالیز حساسیت پارامترهای الگوریتم کرم شب‌تاب، حساس‌ترین پارامتر α است که به عنوان ضریب جهش شناخته می‌شود و انتخاب مقدار مناسب برای آن، باعث یافتن راه حل مناسبی به وسیله کرم‌های شب‌تاب می‌شود و به نحو چشمگیری کارایی الگوریتم کرم شب‌تاب بالا خواهد برد. برای تعیین میزان کارایی این الگوریتم در مسئله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد نتایج آن با نتایج الگوریتم‌های سیستم مورچگان پیوسته و سیستم مورچگان ترتیبی مقایسه شده است. نتایج نشان داد الگوریتم FACC با مقدار تابع هدف ۴/۱۹۶ کارایی خوبی را از خود نشان داده و پس از آن الگوریتم‌های ACOrCC و ACOrankCC به ترتیب با مقادیر ۱۷/۰۰۴ و ۲۶/۱۵۶ عملکرد مناسبی را داشته‌اند. همچنین الگوریتم FACC با مقدار ۰/۹۵۹ دارای بالاترین ضریب اعتمادپذیری می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای تمامی اجراهای برنامه منجر به جواب‌های شدنی گردیده ولی بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در مواردی الگوریتم سیستم مورچگان پیوسته قادر به یافتن جواب شدنی نبوده است. لذا اعمال این قیود در بدنه این الگوریتم کارایی آن را به مراتب بالا می‌برد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم کرم شب‌تاب، بهره برداری بهینه، مورچگان پیوسته، مورچگان ترتیبی.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده آب وخاک، دانشگاه زابل _ فارس، اقلید، شهرک قدس یک، خیابان کمیل، ۰۹۳۹۴۵۰۲۰۱۱ mj.zeynali1@gmail.com
[۲] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل ۰۹۳۸۱۱۴۵۴۳۸ mohammadrezapour@uoz.ac.ir
[۳] مربی و عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز frooghi14@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

مسئله بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها یکی از اهداف مدیران منابع آب است و روش‌های مختلفی برای حل این گونه مسائل ارائه شده است. با افزایش ابعاد، تعداد متغیرها، تعداد قیدها، امکان حل این گونه مسائل با روش‌های مرسوم بهینه‌سازی و با روش‌های صریح محاسباتی موجود کاهش یافته و رسیدن به جواب بهینه مطلق در این شرایط، بسیار مشکل می‌باشد. به این ترتیب، استفاده از روش‌های کاوشی یا الگوریتم‌های تکاملی که البته تضمین کننده رسیدن به جواب بهینه مطلق نیستند ولی توانایی ایجاد جواب‌های مختلفی را دارند، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای اولین بار الگوریتم کرم شب‌تاب[1] (FA) را در دانشگاه کمبریج معرفی گردید (Yang, 2009). الگوریتم سیستم مورچگان پیوسته[2] (ACOR) نیز اولین بار در سال ۲۰۰۶ ارائه شد که برخلاف دیگر الگوریتم‌های مورچگان فضای جست‌وجو را پیوسته در نظر می‌گیرد (Socha et al, 2008) همچنین الگوریتم مورچگان ترتیبی[3] (ACOrank) اولین بار در سال ۱۹۹۹ ارائه گردید (Bullnheimer et al.,1992). افشار و همکاران (۱۳۸۸) و رضایی سنگدهی و افشار (۱۳۸۸) جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری برقابی از سدهای تک مخزنه عملکرد سیستم مورچگان (الگوریتم پایه) و الگوریتم تکامل یافته الگوریتم جامعه مورچگان ترتیبی و همچنین سیستم مورچگان بیشینه-کمینه مورد بررسی قرار دادند. نژادنادری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، مورچگان و ژنتیک را برای ارائه سیاست بهینه بهره‌برداری از سدکلان ملایر مورد استفاده قرار دادند. حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و شریعت پناهی و مشتاقی یزدانی (۱۳۹۱) برای بهبود عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب از روش تغییر پارامترها و برای برقراری تعادل بین جست‌وجوهای سراسری و محلی و نیز بهبود رفتار الگوریتم کرم شب‌تاب از تغییر در تعریف جذابیت برای هر کرم شب‌تاب استفاده نمودند. گروسی نژاد و بزرگ حداد (۱۳۹۲) در تحقیقی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب مسئله بهره‌برداری بهینه از مخزن سد آیدوغموش مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کرم شب‌تاب با نتایج روش برنامه‌ریزی غیرخطی در مسئله بهره‌برداری از مخزن سد، کم‌تر از یک درصد اختلاف داشته است. داریان و مرادی (dariane and moradi, 2009) از ACOR در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن حوضه کرخه استفاده نموده و نتایج آن با الگوریتم ژنتیک مقایسه شد که نتایج حاصل از مدل کوتاه مدت نشان‌دهنده برتری الگوریتم مورچه پیوسته نسبت به ژنتیک بود. (Afshar, 2010) از الگوریتم ACOR برای طراحی شبکه‌های فاضلاب استفاده نمود. (Kangrang and lukham, 2013) جهت بررسی منحنی فرمان ماهانه مخزن مدلی شامل روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان شرطی و مدل شبیه‌سازی مخزن استفاده نموده و با روش الگوریتم ژنتیک مقایسه نمودند. در این تحقیق بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن واقع در استان فارس با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری از قبیل الگوریتم FA، ACOR و ACOrank به منظور رهاسازی بهینه برای تامین نیاز کشاورزی پایین‌دست در یک دوره ۹۹ ماهه از سال ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گرفته است. به بیان دیگر هدف از این تحقیق تعیین میزان بهینه رهاسازی از سد در ماه‌های مختلف در دوره مورد نظر می‌باشد به شکلی که نیاز کشاورزی در پایین‌دست به بهترین شکل در کل دوره تامین شود. لذا متغیر تصمیم، مقدار آب رهاسازی شده در هر دوره زمانی بر اساس نیاز کشاورزی پایین دست در نظر گرفته شده است. تعیین میزان کارایی سه الگوریتم FA، ACOR و ACOrank و مقایسه آنها با هم و همچنین تأثیر اعمال قیود زنجیره‌ای در بدنه الگوریتم‌ها نیز جزو اهداف تحقیق می‌باشد.

[1] Firefly Algorithm
[2] Continuous ant system
[3] Ranking Ants Algorithm

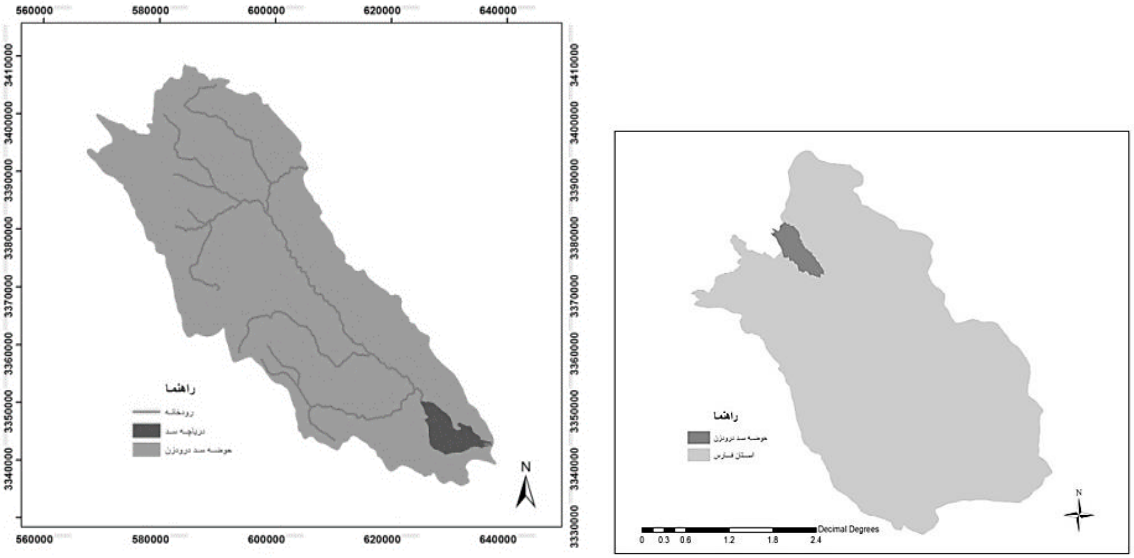
www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه سد درودزن، جزئی از حوضه فرعی طشک، بختگان، مهارلو بوده و مساحت آن حدود ۴۵۶۵ کیلومتر مربع در بین طول‌های '۴۰ °۵۰ تا '۵۵ °۵۲ شرقی و عرض‌های '۰۵ °۲۵ تا '۰۷ °۳۰ شمالی واقع شده است. سد مخزنی درودزن بر روی رودخانه کر احداث گردیده و هدف از احداث آن، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و صنعت، تأمین بخشی از آب شرب شهر شیراز و شهرهای بین راه و نیز تولید برق بوده است (جداری و همکاران، ۱۳۸۹). شکل (۱)، موقعیت حوضه سد درودزن در استان فارس نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت حوضه سد درودزن در استان فارس

روش انجام تحقیق:

تابع هدف و قیود

برای استفاده از یک مدل بهینه‌سازی در حل یک مسئله خاص، باید متغیر تصمیم، تابع هدف و قیود را برای مسئله مورد نظر تعریف کرد. در مسئله بهره‌برداری از مخزن سد، متغیر تصمیم ممکن است حجم ذخیره مخزن در هر دوره زمانی، S_t، یا میزان رهاسازی از مخزن در هر دوره زمانی، R_t، باشد (معینی و همکاران، ۱۳۸۷). در این تحقیق برای حل مسئله بهره‌برداری از سد درودزن، میزان رهاسازی از این سد به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است. و پس از تأمین صد در صدی نیازهای شرب و صنعت، تابع هدف کمینه‌سازی میزان اختلاف تقاضا (نیاز کشاورزی پایین‌دست) و رهاسازی می‌باشد که مطابق با رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$O.F, minimize = \sum_{t=1}^{n} \left(\frac{d_t - R_t}{d_{max}}\right)^2 \qquad (۱)$$

R_t مقدار آب رها شده در دوره زمانی tام، d_{max} حداکثر میزان تقاضای کشاورزی در طول دوره می‌باشد و d_t مقدار تقاضا کشاورزی در دوره زمانی tام می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در مسائل بهینه‌سازی قیدها یکی از ارکان اصلی مسئله هستند که محدوده جواب‌های شدنی را تعریف می‌نمایند قیود مربوط به بیلان آب در مخزن که مهم‌ترین آن‌ها رابطه پیوستگی است، بر اساس معادله (۲) استوار است:

$$S_t + \Delta S_t = S_{t+1} \qquad (۲)$$

که در آن S_t، حجم مخزن در ابتدای دوره t و S_{t+1} حجم مخزن در انتهای دوره t می‌باشد؛ ΔS_t نیز تغییرات حجم مخزن در طول دوره t می‌باشد. قیود دیگری که در این مسئله بهینه‌سازی وجود دارد قیود مربوط به رهاسازی و حجم مخزن است همان‌طور که در معادله‌های ۳ و ۴ مشخص است، باید رهاسازی در هر بازه (R_t) بین میزان رهاسازی کمینه ($R_{\min}$) و میزان رهاسازی بیشینه ($R_{\max}$) بوده و همچنین میزان حجم مخازن در هر دوره (S_t) نیز بایستی بین حجم کمینه ($S_{\min}$) و حجم بیشینه مخزن ($S_{\max}$) باشد.

$$R_{\min} \le R_t \le R_{\max} \qquad (۳)$$

$$S_{\min} \le S_t \le S_{\max} \qquad (۴)$$

روش‌های متفاوتی برای اعمال قیود مسئله وجود دارد. یکی از روش‌های معمول در حل مسائل مقید، منظور کردن ضریب جریمه[1] برای تابع هدف می‌باشد. اعمال ضریب جریمه نیز به شیوه‌های مختلفی امکان‌پذیر است مانند جمع کردن، ضرب کردن و یا ترکیبی از این دو، که روش به کار رفته در این تحقیق، روش ضرب میزان جریمه، در تابع هدف می‌باشد. در این صورت مطابق با رابطه (۵) برای تابع هدف خواهیم داشت:

$$F = \begin{cases} F & \text{if solution is feasible} \\ (F \times (1 + (C \times V))) & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۵)$$

در این رابطه C ضریب جریمه است که مقادیر مثبت به خود می‌گیرد. V میزان تخطی از قیود می‌باشد که مجموع تخطی از حجم مینیمم و ماکزیمم در طول دوره می‌باشد.

الگوریتم کرم شب‌تاب

نوری که کرم‌های شب‌تاب از خود ساطع می‌نمایند می‌تواند به دلایل مختلفی داشته باشد. به عنوان مثال برای جذب طعمه و شکار آن، یا برای جذب سایر اعضای گروه (جذب جنس مخالف) مورد استفاده قرار گیرد. به هر حال، این نور جذاب کرم‌های شب‌تاب، پدیده قابل توجه و جالبی بوده است که با الهام از آن یک الگوریتم فراابتکاری توسعه داده شده است. در الگوریتم کرم شب‌تاب، کرم‌های شب‌تاب به صورت تصادفی در فضا حرکت می‌کنند و میزان نور ساطع شده بیش‌تر باعث جذابیت بیش‌تر آن کرم شب‌تاب می‌شود و از طرفی با افزایش فاصله از میزان این نورانیت و در نتیجه از جذابیت کرم شب‌تاب کاسته می‌شود (yang, 2009). به همین دلیل یک کرم شب‌تاب حتی با نورانیت بیش‌تر ولی در فاصله بسیار دور جذابیت کم‌تری برای افراد دیگر گروه یا طعمه می‌تواند داشته باشد. شدت نور در فاصله r به صورت $I = I_0 e^{-\gamma r}$ می‌باشد(yang, 2010).

میزان نورانیت و جذابیت از ویژگی‌های کرم‌های شب‌تاب در الگوریتم کرم شب‌تاب است. میزان شدت نور در فاصله r یک منبع نوری نقطه‌ای که شدت نور آن I_0 است برابر با I_0 / r^2 می‌باشد. که در الگوریتم کرم شب‌تاب را منبع نور نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود. با ترکیب دو فرمول جذب نور $I = I_0 e^{-\gamma r}$ و تضعیف نور $I = I_0 / r^2$ نهایتا رابطه (۶) به دست خواهد آمد و برای نشان دادن میزان جذابیت (β) دقیقا فرمول‌ها شبیه فرمول‌های فوق و معادله (۶) بوده که و در حالت کلی به صورت معادله (۷) درمی‌آید (Yang, 2010):

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \approx \frac{I_0}{1 + \gamma r^2} \qquad (۶)$$

[1] Penalty coefficient

www.SID.ir

Archive of SID

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^m} \approx \frac{\beta_0}{1+\gamma r^m} \qquad (۷)$$

در این رابطه m یک عدد نامنفی بوده و m=0 به این معنی است که میزان جذابیت در هر فاصله ای به یک اندازه است و هر چه مقدار m بیش‌تر باشد نشان‌دهنده این است که با افزایش فاصله، از میزان جذابیت کرم شب‌تاب به مقدار بیش‌تری کاسته می‌شود. یا به عبارت دیگر با افزایش فاصله از میزان جذابیت کاسته نمی‌شود (m هیچگاه صفر نمی‌شود و مقدار آن را همیشه بزرگ‌تر از یک در نظر می‌گیرند). در فرمول‌های فوق از γ استفاده شده است و به دلیل این‌که γ تابعی از موقعیت فضایی است و از جنس عکس مجذور فاصله است؛ لذا توصیه می‌شود که از پارامتر Γ که $\Gamma = \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$ استفاده شود زیرا این پارامتر دیگر به موقعیت فضایی وابسته نبوده و از جنس فاصله است (Yang. 2010).

بنابراین موقعیت جدید کرم شب‌تاب، x_i'، که موقعیت قبلی آن x_i بوده‌است و به سمت کرم شب‌تابی با میزان نور بیش‌تر که در موقعیت x_j قرار دارد، در حال جذب شدن است، به صورت رابطه ۸ محاسبه می‌شود که در این رابطه ε_i یک بردار تصادفی با توزیع یکنواخت یا گوسی می‌باشد. γ ضریب جذب نور بوده و α ضریبی است که به عنوان ضریب جهش شناخته می‌شود و می‌توان مقدار آن را در هر تکرار تغییر داد (کم کرد) تا الگوریتم به همگرایی برسد؛ و این تغییر می‌تواند به صورت تغییرات خطی یا نمایی باشد (Yang, 2010):

$$x_i' = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^m}(x_j - x_i) + \alpha\varepsilon_i \qquad (۸)$$

الگوریتم مورچگان پیوسته

در الگوریتم ACOR متغیرهای تصمیم به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شوند و الگوریتم قادر خواهد بود که بر روی فضای R از اعداد حقیقی مقادیری را انتخاب نماید. دو پارامتر اصلی این الگوریتم q و ξ می‌باشد که مقدار q احتمال انتخاب حل‌های مجاور گره انتخاب شده را مشخص می‌کند هر چه مقدار q کم‌تر باشد شانس انتخاب حل‌هایی که در مجاورت گره مورد نظر قرار دارند کم‌تر خواهد داشت و پارامتر ξ شبیه به تبخیر فرامان در الگوریتم‌های مورچگان است. همانطور که گفته شد در این الگوریتم، پیوسته‌سازی فضا در متغیرهای تصمیم با استفاده از یک تابع چگالی احتمال (یک تابع گوسی کرنل) انجام می‌پذیرد. برای هر متغیر تصمیم iام یک تابع گوسی کرنل $G^i(x)$ تعریف می‌شود (socho and dorigo, 2008). در الگوریتم ACOR از یک آرشیو برای ذخیره مجموعه جواب‌ها استفاده می‌شود. به همین منظور، در سیستمی با n متغیر تصمیم تعداد k تابع گوسی منفرد برای هر متغیر تصمیم در آرشیو در نظر گرفته می‌شود که با انتخاب هر یک از آن‌ها و تولید جواب جدید، در واقع وضعیتی معادل با یک تابع گوسی کرنل برای هر متغیر به وجود می‌آید. و به این ترتیب در آرشیو، n تابع گوسی کرنل خواهیم داشت.

تعداد راه حل‌ها ذخیره شده در آرشیو برابر k است و lامین راه حل ذخیره شده در آرشیو با S_l مشخص شده است متغیرهای تصمیم مربوط به l امین جواب، با S_l^1 و S_l^2 و به همین ترتیب تا متغیر تصمیم nام با S_l^n نشان داده شده است (تشکیل یک مجموعه جواب را داده‌اند). مجموعه جواب هر راه حل وارد تابع هدف شده و سپس مقدار آن برای هر راه حل، $f(S_i)$ ، محاسبه می‌شود. آنگاه جواب‌های موجود در آرشیو بر اساس کیفیت آن‌ها مرتب شده و ذخیره می‌گردند. سپس برای هر راه حل، S_l، یک وزن، ω، تعیین می‌شود که مقدار آن مرتبط با کیفیت جواب مربوطه است (socha and dorigo, 2008).

www.SID.ir

Archive of SID

حال برای تولید جواب جدید بر اساس جواب S_l یک عدد تصادفی نرمال به روش باکس مولر با میانگین s_l^i و انحراف معیار σ_l^i برای متغیر تصمیم i ام تولید می‌شود (Box et al., 1958). مقدار عدد تولید شده جدید بر اساس متغیر i ام خواهد بود. این کار برای همه n متغیر تکرار می‌شود تا یک جواب برای کلیه متغیرهای تصمیم تولید گردد. جواب تولید شده حاصل انتخاب یکی از مورچه‌ها است. با تکرار این مرحله برای هر مورچه، سرانجام به تعداد مورچه‌ها، جواب جدید تولید و به آرشیو اضافه می‌شود. در ادامه، پس از مرتب‌سازی کل جواب‌ها، k جواب برتر ذخیره و مابقی پاک می‌شود (داریان و مرادی، ۱۳۸۹).

سیستم مورچگان ترتیبی

مورچه‌ها در طول مسیر حرکت خود ماده بوداری به نام فرامان را از خود به جای می‌گذارند که سایر مورچه‌هایی که به دنبال غذا هستند را به عبور از مسیر طی شده خود تشویق می‌نماید. با عبور مورچه‌ها از یک مسیر، غلظت فرامان آن مسیر افزایش یافته و احتمال انتخاب آن مسیر به وسیله مورچه‌های بعدی افزایش می‌یابد. برای حل یک مسئله بهینه‌سازی، به کمک الگوریتم مورچگان، بایستی گرافی برای الگوریتم تعریف نمود، این گراف مطابق با شکل (۲) برای مسئله بهره‌برداری از مخزن سد تعریف و مراحل اصلی اجرای الگوریتم مورچگان به صورت زیر بیان می‌شود:

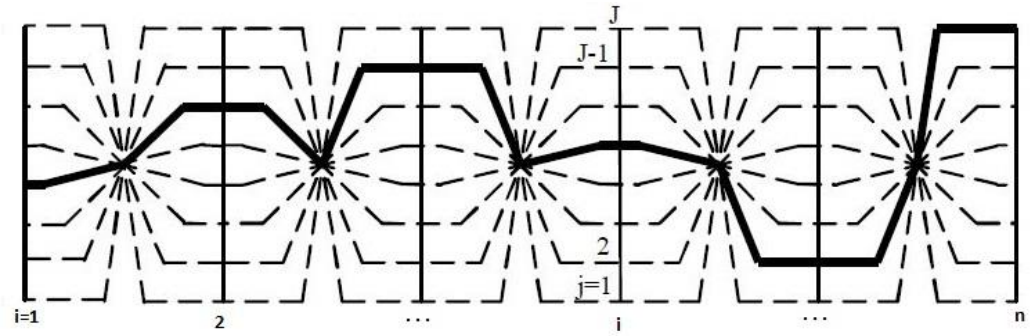
۱. در ابتدا یک مقدار فرامان اولیه بر روی تمامی مسیرهای ممکن گراف توزیع می‌شود و مورچه‌ها بر روی گره‌ای مجازی (قبل از لایه اول) قرار می‌گیرند.

۲. در هر لایه i برای انتخاب گزینه j یک تابع احتمال تعریف شده و بر اساس رابطه (۹) گزینه مطلوب j انتخاب می‌شود. این روند تا موقع عبور از کلیه لایه‌ها ادامه می‌یابد. زمانی که مورچه به آخر مسیر خود رسید، یک جواب (ϕ) ساخته شده‌است.

۳. بر اساس تابع هدف تعریف شده، مقدار جواب تولید شده در آن تکرار محاسبه می‌شود.

۴. بعد از انجام مراحل دوم و سوم، برای همه مورچه‌ها، فرامان مسیر روزآمد می‌شود

۵. بازگشت به مرحله دو در صورت محقق نشدن شرایط خاتمه. در غیر این صورت پایان.



شکل (۲): گراف شماتیک تعریف شده برای مسأله بهره‌برداری از مخزن سد (۱۰)

در الگوریتم سیستم مورچگان ترتیبی در انتهای هر تکرار σ مورچه نخبه، فرامان بهترین مسیر یافته شده تا آن تکرار را روزآمد می‌کنند و ۱- σ مورچه که در آن تکرار جواب‌های مناسب‌تری پیدا کرده‌اند، بر روی مسیرهای خود با ضریبی متناسب با شماره مرغوبیت جواب، فرامان اضافی می‌ریزد. قانون روزآمد (اصلاح) کردن فرامان در سیستم مورچگان ترتیبی به صورت رابطه (۹) می‌باشد (رضایی و افشار، ۱۳۸۸):

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^{rank}(t) \quad (۹)$$

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطه (۹)، $\rho\tau_{ij}(t)$ میزان تبخیر فرامان را نشان می‌دهد و $\Delta\tau_{ij}^{rank}(t)$ بیانگر فرامان ریخته شده به وسیله مورچگان ترتیبی می‌باشد؛ به این ترتیب که هر مورچه با توجه به رتبه خود مقداری فرامان بر روی مسیر عبوری خود می‌ریزد (هر چه رتبه مورچه بهتر باشد فرامان بیش‌تری در مسیر عبوری خود می‌ریزد) (افشار و همکاران، ۱۳۸۸):

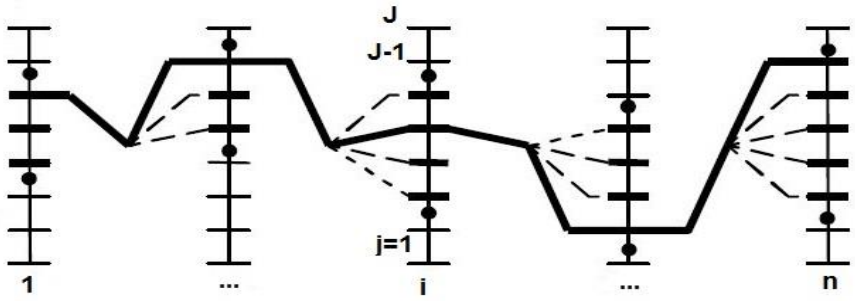
الگوریتم‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند همگی در نرم‌افزار MATLAB (نسخه ۲۰۱۱) کد نویسی و اجرا شده‌اند.

قیود زنجیره‌ای

در روش‌های معمول برای به کارگیری الگوریتم‌ها در حل مسائل بهینه‌سازی، معمولا رهاسازی‌های اولیه به صورت تصادفی و بین دو عدد رهاسازی مینیمم و ماکزیمم انتخاب می‌شوند پس از آن، با توجه به رهاسازی بدست آمده قیود مورد بررسی قرار می‌گیرند و اگر تخطی‌ای از قیود صورت گرفته باشد مقدار آن تخطی به تابع هدف اضافه می‌شود اما با به کارگیری قیود زنجیره‌ای، همزمان با تعیین مقدار رهاسازی قیود نیز ارضاء می‌گردند. اما در مسائلی با قیود زنجیره‌ای تصمیم در هر مرحله (متغیر تصمیم) به تصمیمات گرفته شده در مراحل قبل (متغیرهای تصمیم قبلی) وابسته است.

در مسائل بهره‌برداری مخزن اصلی‌ترین قید مسئله، معادله پیوستگی می‌باشد؛ که ماهیت این قید، یک قید زنجیره‌ای می‌باشد. این بدان معناست که متغیر حجم مخزن در هر گام زمانی به میزان متغیر حجم مخزن در گام زمانی قبل وابسته است و با مشخص بودن مقادیر و محدوده قیود متغیرها در گام زمانی قبل، می‌توان مقادیر و محدوده متغیرها در گام زمانی بعد را محاسبه نمود (معینی و افشار، ۱۳۸۷).

با توجه به این مطلب، در الگوریتم ACOrank و ACOR نیز برای تکمیل مسیر توسط مورچه‌ها، انتخاب هر گره به گره انتخاب شده قبلی بستگی دارد به عبارت دیگر با توجه به گره انتخاب شده (مقدار رهاسازی انتخاب شده) در هر لایه محدوده جدیدی برای انتخاب گره بعدی در لایه بعدی، تعریف می‌شود و احتمال انتخاب گره‌های خارج از این محدوده صفر خواهد بود. به طور مثال، در شکل (۳)، که مربوط به الگوریتم سیستم مورچگان ترتیبی با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای (ACOrankCC) می‌باشد محدوده مورد نظر تعریف شده در هر لایه با دوایر توپر نشان داده شده است؛ و به همین صورت در الگوریتم FA در تعیین موقعیت اولیه هر کرم شب‌تاب نیز مقدار عددی هر بعد به مقدار بعد ماقبلش بستگی دارد و به این ترتیب این قیود در بدنه الگوریتم‌ها اعمال شده است.



شکل (۳): گراف شماتیک تعریف شده برای مسأله بهره‌برداری از مخزن سد (۱۰)

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی کارایی سیاست بهره‌برداری از مخزن

عملکرد سیستم‌های منابع آب اغلب توسط معیارهای ساده‌ای از قبیل میانگین، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات و یا اعتمادپذیری و اطمینان‌پذیری سنجیده می‌شوند که استفاده از شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی تا حد زیادی در شناخت بهتر عملکردها موثر می‌باشد. از رایج‌ترین شاخص‌ها در این خصوص، شاخص اعتمادپذیری می‌باشد فراوانی نسبی عدم شکست را اعتمادپذیری می‌نامند. اعتمادپذیری کمی (درصد تأمین نیاز، α_Q)، به صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌شود:

$$\alpha_Q = \frac{\sum_{t=1}^{T} R_t}{\sum_{t=1}^{T} D_t} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه افق برنامه‌ریزی شامل T گام زمانی است. D_t مقدار نیاز در گام زمانی t و R_t مقدار آب تخصیص داده شده در گام زمانی t است.

نتایج و بحث

محدوده تغییرات پارامترهای α و β ترتیب، [۱و۰] و [∞ و ۰] می‌باشد (یانگ، ۲۰۱۰). اما همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود بهترین مقدار پارامتر α، ۲ و بازه مناسب آن بین ۰/۵ و ۳ می‌باشد لازم به ذکر است α (ضریب جهش) حساس‌ترین پارامتر الگوریتم بوده و تغییر مقدار این پارامتر تفاوت‌های محسوسی در مقادیر تابع هدف ایجاد می‌نماید. همچنین مقدار β_0 معمولا برابر یک در نظر گرفته می‌شود (حسن زاده و همکاران، ۱۳۹۰و yang, 2010). بهترین مقدار برای پارامتر m، با سعی و خطا مقدار دو به دست آمده و برای مقادیر بیش‌تر از ۳ الگوریتم توانایی یافتن راه‌حل بدون تخطی را نداشته است. برای پارامتر γ و β_0 نیز به ترتیب مقادیر یک و دو باعث شده است تا الگوریتم به جواب بهینه‌تری نسبت به دیگر مقادیر این پارامترها برسد. مقادیر پارامترهای الگوریتم FACC و مقدار تابع هدف مربوط به آن‌ها در جدول (۱)، آورده شده است. در تحقیقی دیگر بر روی مخزن سد آیدوغموش واقع در استان اردبیل در الگوریتم کرم شب‌تاب وقتی مقدار پارامتر α برابر ۱۰ بوده بهترین مقدار تابع هدف، ۳/۶۶، به دست آمده است (گروسی نژاد و حداد،۱۳۹۲). که می‌تواند ناشی از متفاوت بودن منطقه مورد مطالعه، نوع اعمال جریمه و به طور کلی شرایط خاص مسائل باشد. و همچنین در جدول (۲) بهترین مقادیر پارامترهای الگوریتم‌ها در حل مسئله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن آورده شده است.

جدول (۱): تأثیر تغییر مقادیر پارامترهای مختلف الگوریتم FACC بر عملکرد آن

مقدار پارامتر m	۰/۰۵	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار تابع هرف	۷۸/۸۸۳	۶۶/۸۵	۶۵/۹۸۱	۷۵/۳۶	*	*
تغییر γ	۰	۰/۵	۱	۵	۱۰	-
مقدار تابع هرف	۷۳/۷۳۹۸	۷۲/۰۸	۶۶/۸۴۲۹	۷۲/۶۳۴۱	۷۲/۹۹۴۸	-
تغییر α	۰/۰۱	۰/۱	۱	۲	۵	۱۰
مقدار تابع هرف	۶۵/۵۸	۳۸/۸۱۷۸	۶/۳۴۵۸	۴/۵۰۵	۱۸/۸۸۸۵	۷۵/۳۷۴
تغییر β_0	۰	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار تابع هرف	۱۱/۲۶۶۲	۵/۶۹۸۵	۴/۵۰۵	۵/۲۵۴۶	۵/۴۰۷۷	۵/۵۲۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول(۲): مقادیر پارامترهای مناسب الگوریتم‌های FACC، ACOrCC و ACOrankCC

الگوریتم FACC	پارامتر	تعداد کرم شب‌تاب	α	γ	β_0	m
	مقدار پارامتر	۱۰۰	۲	۱	۲	۲
الگوریتم ACOrCC	پارامتر	تعداد مورچه	ضریب جریمه C	qضریب	ξ ضریب	تعداد نمونه‌ها
	مقدار پارامتر	۵۵۰	۱۰	۰/۳	۱/۱	۲۰۰
الگوریتم ACOrankCC	پارامتر	تعداد مورچه	فرامان اولیه	Cضریب جریمه	ضریب α	ضریب β
	مقدار پارامتر	۵۵۰	۱۰۰	۱۰	۱	۳

مقادیر تابع هدف برای الگوریتم‌های کرم شب‌تاب (FA) و الگوریتم سیستم مورچگان پیوسته (ACOr) و بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در ده مرتبه اجرا در جدول (۳) و برای الگوریتم کرم شب‌تاب (FACC) و الگوریتم سیستم مورچگان پیوسته (ACOrCC) و الگوریتم سیستم مورچگان ترتیبی (ACORankCC) با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در ده مرتبه اجرا در جدول (۴) آورده شده است. همچنین شاخص اعتمادپذیری الگوریتم‌ها، میانگین و بهترین مقادیر به دست آمده آن‌ها با توجه به قیود زنجیره‌ای در جدول (۵) نشان داده شده است. همانطور که در این جدول ملاحظه می‌شود بهترین عملکرد را از نظر مقدار تابع هدف الگوریتم FACC و از نظر شاخص اعتمادپذیری ACOrankCC داشته است.

جدول (۳): مقادیر تابع هدف برای الگوریتم‌های FA و ACOr

اجرا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
FA	۱۲۲/۱۶۴	۱۲۵/۴۳۶	۱۱۴/۶۸۷	۱۰۱/۰۶۴	۱۰۸/۰۹۳	۱۱۲/۲۵۶	۱۲۷/۴۳۹	۱۲۰/۸۴۶	۱۱۰/۷۴۱	۱۲۳/۹۶۳
ACOR	۲۷۰/۸۶۲	*	۳۳۸/۸۰۴	*	*	۲۵۴/۱۳۳	۳۰۰/۷۴۸	۳۷۳/۲۴۴	*	*

* مقدار شدنی برای تابع هدف ایجاد نشده

جدول (۴): مقادیر تابع هدف برای الگوریتم‌های FACC و ACOrCC و ACORankCC

اجرا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
FACC	۵/۰۰۵	۴/۵۷۹	۷/۹۰۸	۴/۴۱۶	۶/۵۸	۴/۸۶۷	۴/۱۹۶	۵/۶۹۲	۴/۷۵۲	۵/۱۴۲
ACOrCC	۲۵/۹۴۹	۲۳/۴۱۱	۱۸/۲۹۲	۲۲/۷۹۱	۲۳/۶۷۳	۱۷/۰۰۴	۲۰/۰۸۸	۱۹/۸۴۷	۲۲/۲۲۸	۱۹/۳۴۹
ACORankCC	۲۷/۳۲۴	۲۷/۸۵۰	۲۸/۰۸۶	۲۹/۹۹۳	۲۸/۴۵۵	۲۶/۱۵۶	۲۸/۴۵۳	۲۷/۷۷۵	۲۹/۵۶۲	۲۶/۴۸۶

جدول (۵): اعتمادپذیری، میانگین و بهترین مقدار تابع هدف برای الگوریتم‌های PSOCC، FACC و ACORCC.

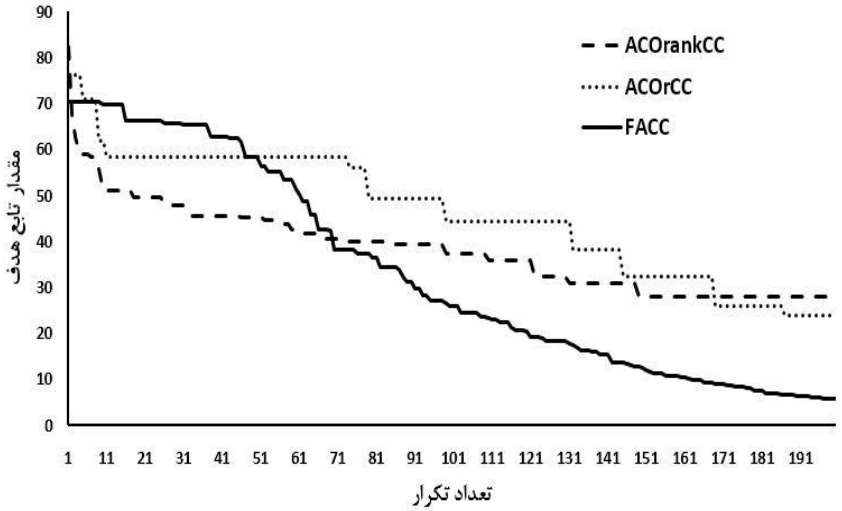
الگوریتم	اعتمادپذیری	میانگین تابع هدف	بهترین تابع هدف
FACC	۰/۹۵۹	۵/۳۱۴	۴/۱۹۶
ACOrCC	۰/۷۸۳	۲۱/۲۶۳	۱۷/۰۰۴
ACOrankCC	۰/۹۸۸	۲۸/۰۱۴	۲۶/۱۵۶

در شکل (۴) نحوه عملکرد سه الگوریتم در یافتن مقدار تابع هدف برای مسئله بهره‌برداری از مخزن سد پس از ۲۰۰ تکرار نشان داده شده است. بهترین عملکرد مربوط به الگوریتم FACC بوده به طوری که در تعداد تکرار کم‌تر مقدار بهینه‌تری را نسبت به دو الگوریتم دیگر به دست آورده است. میزان رهاسازی و تقاضای ماهانه برای الگوریتم FACC در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) دیده

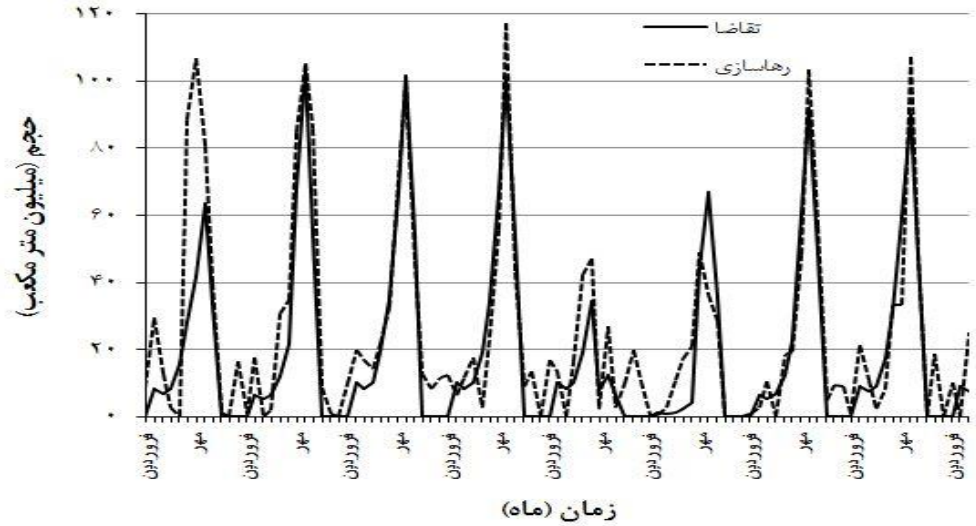
www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود، در بسیاری از موارد با وجود تقاضای کم و حتی صفر در برخی از ماه‌ها رهاسازی وجود داشته که دلیل آن افزایش ورودی و حجم بالای ذخیره می‌باشد. یکسان نبودن میزان تقاضا نیز در طول سال‌ها به این دلیل است که قسمتی از اراضی زیردست سد (که به وسیله شبکه نوین آبیاری، آبرسانی به آن‌ها صورت می‌گیرد) در بعضی از سال‌های آبی، در طول دوره مورد نظر، کشت صورت نگرفته و نیاز دیگر اراضی به نحو مطلوب‌تری تأمین گردیده است.



شکل (۴): نحوه عملکرد الگوریتم‌های PSOCC، FACC و ACORCC



شکل (۵): رهاسازی بهینه الگوریتم FACC و تقاضای کشاورزی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن در یک دوره ۹۹ ماه از سال ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گرفت. که هدف تعیین میزان بهینه رهاسازی از سد در ماه‌های مختلف، تعیین میزان کارایی سه الگوریتم FA، ACOR و ACOrank و مقایسه آن‌ها با هم و همچنین تأثیر اعمال قیود زنجیره‌ای در بدنه الگوریتم‌ها نیز جزو اهداف تحقیق بوده است. نتایج این تحقیق نشان داده است، در مواردی که الگوریتم ها قادر به یافتن جواب شدنی نبوده‌اند با اعمال قیود

www.SID.ir

Archive of SID

زنجیره‌ای این الگوریتم‌ها قادر به یافتن جواب شدنی بوده و همچنین به نحو مطلوبی کارایی آن‌ها نیز بالا رفته است. با در نظر گرفتن این قیود، الگوریتم FACC با مقدار تابع هدف ۴/۱۹۶ و پس از آن الگوریتم‌های ACOrCC و ACOrankCC به ترتیب با مقادیر ۱۷/۰۰۴ و ۲۶/۱۵۶ عملکرد مناسبی از خود نشان داده‌اند. در مسئله بهره‌برداری از مخزن سد، بایستی این مطلب را در نظر داشت که در هیچ کدام از قسمت‌های دوره در نظر گرفته شده نباید مقادیر به دست آمده برای رهاسازی و حجم ماهانه مخزن، از حدود در نظر گرفته شده تخطی داشته باشد زیرا وجود حتی یک تخطی از قیود در طول دوره به منزله شکست در حل مسئله بهره‌برداری می‌باشد. از طرفی به کارگیری ضریب جریمه برای جواب‌هایی که با تخطی همراه هستند می‌تواند در هر مرحله باعث رسیدن به جواب‌هایی با تخطی کم‌تر یا جواب شدنی گردد اما الزاما منتج به جواب شدنی نمی‌گردد. با این حال در زمان در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای استفاده از ضریب جریمه نیز الزامی است زیرا امکان وجود راه حل‌های مناسب اما نشدنی در طی تکرارهای مختلف وجود دارد که بایستی در مراحل بعد این چنین راه حل‌هایی انتخاب نشود.

منابع:

افشار، م. ه.، ا. رضایی سنگدهی. و ر. رنجبرجورزاده. ۱۳۸۸. عملکرد الگوریتم مورچگان در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها: مطالعه مقایسه‌ای دو الگوریتم. اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.

جداری عیوضی، ج.، ا. مقیمی، م. یمانی و ح. محمدی. ۱۳۸۹. تأثیر عوامل اکومورفولوژیک بر کیفیت شیمیایی آب مطالعه موردی: رودخانه کر و دریاچه سد درودزن. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۳۲ (۴): ۳۷- ۱۷.

حسن‌زاده، ط.، م. ر. میبدی و ف. محمودی. ۱۳۹۰. ارائه یک الگوریتم کرم شب‌تاب بهبود یافته برای بهینه‌سازی در محیط‌های ایستا. پنجمین کنفرانس داده کاوی ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ایران.

داریان، ع. ر. و الف. م. مرادی. ۱۳۸۹. الگوریتم مورچگان پیوسته در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چند مخزنی، مطالعه موردی: مخازن حوضه کرخه. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز. شیراز.

رضایی سنگدهی، ا. و م. ه. افشار. ۱۳۸۸. عملکرد الگوریتم مورچگان در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها: مطالعه مقایسه‌ای دو الگوریتم. اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب با رویکرد منطقه‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.

شریعت پناهی، م. و ن. مشتاقی یزدانی. ۱۳۹۱. بهبود عملکرد الگوریتم کرم شب تاب با استفاده از اتوماتای یادگیرنده. نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ایران.

گروسی نژاد، آ. و الف. بزرگ حداد. ۱۳۹۲. بهره‌برداری بهینه از مخزن با استفاده از پیاده‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب. پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.

مشتاقی یزدانی، ن.، م. شریعت پناهی، ح. ر. معتمدزاده و پ. افرند. ۱۳۹۱. بهبود عملکرد الگوریتم کرم شب‌تاب با استفاده از تغییر در پارامترها. اولین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ایران.

معینی، ر. و م. ه. افشار. ۱۳۸۷الف. بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با استفاده از الگوریتم مورچه بیشینه-کمینه (MMAS). مجله علمی پژوهشی شریف. جلد ۱۲. شماره ۴۶. صفحه‌های ۸۵ تا ۹۳.

معینی، ر. و م. ه. افشار. ۱۳۸۷ب. به کار گیری الگوریتم مقید جامعه مورچگان در حل مسایل مقید سریالی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز. تبریز.

www.SID.ir

Archive of SID

نژاد نادری، م.، م. ر. حسامی کرمانی و س. هاشمی‌نسب. ۱۳۹۰. کاربرد الگوریتم‌ها در تعیین سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن سد کلان ملایر. اولین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران.

Afshar M. H., 2010. A parameter free Continuous Ant Colony Optimization Algorithm for the optimal design of storm sewer networks: Constrained and unconstrained approach. Advances in Engineering Software. 41:188-195.

Box G. E. P. and M. E. Muller. 1958. A note on the generation of random normal deviates. Annals of Math. Statistics. 29:610-611.

Bullnheimer, B., R. F. Hartl and C. Strauss. 1999, A new rank-based version of the ant system:A computational study,J.Central European Journal for Operations Research and Echonomics, VOL.7, NO.1, P.P. 25-38.

Dariane A. R. and A. M. Moradi. 2009. Reservoir Operating by Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACOR) Case Study: DezReservoir. International Journal of Engineering and Applied Sciences 5:16-25.

Goldberg, D. 1989. Genetic algorithms in search optimization and machine learning. Hydrology Research. 8(14):354-361.

Kangrang, A. and Ch. Lokham .2013. Optimal Reservoir Rule Curves Considering Conditional Ant Colony Optimization with Simulation Model. Applied Sciences. 13(5):154-160.

Kjeldsen, T. R and D. Rosbjerg . 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources system. Hydrological science Hydrology. 49:757 – 767.

Reddy M. J. and D. N. Kumar .2007. Multi-objective particle swarm optimization for generating optimal trade-offs in reservoir operation. Hydrological Processes. 21(5): 2897-2909.

Socha, K. and M. Dorigo. 2006. Ant Colony Optimization for Continuous Domains, European Journal of Operational Research, Vol. 185, No. 3, pp. 1155-1173.

Socha K. and M. Dorigo. 2008. Ant colony optimization for continuous domains. European Journal of Operational Research. 185:1155-1173.

Yang X. Sh. 2009. Firefly Algorithm for Multi–model Optimization. Stochastic Algorithm: Foundations and Applications. 5792(12):169-178.

Yang X. Sh.2010. Engineering Optimization an Introduction with Meta–heuristic Applications. Wiley Inter-science, New York, 222, p.

www.SID.ir

Archive of SID

Using Firefly Algorithm for Optimizing Operation of Doroudzan Reservoir

M.J. Zeynali[1], O. Mohamad Reza Pour[2], F. Frooghi[3]

Abstract

As a crucial issue in aqua sciences, optimizing dam reservoirs exploitation has been studied with a variety of optimization techniques. One of these methods is using Meta-Heuristic algorithms such as Firefly and Ants Algorithms. Using the firefly algorithm, this study studies the exploitation optimization of Doroudzan reservoir in a 99-month period. The most sensitive parameter in sensitivity analysis of Firefly Algorithm, α, is known as the mutation rate. Selecting its appropriate value by Firefly worms leads to an appropriate solution and increases the efficiency of the Firefly Algorithm dramatically. To determine the efficiency of this algorithm in optimizing the utilization of the dam reservoir, the obtained results were compared with the results of Continuous Ant System and Ranking Ant System. The findings indicated that FACC algorithm with objective function rate of 4.196 had a satisfactory performance. ACOrCC and ACOrankCC algorithms with the values of 17.004 and 26.156 followed it respectively. In addition, FACC algorithm with a value of 0.959 had the highest reliability coefficient. The results indicated that regarding Chain constraints, all program performances led to feasible solutions; however, ignoring chain constraints, the Continuous Ant System algorithm was unable to find a feasible solution. Hence, applying these constraints in the main structure of this algorithm would enhance its efficiency significantly.

Keywords: Continuous Ants, Firefly Algorithm, Optimal Operation, Ranking Ants.

[1] MSc student in Water Resource Engineering, Department of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.

[2] Assistant Professor in Department of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

[3] Instructor, Faculty member of Shiraz University, Darab College Of Agriculture And Natural Resources, University of Shiraz

www.SID.ir