مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای بهره‌برداری بهینه از سیستم دو مخزنی گلستان و وشمگیر

ام‌البنی محمدرضاپور[۱*] و محمدجواد زینلی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۵)

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل در زمینه مدیریت منابع آب، مساله بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها است. در چند دهه اخیر بهره‌برداری بهینه از سدها از موضوعات قابل توجه برنامه‌ریزان منابع آب در کشور بوده است. هدف از انجام این تحقیق بهینه‌سازی رهاسازی از مخازن گلستان و وشمگیر به‌منظور تأمین نیاز پایین‌دست با استفاده از الگوریتم‌های مورچگان نخبه، بیشینه- کمینه، مورچگان رتبه‌بندی شده و الگوریتم ازدحام ذرات و مقایسه کارایی هریک از این الگوریتم‌ها با یکدیگر است. متغیر تصمیم در نظر گرفته شده میزان رهاسازی از مخازن دو سد فوق بوده است. نتایج نشان داد، همه الگوریتم‌ها توانسته‌اند مقدار رهاسازی را به شکل بسیار خوبی بهینه کنند. ولی الگوریتم مورچگان نخبه با مقدار تابع هدف ۰/۶۴۰۷ توانسته است مقدار رهاسازی‌ها را در هر دو سد با دقت بسیار خوبی تخمین بزند. همچنین الگوریتم ازدحام ذرات نیز با مقدار تابع هدف ۱/۲۷۵ در رهاسازی مقادیر رهاسازی از دقت خوبی برخوردار بوده است. الگوریتم مورچگان رتبه‌بندی شده با مقدارتابع هدف ۱۸/۹۲۴ و سپس الگوریتم مورچگان بیشینه و کمینه با مقدار تابع هدف ۲۶/۴۳۱ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی عملکرد بهینه‌سازی مقادیر رهاسازی از سدهای گلستان و وشمگیر قرار دارند.

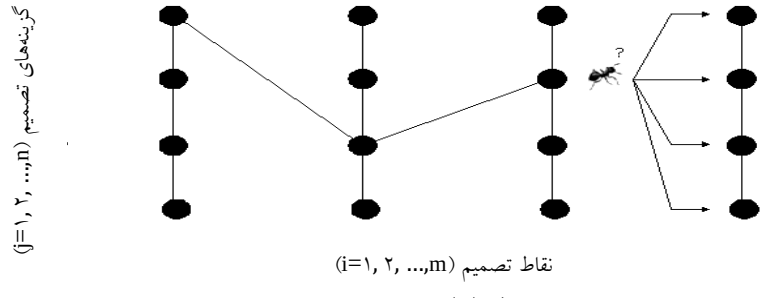
واژه‌های کلیدی: الگوریتم مورچگان، رهاسازی بهینه، سیستم چند مخزنه، الگوریتم ازدحام ذرات

۱. گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ آب و خاک، دانشگاه زابل
۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nmohammadrezapour@yahoo.com

مقدمه

محدودیت منابع آب کشور که ناشی از تداوم افزایش تقاضا، در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت، شرب و زیست‌محیطی است، موجب شده تا استفاده بهینه از منابع آب موجود و افزایش بهره‌وری مطرح شود. بدیهی است که آب‌های استحصال شده فعلی و آب قابل استحصال بالقوه پاسخگوی روند توسعه کشاورزی و تأمین مواد غذایی جمعیت روبه رشد جامعه نخواهد بود؛ لذا آنچه در این زمینه اهمیت می‌یابد مدیریت مصرف و بهره‌برداری بهینه همراه با مدیریت تقاضا است تا توسعه پایدار در کلیه بخش‌های اقتصادی را امکان‌پذیر سازد. در گذشته معمولاً از روش‌های بهینه‌سازی سنتی استفاده می‌شده است. ولی در دهه اخیر گرایش کارشناسان به روش‌های فراکاوشی بیشتر از گذشته است. از روش‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم‌های مورچگان، ژنتیک، الگوریتم آنیلینگ، ازدحام ذرات، کرم شب تاب، الگوریت رقابت استعماری و الگوریتم فاخته در حال حاضر در بسیاری از مسائل مدیریت منابع آب استفاده می‌شود که می‌توان به تحقیقات عباسپور (۱۱)، افشار (۱۲ و ۱۳)، مییر و همکاران (۲۱)، لیو (۲۰)،کومار (۱۸)، لی (۱۹) نجفی (۹)، محمدرضاپور و همکاران (۲۴)، موسوی و همکاران (۸)، معین‌الدینی و همکاران (۷)، زینلی و همکاران (۳)، دشتی و همکاران (۲) اشاره کرد. الگوریتم سیستم مورچه‌ها اولین الگوریتم مورچگان بود که در سال ۱۹۹۱ توسط دوریگو و منیزو (۱۵) پیشنهاد شد. هوس و استاتزل (۲۶) در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰، الگوریتم سیستم مورچه‌های بیشینه کمینه را معرفی نمودند. در این الگوریتم با محدود کردن مقادیر فرمون به یک دامنه از پیش تعیین شده از همگرایی سریع آن اجتناب می‌شود.

بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها از جمله مسایل مهم در علوم مهندسی آب می‌باشد که تاکنون از طریق انواع روش های بهینه سازی شناخته شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. شریف و واردلو (۲۴) به ارزیابی الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چند مخزنه پرداختند. در این مطالعه ابتدا کاربرد الگوریتم ژنتیک در مسئله چهار مخزنه به‌صورت معین با افق محدود ارزیابی شده است. تقواپور و اسموچی (۲۷) از الگوریتم آنیلینگ برای بهره‌برداری بهینه از دو سیستم چهار مخزنی یکی با هدف آبیاری و دیگری به‌منظور تولید برقابی استفاده کرده‌اند و نتایج به‌ترتیب با روش برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط مقایسه شد که در نهایت روش SA به جواب‌های بهتری رسیده است. فلاح مهدی‌پور و حداد (۵) از الگوریتم مجموعه ذرات در مساله بهره‌برداری از مخزن سد بازفت با اهداف تولید انرژی برقابی، تأمین نیاز پایین‌دست، کنترل سیلاب و تفریحات استفاده نمودند. زینلی و همکاران (۴) از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و سیستم مورچگان پیوسته جهت بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که الگوریتم ژنتیک با اعتمادپذیری معادل ۰/۹۶۴ از بالاترین کارایی برخوردار بوده است. هاشمی منفرد و همکاران (۱۰) به مقایسه الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم ذرات و سیاست بهره‌برداری استاندارد در بهره‌برداری از مخزن سد پیشین با هدف حداکثرسازی تأمین نیاز پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که الگوریتم رقابت استعماری و ذرات از کارایی یکسانی برخوردار بوده و از سیاست بهره‌برداری استاندارد بهتر عمل نموده‌اند. لی چن و همکاران (۱۹) الگوریتم ژنتیک چند هدفه را برای بهینه‌سازی منحنی فرمان مخزن تی‌شی‌یو در تایوان به‌کار بردند. نتایج حاصل نشان داد الگوریتم ژنتیک چند هدفه یک جایگزین مناسب برای حل مشکلات بهینه‌سازی چند منظوره برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب است. کومار و رد (۱۸) برای حل مسئله چند هدفه بهره‌برداری از مخزن الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه را پیشنهاد کردند، این نوع از PSO برای یافتن راه حل مناسب از یک آرشیو خارجی با اندازه متغیر استفاده می‌کند. مارتون و کپلمن (۲۲) تحقیقی بر روی سد ویر در جمهوری چک براساس سیاست جیره‌بندی انجام دادند نتایج نشان داد که سیاست جیره‌بندی از ضریب اعتمادپذیری بالا و ضریب آسیب‌پذیری پایینی برخوردار است. یو و همکاران



شکل ۱. شکل شماتیک از نقاط تصمیم و گراف‌ها در الگوریتم مورچگان

(۲۸) تحقیقی جهت استخراج منحنی بهینه زمان پرشدگی مجدد مخزن با توجه به کنترل خطر سیلاب بر روی سه مخزن در چین براساس روش رگرسیون خطی، آزمون من‌کندال و آزمون اسپیرمن براساس سری زمانی انجام دادند. بشیری و همکاران (۱۴)، کاربرد الگوریتم جستجوی هارمونی را در بهره‌برداری بهینه از مخزن نرماب مورد مطالعه قرار داده و نتایج حاصله را با روش بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورعسل و روش برنامه‌ریزی غیرخطی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که الگوریتم جستجوی هارمونی، برای بهینه کردن مقدار تابع هدف نتایج رضایت بخشی در سرعت همگرایی نسبت به سایر روش‌ها دارا است. استان گلستان یکی از استان‌های شمال شرقی کشور ایران است که با داشتن دشت‌های مستعد و وسیع و منابع آبی مناسب مانند رودخانه گرگانرود یکی از مناطق اصلی کشاورزی کشور محسوب می‌شود. لذا مطالعه در مورد بهره‌برداری بهینه از منابع آب‌های سطحی از مسائل مورد توجه است. هدف از انجام این تحقیق بهینه‌سازی رهاسازی از مخازن سدهای گلستان و وشمگیر برای نیاز پایین‌دست با استفاده از الگوریتم‌های مورچگان نخبه، بیشینه کمینه، مورچگان رتبه‌بندی شده و الگوریتم ازدحام ذرات و مقایسه کارایی هریک از این الگوریتم‌ها با یکدیگر است.

مواد و روش‌ها

بهینه‌سازی جامعه مورچگان

جوامع حشرات قادر به حل مسایل بهینه‌سازی مختلفی هستند که هر یک از اجزا آنها به تنهایی این قابلیت را دارا نیستند. مثلاً جامعه مورچگان قادر هستند که کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذا را تعیین نمایند. این هوش جمعی از راه ارتباط غیرمستقیم افراد جامعه که در جستجوی غذا هستند، ایجاد می‌شود (۲۵).

به‌طورکلی مراحل اصلی الگوریتم مورچگان را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود (۱) .۱- m مورچه بر روی n نقطه تصمیم در نظر گرفته می‌شود و در ابتدا یک مقدار فرامان اولیه بر روی تمامی مسیرهای ممکن گراف توزیع می‌شود (شکل ۱). ۲- در هر نقطه تصمیم i برای انتخاب گزینه j یک تابع احتمال تعریف می‌شود. ۳- براساس تابع هدف تعریف شده، هزینه بهترین جواب تولید شده در آن تکرار محاسبه می‌شود. ۴- بعد از انجام مراحل دوم و سوم، فرامان مسیر اصلاح شده و به تکرار بعد می‌رویم.

الگوریتم مورچگان نخبه

دوریگو و همکاران در سال ۱۹۹۹ با کمی تغییرات در سیستم مورچگان، سیستم مورچگان نخبه را پیشنهاد کردند. در الگوریتم مورچگان نخبه در هر تکرار تمامی مسیرها روزآمد می‌شوند و فرامانی اضافی در بهترین مسیری که تا آن تکرار کشف شده است به‌وسیله σ مورچه نخبه نیز ریخته می‌شود (۱ و ۱۵).

سیستم مورچگان بیشینه کمینه

در الگوریتم مورچگان بیشینه کمینه مرزهای دینامیکی برای شدت غلظت فرامان مسیرها تعریف می‌شود؛ به گونه‌ای که غلظت فرامان همه مسیرها در محدوده این مرز تعریف شده

قرار بگیرد. که این امر جهت جلوگیری از پدیده همگرایی نابه‌هنگام یا همگرایی زودرس است.

الگوریتم مورچگان ترتیبی

در الگوریتم سیستم مورچگان ترتیبی در انتهای هر تکرار σ مورچه نخبه، فرامان بهترین مسیر یافته شده تا آن تکرار را روز آمد می‌کنند و σ -۱ مورچه که در آن تکرار جواب‌های مناسب‌تری پیدا کرده‌اند، بر روی مسیرهای خود با ضریبی متناسب با شماره مرغوبیت جواب، فرامان اضافی می‌ریزد (تمامی مورچه‌ها جز بدترین مورچه بر روی مسیر عبوری خود فرامان می‌ریزد).

الگوریتم ازدحام ذرات

در این الگوریتم، موقعیت هر ذره یک نقطه از فضای جواب مسئله را نشان می‌دهد. هر ذره دارای حافظه است و بهترین موقعیتی که در فضای جست‌وجو به آن می‌رسد را به خاطر می‌سپارد. حرکت هر ذره می‌تواند در سه جهت صورت گیرد: ۱- ادامه حرکت خود، هم‌جهت با مسیری که طی می‌نموده است. ۲- حرکت به سوی بهترین موقعیتی که اختیار کرده است. ۳- حرکت به سوی بهترین موقعیتی که کل گروه (کل ذرات) پیدا کرده‌اند. لذا تغییر موقعیت هر ذره در فضای جست‌وجو تحت تأثیر تجربه خود و دیگر ذرات خواهد بود (۱۷). در یک مسئله خاص، هر ذره از گروه می‌تواند با یک بردار سرعت و یک بردار موقعیت نمایش داده شود. تغییر موقعیت هر ذره با تغییر در ساختار موقعیت و سرعت قبلی امکان‌پذیر است. هر ذره، اطلاعاتی شامل بهترین مقدار (موقعیتی) که تاکنون به‌دست آورده است (بهینه شخصی)؛ موقعیتی که در حال حاضر در آن قرار دارد ($X_{i,(t)}$) و بهترین جوابی که تاکنون در کل گروه به‌دست آمده است (بهینه فراگیر) را دارا است. هر ذره برای رسیدن به بهترین جواب موقعیت خود را با استفاده از موقعیت کنونی ($X_{i,(t)}$)، سرعت کنونی ($V_{i,(t)}$)، فاصله بین موقعیت کنونی و بهینه شخصی و فاصله بین موقعیت کنونی و بهینه فراگیر تغییر می‌دهد. لذا بردار سرعت جدید $V_{i,(t+1)}$ برای ذره iام طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (۲۵):

$$V_{i,(t+1)} = w.V_{i,(t)} + C_1.r_1.(P_{i,(t)} - X_{i,(t)}) + C_2.r_2.(G_{(t)} - X_{i,(t)}) \quad [1]$$

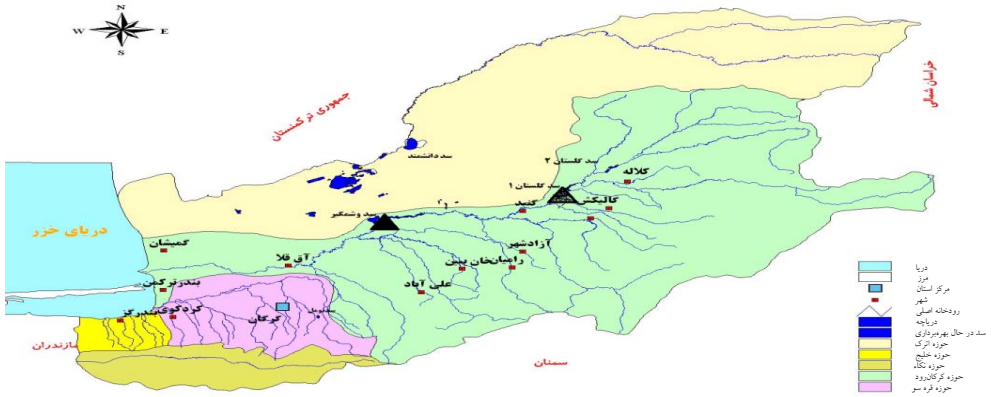
که در آن r_1 و r_2 بردارهای تصادفی بین صفر و یک هستند که برای حفظ تنوع و گوناگونی گروه به‌کار می‌روند. C_1 و C_2 پارامترهای شناختی و اجتماعی هستند؛ انتخاب مقدار مناسب برای این پارامترها منجر به تسریع همگرایی الگوریتم و جلوگیری از همگرایی زودرس در بهینه‌های محلی می‌شود. انتخاب مقادیر بزرگ‌تری برای پارامتر شناختی C_1 نسبت به پارامتر اجتماعی C_1 مناسب‌تر است، اما بایستی همواره شرط $C_1 + C_2 \leq 4$ رعایت شود (۸). پارامتر W اینرسی وزنی نام دارد که برای تضمین همگرایی در دسته ذرات به‌کار می‌رود و مقداری بین ۰/۴ و ۰/۷ برای آن مناسب است (۱۶). $P_{i,(t)}$ موقعیت بهترین محلی که ذره iام تاکنون داشته و $G_{i,(t)}$ موقعیت بهترین محلی که کل ذرات تاکنون آنجا را یافته‌اند. موقعیت جدید ذره iام نیز از رابطه (۲) به‌دست خواهد آمد (۹):

$$X_{i,(t+1)} = X_{i,(t)} + V_{i,(t+1)} \quad [2]$$

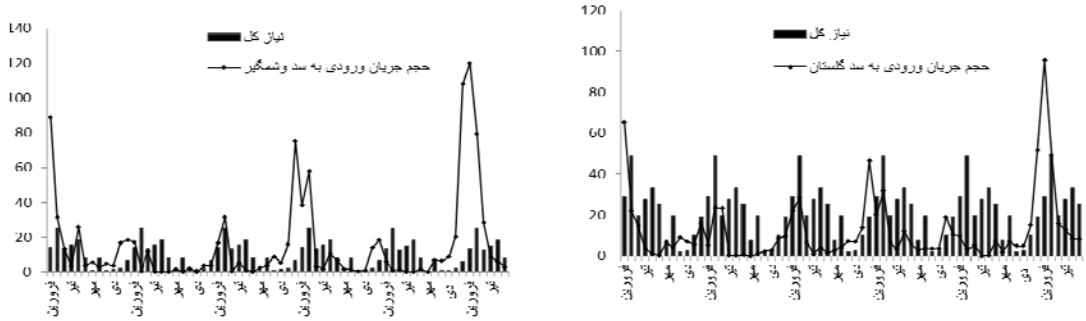
منطقه مورد مطالعه

جلگه گرگان در شمال شرق ایران بین طول جغرافیایی (۳۰- ۵۵ و۳۰-۴۵) و عرض شمالی (۳۰-۳۷ و ۴۶-۳۶) واقع شده است. رودخانه گرگانرود در قسمت مرکزی دشت جریان داشته و یکی از منابع مهم آب‌های سطحی منطقه می‌باشد که پس از آبیاری اراضی اطراف رودخانه درنهایت به دریای خزر می‌ریزد. شکل (۲) موقعیت سدهای گلستان و وشمگیر را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

سد گلستان در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گنبد کاووس برروی رودخانه گرگانرود قرار دارد. سد وشمگیر در استان گلستان در ۵۳ کیلومتری شمال شرقی گرگان در محلی به نام سنگر سوار برروی رودخانه گرگانرود احداث شده است (۹). حجم مخزن گلستان در حدود ۸۲ میلیون مترمکعب و



شکل ۲. موقعیت سدهای گلستان و وشمگیر در استان گلستان



شکل ۳. داده‌های حجم ورودی و کل نیازهای سد گلستان و سد وشمگیر در دوره مورد مطالعه

حجم مخزن وشمگیر قبل از علاج‌بخشی ۴۹ میلیون مترمکعب و با مخازن فرعی احداث شده ۶۳ میلیون مترمکعب است. در این مطالعه از داده‌های یک دوره پنج ساله از سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱-۱۳۹۰ برای مدل‌سازی استفاده شده است، که نیازهای آبی ماهانه و حجم ورودی به مخازن در محدوده مطالعاتی در شکل (۳) ارائه شده است. داده‌های این دو سد شامل حجم ماهانه ورودی، خروجی، نیاز صنعت و کشاورزی و مقدار تبخیر بوده است.

مساله بهره‌برداری بهینه از دو مخزن با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان

در حل مسائل بهینه‌سازی ابتدا باید متغیر تصمیم، تابع هدف و قیود را برای مسئله مورد نظر تعریف کرد. در این تحقیق میزان رهاسازی از مخازن سدهای گلستان و وشمگیر در هر دوره زمانی، R_t، به‌عنوان متغیر تصمیم مسئله است (۱). همان‌طور که مشخص است، ماهیت مساله یک مساله پیوسته است، اما اگر این مساله با استفاده از این الگوریتم حل شود باید محدوده مجاز گسسته شود. تابع هدف مطابق با رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$\text{Objective Function} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{d_t - r_{ti}}{d_{max}}\right)^2 \qquad [3]$$

r_{ti} مقدار آب رها شده در دوره زمانی tام و گزینه iام، d_{max} حداکثر میزان تقاضا در طول دوره است و d_t مقدار تقاضا در دوره زمانی t ام است. معادلات بیلان آبی دو سد: بیلان آب در مخازن مورد مطالعه براساس معادله پیوستگی به‌صورت روابط (۴)، (۵) و (۶) تعریف می‌شود:

$$S_{(1,t+1)} - S_{(1,t)} = I_{(1,t)} - R_{(1,t)} - V_{r(1,t)} - E_{(1,t)} \qquad [4]$$

$$V_{r(1,t)} + M = I_{(2,t)} \qquad [5]$$

$$S_{(2,t+1)} - S_{(2,t)} = I_{(2,t)} - R_{(2,t)} - E_{(2,t)} \qquad [6]$$

که در آن $V_{r(1,t)}$ آب رها شده از سد بالادست (سد گلستان) به سمت سد پایین‌دست (سد وشمگیر) در زمان t، M آب ورودی از سرشاخه‌ها به سد شماره دو (سد وشمگیر)، I میزان ورودی ماهانه به مخازن در زمان t، $R_{(1,t)}$ خروجی از مخزن یک (سد گلستان) در زمان t، $R_{(2,t)}$ خروجی از مخزن دو (سد وشمگیر) در زمان t جهت تأمین نیازهای کشاورزی اراضی پایین‌دست و E حجم تبخیر ماهانه هریک از مخازن در زمان t است. قیود دیگری که در این مسئله بهینه‌سازی وجود دارد این است که میزان رهاسازی از هریک از مخازن در هر دوره نباید از حدودی کمتر یا بیشتر است، به عبارت دیگر همان‌طور که در معادله (۷) مشخص است، باید رهاسازی در هر بازه (R_t) باید بین میزان رهاسازی مینیمم (R_{min}) و میزان رهاسازی ماکزیمم (R_{max}) باشد.

$$R_{min} \le R_t \le R_{max} \qquad [۷]$$

و از طرفی میزان حجم مخازن در هر دوره (S_t) نیز مطابق با رابطه (۸) باید بین حجم مینیمم (S_{min}) و حجم ماکزیمم مخزن (S_{max}) است.

$$S_{min} \le S_t \le S_{max} \qquad [۸]$$

روش‌های متفاوتی برای اعمال قیود مسئله وجود دارد. یکی از روش‌های معمول در حل مسائل مقید، منظور کردن ضریب جریمه برای تابع هدف است.

قیود زنجیره‌ای

استفاده از قیود زنجیره‌ای در الگوریتم جامعه مورچگان، برای اولین بار در حل مسئله فروشنده دوره‌گرد و با ایجاد یک لیست ممنوعه برای هر شهر به‌کار گرفته شد (۶) مسایل مقید سریالی مسایلی هستند که 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 است؛ که ماهیت این قید، یک قید سریالی است. 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 (۶). در روش‌های معمول برای به‌کارگیری الگوریتم‌ها در حل مسائل بهینه‌سازی، معمولاً رهاسازی‌های اولیه به‌صورت تصادفی و بین دو عدد رهاسازی کمینه و رهاسازی بیشینه انتخاب می‌شوند، پس از آن، با توجه به رهاسازی به‌دست آمده قیود مورد بررسی قرار می‌گیرند و اگر تخطی‌ای از قیود صورت گرفته است، مقدار آن تخطی به تابع هدف اضافه می‌شود اما با به‌کارگیری قیود زنجیره‌ای، هم‌زمان با تعیین مقدار رهاسازی قیود نیز ارضاء می‌شوند. در مسأله بهره‌برداری از مخزن سد، بایستی این مطلب را در نظر داشت که در هیچ‌کدام از قسمت‌های دوره در نظر گرفته شده نباید مقادیر به‌دست 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 است. از طرفی به‌کارگیری ضریب جریمه برای جواب‌هایی که با تخطی همراه هستند می‌تواند در هر مرحله باعث رسیدن به جواب‌هایی با تخطی کمتر یا جواب شدنی شود اما الزاماً منتج به جواب شدنی نمی‌شود. 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. با توجه به این مطلب، در الگوریتم سیستم ACOR برای تکمیل مسیر توسط مورچه‌ها، انتخاب هر گره (مقدار رهاسازی) به گره انتخاب شده قبلی بستگی دارد و به این ترتیب این قیود در بدنه الگوریتم‌ها اعمال شده است.

نتایج

مدل‌ها شامل الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم مورچگان در برنامه مطلب اجرا شدند. همان‌طورکه در قسمت مواد وروش‌ها بیان شد در الگوریتم‌های بهینه‌سازی پارامترهایی وجود دارند که

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم اجتماع مورچگان

ضریب تبخیر فرامان ρ	ضریب β	ضریب α	ضریب جریمه C	فرامان اولیه	تعداد مورچه
۰/۵	۳	۱	۱۰	۱۰۰	۱۰۰

تغییرات آنها باعث تغییر عملکرد الگوریتم می‌شود و در سرعت همگرایی و مرغوبیت جواب‌ها تأثیرگذار خواهد بود. به‌دست آوردن بهترین پارامترها با سعی و خطا و یا استناد به مرور منابع است. در این تحقیق پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم‌های مورچگان نخبه، مورچگان بیشینه کمینه و رتبه‌بندی شده در بهره‌برداری دو مخزنه (سد گلستان و وشمگیر) در جدول (۱) ارائه شده است. مقادیر تابع هدف به ازای مقادیر جدول (۱) در شکل (۴) نشان داده شده است.

همچنین در الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای پارامترهای C_1 و C_2 که پارامترهای شناختی و اجتماعی هستند، مقادیر سه و یک به‌ترتیب برای C_1 و C_2 بهترین مقدار برای تابع هدف با ۵/۱۲۶ به‌دست آمده است. پارامتر W که اینرسی وزنی نام دارد در هر تکرار تغییر کرده اما مقدار این پارامتر، همواره بین ۰/۴ و ۰/۷ است.

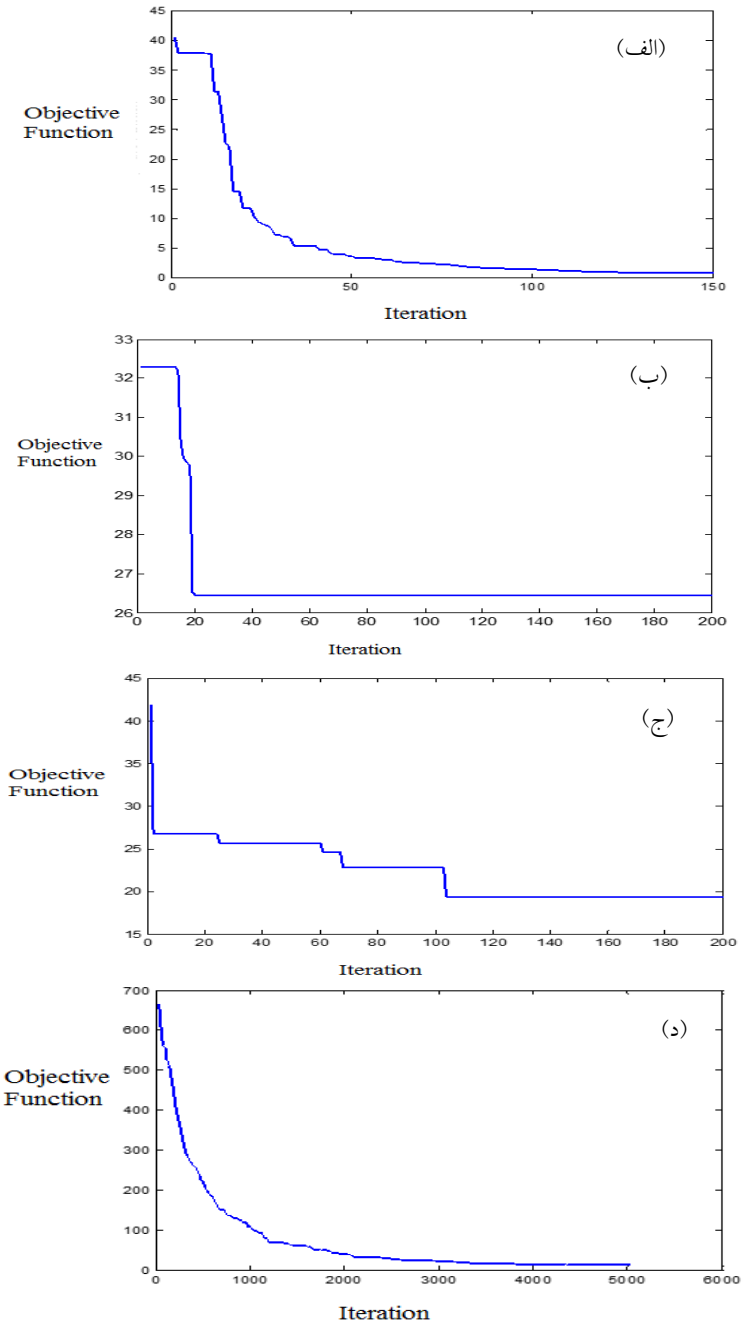
نتایج حاصل از ۱۰ بار اجرای الگوریتم مورچگان نخبه، مورچگان بیشینه کمینه و رتبه‌بندی شده و الگوریتم ازدحام ذرات به ازای مقادیر پارامترهای مورد استفاده از جدول (۱)، در جدول (۲) آورده شده است.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بهترین مقدار تابع هدف برای الگوریتم مورچگان نخبه، رتبه‌بندی شده و مورچگان بیشینه کمینه و الگوریتم ازدحام ذرات به‌ترتیب ۰/۶۴۰۷، ۱۸/۹۲۴، ۲۶/۴۳۱، ۱/۲۷۵ است. در شکل (۴) نحوه همگرایی الگوریتم‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

همان‌گونه که از شکل (۴) دیده می‌شود الگوریتم مورچگان نخبه با ۱۵۰ تکرار به کمترین میزان خطا دست می‌یابد ولی الگوریتم مورچگان بیشینه کمینه در اجراهای مختلف بعد از تقریباً ۲۰ تکرار هیچ تغییری در مقدارتابع هدف ایجاد نمی‌کند و تعداد تکرار بیشتر هیچ تأثیری در مقدار تابع هدف نداشته است. الگوریتم ازدحام ذرات با تعداد تکرار ۵۰۰۰ در اجراهای مختلف به مقدار تابع هدف بهینه دست یافته است و تعداد تکرار بیشتر تأثیری در مقدار جواب نداشته است. شاید تعداد تکرار زیاد در به‌دست آوردن جواب بهینه در الگوریتم‌های مورچگان، مستلزم وقت زیاد است، ولی در الگوریتم ازدحام ذرات به علت سرعت بالای الگوریتم این مشکل حل شده و با سرعت زیاد در تعداد تکرار زیاد هم به جواب بهینه می‌توان دست یافت. میانگین، بهترین و بدترین مقادیر به‌دست آمده برای تابع هدف، با توجه به قیود زنجیره‌ای، در جدول (۳) نشان داده شده است.

با توجه به جدول (۳) دیده می‌شود که الگوریتم مورچگان نخبه دارای کمترین مقدار تابع هدف است و بعد از آن الگوریتم ازدحام ذرات و سپس الگوریتم مورچگان رتبه‌بندی شده و در آخر الگوریتم مورچگان بیشینه کمینه دارای کمترین مقادیر تابع هدف می‌باشند. به عبارت دیگر الگوریتم مورچگان نخبه از دقت و کارایی بالاتری نسبت به بقیه الگوریتم‌ها برخوردار است. همچنین الگوریتم ازدحام ذرات نیز از دقت خوبی برخوردار است. همان‌طورکه در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شده، هدف از این پژوهش، رسیدن به بهترین رهاسازی ماهانه و حداقل کردن عدم تأمین نیاز در سدهای، گلستان و وشمگیر، با رعایت همه محدودیت‌های سیستم است. مقادیر نیاز و رهاسازی بهینه شده توسط الگوریتم مورچگان نخبه، مورچگان بیشینه کمینه و رتبه‌بندی شده و الگوریتم ازدحام ذرات به‌طور متوسط برای دوره مورد مطالعه (پنج سال)، برای سدهای گلستان و وشمگیر به‌ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) آورده شده است.

همان‌طورکه در شکل‌های (۵) و (۶) دیده می‌شود، همه الگوریتم‌ها توانسته‌اند مقدار رهاسازی را بهینه کنند. ولی



شکل ۴. نحوه همگرایی تابع هدف مسئله بهره‌برداری بهینه از مخازن سدهای گلستان و وشمگیر با: الف) الگوریتم مورچگان نخبه، ب) مورچگان بیشینه کمینه، ج) مورچگان رتبه‌بندی شده و د) الگوریتم ازدحام ذرات

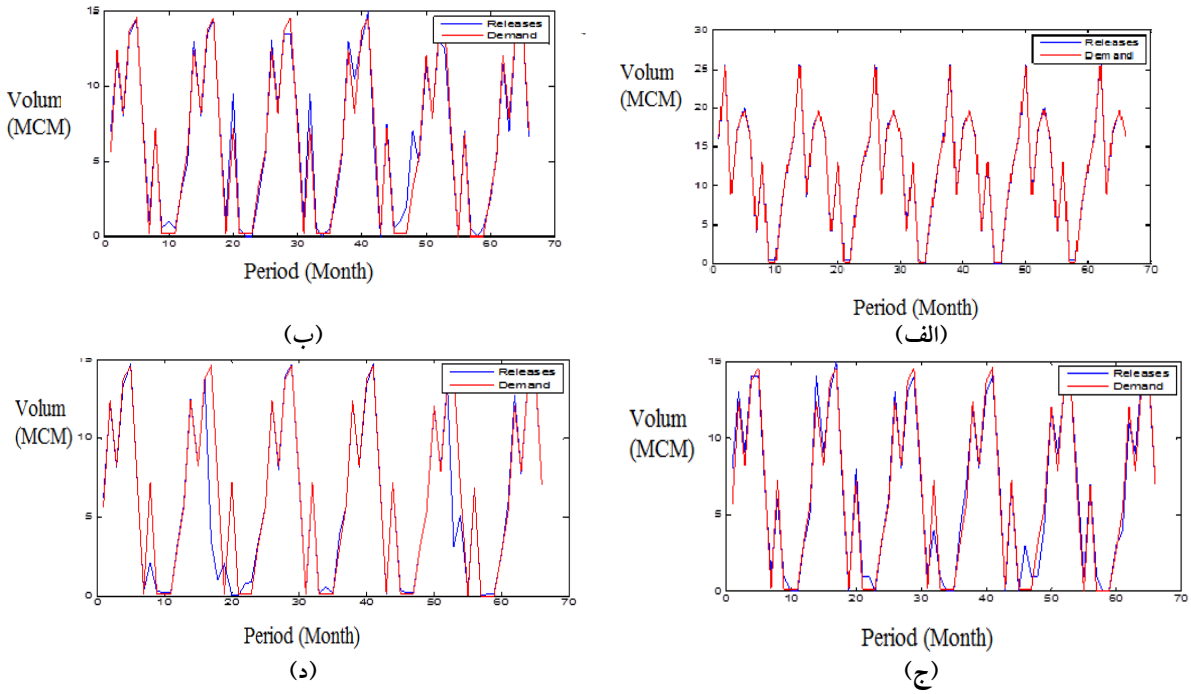
الگوریتم مورچگان نخبه با دقت بسیار خوبی توانسته است مقدار رهاسازی‌ها را در هر دو سد با مقدار نیازهای نزدیک تخمین زند. همچنین الگوریتم ازدحام ذرات نیز مقدار رهاسازی سد وشمگیر را توانسته است بسیار خوب تخمین بزند ولی در مقادیر رهاسازی سد گلستان از دقت کمتری برخوردار بوده است. ولی دو الگوریتم دیگر در هر دو سد در بعضی از ماه‌ها مقدار رهاسازی با مقدار نیاز تفاوت دارد.

جدول ۲. مقادیر تابع هدف برای الگوریتم‌های ACOelit ، ACOmm ، ACOR و PSO

اجرا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
PSO	۱۱/۷۰۶	۱۱/۷۶۱	۹/۵۳۲	۱۱/۹۳	۵/۵۵۶۸	۹/۱۴۲	۱/۲۷۵	۵/۹۶۶۷	۱۱/۷۷۱	۷/۲۶۵
ASelit	۰/۷۸۸۴	۰/۶۴۰۷	۰/۷۶۵۹	۱/۰۵۹	۰/۹۹۸۳	۰/۷۸۲۸	۱/۱۰۳	۰/۹۳۸۵	۰/۸۸۸۶ ۶	۱/۲۷۶
ACOmm	۴۱/۶۱۱	۳۶/۷۷۶۷	۲۶/۴۳۱۲	۳۴/۳۵۲۸	۳۹/۱۷۸۶	۳۸/۴۹۵	۳۰/۳۸۵۷۷	۳۱/۹۶۶	۲۹/۹۹۴۶	۲۶/۸۱۲۱
ACOr	۲۶/۴۳۵	۲۲/۸۶۶۶	۱۹/۳۰۳۱	۲۰/۵۷۹۱	۲۳/۲۲۴۱	۲۱/۶۴۵۱	۲۳/۲۴۹۸	۱۸/۹۲۴۶	۲۰/۹۱۱	۲۲/۰۰۷

جدول ۳. میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف الگوریتم‌های مورد مطالعه

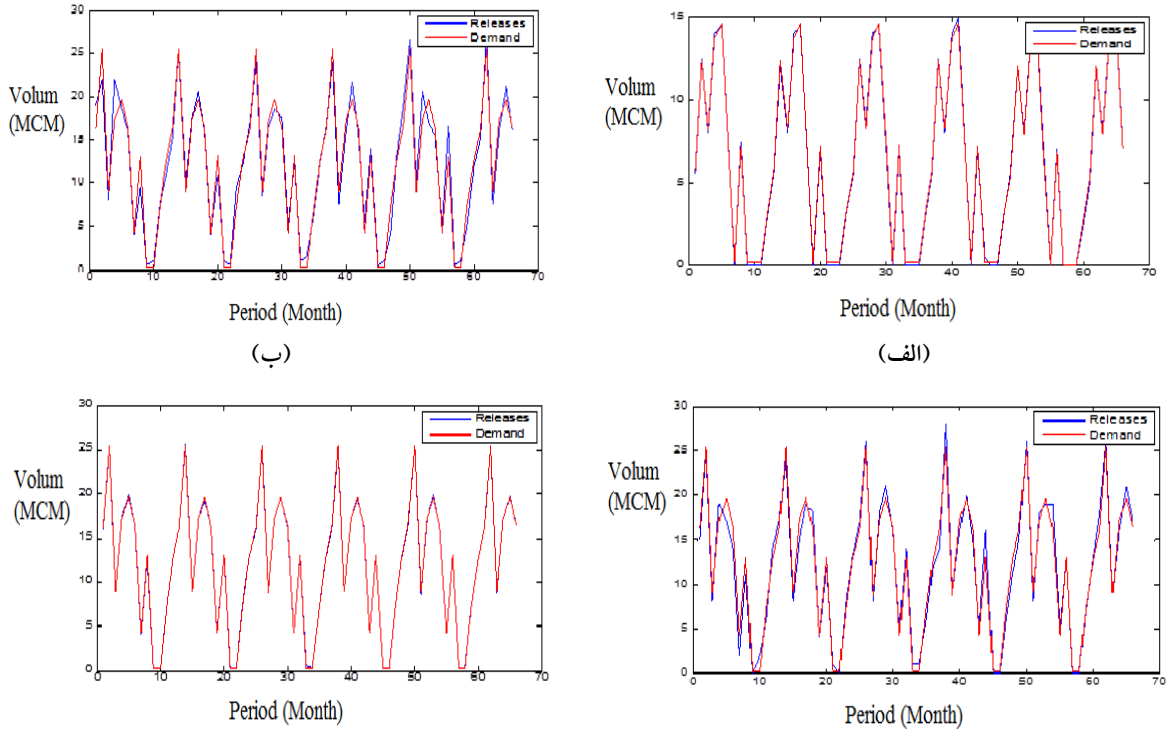
الگوریتم	میانگین تابع هدف	بهترین تابع	بدترین تابع هدف
PSO	۸/۵۹۰۵	۱/۲۷۵	۱۱/۹۳
ACOelit	۰/۰۹۲۴۱	۰/۶۴۰۷	۱/۲۷۶
ACOMM	۳۴/۶۴۷	۲۶/۴۳۱	۴۱/۴۳۱
ACOr	۲۱/۸۹۴	۱۸/۹۲۴	۲۶/۴۳۵



شکل ۵. حجم نیاز پایین‌دست و رهاسازی بهینه شده سدگلستان با: الف) الگوریتم مورچگان نخبه، ب) مورچگان بیشینه کمینه، ج) مورچگان رتبه بندی شده و د) الگوریتم ازدحام ذرات ت)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، برای بهره‌برداری بهینه از سدهای مخزنی گلستان و وشمگیر، از الگوریتم‌هایی بر مبنای رفتار مورچه‌ها (الگوریتم اجتماع مورچگان) و الگوریتم ازدحام ذرات استفاده شده است. متغیر تصمیم در نظر گرفته شده میزان رهاسازی از مخازن دو سد فوق بوده است. همچنین جواب‌های حاصله تحت تأثیر



شکل ۶. حجم نیاز پایین‌دست و رهاسازی بهینه شده سد وشمگیر با: الگوریتم الف) مورچگان نخبه، ب) مورچگان بیشینه کمینه، ج) مورچگان رتبه‌بندی شده و د) الگوریتم ازدحام ذرات

مقادیر مختلف پارامترهای الگوریتم‌ها بوده و برای رسیدن به بهترین جواب باید برای کلیه پارامترها آنالیز حساسیت انجام شود. لذا با آزمون و خطا مقادیر مناسب پارامترها مشخص شده است. در این تحقیق همه الگوریتم‌ها توانسته‌اند مقدار رهاسازی را به شکل بسیارخوبی بهینه کنند. ولی الگوریتم مورچگان نخبه با دقت بسیار خوبی توانسته است مقدار رهاسازی‌ها را در هر دو سد نزدیک به مقدار نیازها تخمین بزند. همچنین الگوریتم ازدحام ذرات نیز مقدار رهاسازی سد وشمگیر را توانسته است بسیار خوب تخمین بزند ولی در مقادیر رهاسازی سد گلستان از دقت کمتری برخوردار بوده است. ولی دو الگوریتم (مورچگان نخبه و ازدحام ذرات) در بعضی از ماه‌ها مقدار رهاسازی صورت گرفته از مقدار نیاز بیشتر بوده و در بعضی از ماه‌ها مقدار نیاز بیشتر از مقدار رهاسازی بوده است. در الگوریتم‌های مورچگان با توجه به پیوسته نبودن مقادیر رهاسازی، مدل مجبور به انتخاب مقادیر ناپیوسته بوده است که باعث می‌شود تا مقادیر خروجی بهینه جهت تأمین نیازها در مواقعی با مقدار نیازها اختلاف داشته باشد و سرریزی یا ذخیره‌سازی در مخزن انجام گیرد. با توجه به توضیحات ارائه شده، می‌توان نتیجه گرفت که از بین الگوریتم‌های سیستم مورچگان، الگوریتم مورچگان نخبه برای بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها به‌صورت هم‌زمان مناسب‌تر از بقیه الگوریتم‌ها است. همچنین الگوریتم ازدحام ذرات نیز از اعتبار بالایی برای بهره‌برداری بهینه دو مخزن برخوردار است.

منابع مورد استفاده

۱. افشار، م. ه. و ا. رضایی سنگدهی. ۱۳۸۵. الگوریتم مورچگان نخبه در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها. سیزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور. ۳۸۵. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۲۱ اسفند ۱۳۸۵.

۲. دشتی، ر. م. ت. ستاری و و. نورانی. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد الگوریتم تکاملی تفاضلی در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک مخزنه سد علویان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک ۶(۳): ۷۵-۶۱.

۳. زینلی، م. ج. ف.، ا. محمدرضاپور و ف. فروغی. ۱۳۹۴. به‌کارگیری الگوریتم کرم شبتاب در بهینه سازی بهره‌برداری از سد درودزن. مجله مهندسی آبیاری و آب ۶(۲۱): ۴۵-۳۳.

۴. زینلی، م. ج. ف.، ا. محمدرضاپور و ف. فروغی. ۱۳۹۴. ارزیابی الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و سیستم مورچگان پیوسته در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد درودزن. نشریه دانش آب و خاک تبریز ۲۵(۳): ۳۷-۲۷.

۵. فلاح مهدی پور، ا. و ا. بزرگ حداد. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدهای چندمنظوره با کاربرد روش بهینه‌سازی مجموعه ذرات. مجله آب و فاضلاب ۴: ۱۰۵-۹۷.

۶. معینی، ر. و م. ح. افشار. ۱۳۸۵. بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با استفاده از الگوریتم مورچه بیشینه کمینه (MMAS) دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.

۷. معین الدینی، ا.، ا. محمدرضاپور، م. ج. وزینلی. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی قطر لوله های شبکه آبرسانی شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک سریع آشفته و کرم شب تاب در مدل (Relopt) مطالعه موردی :شهرک شهرداری کرمان. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک ۲۳(۴): ۶۴-۴۵.

۸. موسوی رستگار، ز.، ا. محمدرضاپور، ا. بزرگ حدا و م. ابراهیمی. ۱۳۹۶. مقایسه سیاست جیره بندی توسط الگوریتم‌های فراکاوشی با سیاست بهره‌برداری استاندارد در بهره‌برداری بهینه از مخزن سد وشمگیر در شرایط خشکسالی. تحقیقات آب و خاک ۴۸(۲): ۳۳۳-۳۲۳.

۹. نجفی، م. ر.، ج. هاشم پور و م. خیاط خلقی. ۱۳۸۴. بهره‌برداری بهینه از مخزن با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و کاربرد آن در سد وشمگیر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۵): ۳۵-۲۷.

۱۰. هاشمی منفرد، س. آ، ف. حسین‌زاده، و ب. پیرزاده. ۱۳۹۶. کاربرد الگوریتم رقابت استعماری در بهینه‌سازی بهره‌برداری مخزن با هدف حداکثرسازی تأمین نیاز (مطالعه موردی :سد پیشین). مجله هیدرلیک ۱۲(۲): ۶۷-۵۹.

11. Abbaspour, K. C., R. Schulin and M. T. Van Genuchten. 2001. Estimating unsaturated soil hydrulic parameters using ant colony optimization. J. Adv. Water Resour. 24(8): 8271-841
12. Afshar, M. H. 2005. Improving the efficiency of ant algorithms using adaptive refinement: Application to storm water network design. J. Adv. Water Resour. 29: 1371-1382.
13. Afshar, M. H. 2012. Large scale reservoir operation by constrained particle swarm optimization algorithms, Journal of Hydro- Environ. Res. 6: 75-87.
14. Bashiri-Atrabi H., K. Qaderi, E. Rheinheimer D., Sharifi E. 2015. Application of Harmony Search Algorithm to Reservoir Operation Optimization. Water Resour. Manage. 29: 5729–5748.
15. Dorigo, M., V. Maniezzo and A. Colorni. 1991. Positive Feedback as a Search Strategy, Citeseer.
16. Goldberg, D. 1989. Genetic algorithms in search optimization and machine learning. J. Hydrol. Res. 8: 354-361.
17. Kennedy, J. and R. Eberhart. 1995. Particle Swarm Optimization. *In:* Proceeding of the International Conference on Neural Networks. Perth, Australia. pp. 1942-1948.
18. Kumar, D. N. and J. Reddy. 2007. Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization, Journal of Water Res. PL-ASCE. 3:192-201.
19. Li, C., J. Mcphee and W. Yeh. 2007. A diversified multi objective GA for Optimizing reservoir rule curves. Adv. Water Resour. 30: 1082-1093.

20. Liu, Y. 2009. Automatic calibration of a rainfall-runoff model using a fast and elitist multi objective particle swarm algorithm. Expert Syst. Appl. 36: 9533-9538.
21. Maier, H. R., A. R. Simpson, A. C. Zecchin, W. K. Foong. K. Y. Phang, H. Y. Seah and C. L. Tan. 2003. Ant colony optimization for design of water distribution system. J. Water Res. PL-ASCE. 129: 200-209.
22. Marton, D. and Z. Kapelan. 2014. Risk and Relibility Analysis of Open Reservoir Water Shorages Using Optimization. Procedia Eng. 89: 1478-1485.
23. Mohammadrezapour, O., I. Yoosefdoost and E. Ebrahimi. 2017. Cuckoo optimization algorithm in optimal water allocation and crop planning under various weather conditions (case study: Qazvin plain, Iran). Neural Comput & Applic. DOI 10.1007/s00521-017-3160-z.
24. Sharif, M. and R. Wardlaw. 2000. Multi-reservoir systems optimization using genetic algorithms: case study. J. of Comput. Civilization Eng. 14(4):263-255.
25. Shi, Y. and R. Eberhart. 1998. Parameter selection in particle Swarm Optimization. In Evolutionary Programming. 7: 611-616. VII: Proc. EP98, Springer, New York.
26. Stutzle, T., H. H. Hoos. 2000. Max-Min Ant system. Future Generation Comput. Syst. 16(8): 889-914.
27. Teegavarapu, R. S. V. and S. P. Simonovic. 2002. Optimal Operation of Reservoir Systems Using Simulated Annealing. Int. Water Resour. Manage. 16(5): 401-428.
28. Yu Li, G. Shenglian, G. Jiali, W. Yun, L. Tianyuan, C. Jionghong. 2014. Deriving the optimal refill rule for multi-purpose reservoir considering flood control risk. J. Hydro-Environ. Res. 8: 248-259.

J. Water and Soil Sci. (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 22, No. 1, Spiring 2018, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Comparison of Meta- Heuristic Algorithms in the Optimal Operation of Multi – Reservoir (A Case Study: Golestan and Voshmgir Dams)

O. Mohammadrezapour[1*] and M. J. Zeynali[2]

(Received: Aug. 5-2015; Accepted: Feb. 24-2018)

Abstract

One of the most important issues in the field of optimizing water resources management is the optimal utilization of the dam reservoirs. In the recent decades, the optimal operation of dams has been one of the most interesting issues considered by water resources planners in the country. Due to the complexities of the typical optimization methods, employing an evolutionary algorithm is regarded here. One of the most significant algorithms is the ant colony algorithm. So the aim of this study is to optimize the delivery of Golestan and Voshmgir reservoirs to meet the needs of the down lands using the elite ant colony algorithm, maximum – minimum ants, ranked ants, and particle swarm algorithms, and to compare the performance of these algorithms with each other. The considered decision variable was the release of the reservoirs in the above- mentioned dams. In this study, the data over a 5-year period, from 2006-2007 to 2011-2012, was used for modeling. The results showed that all algorithms could optimize the release amount optimally; however, the elite ant algorithm with the objective function value of 0.6407 estimated the release values with great accuracy in both dams. Also, the particle swarm algorithm with 1.275 of the objective function value was well-matched with the release values. The ranked ant algorithm with 18.924 and Max-Min ant with 26.431 of the objective function valuewere, respectively, at the next levels of performance optimization of the release values from Golestan and Voshgar dams.

Keywords: Ant colony Algorithms, Optimal Operation, Multi – Reservoir System, Particle Swarm Algorithm.

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Water and Soil, Univ. of Zabol, Zabol, Iran.
2. Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Birjand, Birjand, Iran.
*: Corresponding Author, Email: nmohammadrezapour@yahoo.com