



دانشگاه گوارز و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره ششم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

مقایسه الگوریتم‌های رقابت استعماری و جامعه مورچگان برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن با رویکرد اعمال قيود زنجیره‌ای

محمدجواد زینلی^۱، *ام‌البنی محمدرضاپور^۲ و فرید فروغی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه زابل، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل،

^۲مربی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها از جمله مسایل مهم در علوم مهندسی آب می‌باشد که تاکنون از طریق انواع روش‌های بهینه‌سازی متداول حل شده است. یکی از این روش‌ها، روش بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری (فراکاشی) می‌باشد. نتایج پژوهشگران در سراسر جهان نشان داده عملکرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری به مراتب بهتر از روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی خطی بوده است. هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های رقابت استعماری و جامعه مورچگان در زمان اعمال قيود زنجیری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از الگوریتم رقابت استعماری در حل مسأله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها استفاده شده است. رویکردی که در این پژوهش پیش گرفته شده است، اعمال رابطه پیوستگی در تعیین موقعیت اولیه کشورها بوده که با عنوان قيود زنجیره‌ای مطرح شده است. نتایج حاصل از اعمال قيود زنجیره‌ای و عدم اعمال آن‌ها در الگوریتم رقابت استعماری با هم مقایسه و پس از آن نتایج با الگوریتم جامعه مورچگان که یکی دیگر از الگوریتم‌های شناخته شده می‌باشد مقایسه گردیده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که الگوریتم رقابت استعماری بدون در نظر گرفتن قيود زنجیره‌ای به ندرت توانایی یافتن جواب‌های شدنی را دارا می‌باشد و اعمال قيود زنجیره‌ای برای تعیین موقعیت اولیه کشورها به نحو مؤثری کارایی الگوریتم را بالا می‌برد و باعث می‌شود حتی عملکرد آن به مراتب بهتر از الگوریتم جامعه مورچگان شود و مقادیر مناسب‌تری را برای تابع هدف بیابد به طوری که پس از ده مرتبه اجرا میانگین مقدار تابع هدف که در واقع کمینه‌سازی میزان اختلاف تقاضا (نیاز کشاورزی پایین‌دست) و رهاسازی می‌باشد برای الگوریتم رقابت استعماری ۱۵/۸۲۲ و برای الگوریتم جامعه مورچگان ۴۸/۰۰۸ بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داده است با اعمال قيود زنجیره‌ای الگوریتم‌های ICA و ACO قادر به یافتن جواب شدنی بوده و به نحو مطلوبی کارایی آن‌ها بالا رفته است. بنابراین از اعمال قيود زنجیری می‌توان به عنصری اساسی در بالا بردن کارایی الگوریتم‌ها یاد کرد. همچنین نتایج مقایسه بین این الگوریتم‌ها نشان داده است که عملکرد الگوریتم ICA

* مسئول مکاتبه: mohammadrezapour@uoz.ac.ir

به مراتب بهتر از الگوریتم ACO بوده است. زیرا در شرایط یکسان، الگوریتم‌هایی که در فضای جواب‌های شدنی هر مقداری را به خود می‌توانند اختصاص دهند نسبت به الگوریتم‌هایی که تنها جواب‌های خاصی را می‌توانند بیابند (مانند گره‌های از پیش تعیین شده برای مقادیر الگوریتم ACO) مناسب‌تری را به‌عنوان جواب خواهند یافت.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، الگوریتم‌های فرا ابتکاری، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم جامعه مورچگان، قیود زنجیره‌ای

مقدمه

همگرایی در شرایطی رخ می‌دهد که احتمال پیوند $0/8$ بوده و احتمال جهش $0/1$ باشد. ضریب اطمینان کارایی سیستم در مورد سد گلستان 100 درصد و در مورد سد وشمگیر $85/71$ درصد برآورد گردید (۱۳). آذرآفا و همکاران (2012)، بهینه‌سازی مخزن برای آورد 5 ساله رودخانه شهرچای و با هدف تأمین نیاز پایین‌دست از جمله نیاز شرب، کشاورزی و محیط زیست انجام گرفت. این مطالعه مقایسه‌ای بین الگوریتم‌های آنیلینگ، ژنتیک و ازدحام ذرات انجام گرفته که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌صورت مؤثرتری نسبت به سایر روش‌ها عمل نمود (4). احمدیان و همکاران (2013) الگوریتم رقابت استعماری را با در نظر گرفتن دو هدف بیشینه کردن تولید نیروی برق و کنترل سیلاب، سد پیرتقی در حوضه قزل‌اوزن، مورد بررسی قرار دادند آن‌ها در پژوهش خود با در نظر گرفتن افق دید برنامه‌ریزی یکساله و بازه‌های زمانی ماهانه این الگوریتم را اجرا کردند. نتایج نشان داد که درآمد حاصل از فروش انرژی برقی در ماه‌های تابستان به‌دلیل مصرف بیش‌تر برق و همچنین افزایش قیمت برق، دارای میزان بیش‌تری می‌باشد و در ماه‌های سیلابی، مخزن به‌دلیل کنترل سیلاب دارای ارتفاع آب کم‌تری بوده و انرژی برقی کم‌تری تولید می‌کند که این امر در ماه‌های بهمن تا اردیبهشت به وضوح دیده می‌شود (2). لئو (2009) با استفاده از ترکیب عملگرهای

مسأله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها از جمله مسایل مهم در علوم مهندسی آب می‌باشد که تاکنون از طریق انواع روش‌های بهینه‌سازی متداول حل شده است. در گذشته معمولاً از روش‌های بهینه‌سازی سنتی انجام می‌شده که به‌دلیل تمایل پژوهشگران به کاهش خطا در محاسبات، این موضوع هنوز جای مطالعه و بررسی داشته و مورد علاقه پژوهشگران آب می‌باشد. در این راستا استفاده از توانمندی الگوریتم‌های فراکاوشی در سال‌های اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است که به تعدادی از این تحقیقات انجام شده در زمینه علوم آب و به‌ویژه بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد اشاره می‌شود. افشار و همکاران (2011) بر روی بهره‌برداری بهینه از مخزن سد با استفاده از مکانیزم تطریف تطبیقی قطعی^۱ در الگوریتم مورچه‌ها پژوهشی به عمل آوردند که نتایج آن نشان داد مکانیزم تطریف تطبیقی قطعی تأثیر زیادی در بهبود جواب‌های مسأله داشته است (1). نوروزی و همکاران (2011) با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندجمعیتی بهینه‌سازی بهره‌برداری سدهای گلستان و وشمگیر را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم دو مخزن نام برده را به روش الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار *MATLAB-7* اجرا نمودند. نتایج نشان داد که بهترین حالت

1- Deterministic Adaptive Refinement mechanism

گرفته است. متغیر تصمیم، حجم آب رهاسازی شده در هر دوره زمانی (r_s) در نظر گرفته شده است. در الگوریتم رقابت استعماری برای تعریف موقعیت هر کشور، این نکته مد نظر قرار گرفته است که رهاسازی در هر دوره زمانی (دوره ماهانه) به حجم مخزن در آن دوره، ورودی و خروجی آن دوره و همچنین رهاسازی دوره قبل از آن بستگی دارد. موارد ذکر شده با عنوان قیدهای زنجیره مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت نتایج به دست آمده از اجرای هر دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه شده و کارایی هر کدام مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

الگوریتم رقابت استعماری: الگوریتم رقابت استعماری الگوریتمی برای بهینه‌سازی است که به جای بهره‌گیری از یک پدیده طبیعی، از یک پدیده اجتماعی - انسانی الهام گرفته است. این الگوریتم، با تعدادی جمعیت اولیه شروع می‌شود؛ هر عنصر جمعیت، یک کشور نامیده می‌شود. کشورها به دو دسته مستعمره و استعمارگر تقسیم می‌شوند. هر استعمارگر، بسته به قدرت خود، تعدادی از کشورهای مستعمره را تحت سلطه خود درآورده، آن‌ها را کنترل می‌کند و به سمت خود می‌کشد که اگر در حین حرکت یک مستعمره به سمت استعمارگر، مستعمره، نسبت به استعمارگر، به موقعیت بهتری برسد، جای آن دو با هم عوض می‌شود. رقابت استعماری، بخش مهم دیگری از این الگوریتم را تشکیل می‌دهد. در طی رقابت استعماری، امپراطوری‌های ضعیف، به تدریج قدرت خود را از دست داده و به مرور زمان با تضعیف شدن از بین می‌روند. رقابت استعماری باعث می‌شود که به مرور زمان، به حالتی برسیم که در آن تنها یک امپراطوری در دنیا وجود دارد که آن را اداره می‌کند. این حالت زمانی است که الگوریتم رقابت

مختلف به کار رفته در *NSGA-II* (مرتب کردن براساس غیرپستی، مرتب کردن بر اساس فاصله ازدحام و نخه‌گرایی) و همچنین یک عملگر جهش در *PSO*، یک مدل بارش - رواناب را بهینه‌سازی کرده است (11). داریان و مرادی (2009) از الگوریتم مورچگان پیوسته در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن حوضه کرخه استفاده نموده و نتایج آن را با الگوریتم ژنتیک مقایسه نمودند که نتایج حاصل از مدل کوتاه‌مدت نشان‌دهنده برتری الگوریتم مورچگان پیوسته نسبت به ژنتیک بود (5). فلاح مهدی‌پور و همکاران (2011) از *MOPSO* در زمینه بهره‌برداری از سامانه چند مخزنه به صورت چندهدفه به کار بردند و نتایج نشان داد که الگوریتم ارائه شده در یافتن جواب‌های پارتو بسیار موفق عمل نموده است (9). وو و همکاران (2012) با استفاده از *NSGA-II* و با تابع هدف بیشینه کردن سود تأمین آب برای بخش‌های مختلف و تولید انرژی برقابی و کمینه کردن کمبود آب برای نیاز زیست‌محیطی به بهره‌برداری چندهدفه زیست‌محیطی مخازن برقابی پرداختند و کارایی و اثر بخشی الگوریتم *NSGA-II* و مدل ارائه شده را با به کار بردن آن در مخزن *Lango* واقع بر روی رودخانه چین به اثبات رساندند (14). داریان و فرهمندفر (2012) از الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم چندمخزنه کرخه در جنوب غربی ایران استفاده نموده و پس از مقایسه آن با الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک به این نتیجه رسیدند که الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل از کارایی بالاتری برخوردار بوده است (7). در این پژوهش، مسأله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن با استفاده از الگوریتم‌های رقابت استعماری¹ و جامعه مورچگان مورد قرار بررسی

1- Imperialist Competitive

$$C_n = \max \{c_i\} - c_n \quad (۱)$$

$$P_n = \left| \frac{c_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} c_i} \right| \quad (۲)$$

از دید دیگر، قدرت نرمالیزه شده یک استعمارگر، نسبت مستعمراتی است که توسط آن استعمارگر اداره می‌شود. بنابراین تعداد اولیه مستعمرات یک استعمارگر مطابق با رابطه ۳ به دست خواهد آمد:

$$N.C_n = \text{round}\{P_n.(N_{col})\} \quad (۳)$$

که در آن، $N.C_n$ ، تعداد اولیه مستعمرات یک امپراطوری و N_{col} نیز تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه است. برای هر امپراطوری، به تعداد $N.C_n$ از کشورهای مستعمره اولیه به صورت تصادفی انتخاب شده و به استعمارگر n اختصاص می‌یابد. قدرت یک امپراطوری برابر است با قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن. بدین ترتیب هزینه کل یک امپراطوری به صورت رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$T.C_n = \text{Cost}(\text{imperialist}_n) + \xi \text{ mean}\{\text{Cost}(\text{colonies of empire}_n)\} \quad (۴)$$

با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوری‌ها، الگوریتم رقابت استعماری شروع می‌شود. روند تکامل در یک حلقه قرار دارد که تا برآورده شدن شرایط خاتمه، به همین صورت ادامه می‌یابد (3). بنابراین به‌طور کلی مراحل اجرای الگوریتم برای حل مسأله بهینه‌سازی به صورت زیر تعریف می‌شود: استعمارگران به جذب مستعمرات خود می‌پردازند. به این صورت که مستعمره‌ای که در فاصله d از استعمارگر خود قرار دارد با توجه به رابطه ۵ به سمت استعمارگر خود کشیده می‌شود.

استعماری با رسیدن به نقطه بهینه تابع هدف، متوقف می‌شود (البته می‌توان به الگوریتم اجازه داد تا زمانی که حتی یک کشور استعمارگر وجود دارد باز هم الگوریتم به روند تکاملی خود ادامه دهد) (3). پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری شامل تعداد کشورهای اولیه، تعداد کشورهای استعمارگر، تعداد کشورهای مستعمره، تعداد دهه‌ها یا سال‌هایی است که رقابت بین استعمارگران و مستعمرات آن‌ها انجام می‌گیرد. یا به عبارتی می‌توان گفت تعداد تکرارها، نرخ وقوع انقلاب، ضریب جذب و ضریب زاویه جذب، و چند پارامتر دیگر می‌باشد. برای شروع الگوریتم تعدادی کشور اولیه (مانند جمعیت در الگوریتم ژنتیک) ایجاد می‌کنیم. به تعداد کشورهای استعمارگر از بهترین‌های این کشورها (کشورهایی که کم‌ترین مقدار تابع هدف را تولید نموده‌اند)، به‌عنوان استعمارگر انتخاب نموده و مابقی کشورها، مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یک استعمارگر تعلق می‌گیرد. هر استعمارگر، متناسب با قدرت خود تعدادی از مستعمرات اولیه را تحت سلطه خود درمی‌آورد. برای انجام این کار، با داشتن مقدار تابع هدف برای همه استعمارگران، هزینه نرمالیزه آن‌ها با توجه به رابطه ۱ به دست آمده و هر استعمارگری که دارای مقدار تابع هدف کم‌تری باشد (استعمارگر قوی‌تری باشد)، دارای هزینه نرمالیزه بیش‌تری خواهد بود. با داشتن هزینه نرمالیزه، قدرت نسبی نرمالیزه هر استعمارگر، با رابطه زیر محاسبه شده و بر مبنای آن، کشورهای مستعمره، بین امپریالیست‌ها تقسیم می‌شوند. در رابطه ۱، c_n ، هزینه امپریالیست n ام، $\max_i \{c_i\}$ بیش‌ترین هزینه میان استعمارگرها و C_n ، هزینه نرمالیزه شده آن استعمارگر، می‌باشد و احتمال اختصاص کشورها با یک استعمارگر نیز از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (3).

norm(Search Space Size) فاصله بین ماکزیمم و مینیمم متغیرها است و UT درصدی از محدوده فضای جست‌وجو که دو استعمارگر می‌توانند در آن هم‌زمان حضور داشته باشند و TD فاصله دو استعمارگر در فضای جواب ممکن (فضای جست‌وجو) می‌باشد.

$$TD = UT \times \text{norm}(\text{Search Space Size}) \quad (7)$$

رفتن به مرحله اول در صورت برآورده نشدن شرایط خاتمه.

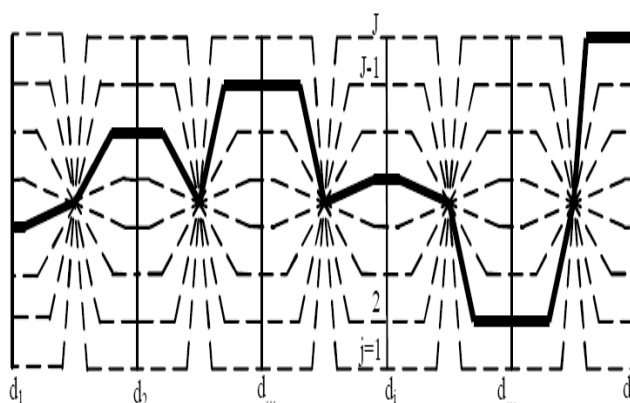
الگوریتم جامعه مورچگان: در همه الگوریتم‌های مورچگان نحوه برخورد با مسأله تقریباً مشابه با یکدیگر است و تنوع ایجاد شده در این الگوریتم‌ها ناشی از تغییراتی است که در فاز به روز شدن فرامان در هر تکرار می‌باشد. بنابراین در همه الگوریتم‌های مورچگان برای حل یک مسأله بهینه‌سازی به کمک الگوریتم جامعه مورچگان، باید گرافی برای مسأله تعریف شود. به‌عنوان نمونه، در مسأله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد، گراف $G = (D, L, C)$ که در آن $d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ مجموعه نقاط تصمیم است و $L = \{L_{ij}\}$ مجموعه انتخاب‌های L_{ij} است و $C = \{C_{ij}\}$ ($i=1, 2, \dots, n$) و $(j=1, 2, \dots, J)$ در هر یک از نقاط تصمیم d_i یک از انتخاب‌های L_{ij} است به‌صورت شکل ۱ می‌باشد. یک مسیر موجه تعریف شده برای نمودار را یک جواب بهینه (ϕ) و مسیری که کم‌ترین هزینه را داشته باشد یک جواب بهینه (ϕ^*) می‌نامند. هزینه هر جواب را با $f(\phi)$ و هزینه جواب بهینه را با $f(\phi^*)$ نشان می‌دهند (8).

$$\text{new Position of Colony} = \text{old Position of Colony} + x \quad (5)$$

که در آن x از رابطه ۶ به‌دست می‌آید.

$$x = \frac{\beta \times \text{Assimilation Coefficient} \times \text{random number}}{\cos(\theta)} \times d \quad (6)$$

در این رابطه β عددی بزرگ‌تر از یک و تقریباً برابر با ۲ می‌باشد و ضریب جذب نیز برابر ۲ در نظر گرفته شده است. θ نیز $\frac{\pi}{4}$ در نظر گرفته می‌شود (3). در تعدادی از مستعمرات، انقلاب، رخ خواهد داد. برای انجام این عمل تعدادی از کشورهای مستعمره را با توجه به نرخ انقلاب در نظر گرفته شده، انتخاب نموده و به‌صورت تصادفی در فضای جست‌وجو پخش می‌کنیم. جای استعمارگر و مستعمره عوض می‌شود. جابجایی بدین صورت است که اگر قدرت یک مستعمره از استعمارگر بیش‌تر (مقدار تابع هدف برای یک مستعمره کم‌تر از استعمارگرش) بود موقعیت و مقدار تابع هدف آن‌ها با هم عوض می‌شود. مقدار تابع هدف همه استعمارگران با توجه به رابطه فوق، محاسبه می‌شود. ۱- رقابت استعماری بین استعمارگران شکل می‌گیرد. اگر استعمارگری نسبت به استعمارگر دیگر در موقعیت بهتری قرار داشت با توجه به قدرت خود و استعمارگر دیگر، آن استعمارگر و مستعمراتش را به استعمار خود درمی‌آورد. این فرآیند بدین صورت انجام می‌گیرد که استعمارگر قوی‌تر، می‌تواند استعمارگر ضعیف‌تر یا مستعمره آن را که در نزدیکی خود است به استعمار خود درآورد. فاصله‌ای که چنین اتفاقی می‌تواند در آن رخ دهد را درصدی از فضای جست‌وجو در نظر می‌گیرند که از رابطه ۷ محاسبه می‌شود که در آن



شکل ۱- گراف مسأله بهره‌برداری از مخزن سد.

Figure 1. The graph of reservoir operation.

تنظیم این پارامترها می‌توان به سمت جواب‌های بهتر حرکت کرد.

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

۴- بعد از انجام مراحل دوم و سوم، فرمان مسیر اصلاح شده و وارد تکرار بعد شده (دوباره حرکت مورچه‌ها را از ابتدا شروع می‌کنند) و این مراحل تا زمانی ادامه می‌یابد که شرایط خاتمه حاصل شود.

معرفی منطقه: حوضه سد درودزن، جزئی از حوضه فرعی طشک، بختگان، مهارلو بوده و مساحت آن حدود ۴۵۶۵ کیلومترمربع بین طول‌های ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض‌های ۲۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۷ دقیقه شمالی واقع شده است. سد مخزنی درودزن بر روی رودخانه کر احداث گردیده است. هدف از احداث این سد، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و صنعت، تأمین بخشی از آب شرب شهر شیراز و روستاهای بین راه بوده است (10). شکل ۲ موقعیت حوضه سد درودزن در استان فارس نشان می‌دهد. دوره مورد مطالعه، یک دوره ۹۹ ماهه از مهرماه سال ۱۳۸۲ بوده است. داده‌های ماهانه مربوط به مخزن سد شامل بارندگی، ورودی رودخانه، تبخیر، نشست، سرریز، خروجی

به‌طورکلی مراحل اصلی الگوریتم مورچه را می‌توان چنین برشمرد (8):

۱- مورچه بر روی n نقطه تصمیم در نظر گرفته می‌شود و در ابتدا یک مقدار فرمان^۱ مناسب بر روی تمام مسیرهای گراف در نظر گرفته می‌شود.

۲- در هر نقطه تصمیم i برای انتخاب گزینه j ، تابع احتمال به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود:

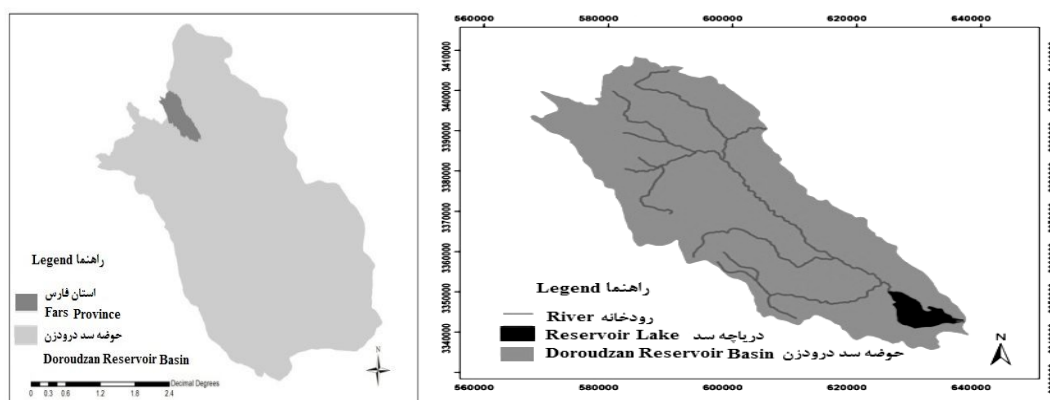
$$P_{ij}(k,t) = \frac{[\tau_{i,j}(k,t)]^\alpha [\eta_{i,j}(k,t)]^\beta}{\sum_{j=1}^k [\tau_{i,j}(k,t)]^\alpha [\eta_{i,j}(k,t)]^\beta} \quad (8)$$

در هر نقطه تصمیم بر اساس رابطه فوق گزینه مطلوب انتخاب می‌شود و در این روند تا موقع عبور از همه نقاط تصمیم ادامه می‌یابد. زمانی که همه نقاط تصمیم پوشش داده شود، یک جواب (ϕ) ساخته شده است. در معادله فوق $P_{ij}(k,t)$ برابر است با احتمال این که مورچه k ام در دوره زمانی t ام در نقطه تصمیم i ام، گزینه j ام را انتخاب کند؛ و η_{ij} مقدار هدایتگر کاوشی مسیر گزینه j ام است. دو پارامتر α و β ضرایب ثابتی هستند که در رابطه فوق به ترتیب برای تنظیم وزن فرمان τ_{ij} و اطلاعات کاوشی η_{ij} مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حل این مسایل با

1- Pheromone

(اردیبهشت) و کانال سمت راست ثانویه (هامون) و ادامه هامون می‌باشد. عمده محصولی که در این اراضی کشت می‌شود گندم و جو است. میانگین میزان ماهانه نیاز آبی این اراضی در جدول ۱ آورده شده است.

کشاورزی و برقابی و به‌طورکلی ورودی به مخزن و خروجی از آن و همچنین حجم ماهانه مخزن بوده است. شبکه نوین آبیاری سد درودزن، آب سد را به اراضی زیردست و آبخور سد درودزن انتقال می‌دهد. این شبکه شامل کانال اصلی و ابرج، کانال سمت چپ و ادامه سمت چپ، کانال سمت راست اولیه



شکل ۲- موقعیت حوضه سد درودزن در استان فارس.

Figure 2. Location of Dorodzan reservoir in Fars province.

جدول ۱- نیاز آبی ماهانه اراضی زیردست سد درودزن (MCM).

Table 1. Monthly water requirement for Dorodzan reservoir downstream.

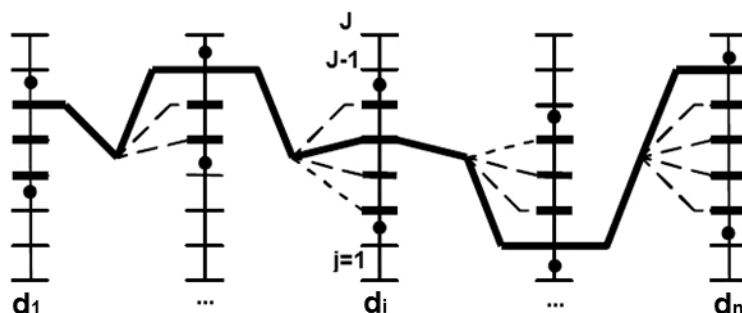
فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
April	May	Jun	July	August	September	October	November	December	January	February	March
39.39	60.102	33.037	0	0	0	0	7.295	5.866	7.07	13.388	24.068

دارد و این قید که به‌عنوان قید زنجیره‌ای می‌توان از آن نام برد بایستی در بدنه الگوریتم‌ها اعمال شود. بدین ترتیب در الگوریتم رقابت استعماری با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای (ICACC) در تعیین موقعیت اولیه هر کشور مقدار عددی هر بعد به مقدار بعد ماقبل آن بستگی دارد یعنی مقدار متغیر دوم (رهاسازی ماه دوم) به مقدار متغیر اول (رهاسازی ماه اول) و مقدار متغیر سوم (رهاسازی ماه سوم) به مقدار متغیر دوم (رهاسازی ماه دوم) و به همین ترتیب هر متغیر به متغیر ماقبل خود بستگی خواهد داشت.

قیود زنجیره‌ای: رهاسازی از مخازن سدها، به ورودی و خروجی‌ها و همچنین به میزان تقاضا (نیاز) پایین دست سد، بستگی دارد. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت، میزان رهاسازی از مخازن سدها، به حجم آب موجود در مخزن در هر دوره، ورودی و خروجی‌ها آن دوره و میزان تقاضا (نیاز) پایین دست سد و همچنین رهاسازی دوره قبل از آن بستگی دارد؛ زیرا میزان ورودی و خروجی‌ها، ذخیره مخزن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین این قید که به نوعی همان قید پیوستگی می‌باشد همواره به‌صورت زنجیروار ادامه

محدوده‌ای برای انتخاب به وجود خواهد آمد که مورچه فقط در آن محدوده حق انتخاب گزینه‌ای را خواهد داشت که این محدود در شکل با دواير تو پر نشان داده شده است. این محدوده برای هر مورچه با توجه به این که در هر نقطه تصمیم مانند d_i ، چه گزینه‌ای را انتخاب نموده باشد متفاوت می‌باشد.

بنابراین اعمال قیود زنجیره‌ای در تعیین موقعیت هر کشور به این ترتیب می‌باشد. در الگوریتم جامعه مورچگان با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای (ACOCC) نیز در حل مسأله گراف ۱ به صورت شکل ۳ درمی‌آید و مورچه‌ای که در نقطه تصمیم d_i گزینه J را انتخاب نموده است در نقطه تصمیم d_{i+1}



شکل ۳- گراف مسأله بهره‌برداری از مخزن سد با اعمال قیود زنجیره‌ای.

Figure 3. The graph of reservoir operation with constraint chains.

ND تعداد دهه‌ها (تکرارها)، RC نرخ وقوع انقلاب، AC ضریب جذب، AAC ضریب زاویه جذب، ξ ضریب زتا که برای تعیین درصدی از قدرت مستعمرات یک استعمارگر را به کار برده می‌شد و UT درصدی از محدوده فضای جست‌وجو که دو استعمارگر می‌توانند در آن هم‌زمان حضور داشته باشند و اگر فاصله آن دو از هم کم‌تر از این مقدار شود استعمارگر ضعیف‌تر، مستعمره استعمارگر قوی‌تر خواهد شد. نتایج حاصل از ده مرتبه اجرای الگوریتم رقابت استعماری با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای (ICACC) و بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای (ICA) در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد در صورتی که از قیود زنجیره‌ای در بدنه الگوریتم استفاده نگردد الگوریتم به‌ندرت جواب ممکن را می‌یابد اما در زمان به‌کارگیری قیود زنجیره‌ای، الگوریتم همواره جواب ممکن را می‌یابد و از طرفی عملکرد آن به مراتب بهتر می‌شود.

قیود دیگر مسأله بهره‌برداری از مخزن سد قیود رهاسازی و حجم مخزن است که نایستی در طول دوره رهاسازی از رهاسازی مینیمم و ماکزیمم کم‌تر یا بیش‌تر باشد و همچنین حجم مخزن از حجم مینیمم و ماکزیمم نایستی کم‌تر یا بیش‌تر باشد. در صورت وجود تخطی از قیود با اضافه نمودن مقداری به‌عنوان جریمه (مطابق با میزان تخطی) به تابع هدف با تخطی برخورد می‌گردد و تابع هدف (Z) به صورت رابطه ۹ درمی‌آید که در آن C_1 ضریب ثابتی بوده و مقادیر مثبت را به خود می‌گیرد و V همان میزان تخطی بوده و \hat{Z} مقدار تابع هدف جدید می‌باشد.

$$\hat{Z} = Z + (C_1 V) \quad (9)$$

نتایج و بحث

پارامترهای مناسب الگوریتم رقابت استعماری با سعی و خطا محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است. NC تعداد کشورها، NI تعداد کشورهای استعمارگر،

جدول ۲- پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری.

Table 2. The parameters of ICA algorithm.

UT	ξ	AAC	AC	RC	ND	NI	NC
0.02	0.02	0.5	2	0.3	200	20	100

جدول ۳- نتایج حاصل از ده مرتبه اجرای الگوریتم رقابت استعماری با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای.

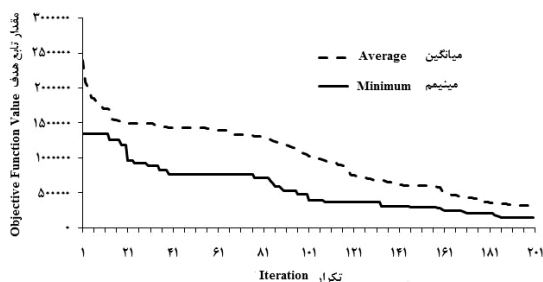
Table 3. Results of 10 different runs with chain constraint and lake of chin constraint in ICACC algorithm.

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	تکرار (Iteration)
16.438	14.526	15.632	14.549	15.359	15.931	16.972	15.84	15.943	17.035	ICACC
*	*	*	*	*	*	17534	*	*	*	ICA

* مقدار ممکن برای تابع هدف تولید نشد.

هر کشور) به‌طور قابل‌توجهی کارایی الگوریتم را بالا برده و باعث شده است که الگوریتم در تعداد تکرار کم‌تر راه حل (جواب) بسیار مناسب‌تری را بیابد. بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای الگوریتم در ۲۰۰ تکرار به مقدار ۱۷۵۳۴/۹ رسیده است در حالی‌که با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای این مقدار ۱۴/۵۲۶ در ۱۴۷ تکرار بوده است.

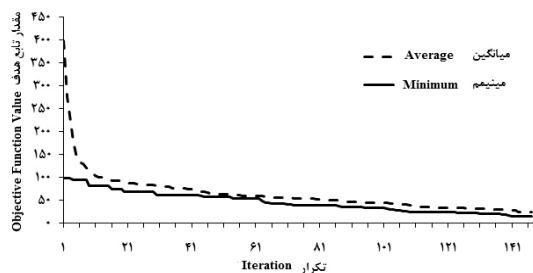
نحوه عملکرد الگوریتم رقابت استعماری با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای (ICACC) و بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای (ICA) به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است که میانگین و مینیمم مقدار تابع هدف در هر شکل نشان داده شده است و همان‌طور که در این دو شکل ملاحظه می‌گردد، اعمال قیود زنجیره‌ای در بدنه الگوریتم (در تعیین موقعیت



شکل ۵- نحوه عملکرد الگوریتم ICA.

Figure 5. performance of ICA algorithm.

هدف و تعداد تکرارها تغییر محسوسی نداشته‌اند و بهترین مقدار تابع هدف ۴۶/۶۲۰ در ۶۴ تکرار بوده است.



شکل ۴- عملکرد الگوریتم ICACC.

Figure 4. performance of ICACC algorithm.

جدول ۴ پارامترهای مناسب در الگوریتم ACOCC را در حل مسأله بهره‌برداری و جدول ۵ نتایج حاصل از ده مرتبه اجرای الگوریتم ACOCC را نشان می‌دهد که در تکرارهای متوالی مقدار تابع

جدول ۴- مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم ACO.

Table 4. The appropriate value for ACO algorithm parameters.

ضریب تبخیر فرامان ρ (coefficient, ρ Evaporation of pheromone)	ضریب β (Coefficient, β)	ضریب α (Coefficient, α)	ضریب جریمه C (Penalty coefficient, C)	فرامان اولیه (Initial pheromone)	تعداد مورچه (Number of ants)
0.5	3	1	10	100	550

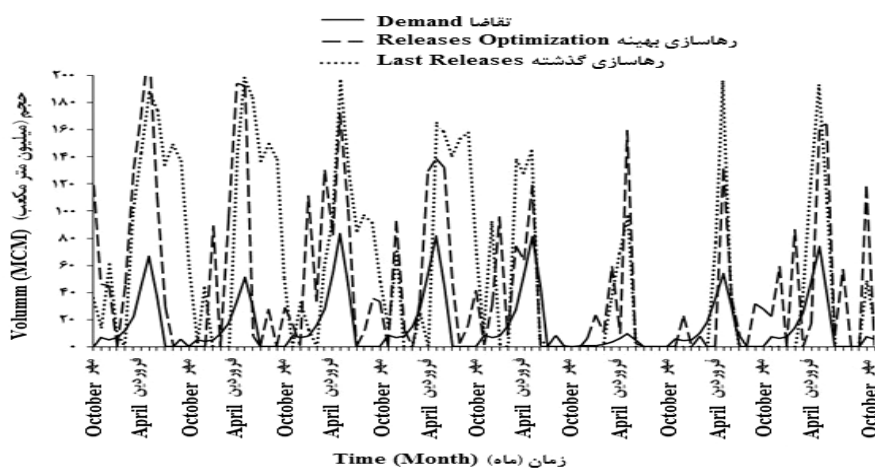
جدول ۵- نتایج حاصل از ده مرتبه اجرای الگوریتم جامعه مورچگان (ACO).

Table 5. Results of 10 different runs in ACO algorithm.

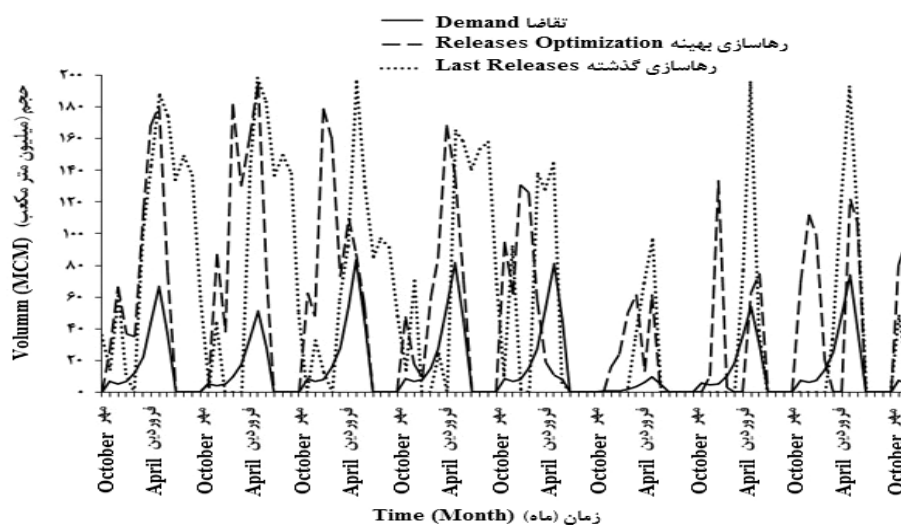
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	اجرا
مقدار تابع هدف Value of objective (function)										
49.9543	47.4753	47.1975	48.9832	46.625	47.8147	47.5737	48.56	48.721	47.175	
تعداد تکرار Number of (iteration)										
65	63	59	59	64	65	63	59	59	64	

نشان می‌دهد. در مقایسه این دو نمودار با هم ملاحظه می‌شود که در بعضی از فصول مانند فصل بهار در سال چهارم زراعی الگوریتم ACOCC نتوانسته حداکثر نیاز را تأمین نماید اما الگوریتم ICACC به خوبی حداکثر نیازها را تأمین نموده است که خود نشان‌دهنده کارایی بالایی این الگوریتم نسبت به الگوریتم ACOCC می‌باشد.

شکل ۶ رهاسازی بهینه حاصل از اجرای الگوریتم ICACC را نشان می‌دهد که این جواب (رهاسازی به‌دست آمده) بدون تخطی از قیود بوده است. اجرای این الگوریتم با ۲۰۰ تکرار انجام شده و نهایتاً بهترین جواب (راه‌حل) بدون تخطی برای این الگوریتم به‌عنوان جواب نهایی (خروجی الگوریتم) انتخاب شده است. شکل ۷ نیز میزان رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم ACOCC، تقاضا و رهاسازی گذشته را



شکل ۶- مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم ICACC، تقاضا و رهاسازی گذشته.
Figure 6. The optimized release using ICACC, demand and last releases.



شکل ۷- مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم جامعه مورچگان، تقاضا و رهاسازی گذشته.

Figure 7. The optimized release using ACOCC, demand and last releases.

شدنی بوده و به نحو مطلوبی کارایی آن‌ها بالا رفته است. نتایج حاصل از اعمال قیود زنجیره‌ای و عدم اعمال آن‌ها در الگوریتم رقابت استعماری با هم مقایسه شده که نتایج نشان داد الگوریتم رقابت استعماری بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای به ندرت توانایی یافتن جواب‌های شدنی و امکان‌پذیر را دارا می‌باشد و در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای برای تعیین موقعیت اولیه کشورها به نحو مؤثری کارایی الگوریتم را بالا می‌برد. همچنین نتایج مقایسه بین الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم جامعه مورچگان نشان داده است که عملکرد الگوریتم رقابت استعماری به مراتب بهتر از الگوریتم جامعه مورچگان بوده و مقادیر مناسب‌تری را برای تابع هدف یافته است به طوری که پس از ده مرتبه اجرا میانگین مقدار تابع هدف که در واقع کمینه‌سازی میزان اختلاف تقاضا (نیاز کشاورزی پایین‌دست) و رهاسازی می‌باشد برای الگوریتم رقابت استعماری ۱۵/۸۲۲ و برای الگوریتم جامعه مورچگان ۴۸/۰۰۸ بوده است. نتایج پژوهش معینی و افشار (12) که مسأله بهره‌برداری بهینه از مخزن سد دز را با الگوریتم

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که بسیاری از مسایل واقعی از جمله مسایل بهره‌برداری از مخازن سدها غیرخطی و غیرپیوسته می‌باشند، استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی مانند الگوریتم استعماری و جامعه مورچگان و ... می‌تواند مشکل روش‌های بهینه‌سازی ریاضی برای حل مسایل غیرخطی که به دام افتادن در نقاط بهینه موضعی می‌باشد را برطرف نماید. در این پژوهش 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 دو الگوریتم اجتماع مورچگان (ACO) و رقابت استعماری (ICA) که یکی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری نوین به‌شمار می‌رود و همچنین تأثیر اعمال قیود زنجیره‌ای در بدنه الگوریتم‌ها و همچنین تعیین مناسب‌ترین مقادیر برای پارامترهای این الگوریتم‌ها بوده است. نتایج نشان داد، در مواردی که الگوریتم‌های ICA و ACO قادر به یافتن جواب شدنی نبوده‌اند با اعمال قیود زنجیره‌ای این الگوریتم‌ها قادر به یافتن جواب

تمامی اجراهای برنامه جواب‌های شدنی حاصل شده است. نتایج این پژوهش، با نتایج پژوهش برهانی داریان و نایینی (۶) که نشان داد الگوریتم GA بهتر از الگوریتم مورچگان عمل نموده نیز مطابقت دارد.

مورچگان نخبه مورد بررسی قرار داده بودند نیز نشان می‌دهد که الگوریتم مقید (با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای) جواب‌های بهتری را نسبت به الگوریتم نامقید (بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای) یافته است و همچنین با به کارگیری قیود زنجیره‌ای در

منابع

1. Afshar, M.H., Rezaee Sangdehi, A., and Moeini, R. 2011. Optimal Reservoir Operation Using Deterministic Adaptive Refinement Mechanism for Ant Algorithm. J. Civil Engin. 1p. (In Persian)
2. Ahmadian, M.R., Farid Hoseini, A.R., and Hojati, A. 2013. Multi-Optimization Using Imperialist Computation Algorithm. 5th Conference on Water Resource Management, Tehran, Iran. (In Persian)
3. Atashpaz-Gargari, E. 2008. Social Optimization Algorithm Development and Performance Review. M.Sc. thesis, Department of Electrical and Computer Engineering. (In Persian)
4. Azarafza, H., Rezaee, H., Behmanesh, J., and Besharat, S. 2012. Results Comparison of Employing PSO, GA and SA Algorithms in Optimizing Reservoir Operation (Case Study: Shaharchai Dam, Urmia, Iran). J. Water Soil. 26: 5. 1101:1108. (In Persian)
5. Daryan, A.R., and Moradi, A.M. 2009. Reservoir Operating by Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACOR) Case Study: Dez Reservoir. Inter. J. Engin. Appl. Sci. 5: 6. 18-27.
6. Daryan, A., and Naiini, M. 2008. Comparison of heuristic techniques in optimal operation of water resources. J. Water Wastewater. 1: 2. 57-66. (In Persian)
7. Daryan, A.R., and Farahmandfar, Z. 2012. A Comparative Study of Marriage in Honey Bee's Optimization (MBO) Algorithm in Multi-Reservoir System Optimization. Water SA. 39: 2. 327-334.
8. Dorigo, M., Maniezzo, V., and Colorni, A. 1996. The ant system: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEEET transaction on systems, Man, Cybernetics-part B. 26: 29-41.
9. Fallah-Mehdipour, E., Bozorg Haddad, O., and Mariño, M.A. 2011. MOPSO Algorithm and Its Application in Multipurpose Multi-Reservoir Operations. J. Hydro-Inf. 14: 4. 794-811.
10. Jedari Eyvazi, J., Moghimi, A., Yamani, M., and Mohammadi, H. 2010. Effects of Ecogeomorphological Parameters on Chemical Water Quality Case Study: Kor River and Doroodzan Dam Lake. J. Geograph. Environ. Plan. 32: 17-37. (In Persian)
11. Liu, Y. 2009. Automatic Calibration of a Rainfall-Runoff Model Using a Fast and Elitist Multi-Objective Particle Swarm Algorithm. Expert Systems with Applications. 36: 14. 9533-9538.
12. Moini, R., and Afshar, M.H. 2008. Constraint Ant Colony Optimization for Solution of Serialis constraint problems. Third conference of Iran water resource management. University of Tabriz, Tabriz.
13. Norozi, B., Barani, G.H.A., Meftah Halghi, M.M., and Dehghani, A.A. 2011. A Multi-Reservoir System Operation Optimization Using Multi Population Genetic Algorithms (Case Study: Golestan and Voshmgir Reservoirs). J. Water Soil Cons. 18: 2. 14-27. (In Persian)
14. Wu, X., Wei, X., and Guo, W. 2012. Multi-Objective Ecological Operation Model of Cascade Hydropower Reservoirs. International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE). Preceding Engineering. 29: 12. 3996-4001.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(6), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Comparison of imperialist competitive algorithm (ICA) and ant colony algorithm (ACO) for optimizing exploitation of Doroudzan reservoir with application of chain constraints approach

M.J. Zeynali¹, *O. Mohamad Reza Pour² and F. Frooghi³

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Resource Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran,

²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering University of Zabol, Zabol, Iran,

³Instructor, Darab College of Agriculture and Natural Resources, University of Shiraz

Received: 05/11/2014; Accepted: 02/02/2015

Abstract

Background and Objectives: Optimizing the operation of reservoirs is the most important issue in water science and engineering which has been resolved through a variety of traditional optimization methods. One of these methods is optimizing using the meta-heuristic algorithms. The researchers around the world show the performance of meta-heuristic algorithms performance has been far better than procedures such as linear programming. The aim of this study is to evaluate the performance of imperialist competitive algorithm (ICA) and ant colony algorithm (ACO) with application of chain constraints.

Materials and Methods: In this research, ICA, is used to solve the optimization problem of reservoirs operation. The approach taken in this research is application of relationship continuity in determining the initial position of countries, which has been proposed as a chain constraints. The results of applying the chain constraints and lack of application of the chain constraints have been compared and consequently these results have been compared with one of well - known algorithm named as ant colony algorithm.

Results: The results indicated that imperialist competitive algorithm without considering the continuity equation, was rarely able to find possible answer and applying the chain constraints to determine the initial position of countries, enhanced the performance of algorithm more efficiently and it leads to even better performance compared to ant colony algorithm and find an appropriate value for the objective function, so that after running ten times, the mean for objective function for imperialist competitive algorithm was 15.822 and for ant colony algorithm was 48.008.

Conclusion: Result have shown with chain constraints the ICA and ACO algorithms have been unable to find feasible solution and their performance is fairly high. Therefore the chain constraints can be applied as an essential element in enhancing the efficiency of these algorithms. Also the results of the comparison between the algorithms has shown that ICA algorithm performance has been far better than ACO algorithm.

Keywords: Optimization, Meta-heuristic algorithm, Imperialist competitive algorithm, Ant colony algorithm, Chain constraints

* Corresponding Author; Email: mohammadrezapour@uoz.ac.ir