

کاربرد الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری (ICA) در تخصیص بهینه‌ی آب مخزن سد گلستان

سمیرا کرد^۱، سیدمهدی حسینی^{۲*}، علی سردار شهرکی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۵

مقاله پژوهشی

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و در پی آن کاهش آبدهی رودخانه‌های حوزه آبریز گرگانرود و همچنین کاهش شدید حجم آب ذخیره شده در پشت سد گلستان طی سال‌های اخیر، بازنگری در مسأله تخصیص آب امری ضروری بنظر می‌رسد. از اینرو در این تحقیق مقادیر بهینه‌ی برداشت آب از مخزن سد گلستان با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) که یکی از الگوریتم‌های پیوسته‌ی فراکاوشی مبتنی بر تکامل سیاسی-اجتماعی است، محاسبه شده است. در این پژوهش پارامترهای مناسب الگوریتم رقابت استعماری با سعی و خطا محاسبه گردید و سپس در پنج مرتبه اجرای این الگوریتم در اولین اجرا در تکرار ۱۲۴۰ مقدار ۲/۶۲۳۳ میلیون مترمکعب برای تابع هدف، در اجرای دوم در تکرار ۱۲۵۶ مقدار تابع هدف ۲/۴۹۴۷ میلیون مترمکعب، در سومین اجرا در تکرار ۱۲۷۱ مقدار تابع هدف ۱/۹۲۷۱ میلیون مترمکعب، تکرار ۱۳۰۰ در چهارمین اجرا مقدار ۱/۳۰۴ میلیون مترمکعب برای تابع هدف، و در اجرای پنجم و تکرار ۱۴۵۰ مقدار تابع هدف ۱/۲۴۷۳ میلیون متر مکعب بدست آمده است. مقایسه بین مقادیر تابع هدف بیانگر آن است که با افزایش تعداد تکرارها مقدار تابع هدف کاهش یافته است. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده عملکرد خوب این الگوریتم می‌باشد. مقادیر بهینه رهاسازی حاصل از الگوریتم در طول دوره آماری همواره دارای نوسان بوده است بطوریکه در سه سال اول روند افزایشی، سال چهارم و پنجم کاهش، ششم و هفتم افزایش، هشتم و نهم کاهش و در نهایت در سال دهم مجدداً افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم رقابت استعماری، بهینه‌سازی، تخصیص آب، مخزن سد گلستان

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
ایمیل: s_kord85@yahoo.com

^۲ نویسنده مسئول: استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
ایمیل: shseyedmahdi46@gmail.com. تلفن: ۰۹۳۷۴۱۱۰۵۷۲

^۳ استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
ایمیل: a.shahraki65@gmail.com

مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت، استفاده بیش از پیش آب در بخش‌های صنعتی و کشاورزی و بالا رفتن میزان مصارف عمومی باعث افزایش بهره‌برداری از منابع آب شده است (مختاری و قادری، ۱۳۸۷). این در حالی است که علاوه بر محدودبودن منابع آب، با کاهش بارش‌ها در سال‌های اخیر مقدار آن‌ها رو به کاهش می‌باشد (Sardar Shahraki et al., 2019). در این وضعیت نهاده آب بعنوان یک نهاده با ارزش تلقی می‌شود که بایستی به صورت بهینه مورد استفاده قرار گیرد. جهت مدیریت صحیح و استفاده بهینه آب بایستی به تخصیص بهینه و رعایت اولویت‌ها بین بخش‌ها، مناطق و مصارف مختلف توجه جدی شود (عراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). در کشور ایران که حدود ۷۵ درصد مساحت آن با کمبود جدی آب مواجه است، مسئله بسیار جدی و قابل تأمل است (کرامت‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). از آن جا که کاهش بارندگی و کمبود آب، پدیده‌ای اقلیمی برای کشور محسوب می‌شود و قابل کنترل نمی‌باشد، بنابراین بایستی استفاده بهینه از منابع آب موجود مرکز توجه قرار گیرد، تا بتوان با کمترین آسیب‌پذیری نیازهای جامعه را برطرف نمود.

استان گلستان، با توجه به موقعیت جغرافیایی خود، با این که وسعت کمی دارد از آب‌وهوای گوناگونی برخوردار است. شمال شرق استان، به ویژه در شرق دریای خزر و حدفاصل گرگان‌رود تا مرز ترکمنستان، به علت دوری از اثرات دریای خزر، کاهش ارتفاعات البرز شرقی، وسیع‌بودن جلگه ساحلی و نزدیکی به بیابان‌های قره‌قوم و قزل‌قوم در جمهوری‌های آسیای میانه، تغییرات محسوس در آب‌و-هوای معتدل مرطوب خزری (خزری شرقی) پدید می‌آید و شرایط خشکی و گرمای هوا تشدید می‌شود و رفته رفته به اقلیم نیمه خشک (نیمه بیابانی) تبدیل می‌شود و میزان بارندگی سالانه کاهش می‌یابد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۷). در حال حاضر با توجه به تغییرات اقلیمی و در پی آن کاهش آبدی رودخانه‌های حوزه آبریز گرگان‌رود و همچنین کاهش شدید حجم آب ذخیره شده در پشت سد گلستان طی سال‌های اخیر، بازنگری در مسأله تخصیص آب

ضروری بنظر می‌رسد (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۲). بهره‌برداری از سد مخزنی گلستان واقع در ۱۲ کیلومتری شمال-شرقی شهر گنبدکاووس بر رودخانه گرگان‌رود، از سال ۱۳۷۹ آغاز شده است (ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۵). هدف از احداث آن توسعه و بهبود اراضی ساحل راست گرگان‌رود با استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار، کمک به بهبود اراضی فعلی شبکه آبیاری سد وشمگیر و کنترل و مهار سیلاب‌های مخرب سالانه می‌باشد. نیازهای پایین دست سد گلستان شامل کشاورزی، رهاسازی برای سد وشمگیر و زیست‌محیطی است (اکبری فرد و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به محدودیت شدید منابع آب و وقوع دوره‌های خشک‌سالی، توجه به مدیریت صحیح مخازن سدها در کشور کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. در طی سال‌های اخیر در آبدی رودخانه‌های حوزه گرگان‌رود در استان گلستان روند کاهشی محسوسی مشاهده می‌شود که مهم‌ترین دلیل آن می‌تواند تغییرات اقلیمی رخ داده طی یک دهه اخیر باشد. همچنین حجم آب ذخیره شده سدهای در حال بهره‌برداری در این حوزه آبریز (بوستان، گلستان و وشمگیر) بشدت کاهش یافته است و در بیشتر ایام سال آب موجود و قابل استحصال به مراتب از حقابه‌های آن حوزه کمتر است و در تأمین تخصیص‌ها خطر کمبود آب احساس می‌شود. در نتیجه با توجه به کمبود آبدی‌های دهه اخیر، اصلاح و تعدیل تخصیص‌های منابع آب ضروری بنظر می‌رسد (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۲). این مقاله با هدف بهینه‌سازی تخصیص آب مخزن سد گلستان با روش الگوریتم فرا ابتکاری رقابت استعماری انجام شده است.

با توجه به متفاوت بودن زمان آبدی رودخانه‌ها و عدم مطابقت آن با نیازهای موجود، اعتمادپذیری تأمین آب کاهش یافته و باعث بروز خسارت در بخش‌های مختلف می‌شود. از همین رو برای استفاده مناسب از آب ذخیره شده در سدها باید به مسأله بهره‌برداری بهینه از مخازن نگاه ویژه‌ای داشت (Sardar Shahraki et al., 2018). بهره‌برداری از مخازن سدها از جمله مسائل مهمی است که تاکنون از طریق انواع روش‌های بهینه‌سازی به آن پرداخته شده است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود: در

مورچگان در مدل شبیه سازی- بهینه سازی استفاده کردند. نتایج بدست آمده با استفاده از این دو روش نشان دهنده عملکرد بهتر الگوریتم رقابت استعماری بود (Afshar et al., 2014). در مطالعه‌ای برنامه تحویل و توزیع ارائه شده در شبکه آبیاری با استفاده از الگوریتم‌های رقابت استعماری و PSO^۳ بهینه‌سازی شد و با نتایج الگوریتم ژنتیک مقایسه شد. در نتیجه این مطالعه مشخص شد عملکرد الگوریتم رقابت استعماری نسبت به دو الگوریتم دیگر بهتر است (Qaderi Nasab et al., 2015). در پژوهشی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهره‌برداری بهینه از مخزن یوکای (Ukai) در هند پرداختند. نتایج نشان داد که GA می‌تواند به طور کامل نیازهای پایین دست آبیاری را تأمین کند و رهاسازی را به حداقل برساند که منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در آب می‌شود (Sonalija and Suryanarayana, 2014). در مطالعه‌ای دیگر مروری کلی بر مسائل بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از روش‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت، شامل الگوریتم‌های GA و PSO انجام دادند. نتایج حاکی از برتری الگوریتم PSO نسبت به الگوریتم GA در اکثر مطالعات انجام شده بوده است (Ajibola and Adewumi, 2014).

مواد و روش‌ها

الگوریتم رقابت استعماری (ICA): این الگوریتم که بر پایه رشد و تکامل امپراطوری‌ها بنا شده است، اولین بار توسط آتش‌پزگرگری (۱۳۸۷) مطرح شده است. الگوریتم ابتدا از چندین کشور در حالت اولیه شروع به کار می‌کند. کشورها همان کرموزوم در الگوریتم ژنتیک می‌باشند. کشورها به دو دسته کشورهای استعمارگر و کشورهای تحت استعمار تقسیم می‌شوند (آتش‌پزگرگری، ۱۳۸۷). الگوریتم با روندهای خاصی به آرامی به بهبود کشورها (جواب‌های مسئله) می‌پردازد و در نهایت، جواب مناسب (کشور مطلوب) مسئله بهینه‌سازی بدست می‌آید. سیاست جذب یا همگون‌سازی، رقابت استعماری و انقلاب از ارکان مهم این الگوریتم بشمار می‌آیند. این الگوریتم جواب‌های

پژوهشی از الگوریتم رقابت استعماری در حل مسأله بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها با اعمال قیود زنجیره‌ای استفاده شده است. نتایج نشان داد که الگوریتم رقابت استعماری بدون در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای به ندرت توانایی یافتن جواب‌های شدنی را دارا می‌باشد و اعمال قیود 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 (زینلی و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی دیگر جهت بهینه‌کردن عملکرد یک مخزن تک‌منظوره برای آبیاری گیاهان زراعی، الگوریتم ژنتیک (GA^۱) را با برنامه‌ریزی خطی (LP^۲) مقایسه کردند. نتایج تحقیق نشان داد که عملکرد GA در توزیع آب بین مراحل مختلف رشد تفاوت قابل قبولی دارد (Kumar et al., 2006). در مطالعه‌ای مدل بهینه‌سازی مخزن مبتنی بر الگوریتم ژنتیک نخبه‌گرا را با هدف تعیین رهاسازی‌های بهینه با در نظر گرفتن اثرات ناهمگونی سطح منطقه توسعه دادند. نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند سود خالص و میزان زمین‌های تحت کشاورزی را افزایش دهد (Garudkar et al., 2011). 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 (Daryan and Farahmandfar, 2012). در تحقیقی بهره‌برداری بهینه از مخزن کارون چهارم با هدف کمینه کردن آسیب پذیری برقایی برای یک دوره‌ی ۱۰ ساله توسط الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک انجام دادند. نتایج حاصل از دو الگوریتم نشان داد که الگوریتم رقابت استعماری دارای قدرت بالاتری در رسیدن به جواب بهینه است (عراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیقی مجموعه منحنی‌های فرمان بهینه را برای بهره‌برداری یک سیستم تک‌مخزنه با هدف تأمین آب و تولید انرژی برقایی توسعه دادند و برای رسیدن به این هدف از الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم

3- Particle swarm optimization algorithm
4- Colonial competition algorithm

1- Genetic Algorithm
2- linear planning

استعماری میان امپراطوری‌ها به جست‌وجوی بهترین کشور می‌پردازد (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

برای شروع الگوریتم، ما ابتدا یک سری کشور $N_{country}$ تعریف می‌کنیم و از میان آنها تعدادی از بهترین‌ها به عنوان امپریالیسم N_{imp} که دارای کمترین میزان تابع هزینه نیز می‌باشد را انتخاب می‌کنیم. هر چه که در این میان باقی می‌ماند به عنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شود که با N_{col} نشان داده می‌شود. سپس با توجه به قدرت هر کدام از امپریالیسم‌ها کشورهایی به آنها تخصیص داده می‌شود (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱). برای تخصیص کشورهای باقی‌مانده به کشورهای امپریالیسم به میزان قدرت و هزینه نرمالیزه شده آن کشورها دقت می‌شود.

$$C_n = \max\{c_i\} - c_n \quad (5)$$

که در اینجا C_n هزینه امپریالیست n ام، C_n هزینه نرمالیزه امپریالیسم n ام، $\max\{c_i\}$ بیشترین هزینه میان امپریالیست‌ها می‌باشد. هر چه هزینه‌های یک امپریالیسم بیشتر باشد یعنی ضعیف‌تر باشد، هزینه نرمالیزه کمتر خواهد بود. بنابراین قدرت امپریالیسم جهت تخصیص کشورهای مستعمره از فرمول زیر بدست می‌آید: (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱).

$$p_n = \left| \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{var}} C_i} \right| \quad (6)$$

به عبارت دیگر، قدرت نرمالیزه شده یک امپریالیست، نسبت مستعمراتی است که توسط آن امپریالیست اداره می‌شود. بنابراین تعداد اولیه مستعمرات یک امپریالیست برابر خواهد بود با:

$$N.C_n = \text{round}\{P_n - (N_{col})\} \quad (7)$$

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. Round نیز تابعی است که نزدیکترین عدد صحیح به یک عدد اعشاری را می‌دهد. با در نظر گرفتن $N.C_n$ برای هر امپراطوری، به این تعداد از کشورهای مستعمره اولیه به صورت تصادفی

مسئله که همان کشورها می‌باشد را در یک حلقه تکرار قرار می‌دهد و آنها را به تدریج بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه می‌رسد (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱).

شکل‌دهی امپراطوری: در بهینه‌سازی، هدف یافتن

یک جواب بهینه برحسب متغیرهای مسأله است. یک آرایه از متغیرهای مسأله که باید بهینه شوند، ایجاد می‌شود. در اینجا آرایه‌ی مورد نظر یک کشور نامیده می‌شود. در یک مسأله بهینه‌سازی N_{var} بعدی، یک کشور یک آرایه $N_{var} \times 1$ است. این آرایه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Country} = [p_1, p_2, \dots, p_{N_{var}}] \quad (1)$$

برای شروع الگوریتم باید تعدادی از این کشورها ایجاد شوند. بنابراین ماتریس کل کشورها به صورت تصادفی اولیه تشکیل می‌شود:

$$\text{COUNTRY} = \begin{bmatrix} \text{country}_1 \\ \dots \\ \text{country}_n \\ [R_1, R_2, R_3, \dots, R_{12}] \\ \dots \\ [R_{n-9}, R_{n-8}, \dots, R_n] \end{bmatrix} = \quad (2)$$

هزینه یک کشور با ارزیابی تابع f در متغیرهای $(P_1, P_2, \dots, P_{N_{var}})$ یافته می‌شود. رابطه زیر بیانگر این مسئله است:

$$\text{Cost}_i = f(\text{country}_i) = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}) \quad (3)$$

در بهینه‌سازی مخزن با هدف حداقل‌سازی کمبودها، این تابع به شکل رابطه زیر خواهد بود:

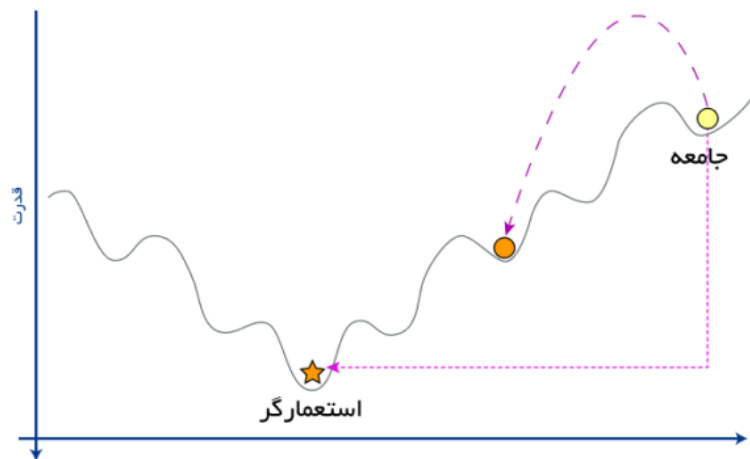
$$F = \sum_{i=1}^{12} (D_i - R_i)^2 \quad (4)$$

در این رابطه: D_i نیازهای پایین‌دست و P_i مقادیر رهاسازی مخزن است. در این الگوریتم هدف تعیین بهترین کشور (با کمترین خسارت) است. الگوریتم معرفی شده با تولید یک دسته اولیه از متغیرهای مسئله و دسته بندی آنها در قالب امپراطوری‌ها و اعمال سیاست جذب از طرف استعمارگران به روی مستعمرات و همچنین با ایجاد رقابت

تأسیس دانشگاه‌ها و اعمال زبان رسمی خود در محیط‌های آموزشی، تغییرات در سنت‌ها و فرهنگ، عمران و آبادانی (ساخت راه آهن، بیمارستان و...) استفاده نمودند.

انتخاب شده و به امپریالیست ام داده می‌شود. با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوری‌ها، الگوریتم رقابت استعماری شروع می‌شود؛ روند تکامل در یک حلقه قرار دارد که تا برآورده شدن یک شرط توقف، ادامه می‌یابد (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

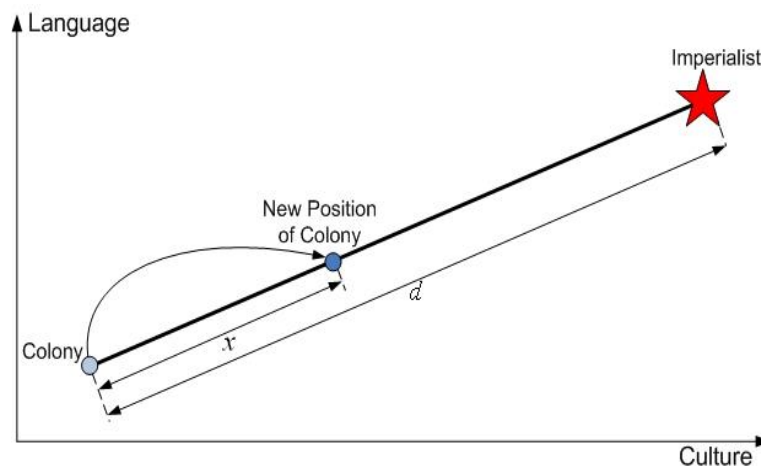
سیاست جذب: کشورهای استعمارگر برای نفوذ بیشتر در کشورهای مستعمره از روش‌های مختلفی از جمله



شکل (۱): حرکت یک کشور مستعمره به سمت کشور استعمارگر (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱)

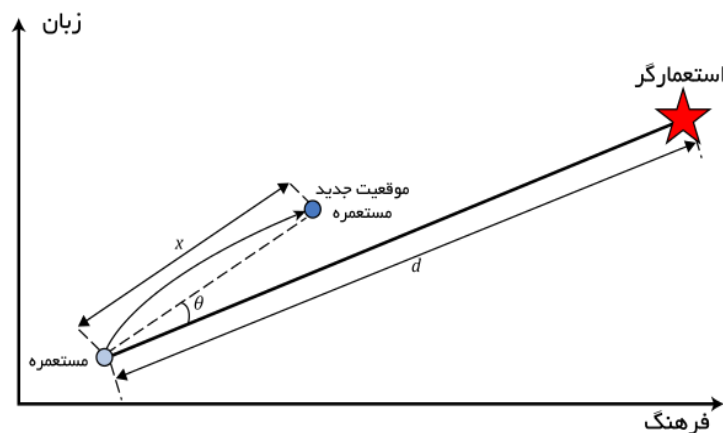
مستعمره به استعمارگر حرکت کرده و به موقعیت کشانده می‌شود. X عددی تصادفی با توزیع یکنواخت (و یا هر توزیع مناسب دیگر) می‌باشد. (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱). شکل زیر حرکت خطی کشور مستعمره به سمت کشور استعمارگر را نشان می‌دهد.

بعنوان مثال در کشور هند که از مستعمرات انگلیس بوده مشاهده می‌شود که هنوز در صحبت‌های خود از واژگان زبان انگلیسی استفاده می‌کنند. در واقع تلاش بر این بود که با تحلیل فرهنگی و اجتماعی حکومت مرکزی، و تعقیب سیاست‌های جذب به همگون‌سازی و تشکیل یک انگلیس نو و یا یک فرانسه نو باشند. در راستای این سیاست، کشور مستعمره، به اندازه X واحد در جهت خط واصل



شکل (۲): حرکت خطی مستعمره در راستای استعمارگر (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱)

باعث می‌شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود. البته این حقیقت تاریخی در سیاست جذب وجود داشته که همیشه این روند مطابق میل کشورهای امپریالیسم نبوده، و درصدی زاویه انحراف نیز وجود داشته است. بنابراین زاویه انحراف نیز در نظر گرفته می‌شود (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱). مطابق شکل زیر:



شکل (۳): اعمال سیاست جذب در الگوریتم رقابت استعماری (نوری و همکاران، ۱۳۹۶)

پیشرفت در کشورهای خود بودند. از نمونه‌های بارز آن گاندی در هند و نقش مهم وی در انقلاب و استقلال هند بود. از سوی دیگر، این کشورهای استعمارگر در اوج قدرت سیاسی و نظامی خود سقوط می‌کردند و قدرت در دست کشورهای می‌افتاد که تا به آن روز قدرتی در دست‌شان نبوده است. نکته مهم اینکه در حرکت مستعمره به سمت استعمارگر، گاهی پیش می‌آید که کشور مستعمره به موقعیت برتری نسبت به استعمارگر خود برسند. یعنی هزینه کمتری نسبت به استعمارگر خود خواهد داشت. حالا کشور استعمارگر جدید شروع به اعمال سیاست‌های جذب نسبت به مستعمره‌های خود می‌کند (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱).

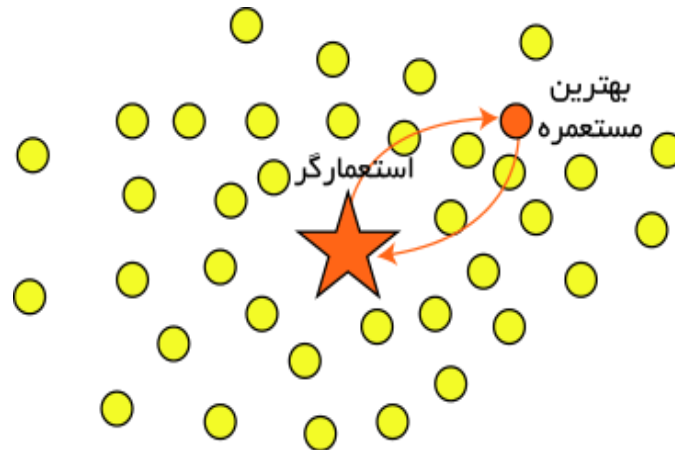
اگر فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شود، معمولاً برای d داریم:

$$x \sim U(0, \beta \times d) \quad (۸)$$

که در آن β عددی بزرگتر از یک و نزدیک ۲ می‌باشد. یک انتخاب مناسب می‌تواند $\beta=۲$ باشد. وجود ضریب $\beta \geq 1$

θ نیز مانند X کاملاً تصادفی انتخاب می‌شود. که معمولاً، θ بازه شامل $[\lambda -$ و $\lambda]$ می‌باشد. λ پارامتری دلخواه می‌باشد که افزایش باعث افزایش جستجوی اطراف امپریالیست شده و کاهش آن نیز باعث می‌شود تا مستعمرات تا حد ممکن، به آن بردار واصل مستعمره به استعمارگر نزدیک حرکت کنند. λ را در پیاده‌سازی‌ها زاویه‌ای نزدیک ۴۵ درجه در نظر می‌گیرند (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

جابه‌جایی قدرت بین استعمارگر و مستعمره: بر اثر اعمال برخی سیاست‌ها توسط کشورهای استعمارگر، کشورهای مستعمره به نوعی خودباوری رسیدند. افرادی که برای تحصیل به کشورهای غربی سفر کرده و شاهد پیشرفت آن کشورها بودند، خواهان اعمال این مسیرهای



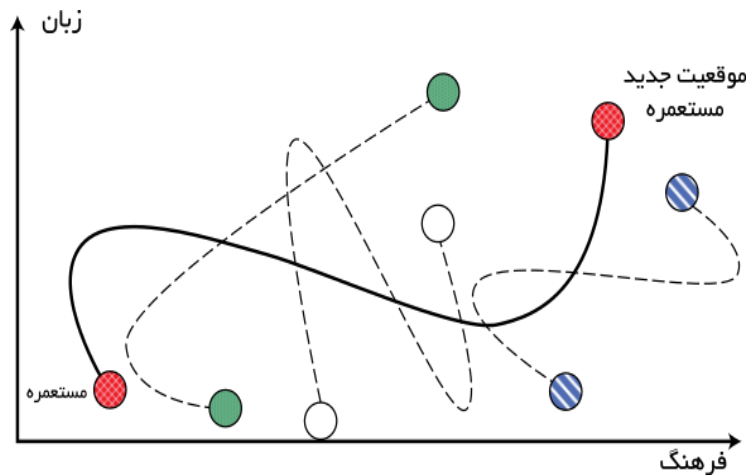
شکل (۴): جابجایی موقعیت مستعمره و استعمارگر (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱)

انقلاب: بروز انقلاب تغییرات ناگهانی را در ویژگی‌های اجتماعی-سیاسی یک کشور ایجاد می‌کند. انقلاب در الگوریتم رقابت استعماری، با جابجایی تصادفی یک کشور مستعمره به یک موقعیت تصادفی جدید مدلسازی می‌شود. از دیدگاه الگوریتمی انقلاب باعث می‌شود کلیت حرکت تکاملی از گیرکردن در دره‌های محلی بهینگی نجات یابد که در بعضی موارد باعث بهبود موقعیت یک کشور شده و آن را به یک محدوده بهینگی بهتری می‌برد. شکل (۵) تغییرات ناگهانی در موقعیت یک کشور را نشان می‌دهد. (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱).

قدرت کل یک امپراطوری: قدرت یک امپراطوری برابر است با قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن. بدین ترتیب هزینه کل یک امپراطوری از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T.C_n = \text{Cost (imperialistn)} + \xi \text{ mean \{Cost (coloneis of empiren)\}} \quad (9)$$

که در آن $T.C_n$ هزینه کل امپراطوری n ام و ξ عددی مثبت است که معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود. کوچک در نظر گرفتن ξ ، باعث می‌شود که هزینه کل یک امپراطوری، تقریباً برابر با هزینه حکومت مرکزی آن (کشور امپریالیست) شود و افزایش ξ نیز باعث افزایش تأثیر میزان هزینه مستعمرات یک امپراطوری در تعیین هزینه کل آن می‌شود. در حالت نوعی $\xi = 0.05$ در اکثر پیاده سازی به جواب مطلوبی منجر شده است (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل (۵): اعمال سیاست انقلاب (نوری و همکاران، ۱۳۹۶)

$$P_{Pn} = \left| \frac{N.T.C.n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} N.T.C.n} \right| \quad (11)$$

با داشتن احتمال تصاحب هر امپراطوری، مکانیزمی همانند چرخه رولت در الگوریتم ژنتیک مورد نیاز است تا مستعمره مورد رقابت را با احتمال متناسب با قدرت امپراطوری‌ها در اختیار یکی از آنها قرار دهد. در کنار امکان استفاده از چرخ رولت موجود، در این نوشتار مکانیزم جدیدی برای پیاده‌سازی این فرایند معرفی شده است که نسبت به چرخه رولت دارای هزینه محاسباتی بسیار کمتری می‌باشد. زیرا عملیات نسبتاً زیاد مربوط به محاسبه تابع توزیع جمعی احتمال را که در چرخه رولت مورد نیاز است را حذف می‌کند و فقط به داشتن تابع چگالی نیاز دارد. در ادامه مکانیزم مطرح شده برای اختصاص متناسب با احتمال مستعمره مورد رقابت به امپراطوری‌های رقیب توضیح داده می‌شود (نوری و همکاران، ۱۳۹۶). با داشتن احتمال تصاحب هر امپراطوری، برای اینکه مستعمرات مذکور را به صورت تصادفی، ولی با احتمال وابسته به احتمال تصاحب هر امپراطوری، بین امپراطوری‌ها تقسیم کنیم؛ بردار P از روی مقادیر احتمال فوق، به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$P = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_{N_{imp}}] \quad (12)$$

بردار P دارای سایز $1 \times N_{imp}$ می‌باشد و از مقادیر احتمال تصاحب امپراطوری‌ها تشکیل شده است. سپس بردار تصادفی R همسایز با بردار P تشکیل می‌شود. آرایه‌های

رقابت استعماری: رقابت استعماری، همان رقابتی

است که کشورهای امپریالیسم برای بدست آوردن نفوذ و قدرت بیشتر در جهت بقای گستره سلطنت خود انجام می‌دهند. کشورهای استعمارگر که قدرت خود را از دست می‌دهند، به تدریج مستعمره‌های خود را نیز از دست می‌دهند، و کشورهای استعمارگر قدرتمند دیگر آن کشورهای مستعمره از دست رفته کشور ضعیف شده را را زیر نفوذ خود می‌گیرند. ادامه این روند باعث سقوط امپراطوری ضعیف شده خواهد شد (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱). برای مدل‌سازی رقابت میان امپراطوری‌ها برای تصاحب این مستعمرات، ابتدا احتمال هر امپراطوری (که متناسب با قدرت آن امپراطوری می‌باشد)، با در نظر گرفتن هزینه کل امپراطوری، به ترتیب زیر محاسبه می‌شود. ابتدا از روی هزینه کل امپراطوری، هزینه کل نرمالیزه شده آن تعیین می‌شود:

$$N.T.C.n = \max\{T.C.i\} - T.C.n \quad (10)$$

در این رابطه $T.C.n$ هزینه کل امپراطوری m ام و $N.T.C.n$ هزینه کل نرمالیزه شدن آن امپراطوری است. در این رابطه هر چه $T.C.n$ کمتر باشد $N.T.C.n$ بیشتری خواهیم داشت. با این حساب قدرت تصاحب مستعمره رقابت، توسط هر امپراطوری، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

مستعمرات توسط یک امپراطوری واحد اداره می‌شوند. در واقع موقعیت‌ها و هزینه‌های مستعمرات، برابر با موقعیت و هزینه کشور استعمارگر است. در این دنیای جدید و ایده‌آل دیگر فرقی بین کشورهای مستعمره و استعمارگر وجود نخواهد داشت. در واقع نه کشور استعمارگر خواهیم داشت و نه کشور مستعمره و بنابراین رقابت استعماری نخواهد بود. در نتیجه الگوریتم به پایان می‌رسد (نقاشی و همکاران، ۱۳۹۱). در این پژوهش که بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد (گلستان) مورد نظر بوده، تابع هدف حداکثرسازی میزان تأمین نیاز بخش‌های مختلف از مخزن سد گلستان است:

$$\text{Function} = \max \lambda_t \quad (16)$$

در این رابطه λ مقدار تأمین نیاز است که باید حداکثرسازی شود و t دوره‌های مدنظر می‌باشد.

محدودیت‌های سیستم: بیلان آب در مخزن توسط رابطه پیوستگی تعیین می‌گردد که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود. از این رابطه در فرآیند الگوریتم برای بدست آوردن حجم مخزن در هر گام زمانی استفاده می‌شود:

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t - S_{Pt} \quad (17)$$

S_{t+1} : ذخیره مخزن در انتهای دوره t

S_t : ذخیره ابتدای دوره t

I_t : جریان ورودی مخزن در دوره t

R_t : رهاسازی مخزن در دوره t

E_t : حجم تبخیر از سطح مخزن

S_{Pt} : سرریز مخزن

حجم تبخیر در هر بازه زمانی تابعی از سطح مخزن و ارتفاع تبخیر است. رابطه سطح و حجم مخزن با روندیابی داده‌های سطح-حجم-ارتفاع مخزن تعیین شده است. مقدار سطح مخزن تعیین و با ضرب در ارتفاع تبخیر، حجم تبخیر بوسیله رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

این بردار، اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ می‌باشند:

$$R = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{imp}}] \quad (13)$$

$$r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{imp}} \sim U(0,1) \quad (14)$$

سپس بردار D به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\begin{aligned} D = P - R &= [D_1, D_2, D_3, \dots, D_{N_{imp}}] \\ &= [P_1 - r_1, P_2 - r_2, P_3 \\ &\quad - r_3, \dots, P_{N_{imp}} - r_{N_{imp}}] \end{aligned}$$

با داشتن بردار D ، مستعمرات مذکور را به امپراطوری‌ای می‌دهیم که اندیس مربوط به آن در بردار D بزرگتر از بقیه باشد. امپراطوری‌ای که بسترین احتمال تصاحب را داشته باشد، با احتمال بیشتری اندیس مربوط به آن در بردار D بیشترین مقدار را خواهد گرفت. عدم نیاز به محاسبه CDF باعث می‌شود که این مکانیزم نسبت به چرخه رولت با سرعت بیشتری عمل کند. مکانیزم جدید مطرح شده نه تنها می‌تواند در اختصاص مستعمره به امپراطوری برحسب احتمال تصاحب آنها مفید باشد، بلکه به عنوان یک مکانیزم انتخاب برحسب احتمال می‌تواند جایگزین چرخه رولت در الگوریتم ژنتیک برای انتخاب والدین شود و سرعت اجرای عملیات در آن را تا حد زیادی افزایش دهد. با تصاحب مستعمره توسط یکی امپراطوری‌ها، عملیات این مرحله از الگوریتم نیز به پایان می‌رسد (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

سقوط امپراطوری‌های ضعیف: همان‌گونه که بیان شد، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، خواه‌ناخواه، امپراطوری‌های ضعیف به تدریج سقوط کرده و مستعمرات-شان به دست امپراطوری‌های قوی‌تر می‌افتد. شروط متفاوتی را می‌توان برای سقوط یک امپراطوری در نظر گرفت. در الگوریتم پیشنهاد شده، یک امپراطوری زمانی حذف شده تلقی می‌شود که مستعمرات خود را از دست داده باشد (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

همگرایی در الگوریتم رقابت استعماری: الگوریتم تا زمانی که یک شرط همگرایی فراهم آورد، اجرا خواهد شد و یا تا اتمام کل تکرارها ادامه خواهد داشت. در پایان این الگوریتم، یک امپراطوری باقی می‌ماند و همه‌ی

رهاسازی دوره قبل بستگی دارد. زیرا میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها، ذخیره مخزن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا این قید که به نوعی همان قید پیوستگی می‌باشد و همواره به صورت زنجیروار ادامه دارد و از آن به عنوان قید زنجیره‌ای می‌توان نام برد بایستی در بدنه الگوریتم اعمال شود (نوری و همکاران، ۱۳۹۶).

معرفی منطقه مورد مطالعه: سد مخزنی گلستان در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شرقی گنبدکاووس واقع شده است. حوزه آبریز سد مساحتی بالغ بر ۴۴۵۱ کیلومترمربع را شامل می‌شود که علاوه بر آب رودخانه گرگانرود، آب رودخانه‌های دوغ و اوغان نیز به این مخزن وارد می‌شود. سرریز سد با طول ۱۳۰ متر از نوع آزاد بتنی است که در تکیه‌گاه سمت چپ قرار گرفته است. تراز تاج سرریز ۱۵۵۰ مترمکعب بر ثانیه و ارتفاع آب روی سرریز در هنگام تخلیه بیشینه سیلاب محتمل (PMF) برابر با ۳/۳۵ متر است. آب عبوری از سرریز وارد رودخانه اوغان شده و از آنجا به رودخانه اصلی (گرگانرود) هدایت می‌شود (محمودیان شوشتری و همکاران، ۱۳۹۲). ویژگی‌های سد گلستان در جدول (۱) آورده شده است.

$$A_t = 3 \times 10^{-6} \times S_t^3 - 0.001 \times S_t^2 + 0.171 \times S_t + 0.149 \quad (18)$$

$$E_t = A_t \times H_t \quad (19)$$

تعریف متغیرها همانند رابطه قبل می‌باشد. در این رابطه H_t ارتفاع تبخیر می‌باشد.

قیود دیگری که در مسأله بهینه‌سازی وجود دارد، این است که میزان رهاسازی از مخزن در هر دوره نباید از حدودی کمتر یا بیشتر باشد به عبارت دیگر همان‌طور که در معادله زیر مشخص است، رهاسازی در هر بازه R_t باید بین میزان رهاسازی مینیمم R_{Min} و میزان رهاسازی ماکزیمم R_{Max} باشد و از طرفی میزان حجم مخزن در هر دوره S_t نیز باید بین حجم مینیمم S_{Min} و حجم ماکزیمم مخزن S_{Max} باشد:

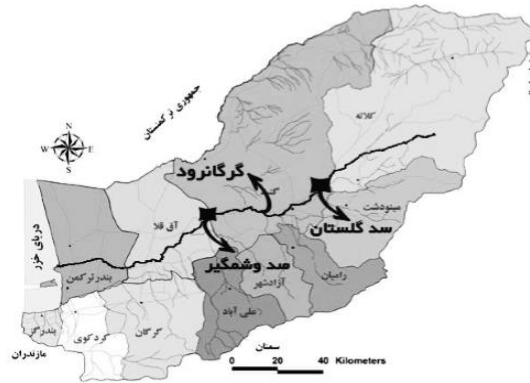
$$R_{Min} \leq R_t \leq R_{Max} \quad (20)$$

$$S_{Min} \leq S_t \leq S_{Max} \quad (21)$$

رهاسازی از مخزن سد، به ورودی‌ها و خروجی‌ها و همچنین به میزان تقاضا (نیاز) پایین دست و همچنین

جدول (۱). مشخصات سد گلستان

سد گلستان	ویژگی
خاکی	نوع سد
۱۳۷۸	سال شروع بهره برداری
۱۷	ارتفاع از کف (m)
۱۳۶۷	طول تاج (m)
۶۲	حجم کل (میلیون متر مکعب)
۶۰	حجم مفید (میلیون متر مکعب)
۴۹	تراز عادی (متر از سطح دریا)
۱۱۵	حجم آب قابل تنظیم سالیانه (میلیون متر مکعب)
۱۵۵۰	تخلیه سرریز ($m^3 \cdot s^{-1}$)
۱۰۰۰۰	سطح زیر کشت (ha)



شکل ۶. موقعیت سد گلستان بر روی رودخانه گرگان رود (اکبری فرد و همکاران، ۱۳۹۴)

نتایج و بحث

پارامترهای مناسب الگوریتم رقابت استعماری با سعی و خطا محاسبه و در جدول شماره (۲) آورده شده است.

جدول (۳). نتایج حاصل از پنج مرتبه اجرای الگوریتم رقابت

استعماری (ICA)

شماره اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
تعداد تکرار	۱۲۴۰	۱۲۵۶	۱۲۷۱	۱۳۰۰	۱۴۵۰
مقدار تابع هدف	۱/۶۲۳۳	۱/۴۹۴۷	۱/۹۲۷۱	۱/۳۰۴	۱/۲۴۷۳
تابع هدف	۲	۲	۱	۱	۱

جدول (۲). مقدار مناسب هر یک از پارامترهای الگوریتم رقابت

استعماری (ICA)

α	ϵ	AC	RC	NI	NC
۱	۰/۰۲	۱/۵	۰/۰۲	۱۱۰	۵۵۰

در جدول فوق مناسب‌ترین پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری که عبارتند از تعداد کشورها ۵۵۰، تعداد استعمارگران ۱۱۰، نرخ وقوع انقلاب ۰/۰۲، ضریب جذب ۱/۵، ضریب زتا ۰/۰۲ و آلفا ۱ مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از ۵ مرتبه اجرای الگوریتم رقابت استعماری با توجه به مقادیر بهینه پارامترهای این الگوریتم که در جداول فوق ارائه شد در جدول (۳) نشان داده شده است. شرایط توقف اجرای این الگوریتم به این صورت بوده است که اگر طی ۵۰ تکرار متوالی، مقدار تابع هدف بیش از ۰/۱ تغییر نداشت (کمتر نشد) اجرای برنامه متوقف شود.

همانطور که ملاحظه می‌گردد جدول فوق نتایج پنج مرتبه اجرای الگوریتم رقابت استعماری را نشان می‌دهد. در اجرای اول، تعداد تکرار ۱۲۴۰، مقدار تابع هدف ۱/۶۲۳۳ میلیون مترمکعب، اجرای دوم با تعداد تکرار ۱۲۵۶، مقدار تابع هدف ۱/۴۹۴۷ میلیون مترمکعب، اجرای سوم با تعداد تکرار ۱۲۷۱، مقدار تابع هدف ۱/۹۲۷۱ میلیون مترمکعب، اجرای چهارم با تعداد تکرار ۱۳۰۰، مقدار تابع هدف ۱/۳۰۴ میلیون مترمکعب، و در نهایت اجرای پنجم با تعداد تکرار ۱۴۵۰، مقدار ۱/۲۴۷۳ میلیون مترمکعب را برای تابع هدف نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است در اجرای پنجم مقدار کمتر و بهتری برای تابع هدف در مقایسه با اجراهای دیگر به دست آمده است.

جدول (۴). مشخصات آماری عملکرد الگوریتم رقابت استعماری در پنج مرتبه اجرا

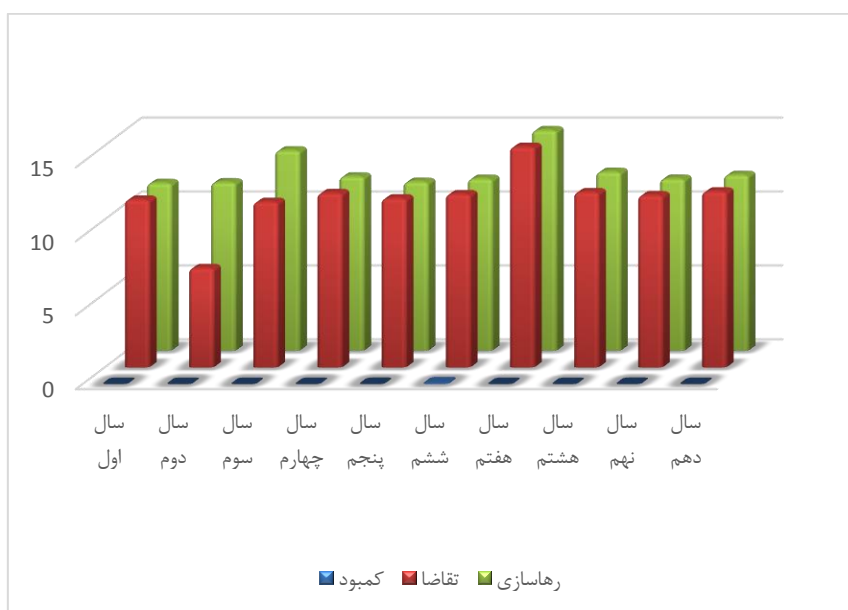
میانگین مقادیر تابع هدف	بهترین مقدار تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
۱/۹۱۹۲۸	۱/۲۴۷۳	۲/۶۲۳۳

در جدول (۴) مشخصات آماری الگوریتم رقابت استعماری در پنج مرتبه اجرا نشان داده شده است. میانگین مقادیر تابع هدف ۱/۹۱۹۲۸ میلیون مترمکعب، بهترین مقدار برای تابع هدف ۱/۲۴۷۳ میلیون مترمکعب و بدترین

مقدار برای تابع هدف در این الگوریتم ۲/۶۲۳۳ میلیون- مترمکعب بدست آمده است. جدول (۵) میانگین سالانه رهاسازی بهینه و تقاضا را طی دوره آماری نشان می‌دهد.

جدول (۵). میانگین سالانه رهاسازی بهینه و تقاضا در طول دوره آماری

سال	رهاسازی بهینه	تقاضا	کمبود
اول	۱۱/۳۵۰۳	۱۱/۳۵۲۲	۰/۰۰۱۹
دوم	۱۱/۳۹۸۱	۶/۷۲۰۱	۰
سوم	۱۳/۵۵۳۸	۱۱/۱۹۴۶	۰
چهارم	۱۱/۷۹۲۱	۱۱/۷۹۱۲	۰
پنجم	۱۱/۴۳۰۵	۱۱/۴۳۳۲	۰/۰۰۲۷
ششم	۱۱/۶۳۷۷	۱۱/۷۱۴۶	۰/۰۷۹۲
هفتم	۱۴/۹۲۰۵	۱۴/۹۲۰۱	۰
هشتم	۱۲/۱۰۴۳	۱۱/۸۵۵۱	۰
نهم	۱۱/۶۴۱۷	۱۱/۶۴۵۷	۰/۰۰۰۴
دهم	۱۱/۸۹۷۳	۱۱/۸۹۷۹	۰/۰۰۰۶



نمودار (۱). میزان کمبود، میانگین سالانه رهاسازی بهینه و تقاضا در طول دوره آماری

مقدار بهینه رهاسازی و تقاضا بصورت میانگین برای سال سوم به ترتیب ۱۳/۵۵۳۸ و ۱۱/۱۹۴۶ میلیون مترمکعب و کمبود صفر می‌باشد. در سال چهارم میانگین سالانه رهاسازی بهینه و تقاضا ۱۱/۷۹۲۱ و ۱۱/۷۹۱۲ میلیون مترمکعب و کمبودی وجود ندارد. مقادیر میانگین سالانه رهاسازی و تقاضا در سال پنجم به ترتیب ۱۱/۴۳۰۵ و ۱۱/۴۳۳۲ و میزان کمبود ۰/۰۰۲۷ میلیون مترمکعب بدست آمده است. در سال ششم این مقادیر به ترتیب ۱۱/۶۳۷۷ و ۱۱/۷۱۶۹ میلیون مترمکعب بوده و به میزان ۰/۰۷۹۲ میلیون مترمکعب کمبود وجود دارد. مقادیر میانگین سالانه در سال هفتم، رهاسازی بهینه ۱۴/۹۲۰۵ و تقاضا ۱۴/۹۲۰۱ میلیون مترمکعب و کمبود صفر را نشان می‌دهد. بطور میانگین مقدار بهینه رهاسازی در هشتمین سال ۱۲/۱۰۴۳ و مقدار تقاضا ۱۱/۸۵۵۱ میلیون مترمکعب و کمبود صفر می‌باشد. میانگین سالانه رهاسازی بهینه و تقاضا برای سال نهم ۱۱/۶۴۱۷ و ۱۱/۶۴۵۷ میلیون مترمکعب بوده و میزان کمبود ۰/۰۰۴ را نشان می‌دهد و در نهایت، در سال دهم با میانگین سالانه رهاسازی بهینه ۱۱/۸۹۷۳ و تقاضای ۱۱/۸۹۷۹ میلیون مترمکعب، به میزان ۰/۰۰۰۶ میلیون متر مکعب کمبود وجود دارد.

نتایج حاصل از رهاسازی بهینه الگوریتم رقابت استعماری نشان می‌دهد که مقدار بهینه رهاسازی در سه سال اول از دوره آماری دارای روند افزایشی بوده، در سال چهارم و پنجم کاهش یافته، سال ششم و هفتم افزایش، دوباره در سال هشتم و نهم کاهش و نهایتاً در آخرین سال افزایش یافته است.

مقایسه بین مقادیر رهاسازی بهینه نشان می‌دهد که از سال اول تا سال سوم این مقدار افزایش داشته در سال-چهارم و پنجم روند کاهشی پیدا کرده و در سال‌های ششم و هفتم مجدداً افزایش و در سال هشتم و نهم کاهش و در نهایت در سال دهم دوباره افزایش یافته است.

نتیجه گیری

براساس نتایج الگوریتم رقابت استعماری (ICA) مشاهده گردید که در پنج مرتبه اجرای این الگوریتم در اولین اجرا در تکرار ۱۲۴۰ مقدار ۲/۶۲۳۳ میلیون مترمکعب برای تابع هدف بدست آمده است. در اجرای دوم در تکرار ۱۲۵۶ مقدار تابع هدف ۲/۴۹۴۷ میلیون مترمکعب، در سومین اجرا در تکرار ۱۲۷۱ مقدار تابع هدف ۱/۹۲۷۱ میلیون مترمکعب، تکرار ۱۳۰۰ در چهارمین اجرا مقدار ۱/۳۰۴ میلیون مترمکعب برای تابع هدف، و در اجرای پنجم و تکرار ۱۴۵۰ مقدار تابع هدف ۱/۲۴۷۳ میلیون متر مکعب بدست آمده است. مقایسه بین مقادیر تابع هدف بیانگر آن است که با افزایش تعداد تکرارها مقدار تابع هدف کاهش یافته است. بطوریکه بهترین مقدار تابع هدف در تکرار ۱۴۵۰ در اجرای پنجم و بدترین مقدار تابع هدف در تکرار ۱۲۴۰ در اولین اجرا حاصل شده است. میانگین مقادیر تابع هدف در پنج مرتبه اجرا ۱/۹۱۹۲۸ میلیون مترمکعب می‌باشد.

میانگین سالانه رهاسازی بهینه، تقاضا و کمبود برای سال اول به ترتیب ۱۱/۳۵۰۳، ۱۱/۳۵۲۲ و ۰/۰۰۱۹ میلیون مترمکعب، برای سال دوم ۱۱/۳۹۸۱، ۱۱/۳۹۸۱ و ۰/۰۰۱۹ میلیون مترمکعب و میزان کمبود صفر می‌باشد.

منابع

- اکبری فرد، س.، ک. قادری و م. علیان‌نژاد. ۱۳۹۴. بهره‌برداری بهینه از سیستم مخازن با استفاده از دو الگوریتم چرخه آب (WCA) و جست‌وجوی گرانشی (GSA) (مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود)، نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق‌آبی، سال دوم، شماره ۵، ص ۶۹-۸۱.
- آتش پز گرگری ا.، ۱۳۸۷. توسعه الگوریتم بهینه سازی اجتماعی و بررسی کارایی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران.
- بختیاری ب.، ح. صاحبی و ک. قادری. ۱۳۹۲. کاربرد مدل WEAP و بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیستم های برداشت آب حوزه آبریز گرگانرود، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- ثقفیان ب.، ح. فرازجو، ع. سپهری و ع. نجفی‌نژاد. ۱۳۸۵. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیل خیزی حوزه آبریز سد گلستان، تحقیقات منابع آب ایران، سال دوم، شماره ۱، ص ۲۸-۱۸.

زینلی م.ج.، ا. محمدرضاپور و ف. فروغی. ۱۳۹۴. مقایسه الگوریتم‌های رقابت استعماری و جامعه مورچگان برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد درودزن با رویکرد اعمال قیود زنجیره‌ای، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۶، ص ۲۴۳-۲۳۱.

سازمان هواشناسی کشور، بخش هواشناسی و اقلیم، ۱۳۹۷.

کرامت‌زاده ع.، ا.ح. چیدری، ع. یوسفی و ح. بلالی. ۱۳۸۶. تخصیص بهینه آب و اولویت‌بندی مناطق مختلف در مصرف آن (مطالعه موردی سد بارزو شیروان)، نشریه اقتصاد کشاورزی، دوره اول، شماره ۲.

عراقی‌نژاد ش.، ر. مروتی و م. حاینی موغاری. ۱۳۹۲. بررسی عملکرد الگوریتم رقابت استعماری در بهره‌برداری بهینه از مخزن، اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوارسگان.

مختاری، ح.، و م. قادری حاجت. ۱۳۸۷. هیدروپلیتیک خاورمیانه در افق سال ۲۰۲۵م مطالعه موردی: حوضه‌های دجله و فرات، رود اردن و رود نیل، فصلنامه بین‌المللی ژئوپلیتیک، دوره چهارم، شماره ۱، ص ۷۴-۳۶.

نقاشی ف.، فتح‌طریقی، ف. و م. فتح‌راد. ۱۳۹۱. معرفی الگوریتم رقابت استعماری، دومین کنفرانس ملی مهندسی نرم‌افزار لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان.

نوری ص. ۱۳۹۶. کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری در مدیریت تخصیص بهینه مخازن آب چاه نیمه سیستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

Afshar, A., M.J. Emami Skardi and F. Masoumi. 2014. Optimizing water supply and hydropower reservoir operation rule curves: An imperialist competitive algorithm approach. *Engineering Optimization*. 47: 1208-1225.

Ajibola, A. S., and A. O. Adewumi. 2014. Review of Population Based Metaheuristics in Multi-objective Optimization Problems. *Int'l Journal of Computing, Communications & Instrumentation Engg*, 1(1): 126-128.

Daryan, A.R., and Z.A. Farahmandfar. 2012. Comparative Study of Marriage in Honey Bee's Optimization (MBO) Algorithm in Multi-Reservoir System Optimization. *Water SA*. 39(2): 327-334.

Sardar Shahraki A., Shahraki, J., Hashemi Monfared, S.A. 2019. An Integrated Water Resources Management Considering Agricultural Demands and the Assessment of Different Scenarios in Hirmand Catchment, Iran. *Water Resources*, 46(2): 308-317.

Sardar Shahraki A., Shahraki, J., Hashemi Monfared, S.A. 2018. An Integrated Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method Combined with the WEAP Model for Prioritizing Agricultural Development, Case Study: Hirmand Catchment. *ECOPERSIA*. 6(4): 205-214.

Garudkar, A.s., A.K. Rastogi., T.I. Eldho and S.D. Gorantiwar. 2011. Optimal Reservoir Release Policy Considering Heterogeneity of Command Area by Elitist Genetic Algorithm, *Water Resources Management*, 25: 3863-81.

Kumar, D. N., K.S. Raju and B. Ashok. 2006. Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using genetic algorithms, *ASCE, J. Irrig. Drain. Eng.* 132(2): 123-129.

Qaderi Nasab F., K. Qaderi and M.B. Rahnema. 2015. Optimal Programming for Delivery and Distribution of Water Irrigation Network Using Evolutionary Algorithms (the case study: the Network Irrigation at Downstream of the Jiroft dam), *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(5): 830-841.

Sonaliya, S. and T. M. V. Suryanarayana. 2014. Optimal Reservoir Operation Using Genetic Algorithm: A Case Study of Ukai Reservoir Project, *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, 3(6): 13681-13687.



Application of Imperialist Competitive Algorithm (ICA) For Optimal Allocation of Reservoir Water in Golestan Dam

Samira Kord¹, Seyed Mahdi Hoseyni^{2*}, Ali Sardar Shahraki³

Abstract

Regarding climate change, and consequently the decrease in the Gergranod River catchment area, as well as the sharp decrease in the volume of water stored behind the Golestan dam in recent years, a review of the water allocation problem is necessary. Therefore, in this research, the optimal values of water harvesting from the Golestan dam reservoir are calculated using the colonial competition algorithm (ICA), which is one of the interconnected algorithms based on socio-political evolution. In this study, the proper parameters of the colonial competition algorithm were calculated with try and error, and then in five times the implementation of this algorithm in the first run in the 1240 repetition of 2,363.2 million cubic meters for the target function, in the second run in repeat 1256, the value of the target function 4947/2 Million cubic meters, in the third run in Repetition 1271 the value of the objective function was 1,971.1 million cubic meters, the 1300 repetition in the fourth run was 304.1 million cubic meters for the target function, and in the fifth implementation and repeat 1450, the value of the target function was 1,2473.1 million cubic meters Come. The comparison between the values of the objective function indicates that with increasing the number of repetitions, the value of the objective function is reduced. The results indicate that this algorithm is good. The optimal release values obtained from the algorithm have always fluctuated during the statistical period, so that in the first three years of the increasing trend, the fourth and fifth declines, the sixth and seventh increases, the eighth and ninth, and finally increased again in the tenth.

Key words: Imperialist Competitive Algorithm, Optimization, Water Allocation, Reservoir of Golestan Dam

¹ Graduate Student of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan Email: s_kord85@yahoo.com

² Corresponding author: Assistant Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan Email: shseyedmahdi46@gmail.com

³ Assistant Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan Email: a.shahraki65@gmail.com