



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

۲۰۳-۲۱۸

مقایسه کارآیی الگوریتم‌های فرا ابتکاری گرگ خاکستری و رقابت استعماری در حوزه تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: شبکه صوفی چای)

فرهاد میثاقی^{۱*}، امیر حسین امانی^۱ و علیرضا صدیق^۲
^۱ گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۲ گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹

میثاقی، ف.، ا.ح. امانی و ع. صدیق. ۱۳۹۹. مقایسه کارآیی الگوریتم‌های فرا ابتکاری گرگ خاکستری و رقابت استعماری در حوزه تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: شبکه صوفی چای). فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۲): ۲۰۳-۲۱۸.

سابقه و هدف: کمبود منابع آب یکی از مهمترین مسأله‌ها در قرن بیست و یکم می‌باشد که جوامع بشری با آن روبرو هستند. رشد جمعیت، فعالیت‌های تولیدی صنعتی و کشاورزی، توسعه سریع شهرنشینی و تغییرهای شدید شرایط آب و هوایی، تأثیر زیادی بر منابع آب محدود و محیط زیست در حوضه‌های رودخانه‌ها به‌همراه داشته است. تخصیص منطقی و بهینه منابع آب در بین مصرف‌کنندگان، نیازمند اندازه‌گیری موثر منابع آب و مدیریت یکپارچه آن جهت برقراری عدالت انسانی و محیط زیستی می‌باشد. بهینه‌سازی تخصیص منابع آب یک مسأله تصمیم‌گیری بسیار پیچیده در چندین سطح، مرحله، موضوع، هدف و ارتباطات غیر خطی می‌باشد. با پیچیده‌تر شدن مسأله‌های مربوط به تخصیص منابع آب، الگوریتم‌های حل آن نیز به تدریج بهبود یافته و استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی هوشمند در بهینه‌سازی تخصیص منابع آب از برنامه‌ریزی سنتی ریاضی، پیشی گرفته‌اند. با این حال، اثربخشی الگوریتم‌های بهینه‌سازی متعارف از دیدگاه‌های مختلف ایده‌آل نیست، و مواردی همچون همگرایی، سرعت محاسبه، حساسیت اولیه، و غیره، به دلیل پیچیدگی و چند هدف بودن بهینه‌سازی تخصیص منابع آب، نیازمند مطالعات بیشتری برای بهبود کارایی الگوریتم، و به‌دست آوردن راه حل مطلوب کلی، می‌باشد.

مواد و روش‌ها: الگوریتم گرگ خاکستری از سلسله مراتب رهبری و ساز و کار شکار گرگ‌های خاکستری در طبیعت تقلید می‌نماید. در این الگوریتم از چهار نوع گرگ خاکستری شامل آلفا، بتا، دلتا و امگا برای شبیه‌سازی سلسله مراتب رهبری استفاده شده است. همچنین الگوریتم رقابت استعماری، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک "کشور" نامیده می‌شوند، آغاز می‌گردد. تعدادی از بهترین عنصرهای جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به‌عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به‌عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص، به سمت خود می‌کشند. در این تحقیق از الگوریتم‌های گرگ خاکستری و رقابت استعماری برای بهینه‌سازی مقادیر منابع آب در طی سال‌های زراعی ۹۲ - ۱۳۸۰ در مورد شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای و سد علویان برای رسیدن به بهینه‌ترین سیاست استفاده شد. سد علویان در استان آذربایجان شرقی در سه کیلومتری شمال شهر مراغه و در نزدیکی روستای علویان، روی رودخانه صوفی چای احداث شده است، و آب آشامیدنی شهرستان‌های مراغه، میاندوآب، بناب، عجب‌شیر و ملکان را تأمین می‌نماید.

*Corresponding Author. Email Address: farhad_misaghi@znu.ac.ir

نتایج و بحث: نتایج حاصل از اجرای الگوریتم گرگ خاکستری، در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری بسیار نزدیک به مقدار اندازه‌گیری شده مقدار آب تخصیص یافته می‌باشد و این مسأله بیانگر هم‌گرایی، کارایی و راندمان بالای الگوریتم گرگ خاکستری در سیستم‌های منبع‌های آب می‌باشد. بر این اساس مقادیر معیارهای ارزیابی، در همه منطقه‌های چهارگانه مقادیر RMSE الگوریتم گرگ خاکستری نسبت به الگوریتم رقابت استعماری ۴۴٪ کمتر بوده و مقادیر ضریب نش - ساتکلیف نیز ۶۴٪ بالاتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که الگوریتم گرگ خاکستری سرعت مناسبی در یافتن جواب بهینه دارد، به عبارت دیگر نرخ هم‌گرایی بالایی دارد و می‌تواند بهینه سراسری را در یک مسأله بهینه‌سازی پیدا نماید. در تحقیق حاضر نتایج حاصل از اجرا و بکارگیری الگوریتم گرگ خاکستری با الگوریتم رقابت استعماری مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در مورد مسأله تخصیص آب در بهره برداری تلفیقی از منبع‌های آب سطحی و زیرزمینی، الگوریتم گرگ خاکستری نتایج بهتر و قابل قبول‌تری بیان می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: منبع‌های آب، بهینه‌سازی، الگوریتم گرگ خاکستری، الگوریتم رقابت استعماری.

مقدمه

(Mosleh *et al.*, 2017)، و روش‌های دیگر می‌باشد. همچنین استفاده از تئوری‌های ریاضی کاربردی همانند تئوری بازی‌ها (Girard *et al.*, 2016)، تئوری منطق فازی (Nikoo *et al.*, 2013) و غیره همراه با موفقیت‌هایی در این زمینه بوده است. از طرفی در دهه اخیر کاربرد نظریه علم و هرج و مرج مربوطه (Sivakumar, 2000)، روش آنتروپی (Connor and Paulin, 2017)، دینامیک سیستم‌ها (Ryu *et al.*, 2012) و غیره به تدریج در تخصیص منبع‌های آب استفاده شده است. با پیچیده‌تر شدن مسأله‌های مربوط به تخصیص منبع‌های آب، الگوریتم‌های حل آن نیز به تدریج بهبود یافته و استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی هوشمند در بهینه‌سازی تخصیص منبع‌های آب از برنامه‌ریزی سنتی ریاضی، پیشی گرفته‌اند. به‌عنوان نمونه استفاده از الگوریتم ژنتیک (Nicklow *et al.*, 2010)، الگوریتم خفاش (Bozorg-Haddad *et al.*, 2014)، الگوریتم کلونی زنبور عسل (Pérez *et al.*, 2017)، الگوریتم تکامل تفاضلی (Mansouri *et al.*, 2015)، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (Gaur *et al.*, 2013)، الگوریتم رقابت استعماری (Karamouz *et al.*, 2014)، الگوریتم ازدحام ماهی (He and He, 2015)، الگوریتم جهش مختلط قورباغه (Niknam *et al.*, 2011)، الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان (Szemis *et al.*, 2013) و غیره در بهینه‌سازی تخصیص منبع‌های آب توسعه یافته است. در سال‌های اخیر، دانشمندان بیشتری در حل مسأله‌های مربوط به منبع‌های آب، به‌طور گسترده‌ای از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند استفاده نموده‌اند (Abed-Elmdoust and Kera-

کمبود منبع‌های آب یکی از مهمترین مسأله‌ها در قرن بیست و یکم می‌باشد که جوامع بشری با آن روبرو هستند (Eliasson, 2015). رشد جمعیت، فعالیت‌های تولیدی صنعتی و کشاورزی، توسعه سریع شهرنشینی و تغییرات شدید شرایط آب و هوایی، تأثیر زیادی بر منبع‌های آب محدود و محیط زیست در حوضه‌های رودخانه‌ها به‌همراه داشته است (Had-deland *et al.*, 2014; Yu and Wang, 2014; Dalin *et al.*, 2015; Larsen *et al.*, 2016; Grizzetti *et al.*, 2017; He *et al.*, 2017). تخصیص منطقی و بهینه منبع‌های آب در بین مصرف‌کنندگان، نیازمند اندازه‌گیری مؤثر منبع‌های آب و مدیریت یکپارچه آن جهت برقراری عدالت انسانی و محیط زیستی می‌باشد. بهینه‌سازی تخصیص منبع‌های آب یک مسأله تصمیم‌گیری بسیار پیچیده در چندین سطح، مرحله، موضوع، هدف و ارتباطات غیر خطی می‌باشد (Singh, 2014; Hassan-Esfahani *et al.*, 2015; Davijani *et al.*, 2016a; Abdalbaki *et al.*, 2017; Lu *et al.*, 2017). روش برنامه‌ریزی ریاضی، یکی از اصلی‌ترین رویکردها در بهینه‌سازی تخصیص منبع‌های آب می‌باشد، که به‌طور گسترده‌ای از آن استفاده می‌شود که شامل برنامه‌ریزی خطی (Georgakakos, 2012)، برنامه‌ریزی غیرخطی (Li *et al.*, 2017)، برنامه‌ریزی دینامیک (Anvari *et al.*, 2014)، برنامه‌ریزی درجه دوم (Marques *et al.*, 2010)، برنامه‌ریزی چند هدفه

در نزدیکی روستای علویان روی رودخانه صوفی چای احداث شده است و آب آشامیدنی شهرستان‌های مراغه، میاندوآب، بناب، عجب‌شیر و ملکان را تأمین می‌نماید. رودخانه‌های صوفی چای و اسفستانج منبع‌های آب این محدوده می‌باشند که حوضه‌ی آن‌ها برابر $313/6$ کیلومتر مربع واقع در 46 درجه تا 46 درجه و 25 دقیقه طول شرقی و 37 درجه و 11 دقیقه تا 38 درجه و 28 دقیقه عرض شمالی قرار دارند. زمین‌های کشاورزی این محدوده شامل 4 منطقه شامل منطقه‌های $1, 2, 3$ و 4 با وسعت‌های $2500, 4500, 2600$ و 1800 هکتار می‌باشد. برای نیل به هدف‌های تحقیق حاضر، از آمار و اطلاعات منابع و مصرف‌ها در منطقه طرح و آمار بهره‌برداری از سد استفاده شد. متوسط بارندگی سالانه منطقه برابر 330 میلی‌متر می‌باشد که به‌صورت 30 درصد بارندگی در زمستان، 40 درصد در بهار، 2 درصد تابستان و حدود 25 درصد در فصل پاییز می‌بارد. متوسط دمای سالانه، متوسط سالانه تبخیر از طشت و بیشترین تبخیر ماهانه در تیر و مرداد در این محدوده به‌ترتیب برابر با $12/3$ درجه سانتی‌گراد، 1470 میلی‌متر و 270 میلی‌متر می‌باشد. عمده محصول‌های کشت شده شامل، گندم، جو، یونجه، سیب‌زمینی، پیاز، انگور، بادام و سردرختی است. در شکل (۱)، موقعیت منطقه‌های چهارگانه شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای و سد علویان بیان شده است.

الگوریتم رقابت استعماری (ICA)

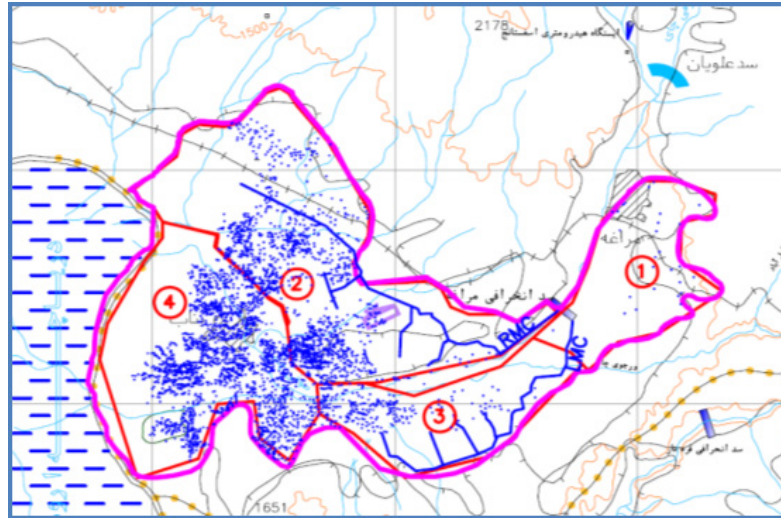
همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک "کشور" نامیده می‌شوند: شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به‌عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به‌عنوان مستعمره (Colony)، در نظر گرفته می‌شوند (Atashpaz and Lu, 2008; Atashpaz et al., 2007; cas, 2007). استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید، به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به‌عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به‌صورت مجموع

chian, 2012; Jafarzadegan et al., 2013; Mianabadi et al., 2014; Vaghefi et al., 2015; Davijani et al., 2016b) با این حال، اثربخشی الگوریتم‌های بهینه‌سازی متعارف از دیدگاه‌های مختلف ایده‌آل نیست، و مواردی همچون همگرایی، سرعت محاسبه، حساسیت اولیه، و غیره، به‌دلیل پیچیدگی و چند هدف بودن بهینه‌سازی تخصیص منبع‌های آب، نیازمند مطالعات بیشتری برای بهبود کارایی الگوریتم، و به‌دست آوردن راه حل مطلوب کلی، می‌باشد. الگوریتم گرگ خاکستری، یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر جمعیت است که از رفتار اجتماعی گرگ‌های خاکستری در طبیعت و نحوه شکار آن‌ها الهام گرفته شده است (Mirjalili et al., 2014). در الگوریتم GWO چهار نوع گرگ وجود دارد: گرگ‌های رهبر یا آلفا، بتا، دلتا و امگا. گرگ‌های آلفا هدایت‌کننده اصلی الگوریتم فرض می‌شوند. گرگ‌های بتا و دلتا بیشتر به‌عنوان دستیاران گرگ‌های آلفا مشارکت دارند و بقیه گرگ‌ها به‌عنوان دنبال‌کننده آن‌ها محسوب می‌شوند. همچنین الگوریتم رقابت استعماری، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک "کشور" نامیده می‌شوند، آغاز می‌گردد. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به‌عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به‌عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص، به سمت خود می‌کشند. در این تحقیق الگوریتم‌های گرگ خاکستری و رقابت استعماری برای بهینه‌سازی مقادیر منبع‌های آب در طی سال‌های زراعی $92 - 1380$ در مورد شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای و سد علویان برای رسیدن به بهینه‌ترین سیاست استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای)

به‌منظور ارزیابی کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی در تخصیص و مدیریت بهینه آب از اطلاعات شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای و سد علویان استفاده شده است. این سد در استان آذربایجان شرقی در سه کیلومتری شمال شهر مراغه و



شکل ۱- موقعیت منطقه‌های چهار گانه شبکه آبیاری و زهکشی صوفی‌چای و سد علویان
 Fig. 1- Position of four zones of Sofi-Chay irrigation and drainage network and Alavian Dam

قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصد از میانگین قدرت

$$contry = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_{Nvar}] \quad (1)$$

مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب، و به سیطره درآوردن آن‌ها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگتر افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیفتر، حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات، از لحاظ قدرت به امپراطوری‌ها نزدیکتر خواهند شد و یک نوع همگرایی به وجود خواهد آمد. حد بهینه رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد با مستعمراتی که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست، خیلی نزدیک هستند، شکل گیرد.

$$Country = \begin{bmatrix} Country_1 \\ Country_2 \\ \vdots \\ Country_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & R_{12} \\ R_{13} & R_{14} & R_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n-11} & R_{n-10} & R_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

هزینه یک کشور با ارزیابی تابع f در متغیرهای $(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{Nvar})$ یافت می‌شود. رابطه (۳) بیانگر این مسأله است:

$$cost = f(country) = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{Nvar}) \quad (3)$$

برای شروع الگوریتم، تعداد $N_{country}$ کشور اولیه ایجاد می‌شود. N_{imp} تا از بهترین اعضای این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه) به عنوان امپریالیست انتخاب می‌گردد. باقی‌مانده N_{col} از کشورها، مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یکی از امپراطوری‌ها تعلق دارند. برای تقسیم مستعمرات اولیه بین امپریالیست‌ها، به هر امپریالیست، تعدادی از مستعمرات متناسب با قدرت آن تخصیص داده می‌شود. برای انجام این کار، با داشتن هزینه همه امپریالیست‌ها، هزینه نرمالیزه آن‌ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$C_n = c_n - \max_i \{c_i\} \quad (4)$$

که در آن C_n هزینه امپریالیست n ام، $\max_i \{c_i\}$ بیشترین هزینه میان امپریالیست‌ها و C_n هزینه نرمالیزه شده این

شکل‌دهی امپراطوری‌های اولیه

در بهینه‌سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه بر حسب متغیرهای مسأله، است. در این الگوریتم یک آرایه از متغیرهای مسأله که بایستی بهینه شود، یک کشور نامیده می‌شود. در یک مسأله‌ی بهینه‌سازی N_{var} بعدی، یک کشور، یک آرایه به طول

کشور مستعمره در بعضی موارد نتایج مثبتی را نیز برای آن‌ها در پی داشت. بعضی از کشورها در نتیجه اعمال این سیاست به نوعی از خودباوری عمومی دست یافتند و به رهایی از چنگال استعمار پرداختند. در مدل سازی این واقعه تاریخی در الگوریتم معرفی شده به این صورت عمل شده است که در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن است بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از امپریالیست برسند (به نقاطی در تابع هزینه برسند که هزینه کمتری را نسبت به مقدار تابع هزینه در موقعیت امپریالیست، تولید می کنند). در این حالت، کشور استعمارگر و کشور مستعمره، جای خود را با همدیگر عوض کرده و الگوریتم با کشور استعمارگر در موقعیت جدید ادامه یافته و این بار این کشور امپریالیست جدید است که شروع به اعمال سیاست همگون سازی بر مستعمرات خود می کند.

قدرت کل یک امپراطوری

قدرت یک امپراطوری برابر است با قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن. بدین ترتیب برای هزینه کل یک امپراطوری رابطه (۷) وجود خواهد داشت:

$$T.C_n = \text{Cost}(\text{imperialist}_n) + \xi \cdot \text{mean}(\text{Cost}(\text{colonies of impire}_n)) \quad (7)$$

که در آن $T.C_n$ هزینه کل امپراطوری n ام و ξ عددی مثبت است که به طور معمول بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می شود. کوچک در نظر گرفتن ξ ، سبب می شود که هزینه کل یک امپراطوری، کمابیش برابر با هزینه حکومت مرکزی آن (کشور امپریالیست)، شود و افزایش ξ نیز موجب افزایش تأثیر میزان هزینه مستعمرات یک امپراطوری در تعیین هزینه کل آن می شود. در حالت کلی $\xi = 0.05$ که در بیشتر پیاده سازی‌ها به جواب مطلوبی منجر شده است (Atashpaz *et al.*, 2008). مرحله‌های الگوریتم رقابت استعماری به صورت دیاگرام بیان شده در شکل (۲) می باشد.

الگوریتم گرگ خاکستری (GWO)

الگوریتم گرگ خاکستری، یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر جمعیت است که از رفتار اجتماعی گرگ‌های خاکستری در طبیعت و نحوه شکار آن‌ها الهام گرفته شده است (Mirjalili

امپریالیست، می باشد. هر امپریالیستی که دارای هزینه بیشتری باشد (امپریالیست ضعیفتری باشد)، دارای هزینه نرمالیزه کمتری خواهد بود. با داشتن هزینه نرمالیزه، قدرت نسبی نرمالیزه‌ی هر امپریالیست، به صورت زیر محاسبه شده و بر مبنای آن، کشورهای مستعمره، بین امپریالیست‌ها تقسیم می شوند. هزینه یک کشور با ارزیابی تابع f در متغیرهای $(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}})$ یافت می شود. رابطه (۵) بیانگر این مسأله است:

$$P_n = \left| \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{var}} C_i} \right| \quad (5)$$

مدل سازی سیاست جذب: حرکت مستعمره‌ها به سمت امپریالیست

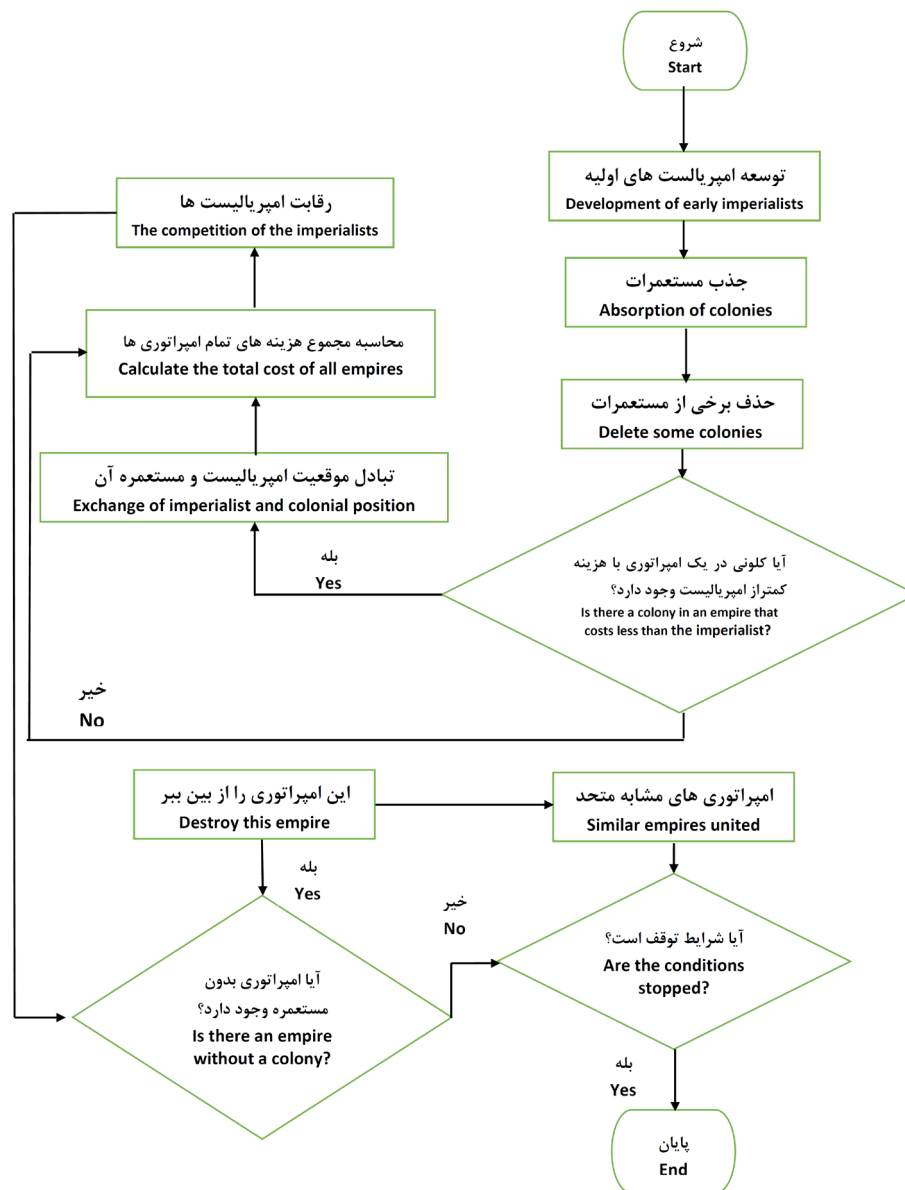
سیاست همگون سازی (جذب) با هدف تحلیل فرهنگ و ساختار اجتماعی مستعمرات در فرهنگ حکومت مرکزی انجام می گرفت. همان گونه که پیشتر نیز بیان شد، کشورهای استعمارگر، برای افزایش نفوذ خود، شروع به ایجاد عمران (ایجاد زیر ساخت‌های حمل و نقل، تأسیس دانشگاه و...) نمودند. این بخش از فرآیند استعمار در الگوریتم بهینه سازی، به صورت حرکت مستعمرات به سمت کشور امپریالیست، مدل شده است. کشور امپریالیست، کشور مستعمره را در راستای هدف‌هایش، به سمت خود جذب می کند. کشور مستعمره (Colony) به اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر، حرکت نموده و به موقعیت جدید کشانده می شود. در این شکل، فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شده است. x نیز عددی تصادفی با توزیع یکنواخت (و یا هر توزیع مناسب دیگر) می باشد. مقدار x از رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$x \sim U(0, \beta \times d) \quad (6)$$

که در آن β عددی بزرگتر از یک و نزدیک به ۲ می باشد. یک انتخاب مناسب می تواند $\beta = 2$ باشد. وجود ضریب $\beta > 1$ سبب می شود، تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود.

جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست

سیاست جذب در عین نابودی ساختارهای اجتماعی سیاسی



شکل ۲- فلوجارت الگوریتم رقابت استعماری (ICA)
Fig. 2- Flowchart of the imperialist competitive algorithm (ICA)

گرگ‌های بتا و دلتا بیشتر به‌عنوان دستیاران گرگ‌های آلفا مشارکت دارند و بقیه گرگ‌ها به‌عنوان دنبال‌کننده آن‌ها محسوب می‌شوند. در مرحله اول الگوریتم، گرگ‌های خاکستری طعمه را در طول شکار محاصره می‌کنند. برای مدل نمودن رفتار محاصره به‌صورت ریاضی، رابطه‌های زیر تعریف شده‌اند.

$$D(t+1) = X_p(t) - A \times D \quad (8)$$

$$D = |C \times X_p(t) - X(t)| \quad (9)$$

در این روابط $X(t)$ موقعیت شکار در لحظه t و $X_p(t)$ موقعیت گرگ در لحظه t است. D فاصله گرگ تا شکار را نشان می‌دهد.

(*et al.*, 2014). این الگوریتم دارای سه مرحله اصلی به‌صورت زیر است:

- (۱) مشاهده شکار، ردیابی و تعقیب آن
- (۲) نزدیک شدن، احاطه نمودن شکار و گمراه نمودن آن تا زمانی که از حرکت باز بماند.
- (۳) حمله به شکار

در ابتدای الگوریتم، نوع گرگ‌ها مشخص می‌شود. در الگوریتم GWO چهار نوع گرگ وجود دارد: گرگ‌های رهبر یا آلفا، بتا، دلتا و امگا. گرگ‌های آلفا هدایت‌کننده اصلی الگوریتم فرض می‌شوند.

به روزرسانی می کنند. روابط زیر فرآیند شکار را نشان می دهند.

$$D_{\alpha} = |C_1 \times X_{\alpha} - X|, D_{\beta} = |C_1 \times X_{\beta} - X|, D_{\delta} = |C_1 \times X_{\delta} - X| \quad (11)$$

$$X_1 = X_{\alpha} - A_1 \times D_{\alpha}, X_2 = X_{\beta} - A_2 \times D_{\beta}, X_3 = X_{\delta} - A_3 \times D_{\delta} \quad (12)$$

$$X(t+1) = \frac{(X_1 + X_2 + X_3)}{3} \quad (13)$$

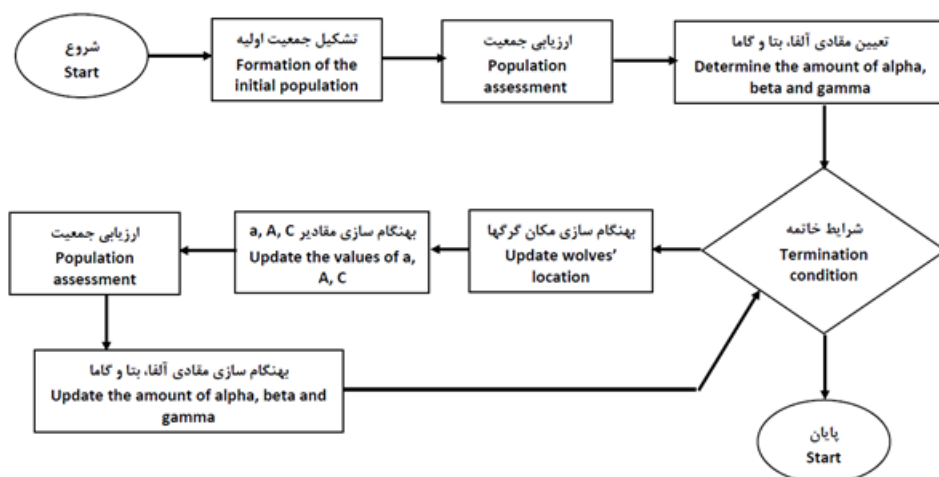
در مرحله جستجوی طعمه، گرگ ها از یکدیگر فاصله می گیرند تا نقاط مختلف فضای راه حل را جستجو کنند. برای مدل سازی ریاضی این فرآیند از بردار تصادفی A با مقدار بزرگتر از ۱ و یا کوچکتر از ۱- استفاده می شود. گرگ های خاکستری زمانی که شکار متوقف می شود به آن حمله کرده و شکار را به پایان می رسانند. برای مدل نمودن حمله به طعمه مقدار پارامتر a کاهش می یابد. شکل (۳)، فلوجارت الگوریتم GWO را نشان می دهد.

A و C بردارهای ضریب هستند که به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$A = 2ar_i - a, C = 2r_2 \quad (10)$$

r_2 و r_i مقادیر تصادفی هستند و a پارامتری است که مقدار آن به صورت خطی از ۲ تا ۰ کاهش می یابد.

در مرحله شکار، گرگ خاکستری به طعمه محاصره شده حمله می کند. روند شکار به طور معمول توسط آلفا هدایت می شود. گرگ های بتا و دلتا نیز گاهی اوقات ممکن است در شکار شرکت کنند. برای شبیه سازی ریاضی رفتار شکار گرگ های خاکستری، فرض می شود گرگ های آلفا، بتا و دلتا از مکان بالقوه طعمه آگاهی بهتری دارند. بنابراین سه تا از بهترین راه حل های به دست آمده ذخیره شده و دیگر عامل های جستجو موقعیت خود را با توجه به موقعیت بهترین عامل ها جستجو



شکل ۳- فلوجارت الگوریتم گرگ خاکستری
Fig. 3- Flowchart of the gray wolf algorithm

بهینه آب مورد استفاده قرار می گیرند شامل موارد زیر می باشند:

تابع هدف

با توجه به این که پس از شروع فصل زراعی، سطح زیر کشت محصول های زراعی و هزینه های کشاورزی مقادیر ثابتی است، تابع هدف به صورت بهینه نمودن درآمد ناخالص حاصل از فروش محصول های زراعی و کمینه نمودن خسارت های ناشی از کمبود در تخصیص به مصرف های شرب، صنایع و محیط زیستی تعریف شده است. تابع هدف مد نظر در این پژوهش

تعریف مسأله

در تحقیق حاضر، هدف بهینه نمودن درآمد ناخالص حاصل از فروش محصول های زراعی و کمینه نمودن خسارت های ناشی از کمبود در تخصیص به مصرف های شرب، صنایع و محیط زیستی است. بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی و بررسی مقایسه ای روش های بهینه سازی الگوریتم رقابت استعماری و گرگ خاکستری در پیش بینی و دادن برنامه تخصیص بهینه آب در ماه های بهره برداری مشخص می باشد. پارامترهای الگوریتم های مورد استفاده که در عمل تخصیص

به صورت رابطه‌های (۸) تا (۱۰) در نظر گرفته شده است:

$$\text{Maximize: TB-TCE-TCS} \quad (14)$$

$$\text{TB} = \sum_{j=1}^4 \sum_{c=1}^8 (Y * A) * P_c \quad (15)$$

$$Y_c = Y \max_c (1 - \sum_{t=1}^n ky_{ct} (1 - \frac{ET_c}{ET_{\max_c}})_t) \quad (16)$$

در این روابط، TB سود ناخالص شبکه، TCS هزینه‌های کمبود در تخصیص به بخش شرب و صنایع، TCE هزینه‌های کمبود در تخصیص بخش محیط زیستی، Ycj مجموع وزن محصول تولید شده C در منطقه j به ازای واحد سطح زیر کشت، Acj مجموع سطح زیر محصول C در منطقه j، Pc قیمت واحد وزن تولیدی محصول C، Tmaxc حداکثر تولید محصول C بدون تنش آبی، kyct ضریب حساسیت گیاه C در ماه t و ETmax مقدار تبخیر واقعی گیاه C در ماه t بدون تنش آبی است. اندیس C معرف نوع محصول، j منطقه زراعی و t اندیس زمان (ماه) می‌باشد.

قیود و محدودیت‌ها

$$W \text{ dem}_{jt} \leq W \text{ av}_{jt} \quad (17)$$

$$W \text{ dem}_{jt} \equiv \sum_{c=1}^8 W \text{ dem}_{jt} \quad (18)$$

$$W \text{ av}_{jt} = S W_{jt} + G W_{jt} \quad (19)$$

$$G W_{jt} \leq P G W_{jt} \quad (20)$$

$$S W_{jt} = R D R_{jt} + B W_{jt} + \text{Var}_{jt} \quad (21)$$

$$B W_{jt} \leq P B W_{jt} \quad (22)$$

که در این روابط، W dem_{jt} آب تخصیص داده شده به منطقه j در ماه t، W av_{jt} آب موجود در منطقه j در ماه t، W dem_{jt} در ماه t، W av_{jt} در ماه t، W dem_{jt} در ماه t، W av_{jt} در ماه t.

تخصیص داده شده به محصول C در منطقه j در ماه t، GW_{jt} آب زیرزمینی استفاده شده در منطقه j در ماه t.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (A_{O,i} - \bar{A}_O) \cdot (A_{M,i} - \bar{A}_M)]^2}{\sum_i (A_{O,i} - \bar{A}_O)^2 \cdot \sum_i (A_{M,i} - \bar{A}_M)^2} \quad (23)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{[\sum_i (A_O - A_M)]^2}{n}} \quad (24)$$

$$\text{NS} = 1 - \frac{\sum_i (A_O - A_M)_i^2}{\sum_i (A_{O,i} - \bar{A}_O)^2} \quad (25)$$

معیارهای ارزیابی

در این مطالعه برای تحلیل کیفیت نتایج الگوریتم‌های بهینه‌سازی با مقادیر تخصیص واقعی آب، از سه سنجه ضریب تعیین (R²)، مجذور میانگین مربعات خطر (RMSE) و ضریب نش - ساتکلیف (NS) استفاده شده است.

که در این روابط A_O تخصیص واقعی آب و A_M نشان دهنده تخصیص بهینه حاصل از الگوریتم‌های مورد بررسی می‌باشد.

نتایج و بحث

پس از معرفی تابع هدف و انجام تحلیل حساسیت و یافتن مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر الگوریتم‌ها و بکارگیری آن‌ها در مدل، متغیرهای تصمیم مسأله که شامل ۱۲ متغیر بود محاسبه گردید. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم‌های رقابت استعماری و گرگ خاکستری در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم رقابت استعماری و گرگ خاکستری
Table 1. Parameters used in imperialist competition and gray wolf algorithms

پارامترهای بهینه‌سازی Optimization parameters	الگوریتم Algorithm
تعداد گرگ‌ها: ۱۰۰ Number of wolves: 100	GWO Gray Wolf Optimization
تعداد کشورهای اولیه: ۱۰۰ Number of primary countries: 100	
تعداد استعمارگران اولیه: ۶ Number of early colonists: 6	ICA Imperialist Competitive Algorithm
تعداد مستعمرات: ۹۴ Number of colonies: 94	
۲: β	
π/۴: γ	
۰/۰۱: κ	

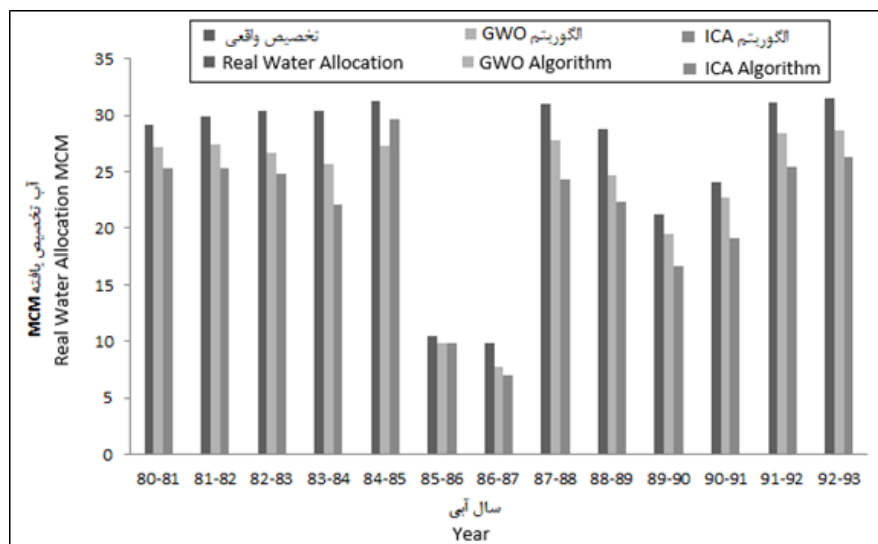
گرگ خاکستری، در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری بسیار نزدیک به مقدار اندازه‌گیری شده مقدار آب تخصیص یافته می‌باشد و این مسأله بیانگر هم‌گرایی، کارایی و راندمان بالای الگوریتم گرگ خاکستری در سیستم‌های منبع‌های آب می‌باشد. همچنین در جدول (۲) مقادیر معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در منطقه‌های چهارگانه نیز بیان شده است. بر این اساس در همه منطقه‌های چهارگانه مقادیر RMSE الگوریتم گرگ خاکستری نسبت به الگوریتم رقابت استعماری ۴۴٪ کمتر بوده و مقادیر ضریب نش - ساتکلیف نیز ۶۴٪ بالاتر می‌باشد. تغییرات ضریب تعیین نیز از روند خاصی تبعیت نموده است. بنابراین مشخص است که در مورد مسأله تخصیص آب در بهره‌برداری تلفیقی از منبع‌های آب سطحی و زیرزمینی، الگوریتم گرگ خاکستری نتایج بهتر و قابل قبول‌تری بیان می‌نماید که با نتایج تحقیق‌های (Yu and Lu, 2018) مطابقت دارد.

کمترین مقدار آب تخصیص یافته در منطقه چهار محدوده مطالعاتی و مربوط به سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ و بیشترین مقدار آب تخصیص یافته در منطقه یک محدوده مطالعاتی و در محدوده سال‌های ۸۳ - ۱۳۸۰ و ۸۸ - ۱۳۸۷ می‌باشد. دلیل اصلی این امر، تغییر در منطقه‌های زیر کشت محصول‌های کشاورزی می‌باشد. نتایج بیانگر این است که هر دو الگوریتم

در این تحقیق به‌منظور بررسی قابلیت الگوریتم رقابت استعماری و گرگ خاکستری، از ۱۲ سال آمار سالیانه برای دوره آماری (۹۲ - ۱۳۸۰)، جهت انجام تجزیه و تحلیل مورد بررسی قرار گرفت. از این رو داده‌های ورودی به مدل به‌صورت رابطه (۱۷) نرمالیزه شدند.

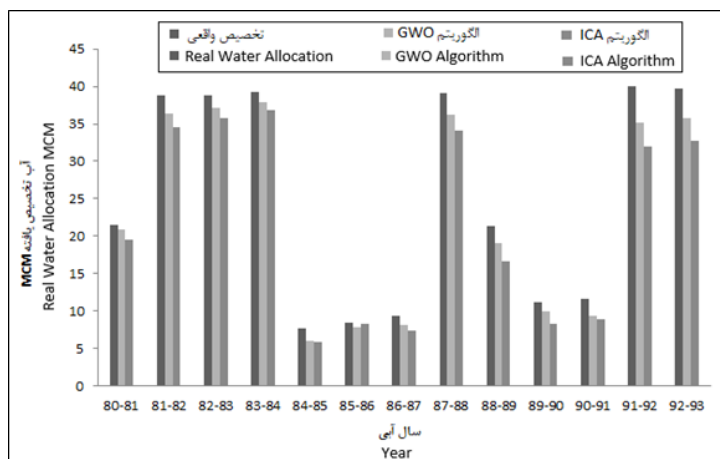
$$Y_i = \begin{cases} \frac{X_{oi}}{X_{omax}}, & X_{oi} \geq 0 \\ \frac{X_{oi}}{|X_{omin}|}, & X_{oi} < 0 \end{cases} \quad (26)$$

در این رابطه، Y_i مقادیر استاندارد شده، X_{oi} مقادیر مشاهداتی، X_{omax} مقادیر ماکزیمم مشاهداتی و X_{omin} مقادیر مینیمم مشاهداتی می‌باشند. در اجرای این تابع توسط الگوریتم‌های رقابت استعماری و گرگ خاکستری، ابتدا مقادیر پیش‌بینی شده در آغاز فصل زراعی به‌عنوان ورودی وارد مدل شده و سپس متغیرهای مسأله مربوط به تخصیص آب در طول فصل زراعی پیش‌بینی گردید. در شکل‌های (۴) تا (۷)، مقایسه نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های گرگ خاکستری و رقابت استعماری و مقادیر مشاهداتی برای آب تخصیص یافته در طول فصل زراعی برای منطقه‌های چهارگانه شبکه آبیاری و زهکشی صوفی چای نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های (۴) تا (۷)، مشاهده می‌شود نتایج حاصل از اجرای الگوریتم



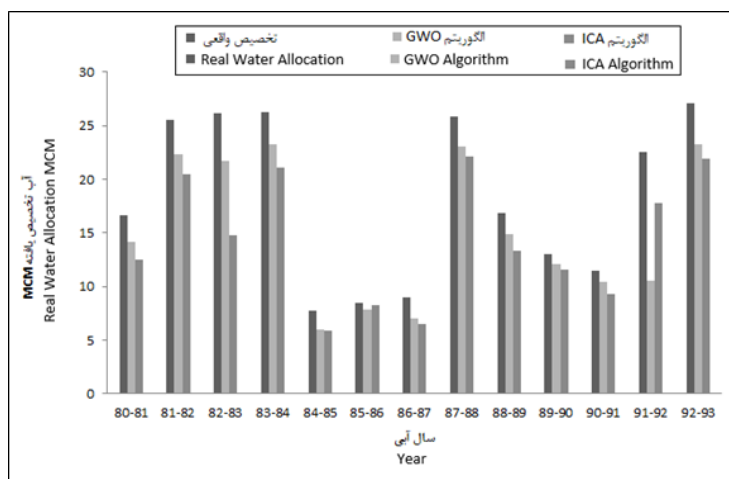
شکل ۴- مقایسه مقادیر آب تخصیص یافته واقعی و حاصل از اجرای الگوریتم‌های رقابت استعماری و گرگ خاکستری در منطقه یک محدوده مطالعاتی

Fig. 4- Comparison of the real water allocation values and the results of imperialist competition and gray wolf algorithms in Zone-1



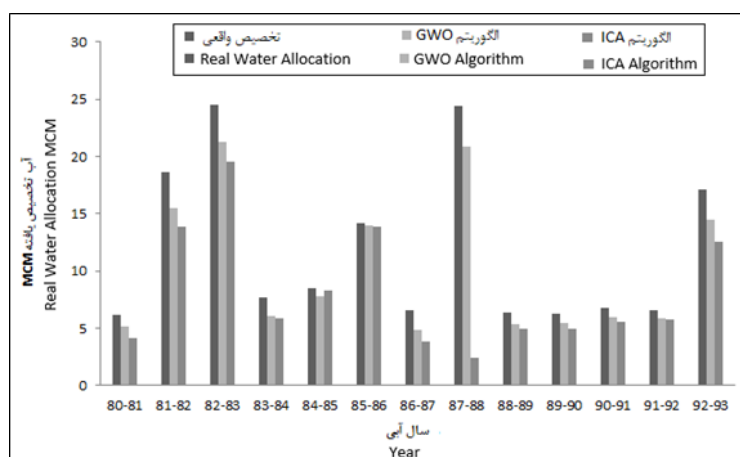
شکل ۵- مقایسه مقادیر آب تخصیص یافته واقعی و حاصل از اجرای الگوریتم‌های رقابت استعماری و گرگ خاکستری در منطقه دو محدوده مطالعاتی

Fig. 5- Comparison of the real water allocation values and the results of imperialist competition and gray wolf algorithms in Zone-2



شکل ۶- مقایسه مقادیر آب تخصیص یافته واقعی و حاصل از اجرای الگوریتم‌های رقابت استعماری و گرگ خاکستری در منطقه سه محدوده مطالعاتی

Fig. 6- Comparison of the real water allocation values and the results of colonial competition and gray wolf algorithms in Zone-3

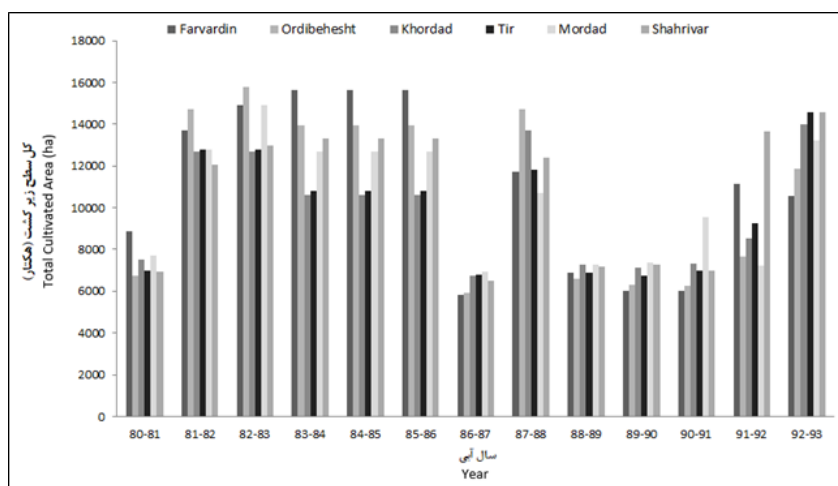


شکل ۷- مقایسه مقادیر آب تخصیص یافته واقعی و حاصل از اجرای الگوریتم‌های رقابت استعماری و گرگ خاکستری در منطقه چهار محدوده مطالعاتی

Fig. 7- Comparison of the real water allocation values and the results of imperialist competition and gray wolf algorithms in Zone-4

جدول ۲- مقادیر معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در منطقه‌های چهارگانه
 Table 2. Values of evaluation criteria for optimization algorithms in four zones

منطقه-۴ Zone-4	منطقه-۳ Zone-3	منطقه-۲ Zone-2	منطقه-۱ Zone-1	الگوریتم Algorithm	معیار ارزیابی Evaluation criteria
0.989	0.857	0.994	0.985	GWO	R ²
0.272	0.899	0.984	0.937	ICA	
1.95	4.16	2.42	2.94	GWO	RMSE
6.65	4.75	4.13	5.07	ICA	
0.918	0.681	0.969	0.841	GWO	NS
0.046	0.584	0.909	0.528	ICA	



شکل ۸- کل سطح زیر کشت بهینه در ابتدای هر ماه بر حسب هکتار
 Fig. 8- Total optimal crop area at the beginning of each month per hectare

شده باشد که این‌گونه می‌توان استنباط کرد که در بیشتر سال‌های آماری سطح زیر کشت با روند افزایشی مواجه بوده است.

نتیجه‌گیری

تخصیص منطقی و بهینه منابع‌های آب در بین مصرف‌کنندگان، نیازمند اندازه‌گیری موثر این منابع‌ها و مدیریت یکپارچه آن جهت برقراری عدالت انسانی و محیط زیستی می‌باشد. بهینه‌سازی تخصیص منابع‌های آب یک مسأله تصمیم‌گیری بسیار پیچیده در چندین سطح، مرحله، موضوع، هدف و ارتباطات غیر خطی می‌باشد. با این حال، اثربخشی الگوریتم‌های بهینه‌سازی متعارف از دیدگاه‌های مختلف ایده‌آل نیست، و مواردی همچون همگرایی،

توانسته‌اند به همان جواب تحلیلی مسأله برسند. شکل (۸)، کل سطح زیر کشت بهینه در هر سال را که از اجرای مدل تعیین الگوی کشت بهینه براساس مقادیر پیش‌بینی شده منابع آب توسط دو الگوریتم رقابت استعماری و گرگ خاکستری در ابتدای هر ماه از سال و با اعمال محدودیت حداقل و حداکثر سطح زیر کشت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۸)، مشاهده می‌شود که بررسی‌ها بایستی در دو بخش جداگانه صورت گیرد. الف) سال‌هایی که مقادیر پیش‌بینی شده بیشتر از مقادیر واقعی باشد. این سال‌ها همراه با کاهش سطح زیر کشت محصول‌ها از مقدار اولیه می‌باشد که با کاهش سطح زیر کشت، تنها درصدی از سطح زیر کشت، به صورت کامل آبیاری می‌شود. ب) سال‌هایی که مقادیر منابع آب بیشتر از مقادیر پیش‌بینی

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Nash-Sutcliffe Coefficient
- ² Grey Wolf Optimizer
- ³ Imperialist Competitive Algorithm
- ⁴ Imperialist
- ⁵ Colony
- ⁶ Assimilation
- ⁷ New Position of Colony
- ⁸ Tracking and approaching
- ⁹ Pursing and encircling
- ¹⁰ Attacking

سرعت محاسبه، حساسیت اولیه، و غیره، به دلیل پیچیدگی و چند هدف بودن بهینه‌سازی تخصیص منابع‌های آب، نیازمند مطالعات بیشتری برای بهبود کارایی الگوریتم، و به دست آوردن راه حل مطلوب کلی، می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که الگوریتم GWO سرعت مناسبی در یافتن جواب بهینه دارد، به عبارت دیگر نرخ هم‌گرایی بالایی دارد و می‌تواند بهینه سراسری را در یک مسأله بهینه‌سازی پیدا نماید. در تحقیق حاضر نتایج حاصل از اجرا و بکارگیری الگوریتم GWO با الگوریتم رقابت استعماری مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در مورد مسأله تخصیص آب در بهره‌برداری تلفیقی از منابع‌های آب سطحی و زیرزمینی، الگوریتم گرگ خاکستری نتایج بهتر و قابل قبول‌تری بیان می‌نماید.

منابع

- Abdulkaki, D., Al-Hindi, M., Yassine, A. and Najm, M.A., 2017. An optimization model for the allocation of water resources. *Journal of Cleaner Production*. 164, 994-1006.
- Abed-Elmdoust, A. and Kerachian, R., 2012. Water Resources allocation using a cooperative game with Fuzzy Payoffs and Fuzzy Coalitions. *Water Resources Management*. 26(13), 3961-3976.
- Anvari, S., Mousavi, S.J. and Morid, S., 2014. Sampling/stochastic dynamic programming for optimal operation of multi-purpose reservoirs using artificial neural network-based ensemble stream flow predictions. *Journal of Hydro informatics*. 16(4), 907-921.
- Atashpaz-Gargari, E. and Lucas, C., 2007a. Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 25th-28th September, Singapore, p.p. 4661-4667.
- Atashpaz Gargari, E., Hashemzadeh, F., Rajabioun, R. and Lucas, C., 2008. Colonial competitive algorithm: a novel approach for PID controller design in MIMO-distillation column process. *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics (IJICC)*. 1(3), 337-355.
- Bozorg-Haddad, O., Karimirad, I., Seifollahi-Aghmiami, S. and Loaiciga, H.A., 2014. Development and application of the Bat Algorithm for optimizing the operation of reservoir systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 141(8), 1947-1957.
- Connor, W. and Paulin, C., 2017. Hydrometric network design using dual entropy multi-objective optimization in the Ottawa River Basin. *Hydrology Research*. 48(6), 1639-1651.
- Dalin, C., Qiu, H., Hanasaki, N., Mauzerall, D.L. and Rodriguez-Iturbe, I., 2015. Balancing water resource conservation and food security in China. *PNAS*. 112(15), 4588-4593.
- Davijani, M.H., Banihabib, M.E., Anvar, A.N. and Hashemi, S.R., 2016a. Optimization model for the allocation of water resources based on the maximization of employment in the agriculture and industry sectors. *Journal of Hydrology*. 533(1), 430-438.
- Davijani, M.H., Banihabib, M.E., Anvar, A.N. and

- Hashemi, S.R., 2016b. Multi-Objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. *Water Resources Management*. 30(3), 1-20.
- Eliasson, J., 2015. The rising pressure of global water shortages. *Nature*. 517, 6.
- Gaur, S., Ch, S., Graillot, D., Chahar, B.R. and Kumar, D.N., 2013. Application of artificial neural networks and particle Swarm Optimization for the management of groundwater resources. *Water Resources Management*. 27(3), 927-941.
- Georgakakos, K.P., 2012. Water supply and demand sensitivities of linear programming solutions to a water allocation problem. *Applied Mathematics*. 3(10), 1285-1297.
- Girard, C., Rinaudo, J. and Pulido-Velazquez, M., 2016. Sharing the cost of a river basin adaptation portfolios to climate change: Insights from social justice and cooperative game theory. *Water Resources Research*. 52(10), 7945-7962.
- Grizzetti, B., Pistocchi, A., Liqueste, C., Udias, A., Bouraoui, F. and van de Bund, W., 2017. Human pressures and ecological status of European rivers. *Scientific Reports*. 7(1), 11-1.
- Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Konzmann, M., Ludwig, F., Masaki, Y., Schewe, J., Stacke, T., Tessler, Z.D., Wada, Y. and Wisser, D., 2014. Global water resources affected by human interventions and climate change. *PNAS*, 111(9), 3251-3256.
- Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A. and Mckee, M., 2015. Assessment of optimal irrigation water allocation for pressurized irrigation system using water balance approach, learning machines, and remotely sensed data. *Agricultural Water Management*. 153, 42-50.
- He, L.X. and He, S.H., 2015. Solving water resource scheduling problem through an improved artificial Fish Swarm Algorithm. *International Journal of Simulation Modelling*. 14(1), 170-181.
- He, L., Shen, J. and Zhang, Y., 2017. Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management. *Journal of Environmental Management*. 206, 1115-1125.
- Jafarzadegan, K., Abed-Elmdoust, A. and Kerachian, R., 2013. A fuzzy variable least core game for Inter-basin water resources allocation under uncertainty. *Water Resources Management*. 27(9), 3247-3260.
- Karamouz, M., Nazif, S., Sherafat, M.A. and Zahmatkesh, Z., 2014. Development of an optimal reservoir operation scheme using extended evolutionary computing algorithms based on conflict resolution approach: a case study. *Water Resources Management*. 28(11), 3539-3554.
- Larsen, T.A., Hoffmann, S., Lüthi, C., Truffer, B. and Maurer, M., 2016. Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science*. 352(6288), 928-933.
- Li, M., Fu, Q., Singh, V.P., Ma, M. and Liu, X., 2017. An intuitionistic fuzzy multi-objective non-linear programming model for sustainable irrigation water allocation under the combination of dry and wet conditions. *Journal of Hydrology*. 555, 80-94.
- Lu, H.W., Ren, L.X., Chen, Y.Z., Tian, P.P. and Liu, J., 2017. A cloud model based multi-attribute decision making approach for selection and evaluation of groundwater management schemes. *Journal of Hydrology*. 555, 881-893.
- Mansouri, R., Torabi, H. and Morshedzadeh, H., 2015. Optimization of the water distribution networks with Differential Evolution (DE) and Mixed Integer Linear Programming (MILP). *Journal of Water Resource & Protection*. 7(9), 715-729.
- Marques, G.F., Lund, J.R. and Howitt, R.E., 2010. Modeling conjunctive use operations and farm decisions with

- two-stage stochastic quadratic programming. *Journal of Water Resources Planning & Management*. 136(3), 386-394.
- Mianabadi, H., Mostert, E., Zarghami, M. and Giesen, N.V.D., 2014. A new bankruptcy method for conflict resolution in water resources allocation. *Journal of Environmental Management*. 144(144), 152-159.
- Miguel, L.F.F., Miguel, L.F.F. and Lopez, R.H., 2014. A firefly algorithm for the design of force and placement of friction dampers for control of man-induced vibrations in footbridges. *Optimization & Engineering*. 16(3), 633-661.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M. and Lewis, A., 2014. Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*. 69, 46-61.
- Mosleh, Z., Salehi, M.H., Fasakhodi, A.A., Jafari, A., Mehnatkesh, A. and Borujeni, I.E., 2017. Sustainable allocation of agricultural lands and water resources using suitability analysis and mathematical multi-objective programming. *Geoderma*. 303, 52-59.
- Nicklow, J., Reed, P., Savic, D., Dessalegne, T., Harrell, L., Chan-Hilton, A., Karamouz, M., Minsker, B., Ostfeld, A., Singh, A. and Zechman, E., 2010. State of the art for Genetic Algorithms and beyond in water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning & Management*. 136(4), 412-432.
- Niknam, T., Narimani, M.R., Jabbari, M. and Malekpour, A.R., 2011. A modified shuffle frog leaping algorithm for multi-objective optimal power flow. *Energy*. 36(11), 6420-6432.
- Nikoo, M.R., Kerachian, R., Karimi, A. and Azadmia, A.A., 2013. Optimal water and waste-load allocations in rivers using a fuzzy transformation technique: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185(3), 2483-2502.
- Pérez, C.J., Vega-Rodríguez, M.A., Reder, K. and Flörke, M., 2017. A multi-objective artificial bee colony-based optimization approach to design water quality monitoring networks in river basins. *Journal of Cleaner Production*. 166, 579-589.
- Ryu, J.H., Contor, B., Johnson, G., Allen, R. and Tracy, J., 2012. System dynamics to sustainable water resources management in the eastern snake plain aquifer under water supply uncertainty. *Journal of the American Water Resources Association*. 48(6), 1204-1220.
- Singh, A., 2014. Simulation-optimization modeling for conjunctive water use management. *Agricultural Water Management*. 141, 23-29.
- Sivakumar, B., 2000. Chaos theory in hydrology: important issues and interpretations. *Journal of Hydrology*. 227(1), 1-20.
- Szemis, J.M., Dandy, G.C. and Maier, H.R., 2013. A multi-objective ant colony optimization approach for scheduling environmental flow management alternatives with application to the River Murray, Australia. *Water Resources Research*. 49(10), 6393-6411.
- Vaghefi, S.A., Mousavi, S.J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R. and Arnold, J.R., 2015. Integration of hydrologic and water allocation models in basin-scale water resources management considering crop pattern and climate change: Karkheh River Basin in Iran. *Regional Environmental Change*. 15(3), 475-484.
- Yu, S. and Wang, M.Y., 2014. Comprehensive evaluation of scenario schemes for Multi-objective decision-making in river ecological restoration by artificially recharging river. *Water Resources Management*. 28(15), 5555-5571.





Environmental Sciences Vol. 18/ No. 2/ Summer 2020

203-218

Comparison of the efficiency of gray wolf optimizer and imperialist competitive algorithms in an optimal allocation of water in irrigation and drainage networks (case study: Sofi-Chay network)

Farhad Misaghi,^{1*} Amir Hossein Amani¹ and Alireza Seddigh²

¹ Water Engineering Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran

² Department of Hydraulic Structures, Agriculture Faculty, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Received: 2019.03.18 Accepted: 2019.11.10

Misaghi, F., Amani, A.H. and Seddigh, A., 2020. Comparison of the efficiency of gray wolf optimizer and imperialist competitive algorithms in an optimal allocation of water in irrigation and drainage networks (case study: Sofi-Chay network). *Environmental Sciences*. 18(2): 203-218.

Introduction: Water scarcity is one of the most important issues in the 21st century that human societies encounter. Population growth, industrial and agricultural production, rapid urbanization, and severe climate change have had a major impact on limited water resources and the environment in river basins. The optimal allocation of water resources among consumers requires effective measurements of water resources and its integrated management for human and environmental justice. Optimization of water resource allocation is a very complex decision to make in several levels, stages, subjects, objectives, and non-linear communications. With the complexity of water allocation issues, its algorithms have been gradually improved, and the use of intelligent meta-analysis algorithms in optimizing the allocation of water resources from traditional math planning has surpassed. However, the effectiveness of conventional optimization algorithms is not ideal from a variety of perspectives, and issues such as convergence, computational speed, initial sensitivity, etc., due to the complexity and multi-purpose of optimizing water allocation, require further studies to improve the efficiency of the algorithm and obtaining a desirable overall solution.

Material and methods: The gray wolf algorithm mimics the hierarchy of leadership and the mechanism of hunting gray wolves in nature. In this algorithm, four types of gray wolves, including alpha, beta, delta, and omega have been used to simulate a hierarchy of leadership. Also, the colonial competition algorithm begins with some

*Corresponding Author. *Email Address:* farhad_misaghi@znu.ac.ir

primary random populations, each of which is called a “country”. Some of the best population elements (equivalent to the elites in the genetic algorithm) are chosen as imperialists. The remaining population is considered as a colony. Colonialists, depending on their power, are pulling these colonies into a particular process. In this research, the gray wolf and colonial competition algorithms were used to optimize water resources values during 2000-2012 regarding the Sofi-Chay irrigation and drainage network and Alavian dam to achieve the optimal policy. The Alavian dam in the province of East Azerbaijan, 3km north of Maragheh city, near the village of Alavian, has been constructed on the Sofi-Chai River, and supplies drinking water to the Maragheh, Miandoab, Bonab, Ajbashir, and Malekan counties.

Results and discussion: The results of the implementation of the gray wolf algorithm, compared to the colonial competition algorithm, were very close to the measured value of the amount of allocated water and this suggests the coherence and efficiency of the gray wolf algorithm in water resources system. According to the RMSE values in all four areas, the gray wolf algorithm was 44% less than the colonial competition algorithm and 64% higher in the Nash-Sutcliffe coefficient.

Conclusion: The results of this study showed that the gray wolf algorithm has a suitable speed for finding the optimal response. In other words, it has a high convergence rate and can find an optimal global optimization problem. The results showed that the gray wolf algorithm yielded better and more acceptable results in water utilization in combination with utilizing surface water and underground water resources.

Keywords: Water resources, Optimization, Gray wolf algorithm, Imperialist competitive algorithm.