اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۵، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص ۱۰۷۸-۱۰۶۳

کاربرد الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی کلونی مورچه در تخصیص بهینهٔ منابع آب چاه نیمهٔ سیستان تحت سناریوهای مدیریتی

جواد شهرکی[1*]، علی سردارشهرکی[2]، صفیه نوری[3]

۱. دانشیار علوم اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳. کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۱/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۵/۱۵)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، تخصیص بهینهٔ منابع آب مخازن چاه نیمهٔ سیستان تحت سه سناریوی مدیریتی با استفاده از تکنیک فراابتکاری جامعهٔ مورچگان است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد بهترین مقدار تابع هدف (حداکثرسازی میزان تأمین آب) با استفاده از الگوریتم یادشده ۸۲/۵ میلیون مترمکعب بوده است. همچنین، در سال‌های اولیه مقدار رهاسازی بهینهٔ الگوریتم مورچگان ۲۱ و میزان تقاضا ۹۸/۳ میلیون مترمکعب به دست آمده که به مقدار ۷۷/۳ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز وجود داشته است. عملکرد الگوریتم مورچه در سناریوی خط لولهٔ دوم آب شرب به زاهدان به تابع هدف بهینه نزدیک‌تر شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین مقادیر تابع هدف در سناریوی تثبیت ریزگردها ۱۰۰/۰۵۹۳ بود، از این رو پس از مدتی رهاسازی برای بخش کشاورزی دیگر امکان‌پذیر نخواهد بود. نتایج سناریوی توسعهٔ سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴ نشان داد تقاضا در ابتدای دوره کم است و به‌تدریج با توسعهٔ کشاورزی در منطقه، میزان تقاضا افزایش می‌یابد. از این رو، پیشنهاد می‌شود با گسترش حقابهٔ ایران از افغانستان، بتوان مشکلات و خشکسالی‌های چند دههٔ اخیر را برطرف کرد.

کلیدواژگان: الگوریتم‌های فراابتکاری مورچگان، بهینه‌سازی، سناریوهای مدیریتی، سیستان، مخازن چاه نیمه.

* نویسندهٔ مسئول

Email: j.shahraki@eco.usb.ac.ir

مقدمه

امروزه، کمبود آب بزرگ‌ترین معضل جهان است و بحران‌های ناشی از کمبود منابع آب شیرین تهدیدی جدی در توسعهٔ پایدار محیط زیست، سلامت و رفاه انسان‌هاست، به گونه‌ای که دولت‌ها را ملزم به تغییر در چگونگی برخورد با این منابع و به کار بردن روش‌های مدیریت مشارکتی برای درگیری بهره‌برداران در تمامی مراحل و سطوح مدیریت آبی و محیط زیست کرده است [۱]. آب، به‌جز کارکرد حیاتی در تداوم زندگی هر فرد، کاربردهای گستردهٔ اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در جوامع دارد. در تولید تمامی کالاهای مورد نیاز انسان می‌توان رد پای آب را مشاهده کرد، برای تولید انواع محصولات صنعتی و خدماتی در مراحل مختلف، آب مورد نیاز است. کاربرد آب در تولید غذا، لازم بوده و تأمین امنیت غذایی به دارایی منابع آب هر کشور وابسته است. با توجه به درهم‌تنیدگی امنیت غذایی و میزان منابع آب در هر کشور و منطقه، میزان آب برداشتی و نسبت آن با تجدید منابع در هر کشور، مشخص‌کنندهٔ درجهٔ امنیت غذایی آن کشور یا منطقه است و ریسک تأمین غذا را برای آن کشور روشن می‌کند. از آنجا که چرخهٔ آب در جهان یک چرخهٔ بسته است و میزان مشخصی دارد، نبود تعادل در برخورداری از منابع آب با میزان تقاضای غذا در هر منطقه، می‌تواند بر عرضه و تقاضای غذا در جهان مؤثر باشد و صحنهٔ رقابتی را فراهم آورد که بیشتر کشورهای جهان در آن شرکت می‌کنند [۲].

هر چند منابع آب موجود در کرهٔ زمین زیاد است، اما ۳۷ درصد این منابع شور است و انسان‌ها مقدار بسیار محدودی از آن را به طور مستقیم استفاده می‌کنند. همچنین، درصد زیادی از آب‌های کرهٔ زمین به صورت بلورها یا رودخانه‌های یخی از دسترس خارج شده و آنچه باقی مانده در عمق زمین ذخیره شده است [۳]. افزایش جمعیت، توسعهٔ فعالیت‌های وابسته به آب و رقابت شدید بین بخش‌های مصرف‌کننده از سویی و محدودیت روزافزون منابع آب در دسترس از سوی دیگر، تأمین مصارف یک حوضه را با مشکلات جدی روبه‌رو کرده است [۴]. بنابراین، به برنامه‌ریزی تخصیص عادلانهٔ آب، بر اساس توسعهٔ پایدار بسیار اهمیت داده شده است. در حالت ایده‌آل، تخصیص آب باید از نظر اقتصادی، کارآمد و از نظر فنی، عملی و نیز از نظر اجتماعی، عادلانه باشد. تخصیص کارآمد از نظر اقتصادی به توزیع آب برای به حداکثر رساندن سود اقتصادی و تخصیص با عدالت اجتماعی به توزیع برای حفظ منافع و تخصیص عادلانهٔ آب به گروه‌هایی که از نظر اقتصادی ضعیف هستند، گرایش دارند. بنابراین، به یک سیستم تخصیص آب مناسب که در آن آب به عنوان یک کالای اجتماعی و اقتصادی در نظر گرفته شود، نیاز است [۵].

ایران از نظر اقلیمی در ناحیهٔ خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است. متوسط بارندگی سالانهٔ کشور ۲۵۰ میلی‌متر است که بسیار کمتر از متوسط بارندگی سالانهٔ آسیا و جهان (به‌ترتیب ۷۳۲ و ۸۳۱ میلی‌متر) است. بدیهی است تأمین این میزان آب از منابع تجدیدپذیر آبی کشور امکان‌پذیر نیست و کمبود و کاهش کیفیت منابع آب، چالش مهم برنامه‌های توسعهٔ کشور در آینده خواهد بود [۶]. قرارگرفتن در انتهای یک حوضهٔ آبخیز بسته، سیستم پیچیدهٔ هیدرولیکی-هیدرولوژیکی رودخانهٔ هیرمند و تأمین نیاز محیط زیستی هامون در شرایط حاد، همچنین وزش بادهای ۱۲۰ روزه به همراه بارندگی ناچیز سالانه، دمای زیاد و خاک با نفوذپذیری کم از یک سو و محدودیت منابع آب زیرزمینی، منابع آب سطحی مشترک با کشور همسایه و تسلط‌نداشتن بر سرچشمهٔ رود هیرمند در منطقهٔ متعلق به ایران، شرایطی را به وجود آورده‌اند که این ناحیه موقعیت ویژه‌ای داشته باشد. در حالی که میزان بارندگی در منطقهٔ یادشده یک پنجم میانگین کشوری (۵۰ میلی‌متر در سال) و میزان تبخیر ۲ تا ۲/۵ برابر میانگین کشوری است (سه تا چهار هزار میلی‌متر)، تنها منبع آب در این منطقه مخازن چاه نیمه است. مخازن مصنوعی آب شیرین چاه‌های نیمهٔ سیستان به صورت گودال‌های طبیعی در جنوب سیستان و در فاصلهٔ پنج‌کیلومتری شهر زهک و ۳۰ کیلومتری شهر زابل با وسعت ۴۶ کیلومترمربع در انتهای حوضهٔ رودخانهٔ هیرمند احداث شده است. این مخازن با آب باران و آب رودخانهٔ سیستان پر می‌شود. حجم کل مخازن مربوط به چاه های نیمه معادل ۱۴۴۰ میلیون مترمکعب است که فقط حدود ۹۰۰ میلیون مترمکعب آن قابل استفاده است. این مخازن اصلی‌ترین منبع تأمین آب بخش‌های شرب و کشاورزی و محیط زیست منطقه است [۷]. منطقهٔ یادشده به دلیل دو رودخانهٔ سیستان و پریان و مخازن موجود و کانال‌های ارتباطی آب و بخش‌ها و ذی‌نفعان مختلف، سیستم مهندسی آب پیچیده‌ای دارد که نیازمند روش‌هایی است که بتواند این سیستم را در نظر بگیرد و تخصیص

بهینهٔ آب بین بخش های مختلف را با کمترین خطا انجام دهد. با توجه به لزوم استفادهٔ بهینه از منابع آب و وجود روش‌های مختلف بهینه‌سازی، کاربرد الگوریتم فراابتکاری جامعهٔ مورچگان در تخصیص بهینهٔ آب مخازن چاه نیمه در منطقهٔ سیستان در پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است. از این‌رو، هدف اصلی پژوهش حاضر تخصیص بهینهٔ منابع آب مخازن چاه نیمهٔ سیستان به بخش‌های کشاورزی، شرب و محیط زیست تحت سناریوهای مدیریتی انتقال خط لولهٔ دوم آب شرب به شهرستان زاهدان، تثبیت ریزگردها و توسعهٔ سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴ بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه است.

در زمینهٔ الگوریتم‌های فراابتکاری، پژوهش‌های متعددی انجام شده که در ادامه اشارهٔ کوتاهی به آن‌ها می‌شود:

برهانی داریان و مرتضوی نائینی از الگوریتم ACO با ساختار حجم ذخیرهٔ گسسته در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک‌مخزنی دز استفاده کردند و گفتند که حل مسائل پیوسته با ساختار گسستهٔ متغیرهای تصمیم با استفاده از الگوریتم ACO به نتایج نه‌چندان خوب در مقایسه با روش ژنتیک منجر می‌شود [۸]. افشار و همکارانش دو نوع الگوریتم ACO را در مسئلهٔ بهره‌برداری از مخزن سد برقابی آزمایش کردند که شامل الگوریتم‌های سیستم مورچگان ترتیبی و سیستم مورچگان بیشینه-کمینه می‌شد. هر دو الگوریتم با تعداد ۱۰۰ مورچه و در دو هزار تکرار تابع هدف در نرم‌افزار اجرا شد. بهترین جواب به‌دست‌آمده توسط الگوریتم‌های سیستم مورچگان ترتیبی و سیستم مورچگان بیشینه- کمینه به‌ترتیب برابر ۹/۶۸ و ۸/۱۱ بود و جواب بهینه با استفاده از نرم‌افزار LINGO معادل ۷/۳۷۲ بود. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد ACO الگوریتم موفقی در حل مسائل بهره‌برداری از مخازن سدها است و الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه- کمینه برای حل مسئلهٔ مد نظر مناسب‌تر عمل کرده است [۹]. افشار و همکارانش فرایند تظریف تطبیقی احتمالاتی را برای ارتقای عملکرد الگوریتم مورچگان در رسیدن به جواب‌هایی در حد جواب‌های بهینهٔ پیوسته پیشنهاد دادند. در این روش گسسته‌سازی ابتدا به شکل یکنواخت و سپس با توزیع گوسی انجام شد. در نهایت، قابلیت‌های روش یادشده با به‌کارگیری الگوریتم مورچهٔ بیشینه-کمینه (MMAS) در بهینه‌سازی مخزن ساده و برقابی ارزیابی شده و نتایج به‌دست‌آمده با سایر روش‌ها مقایسه شد. نتایج مقایسه، مؤثربودن فرایند تظریف تطبیقی احتمالاتی در به‌دست‌آوردن جواب‌های نزدیک بهینه را تأیید کرد [۱۰]. حسین‌زاده و همکارانش قابلیت الگوریتم چندجامعه‌ای مورچه‌ها را در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفهٔ تخصیص بار آلودگی بررسی کردند. آن‌ها از سه مدل مختلف برای به‌دست‌آوردن جواب‌های غالب استفاده کردند [۱۱]. برهانی داریان و مرادی در بهره‌برداری از سیستم‌های چندمخزنی حوضهٔ کرخه از الگوریتم مورچگان پیوسته (ACOR) استفاده کردند و سپس نتایج این الگوریتم را با الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد ACOR با افزایش تعداد متغیرهای تصمیم، علاوه بر افزایش زمان محاسبات، با کاهش میزان بهینگی مواجه خواهد شد و بدون ایجاد تمهیداتی، ACOR از حل مسائل پیچیدهٔ آب ناتوان خواهد بود [۱۲]. بنی‌بشر و همکارانش برای بهره‌برداری بهینه از سد مخزنی علویان واقع در حوضهٔ صوفی‌چای مراغه، از الگوریتمی بر مبنای رفتار مورچه‌ها استفاده کرده‌اند. بر اساس نتایج پژوهش آن‌ها الگوریتم سیستم جامعهٔ مورچه‌ها برای بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها مناسب است [۱۳]. هاشمی‌نسب و همکارانش از الگوریتم جامعهٔ مورچگان برای ارائهٔ سیاست بهینهٔ بهره‌برداری از سد کلان ملایر با هدف تأمین آب شرب و کشاورزی استفاده کرده‌اند. نتیجهٔ بهینه‌سازی انجام‌شده، رسیدن به ضرایب بهینهٔ برداشت از حجم مخزن در هر دوره و سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن این سد بوده است. بنابراین، پاسخ‌های استخراج‌شده از الگوریتم مورچگان به عنوان پاسخ‌های نهایی انتخاب می‌شود [۱۴]. قاسمی و قاسمی در تحقیقی ابتدا روش‌های منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکامل‌یافتهٔ سیستم مورچگان نخبه را به عنوان نوعی از الگوریتم ACO معرفی کرده‌اند. سپس، توانایی این سه روش را در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها به عنوان یکی از مسائل مهم در علوم مهندسی آب مقایسه کرده‌اند. نتایج نشان‌دهندهٔ برتری روش‌های الگوریتم تکامل‌یافتهٔ سیستم مورچگان نخبه و الگوریتم ژنتیک داشت، در حالی که قدرت بهینه‌سازی روش منطق فازی نسبت به دو الگوریتم استفاده‌شدهٔ دیگر در مسائل غیر خطی، کمتر نشان داده شده است [۱۵]. افشار و همکارانش

قابلیت‌های چهار الگوریتم مختلف از الگوریتم‌های بهینه‌سازی جامعهٔ مورچگان به نام‌های الگوریتم پایهٔ سیستم مورچگان، الگوریتم سیستم مورچگان نخبه، الگوریتم سیستم مورچگان ترتیبی و الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه-کمینه به منظور حل دو مسئلهٔ تک‌هدفهٔ بهره‌برداری از مخزن سد دز به منظور تأمین آب مورد نیاز و بهره‌برداری برقابی از مخزن سد دز را بررسی کردند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان می‌دهد الگوریتم بهینه‌سازی جامعهٔ مورچگان، برای حل مسائل بهره‌برداری از مخازن سدها مناسب است [۱۶]. نجفی و افشار مدیریت پیامدهای ناشی از حملات شیمیایی به شبکه‌های توزیع آب شهری، با درنظرگرفتن دو هدف اصلی کمینه‌کردن تعداد گره‌های آلوده و یک هدف جدید با عنوان کمینه‌کردن زمان بازگشت شبکه به حالت عادی در کنار کمینه‌کردن تعداد عملیات واکنشی را با استفاده از الگوریتم جامعهٔ مورچگان را بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل توسط الگوریتم جامعهٔ مورچگان، کارآمدی استفاده از این نوع الگوریتم‌های فراکاوشی در حل این گونه مسائل را نشان داد [۱۷]. جلالی و همکارانش در تحقیقی الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان را برای بهره‌برداری مخزن توسعه دادند. آن‌ها با درنظرگرفتن رهاسازی به عنوان متغیر تصمیم، سیستم تک‌مخزنهٔ دز را طی دورهٔ کوتاه‌مدت بهینه کردند. الگوریتم‌های به‌کاررفته در پژوهش یادشده، الگوریتم‌های سادهٔ مورچگان و سیستم جامعهٔ مورچگان هستند که فقط در فرایند به‌روزرسانی فرومون‌ها تفاوت دارند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آن‌ها کارایی بهتر مدل سیستم جامعهٔ مورچگان را نشان می‌دهد [۱۸]. افشار و همکارانش در تحقیقی الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان پیوسته (CACO) را برای بهره‌برداری مخازن ارائه کردند. آن‌ها روشی را برای تنظیم پارامترهای مسئله و استراتژی نخبه‌گرا را برای الگوریتم پیشنهادی معرفی کردند. عملکرد این الگوریتم در برخی از توابع معیار آزمایش و با برخی از الگوریتم‌های فراکاوشی مقایسه شده است [۱۹]. جلالی و همکارانش به منظور بهینه‌سازی مخزن سد دز الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان را توسعه دادند. آن‌ها با به‌کارگیری مکانیزم‌هایی همچون انتشار فرومون (PP) و مورچه‌های جست‌وجوگر (EA) و جست‌وجوی موضعی از رانش سریع مورچه‌ها به بخش یکسانی از فضای جست وجو جلوگیری کردند. همچنین، به منظور حل مسئلهٔ ابعادی الگوریتم در مسائل بزرگ‌مقیاس راه حلی را برای اختصاص فرومون ارائه دادند و در آن از فرومون دوبعدی استفاده کردند و به منظور ارزیابی روش پیشنهادی به مقایسهٔ آن با الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بهبود شش درصدی جواب‌ها را نشان داد [۲۰]. کومار و ردی کارایی الگوریتم ACO در بهینه‌سازی چندهدفهٔ سیستم چندمخزنهٔ هیراکود در هند را بررسی کردند. آن‌ها مدل ACO را با درنظرگرفتن افق محدود سری زمانی جریان و دسته‌بندی حجم مخزن فرموله کردند. برای ارزیابی عملکرد ACO، مدل توسعه داده‌شده با الگوریتم ژنتیک با کدگذاری واقعی مقایسه شد. نتایج عملکرد بهتر مدل ACO را در تولید سالانهٔ برقابی نسبت به مدل GA نشان داد [۲۱]. جلالی و همکارانش الگوریتم مورچگان را برای حل مسئلهٔ پیوستهٔ بهره‌برداری مخزن ارائه دادند. در این روش فضای جست‌وجوی پیوستهٔ متغیرهای تصمیم در محدودهٔ مجاز به صورت تصادفی و غیرهمگن گسسته‌سازی می‌شوند و به این ترتیب احتمال ازدست‌رفتن دامنهٔ حل بهینه به کمترین حد می‌رسد. مزیت الگوریتم یادشده نسبت به ACO این است که می‌تواند ترکیبی از متغیرهای پیوسته و گسسته را در خود جای دهد. برای بررسی عملکرد این روش، مسئلهٔ ده‌مخزنه توسط الگوریتم یادشده حل شده است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد این روش راه حل‌های قابل مقایسه با نتایج بهینهٔ عمومی ارائه می‌دهد [۲۲]. معینی و افشار تحقیقی با عنوان «کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی جامعهٔ مورچه‌ها برای عملکرد بهتر منابع و مطالعهٔ سه طرح پیشنهادی روی منابع آب در سد دز» را ارائه کردند. هدف از پژوهش آن‌ها، بهینه‌سازی رهاسازی سد مخزنی چندمنظورهٔ علویان با استفاده از الگوریتم جامعهٔ مورچگان بود [۲۳]. لوپز و همکارانش مسئلهٔ بهره‌برداری از پمپ‌ها را با درنظرگرفتن تعداد روشن و خاموش کردن به عنوان یک محدودیت با استفاده از الگوریتم جامعهٔ مورچگان را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها برتری الگوریتم مورچگان را نشان داد [۲۴]. سوشا و دوریگو نسخهٔ جدیدی از الگوریتم جامعهٔ مورچگان را پیشنهاد دادند که قادر بود به خلاف نسخه‌های پیشین در محیط پیوسته بهینه‌سازی کند. آن‌ها مزایای زیادی برای روش پیشنهادی خود با عنوان «الگوریتم جامعهٔ مورچگان پیوسته» مطرح کردند و آن را روشی دانستند که بتواند ضمن بهره‌گیری از مزایای ACO به حل مسائل

سیستم‌هایی با متغیرهای پیوسته بپردازد [۲۵]. داریان و مرادی از الگوریتم مورچگان برای تعیین مسیر بهره‌برداری بهینه از یک سیستم تک‌مخزنی استفاده کرده و سپس نتایج آن‌ها را با الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند. آن‌ها در این تحقیق نشان دادند الگوریتم پیوسته مانند الگوریتم‌های گسستهٔ مورچگان با افزایش افق زمان، به نتایج ضعیف‌تر منجر می‌شود [۲۶]. هاشمی و همکارانش از الگوریتم کلونی مورچگان برای بهینه‌سازی برنامهٔ پمپاژ در شبکهٔ توزیع آب با استفاده از پمپ دور متغیر در حالت تغییر تقاضای آب در روز استفاده کردند. آن‌ها علاوه بر مدل پیشنهادی، برای کاهش فضای جست‌وجو نشان دادند استفاده از پمپ دور متغیر در برنامهٔ بهره‌برداری از پمپ می‌تواند به صرفه‌جویی حدود ۱۰ درصدی هزینه‌های انرژی پمپاژ در مقایسه با پمپ‌های تک‌سرعت منجر شود [۲۷].

دنگ و لیو برای بهینه‌سازی سیستم کانال آبیاری، از الگوریتم مورچگان توسعه‌یافته در شمال چین استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد الگوریتم کلونی مورچه تا حدود زیادی می‌تواند از هدررفت آب در سیستم مطالعه‌شده جلوگیری کند [۲۸].

نگوین و همکارانش در پژوهشی بهینه‌سازی سیستم آبیاری در شرق کلوریدای امریکا را بررسی کردند. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد الگوریتم به کار گرفته‌شده به‌خوبی توانسته است بهینه‌سازی سیستم آبیاری منطقهٔ مطالعه‌شده را انجام دهد [۲۹].

آزدمیر و همکارانش برای بهینه‌سازی تخصیص بهینهٔ آب کشاورزی از الگوریتم کلونی مورچگان استفاده کردند. هدف مطالعهٔ آن‌ها، حداقل‌سازی هزینه‌های تأسیسات و انتقال آب به بخش کشاورزی بوده است. نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد الگوریتم استفاده‌شده توانایی بهینه‌سازی با بهترین تابع هدف را دارد [۳۰].

تایفور در برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی منابع آب در کنترل و کاهش سیل، سیستم مخزن، آبیاری، مسیریابی سیل، رودخانه، سرعت جریان، فرایند بارندگی-رواناب، انتقال رسوب، مدیریت آب‌های زیرزمینی و کیفیت آب الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک، کلونی مورچگان و ازدحام ذرات را بررسی و مطالعه کرد [۳۱].

بررسی پیشینهٔ پژوهش نشان می‌دهد الگوریتم مورچگان مورد توجه بسیاری از محققان در مدیریت منابع آب قرار گرفته است که قدرتمندبودن آن در تخصیص بهینهٔ منابع آب را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت و استفاده از منابع آب و تخصیص بهینهٔ این منبع کمیاب بین مصارف مختلف در منطقهٔ سیستان ضروری به نظر می‌رسد که برنامه‌ای برای تحقق این هدف در منطقهٔ مطالعه‌شده پایه‌ریزی شود. بنابراین، در تحقیق حاضر برای اولین بار تخصیص بهینهٔ مخازن آب چاه نیمهٔ سیستان با کاربرد الگوریتم جامعهٔ مورچگان تحت سناریوهای مدیریتی بررسی شده است.

روش تحقیق

الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان، از رفتار مورچه‌های طبیعی الهام گرفته شده است که در مجموعهٔ بزرگی در کنار هم زندگی می‌کنند. این الگوریتم از نتایج آزمایش گاس و همکارانش روی مورچه‌های آرژانتینی به دست آمد. سیستم کلونی مورچگان (ACS)[1] در سال ۱۹۹۷ توسط دوریگو و گامباردلا برای بهینه‌کردن عملکرد الگوریتم مورچه‌ها، در حل مسائل پیچیده‌تر با ابعاد بیشتر، ایجاد شده است. این الگوریتم بر اساس تغییراتی الهام گرفته شده است که در الگوریتم مورچه‌های اولیه ایجاد شد. این تغییرات بیشتر به‌منظور ایجاد تعادل میان جست‌وجو و بهره‌برداری ایجاد شده‌اند. تغییرات اعمال‌شده بر الگوریتم مورچه‌ها برای ایجاد ACS به‌صورت زیر است [۳۶ و ۳۷]:

الف) قاعدهٔ انتخاب مقصد: در الگوریتم ACS چگونگی انتخاب مقصد با AS متفاوت است. با فرض اینکه q_0 عددی در بازهٔ $[0,1]$ باشد، با احتمال q_0، مسیری برای حرکت انتخاب می‌شود که بیشترین مقدار فرومون و کمترین فاصله را داشته باشد. با احتمال $1-q_0$، مسیر حرکت مانند الگوریتم AS انتخاب می‌شود. درواقع q_0 میان جست‌وجو و بهره‌برداری نیز تعادل برقرار می‌کند. جست‌وجوی بیشتر سبب افزایش گوناگونی[2] جواب‌ها و بهره‌برداری، سبب تأکید[3] بر بهترین جواب یافت‌شده می‌شود. مقصد بعدی مورچهٔ kام که در شهر iام است، به‌صورت رابطهٔ ۱ تعیین می‌شود:

$$j=\begin{cases}\arg\max_{m\in N_i^k}\left[\tau_{im}^{k}{}^{\alpha}\ \eta_{im}^{k}{}^{\beta}\right], & q\le q_0\\ j_0, & q\succ q_0\end{cases} \qquad (۱)$$

1. Ant Colony System
2. Diversification
3. Intensification

که در آن q عددی تصادفی در بازهٔ صفر و یک و با توزیع یکنواخت است. j_0 نیز مقصدی است تصادفی که با توجه به احتمال تعریف‌شده در رابطهٔ ۲ انتخاب می‌شود:

$$\rho_{i\to j}^{k}=\rho_{ij}^{k}=\begin{cases}\dfrac{{\tau_{ij}}^{\alpha}\ {\eta_{ij}}^{\beta}}{\sum_{m\in N_i^k}{\tau_{im}}^{\alpha}\ {\eta_{im}}^{\beta}} & ,\ j\in N_i^k\\ 0 & ,\ j\notin N_i^k\end{cases} \qquad (۲)$$

در رابطهٔ ۲، α و β اعدادی ثابت و مثبت هستند که برای وزن‌دهی اطلاعات فرومون و اطلاعات ذهنی به کار می‌روند. هرقدر وزن نوعی از اطلاعات بیشتر باشد، تأثیر بیشتری بر چگونگی تصمیم‌گیری مورچه‌ها و در جواب به‌دست‌آمده از آن‌ها دارد. برای بسیاری از مسائل، $\alpha=\beta=1$ نتایج خوبی به همراه دارد؛ اما برای نوع دیگری از مسائل، می‌توان این دو ضریب را طوری تغییر داد که نتایج بهتری به دست آید.

ب) چگونگی تجدید فرومون: در الگوریتم ACS دو نوع تجدید فرومون اعمال می‌شود؛ یک نوع آن تجدید فرومون محلی است، که مورچه‌ها هنگام حرکت در مسیر، روی یال‌هایی که از آن‌ها عبور می‌کنند، فرومون می‌ریزند. این نوع فرومون‌ریزی به صورت رابطهٔ ۳ انجام می‌شود:

$$\tau_{ij}\leftarrow(1-\rho).\tau_{ij}+\rho\tau_0 \qquad (۳)$$

که در آن τ_0 مقدار فرومون اولیهٔ موجود روی مسیرها و ρ نیز ضریب تبخیر است. نوع دیگری از فرومون‌ریزی که سراسری است، فقط روی بهترین مسیر یافته‌شده در هر تکرار، یعنی ψ^+ اعمال می‌شود. اگر $l_{ij}\in\psi^+$ و J^+ طول یا هزینهٔ متناظر با مسیر ψ^+ باشد، فرومون یال l_{ij} به‌صورت رابطهٔ ۴ تغییر می‌کند:

$$\tau_{ij}\leftarrow(1-\rho).\tau_{ij}+\frac{\rho}{J^+} \qquad (۴)$$

البته در رابطهٔ ۴ عمل تبخیر نیز در نظر گرفته شده است و اگر این عمل از رابطهٔ یادشده حذف شود، رابطهٔ ۵ به دست می‌آید که صرفاً عمل تجدید فرومون سراسری را بیان می‌کند:

$$\tau_{ij}\leftarrow\tau_{ij}+\frac{\rho}{(1-\rho).J^+} \qquad (۵)$$

دومرحله‌ای کردن عمل فرومون‌ریزی نیز با هدف ایجاد تعادل میان جست‌وجو و بهره‌برداری، یا به بیان بهتر ایجاد تعادل بین گوناگونی و تأکید، بوده است. برای رسیدن به یک حل مناسب، باید بین α و β تناسبی برقرار شود. از این رو، هر چه میزان α بیشتر باشد، وزن یافته‌های مورچه بیشتر است و هرچه β بیشتر باشد، وزن محیط بیشتر است. به بیان دیگر، تجربهٔ مورچه‌ها در قالب τ_{ij} و اثر محیط روی آن‌ها در قالب η_{ij} ذخیره شده است و باید بین آن‌ها تعادل برقرار شود.

پارامترهای کلی الگوریتم مورچگان (ACO)

در جدول ۱ جمع‌بندی از پارامترهای کلی الگوریتم ACO ارائه شده است.

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم ACO

نام پارامتر	توضیح پارامتر	توضیحات
K	تعداد مورچه‌ها	-
t	ماکزیمم تعداد تکرار	-
τ_0	مقدار اولیهٔ فرومون موجود روی مسیرها	در الگوریتم MMAS به کار نمی‌رود
ρ	ضریب تبخیر	-
α	اطلاعات فرومونی	در الگوریتم ACS، $\alpha=1$ فرض می‌شود
β	اطلاعات ذهنی	در الگوریتم‌های ANTS، SACO به کار نمی‌رود

در مطالعهٔ حاضر تابع هدف، حداکثرسازی میزان تأمین آب از منابع آب چاه نیمهٔ سیستان با توجه قیود مسئله که شامل قیود الگوریتم و محدودیت‌های سیستمی در سیستم مهندسی منابع آب منطقه است. الگوریتم مد نظر تحت سه سناریوی مدیریتی انجام می‌شود که در ذیل سناریوهای یادشده تشریح شده‌اند:

سناریوی ۱) انتقال خط لولهٔ دوم آب شرب به شهرستان زاهدان: یکی از طرح‌های توسعهٔ آب در بخش

شرب، راه‌اندازی خط لولهٔ دوم انتقال آب شرب با ظرفیت ۴۱ میلیون مترمکعب بر ثانیه به شهرستان زاهدان در سال‌های آتی است. در این سناریو پیش‌بینی تأثیرات اجرای این طرح بر عرضه و تقاضای آب مد نظر است.

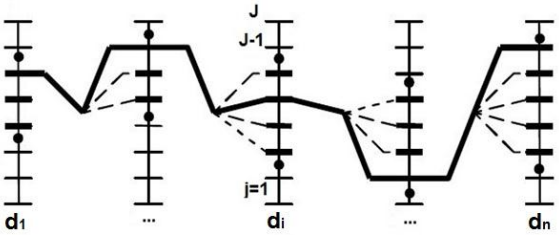
سناریوی ۲) تثبیت ریزگردها: در منطقهٔ سیستان ماه‌های May تا Sep بیشترین فرسایش را دارند و در این سناریو این ماه‌ها به عنوان ماه‌های بحرانی انتخاب شده‌اند. در این سناریو بر اساس اولویت‌بندی هامون بر اساس کانون بحرانی ریزگردها، ۵۰ هکتار از هامون صابوری که در ایران قرار دارد، به عنوان مساحت مد نظر انتخاب شد. هدف از اجرای این سناریو، بررسی آثار بهینه‌سازی الگوریتم کلونی مورچه بر تثبیت ریزگردها و میزان آب بهینه به این سناریو است.

سناریوی ۳) توسعهٔ سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴: طبق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ (سال ۲۰۲۵ میلادی)، باید توسعهٔ سطوح زیر کشت منطقهٔ سیستان، به ۲۰۰ هزار هکتار برسد. بنابراین، در سناریو با هدف توسعهٔ سطح زیر کشت منطقهٔ سیستان تا افق مد نظر به صورت درصدی (هر ساله ۱۰ درصد)، سطوح زیر کشت افزایش داده شده، تا با توجه به شرایط آبی منطقهٔ سیستان بررسی شود که تا چه حد دست‌یابی به این سند و رشد و توسعهٔ سطح زیر کشت ممکن است.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم مورچگان (ACO)

نخستین گام در حل یک مسئله به کمک الگوریتم مورچگان تعیین یک گراف مناسب است. در تعیین گراف با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای اگر فاصلهٔ گسسته‌سازی زیاد باشد، این امکان وجود دارد که پس از عبور مورچه‌ای از چند نقطهٔ تصمیم و انتخاب گزینه‌های تصمیم، در نقطهٔ تصمیم بعدی محدودهٔ گزینه‌های تصمیمی که مورچه می‌تواند انتخاب کند (فاصلهٔ بین دو دایرهٔ توپر) دیگر گره‌ای وجود نداشته باشد. اما اگر قیود زنجیره‌ای در نظر گرفته نشود، می‌توان گسسته‌سازی را به گونه‌ای انجام داد که فاصلهٔ گره‌ها زیاد باشد. در تحقیق حاضر فواصل بین گره‌ها ۰/۵ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است شکل ۱).



شکل ۱. گراف تعریف‌شده برای مسئلهٔ بهره‌برداری از مخزن سد با توجه به قیود زنجیره‌ای

پارامترهای دیگری نیز برای الگوریتم تعریف می‌شود که تغییر هر یک از آن‌ها بر عملکرد الگوریتم تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین، برای این مسئله باید مناسب‌ترین مقدار برای هر پارامتر و ضریب مشخص شود. از این رو، با تغییر مقدار هر پارامتر و ثابت نگه‌داشتن دیگر پارامترها، مقدار مناسب آن با آزمون و خطا به دست می‌آید. شرایط توقف اجرای الگوریتم به شیوه‌های مختلفی تعریف می‌شود. به طور مثال، شرایط توقف اجرای الگوریتم را می‌توان با توجه به موارد زیر تعریف کرد.

۱. سپری‌شدن زمان یا تکرار معین؛
۲. سپری‌شدن زمان یا تکرار معین بدون مشاهدهٔ بهبود خاصی در نتیجه؛
۳. رسیدن به حد قابل قبولی از پاسخ؛
۴. رسیدن به تعداد مشخص از فراخوانی تابع هدف[1] (**NFE**).

در پژوهش حاضر برای الگوریتم دو نوع شرایط خاتمه استفاده شده است. یکی سپری‌شدن تعداد تکرار معین و دیگری سپری‌شدن تعداد تکرار معین بدون مشاهدهٔ بهبود خاصی در نتیجه بوده است. شرایط توقف اجرای الگوریتم جامعهٔ مورچگان 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.

1. Number of Function Evaluation

در جدول ۲ نشان داده شده که اگر تعداد مورچه‌ها کم باشد، تعداد مسیرهای زیادی وجود خواهد داشت که مورچه‌ای از آن‌ها عبور نکرده باشد و این امر سبب می‌شود که مجموعه جواب‌های بسیاری وجود داشته باشد که بررسی نمی‌شوند. از طرفی، تعداد زیاد مورچه‌ها سبب افزایش مدت اجرای برنامه می‌شود که این امر نیز مناسب نخواهد بود. با توجه به فاصلهٔ کم گره‌ها و نیز اعمال قیود زنجیره‌ای تعداد ۳۵۰ مورچه، بهترین جواب را با مقدار ۸۲/۵۲۹ تولید کرده است.

همان طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، در تعداد مورچه ۵۰ در تکرار ۹۰، مقدار تابع هدف ۸۵/۵۷۷۹ است. در تعداد مورچهٔ ۱۰۰ و در همان تکرار ۹۰، مقدار تابع هدف ۸۶/۳۷۵۳ است. اگر تعداد مورچه را به ۳۵۰ برسانیم در تکرار ۸۸، مقدار تابع هدف ۸۲/۵۲۹۰ می شود. در نهایت، اگر تعداد مورچه را به ۶۰۰ برسانیم در تکرار ۸۶، مقدار تابع هدف ۸۴/۸۵۹۹ است. کمترین تابع هدف در تکرار ۸۸ و تعداد مورچه ۳۵۰، مقدار ۸۲/۵۲۹۰ و بیشترین تابع هدف در تکرار ۱۰۲ با تعداد مورچه ۱۵۰، ۸۵/۹۲۸۹ است.

در جدول ۳ نتایج تغییر ضریب تبخیر فرومون نشان داده شده است، تغییرات ضریب تبخیر فرومون از ۰/۱ تا ۰/۹ بوده و مقدار بهینهٔ آن نیز برابر ۰/۹ است.

جدول ۲. تأثیر تعداد مورچه‌ها بر مقدار تابع هدف در الگوریتم جامعهٔ مورچگان

تعداد مورچه	تعداد تکرار	مقدار تابع هدف
۵۰	۹۰	۸۵/۵۷۷۹
۱۰۰	۹۰	۸۶/۳۷۵۳
۱۵۰	۱۰۲	۸۵/۹۲۸۹
۲۰۰	۸۹	۸۴/۵۲۲۸
۲۵۰	۹۰	۸۳/۳۴۳۲
۳۰۰	۹۷	۸۴/۳۴۷۶
۳۵۰	۸۸	۸۲/۵۲۹۰
۴۰۰	۹۱	۸۴/۳۱۶۹
۴۵۰	۸۵	۸۵/۵۰۲۲
۵۰۰	۸۹	۸۳/۷۱۵۳
۵۵۰	۸۵	۸۳/۸۶۸۶
۶۰۰	۸۶	۸۴/۸۵۹۹

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

جدول ۳. تأثیر مقادیر مختلف ضریب ρ بر مقدار تابع هدف در الگوریتم جامعهٔ مورچگان

ضریب ρ	تعداد تکرار	مقدار تابع هدف
۰/۱	۷۵	*
۰/۲	۱۴۵	۸۴/۴۴۷۷
۰/۳	۱۱۰	۸۳/۹۰۰۸
۰/۴	۹۵	۸۳/۶۰۷۹
۰/۵	۸۲	۸۳/۷۵۸۵
۰/۶	۸۸	۸۳/۸۲۹۷
۰/۷	۶۹	۸۳/۷۶۸۲
۰/۸	۶۹	۸۳/۶۲۸۲
۰/۹	۶۶	۸۳/۴۲۴۷

منبع: یافته‌های تحقیق، *: الگوریتم نتوانسته راه حل بدون تخطی را بیابد (واحد: میلیون مترمکعب)

در جدول ۳ می‌توان دید که در ضریب فرومون ۰/۲ در تکرار ۱۴۵ مقدار تابع هدف ۸۴/۴۴۷۷ شده است، اگر ضریب فرومون به ۰/۳ تغییر یابد. در تکرار ۱۱۰ مقدار تابع هدف ۸۳/۹۰۰۸ می‌شود که نسبت به ضریب فرومون ۰/۲ مقدار تابع هدف کاهش یافته است. همچنین، در ضریب فرومون ۰/۴ در تکرار ۹۵ مقدار تابع هدف ۸۳/۶۰۷۹ و در تکرارهای ۶۹ و ۶۶ با ضریب فرومون ۰/۸و ۰/۹ به‌ترتیب مقدار تابع هدف ۸۳/۶۲۸۲، ۸۳/۴۲۴۷ به دست آمده است و با توجه به اینکه در ضریب فرومون ۰/۹ در تکرار ۶۶ برای تابع هدف مقدار کمتری نسبت به مقادیر دیگر تابع هدف در ضریب فرومون‌های مختلف به دست آمده است، این مقدار ضریب فرومون ۰/۹ به عنوان مقدار بهینه برای الگوریتم جامعهٔ مورچگان تعیین می شود. در جدول ۴ پارامترهای مناسب در الگوریتم مورچگان ACO در حل مسئلهٔ بهره‌برداری با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای ارائه شده است.

در جدول ۴ مشاهده می‌شود که مقدار مناسب پارامترهای الگوریتم جامعهٔ مورچگان برای تعداد مورچه مقدار ۳۵۰، فرومون اولیه مقدار ۱۰۰، ضریب جریمه مقدار ۱۰ و برای ضریب تبخیر فرومون ρ مقدار ۰/۹ اتخاذ شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان با توجه به مقادیر مناسب جدول ۴ در جدول ۵ ارائه شده است و میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان در جدول ۵ نشان داده شده است.

در جدول ۵ مشاهده می شود که در پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان در اجرای نخست، تکرار ۸۸ مقدار تابع هدف ۸۲/۵۲۹۰، در اجرای دوم، تکرار ۱۱۰، مقدار تابع هدف ۸۳/۹۰۰۸، اجرای سوم، چهارم و پنجم تکرارهای ۷۰، ۶۵، ۶۶ به‌ترتیب مقدار تابع هدف ۸۳/۵۲۵۵، ۸۳/۵۴۹۱ و ۸۲/۹۹۸۲ شده است. که در اجرای دوم، سوم و چهارم نسبت به اجرای اول تابع هدف افزایش یافته و در نهایت در اجرای پنجم تابع هدف کاهش داشته است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، برای الگوریتم مورچگان میانگین مقدار تابع هدف ۸۳/۳۰۰۵ و بهترین و بدترین مقدار برای تابع هدف الگوریتم مورچگان به‌ترتیب ۸۲/۵۲۹۰ و ۸۳/۹۰۰۸ به دست آمده است. چگونگی عملکرد الگوریتم با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲ نشان می‌دهد در ابتدای اجرای الگوریتم جامعهٔ مورچگان مقدار تابع هدف (حداکثرسازی میزان رهاسازی) زیاد است و هر چه تعداد تکرار افزایش می‌یابد، مقدار تابع هدف کاهش یافته تا جایی که از یک تکرار به بعد بهبودی در مقدار تابع هدف ملاحظه نمی شود. مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم جامعهٔ مورچگان و میزان تقاضا در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم جامعهٔ مورچگان

تعداد مورچه	فرومون اولیه	ضریب جریمه C	ضریب تبخیر فرومون ρ
۳۵۰	۱۰۰	۱۰	۰/۹

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان

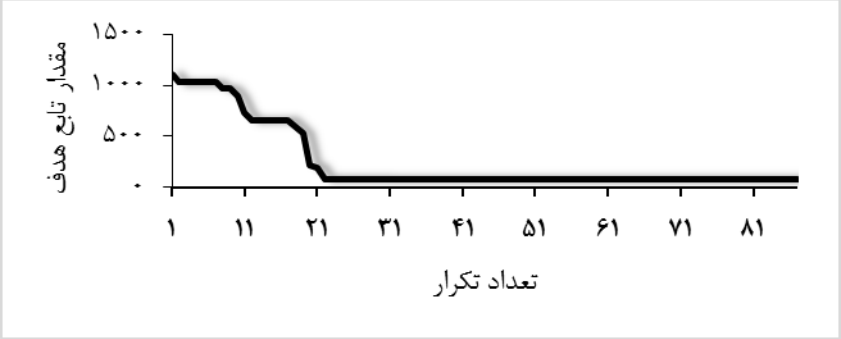
الگوریتم	اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
ACO	مقدار تابع هدف	۸۲/۵۲۹۰	۸۳/۹۰۰۸	۸۳/۵۲۵۵	۸۳/۵۴۹۱	۸۲/۹۹۸۲
	تعداد تکرار	۸۸	۱۱۰	۷۰	۶۵	۶۶

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

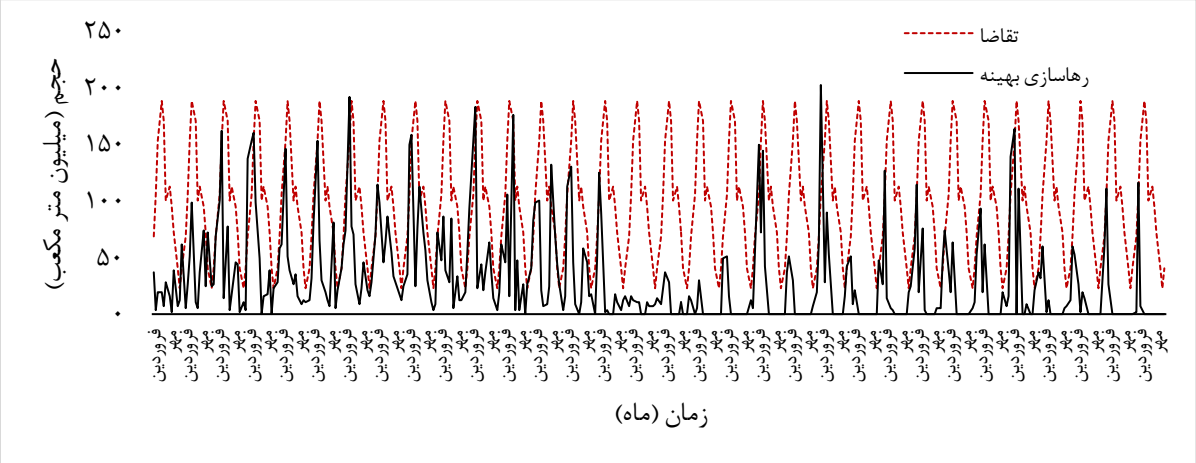
جدول ۶. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبهٔ اجرا

الگوریتم	میانگین مقادیر تابع هدف	بهترین مقدار تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
ACO	۸۳/۳۰۰۵	۸۲/۵۲۹۰	۸۳/۹۰۰۸

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)



شکل ۲. چگونگی عملکرد الگوریتم‌های مورچگان با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای



شکل ۳. مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم جامعهٔ مورچگان (ACO) و میزان تقاضا

در شکل ۳ (رهاسازی و تقاضای الگوریتم مورچه) ملاحظه می‌شود که در تعداد بسیار کمی از ماه‌ها رهاسازی توانسته است که میزان تقاضا را پوشش دهد و در بیشتر ماه‌ها این دو مقدار با هم اختلاف فاحشی دارند. در جدول ۷ میانگین سالانه طی دورهٔ آماری برای الگوریتم جامعهٔ مورچگان ارائه شده است.

بر اساس نتایج ملاحظه می‌شود که در سال اول مقدار رهاسازی بهینهٔ الگوریتم مورچگان ۲۱ و میزان تقاضا ۹۸/۳۱۲۱ میلیون مترمکعب به دست آمده است که به مقدار ۷۷/۳۱۲۱ میلیون مترمکعب سبب عدم تأمین نیاز شده است. در سال دوم مقدار رهاسازی ۳۸/۰۴۱۷ میلیون مترمکعب است که میزان تقاضا برای آن ۹۸/۳۱ و مقدار ۶۰/۲۷ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز داشته است.

– نتایج به‌دست‌آمده از اجرای الگوریتم جامعهٔ مورچگان (ACO) تحت سناریوی اول: خط لولهٔ دوم آب شرب به زاهدان

نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان با توجه به مقادیر مناسبی که از قبل به دست آمده بود در جدول ۷ ارائه شده است و میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای الگوریتم جامعه مورچگان نیز در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷. نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان تحت برای سناریوی اول

	اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
ACO	مقدار تابع هدف	۶۱/۴۳۱۹	۶۰/۷۶۴۷	۶۰/۸۹۴۷	۶۰/۹۴۴۶	۶۱/۱۰۱۲

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

در جدول ۷ ملاحظه می‌شود در پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان برای سناریوی اول مقدار تابع هدف برای اجرای اول برابر ۶۱/۴۳۱۹، اجرای دوم مقدار ۶۰/۷۶۴۷، اجرای سوم مقدار ۶۰/۸۹۴۷، اجرای چهارم مقدار ۶۰/۹۴۴۶ و همین‌طور برای اجرای پنجم مقدار ۶۱/۱۰۱۲ به دست آمده است.

در جدول ۸ می‌توان دید که میانگین مقادیر تابع هدف برای الگوریتم مورچگان در پنج مرتبه اجرا برای سناریوی اول ۶۱/۰۲۷۴ به دست آمده است. همچنین، بهترین مقدار تابع هدف در سناریوی اول در این الگوریتم ۶۰/۷۶۴۷ و بدترین مقدار تابع هدف ۶۱/۴۳۱۹ است. چگونگی عملکرد الگوریتم با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است.

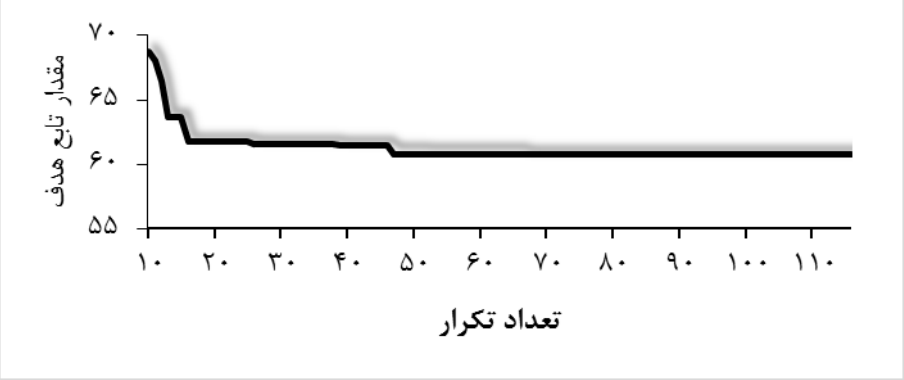
در شکل ۵ رهاسازی بهینه مربوط به الگوریتم‌های مورچگان و میزان تقاضا نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، رهاسازی از مقدار تقاضا تخطی نداشته است. عملکرد الگوریتم مورچه در همان تکرارهای اولیه به تابع هدف بهینه نزدیک‌تر می‌شود.

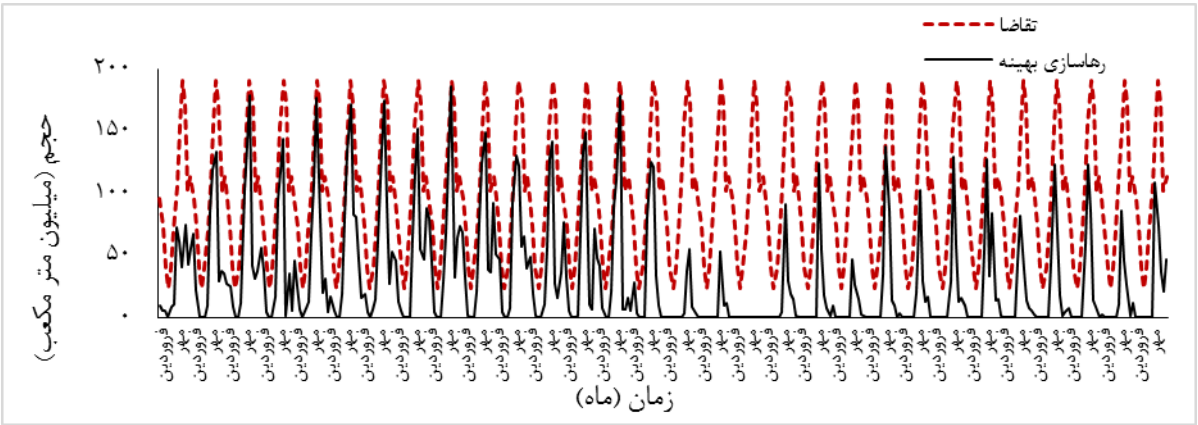
جدول ۸. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبه اجرا تحت سناریوی اول

میانگین مقادیر تابع هدف	بهترین مقدار تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
۶۱/۰۲۷۴	۶۰/۷۶۴۷	۶۱/۴۳۱۹

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)



شکل ۴. چگونگی عملکرد الگوریتم‌های مورچگان با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای تحت سناریوی اول



شکل ۵. مقدار رهاسازی بهینهٔ خروجی الگوریتم جامعهٔ مورچگان و تقاضا برای سناریوی اول

نتایج به‌دست‌آمده از اجرای الگوریتم جامعهٔ مورچگان تحت سناریوی دوم: تثبیت ریزگردها

نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان با توجه به مقادیر مناسبی که از قبل به دست آمده بود، در جدول ۹ ارائه شده است.

در جدول ۹ دیده می‌شود که در سناریوی دوم نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان، در اجرای اول مقدار تابع هدف ۱۰۰/۲۴۴۷، در اجرای دوم مقدار تابع هدف ۱۰۰/۰۸۲۸، در اجرای سوم ۹۹/۹۶۰۰ و برای اجراهای چهارم و پنجم به‌ترتیب مقادیر ۱۰۰/۰۳۲۳، ۹۹/۹۷۶۵ برای تابع هدف به دست آمده است و در اجراهای سوم و پنج مقدار تابع هدف نسبت به اجراهای اول، دوم و اجرای چهارم کاهش داشته است. میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای الگوریتم جامعهٔ مورچگان نیز در جدول ۱۰ ارائه شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین مقادیر تابع هدف در سناریوی دوم ۱۰۰/۰۵۹۳ است. همچنین، در پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان مقدار ۹۹/۹۶ به عنوان بهترین مقدار تابع هدف و مقدار ۱۰۰/۲۴۴۷ به عنوان بدترین مقدار تابع هدف برای این الگوریتم به دست آمده است. چگونگی عملکرد الگوریتم با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۶ نشان داده شده است.

طبق شکل ۶، در تکرارهای اولیه روند نوسان‌پذیری برای تابع هدف وجود دارد، طوری که از یک تکرار به بعد تغییری در تابع هدف مشاهده نمی‌شود. شکل ۷ رهاسازی بهینهٔ مربوط به الگوریتم‌های مورچگان و میزان تقاضا را تحت سناریوی تثبیت ریزگردها نشان می‌دهد.

طبق شکل ۷، با درنظرگرفتن سناریوی اول، پس از مدتی دیگر رهاسازی برای بخش کشاورزی دیگر امکان‌پذیر نیست.

جدول ۹. نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان تحت سناریوی دوم

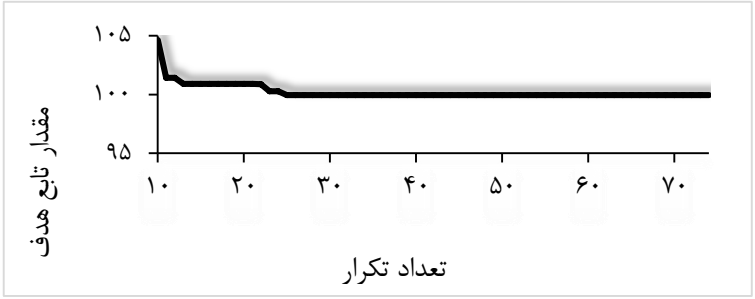
	اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
ACO	مقدار تابع هدف	۱۰۰/۲۴۴۷	۱۰۰/۰۸۲۸	۹۹/۹۶۰۰	۱۰۰/۰۳۲۳	۹۹/۹۷۶۵

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

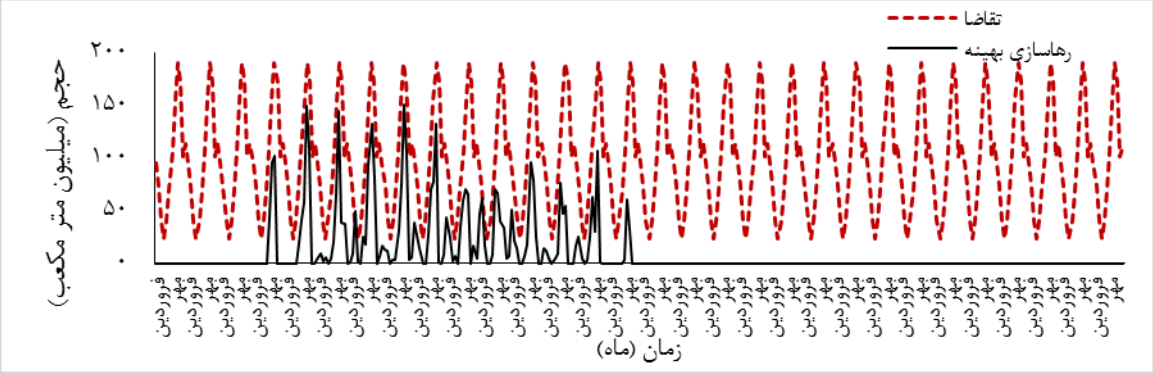
جدول ۱۰. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبه اجرا تحت سناریوی دوم

میانگین مقادیر تابع هدف	بهترین مقدار تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
۱۰۰/۰۵۹۳	۹۹/۹۶۰۰	۱۰۰/۲۴۴۷

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)



شکل ۶. چگونگی عملکرد الگوریتم‌های مورچگان با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای تحت سناریوی دوم



شکل ۷. مقدار رهاسازی بهینهٔ خروجی الگوریتم جامعهٔ مورچگان و تقاضا تحت سناریوی دوم

نتایج به‌دست‌آمده از اجرای الگوریتم جامعهٔ مورچگان تحت سناریوی سوم: توسعهٔ سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴

نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان با توجه به مقادیر مناسبی که از قبل به دست آمده بود، در جدول ۱۱ آورده شده است.

در جدول ۱۱ مشاهده می شود برای سناریوی سوم نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان، مقدار تابع هدف در اجرای اول برابر ۶۷/۴۳۱۱، در اجرای دوم مقدار ۶۷/۵۴۰۸، اجرای سوم مقدار ۶۷/۴۴۸۶، اجرای چهارم ۶۷/۱۴۶۰ و برای اجرای پنجم مقدار ۶۷/۲۶۳۸ به دست آمده است. میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای الگوریتم جامعهٔ مورچگان نیز در جدول ۱۲ ارائه شده است.

در جدول ۱۲ مشخصات آماری عملکرد الگوریتم مورچگان در پنج مرتبه اجرا برای سناریوی سوم ارائه شده است. برای مقادیر تابع هدف میانگین ۶۷/۳۶۶۰ به دست آمده است. همچنین بهترین، مقدار برای تابع هدف ۶۷/۱۴۶۰ و بدترین مقدار برای تابع هدف در این سناریو برای پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان ۶۷/۵۴۰۸ است. چگونگی عملکرد الگوریتم با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۸ نشان داده شده است.

جدول ۱۱. نتایج به‌دست‌آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان تحت سناریوی سوم

	اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
ACO	مقدار تابع هدف	۶۷/۴۳۱۱	۶۷/۵۴۰۸	۶۷/۴۴۸۶	۶۷/۱۴۶۰	۶۷/۲۶۳۸

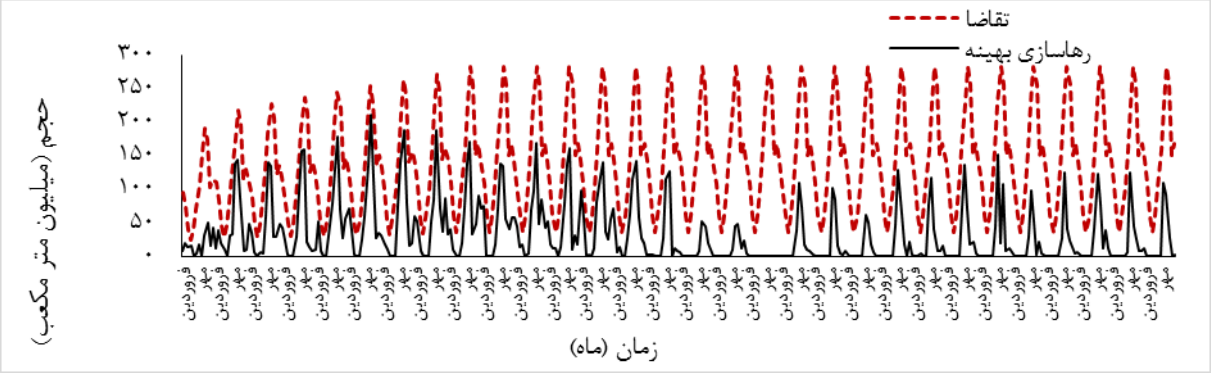
منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

جدول ۱۲. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبه اجرا تحت سناریوی سوم

میانگین مقادیر تابع هدف	بهترین مقدار تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
۶۷/۳۶۶۰	۶۷/۱۴۶۰	۶۷/۵۴۰۸

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

شکل ۸. چگونگی عملکرد الگوریتم‌های مورچگان با درنظرگرفتن قیود زنجیره‌ای تحت سناریوی سوم



شکل ۹. مقدار رهاسازی بهینهٔ خروجی الگوریتم جامعهٔ مورچگان و تقاضا تحت سناریوی سوم

از آنجا که هیرمند و هامون به عنوان یک منبع آبی مشترک بین‌المللی میان ایران و افغانستان شناخته می‌شود و طی قرن‌های متمادی به وسیلهٔ ساکنان سیستان به عنوان یک واحد جغرافیایی بهره‌برداری می‌شده است، اکنون نیز این واقعیت باید پذیرفته شود که مهم‌ترین و اساسی‌ترین راهبرد در این زمینه، گفت وگو و تعامل گسترده و فراگیر با دولت افغانستان برای اعمال حقابهٔ ایران است. قرارگرفتن سرچشمهٔ هیرمند در افغانستان و در بالادست ایران، سبب شده است که نوعی چالش ژئوپلیتیکی برای ایران محسوب شود. به این منظور، می‌توان با گسترش روابط اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و تأکید بر حسن همجواری با ملت و دولت افغانستان بر مشکلات ایجادشدهٔ ناشی از کاهش آورد هیرمند غلبه کرد. همچنین، احقاق حقوق ایران نسبت به هامون از طریق گفتمان و آگاه و متقاعد کردن افغان‌ها به دستاوردهای مثبت ناشی از حفظ تالاب هامون بسیار کارساز خواهد بود. از طرفی، با توجه به وابستگی ۱۰۰ درصدی منطقهٔ سیستان به رودخانهٔ هیرمند و تقویم کشت منطقه (به طور مثال، در مهرماه که فصل کشت پاییزه آغاز می‌شود، سهم ایران از هیرمند فقط پنج درصد است) به بازنگری در خصوص حقآبهٔ ایران و اصلاح تخصیص زمانی آن نیاز است.

مطابق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ (۲۰۲۵ میلادی)، سطوح زیر کشت منطقهٔ سیستان با افزایش سالانهٔ ۱۰ درصد به ۲۰۰ هزار هکتار خواهد رسید، بنابراین تعیین الگوی بهینهٔ کشت در منطقه در بخش کشاورزی بسیار اهمیت دارد که باید مورد توجه بخش‌های مربوط به آن مانند سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای قرار گیرد.

همان طور که در شکل ۸ دیده می‌شود در تکرارهای اولیه تابع هدف افزایش می‌یابد و از یک تکرار به بعد تغییری در مقدار تابع هدف مشاهده نمی‌شود و علت آن افزایش تقاضا به دلیل افزایش سطح زیر کشت است. شکل ۹ رهاسازی بهینه مربوط به الگوریتم‌های مورچگان و میزان تقاضا را نشان می‌دهد.

همان طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، میزان تقاضا در ابتدای دوره کم بوده و به‌تدریج با توسعهٔ کشاورزی در منطقه، میزان تقاضا افزایش می‌یابد تا اینکه پس از مدتی میزان تقاضای کشاورزی به حد ثابتی می‌رسد.

نتیجه‌گیری کلی

هدف از تحقیق حاضر، تخصیص بهینهٔ منابع آب مخازن چاه نیمهٔ سیستان تحت الگوریتم مورچگان بر اساس سه سناریوی مدیریتی بوده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد الگوریتم مورچگان، مشاهده شد که در پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان در اجرای اول، تکرار ۸۸ مقدار تابع هدف ۸۲/۵۲۹۰، در اجرای دوم، تکرار ۱۱۰، مقدار تابع هدف ۸۳/۹۰۰۸، اجراهای سوم، چهارم و پنجم تکرارهای ۷۰، ۶۵، ۶۶ به‌ترتیب مقدار تابع هدف ۸۳/۵۲۵۵، ۸۳/۵۴۹۱، ۸۲/۹۹۸۲ شده است و در اجراهای دوم، سوم و چهارم نسبت به اجرای اول تابع هدف افزایش یافته است و در نهایت در اجرای پنجم تابع هدف کاهش داشته است. همچنین، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، برای الگوریتم مورچگان میانگین مقدار تابع هدف ۸۳/۳۰۰۵ و بهترین و بدترین مقدار برای تابع هدف الگوریتم مورچگان به‌ترتیب ۸۲/۵۲۹۰ و ۸۳/۹۰۰۸ به دست آمده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

منابع

[1]. Shahroudi, E.A. and Chaizari, M., Factors influencing farmers' attitudes toward participation in water user's cooperative, case study: Khorasan Razavi province Journal of agricultural and natural resources science and technology, 2007, 1(42): 319-299 [Persian]

[2]. Sardar shahreki A., Optimal alloction of water resources in the Hirmand basin using game theoty and evaluation of management scenarios, Ph.D. in Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, 2016. [Persian]

[3]. Azizy J., Agricultural Sustainability, Quarterly Journal of Agricultural Economics and Development, 9(36): 113-136, 2001. [Persian]

[4]. Parhizkari A., Determining the economic value of irrigation water and farmers response to pricing and non-price policies in Qazvin province, Masters thesis in Agriculture Economics, School of Agriculture, Universitu of Zabol, 2013, page 115. [Persian]

[5]. Babel M. S., Das Gupta A., and Nayak D. K, A Model for optimal Allocation of Waterto competing demands. Water resources management. 2005. 19(6): 693- 712.

[6]. Yousefi A., Khalilian S.,Belaly H., A Study of the Strategic Importance of Water Resources in the Iranian Economy Using the General Equilibrium Model, Jornal of Agricultural Economics and Development. 2011, 25(1): 12-109. [Persian]

[7]. Sardar Shahreki A., Shahreki J., Hashemi Monfared S.A., Investigating the Management Approaches of Sistan Water Resources Utilization Using Fuzzy Analytical Hierarchy, Public Management Research. 2016. 9(31): 73-98. [Persian]

[8]. Borhani darian A.R., Mortazavi Naeini M., Comparison of Fractional Methods in Optimal Utilization of Water Resources, Water and Wastewater. 2008, 19(68): 57-66. [Persian]

[9]. Afshar M.H., Rezaee sangdehi S.A.,Moeeini R., Reservoir Operation Optimization using Stochastic Adaptive Refinement of Ant Algorithms, Iran-Water Resourese Research, Iran, 2010, 6(1). [Persian]

[10]. Afshar M.H., Rezaee Sangdehi S.A., Ranjbarjorzadeh R., The Performance of Ants Algorithm in Optimizing the Operation of dams reservoirs Comparison of two algorithms, First International Water Resources Management Conference, Shahroud University of Technology, Iran, 2009. [Persian]

[11]. Hossein Zadeh H., Sharifi F., Multi-objective charge optimal alloction using antivirus multi-population Algorithm, Iranian Water Resources Reseach Journal, 2010. 6(2). [Persian]

[12]. Borhani darian A., Antarctic Algorithm Continuously Optimizes the Operation of multi-threading systems, Case Study of Karkheh Reservoirs, Water and Wastewater, 2010, 4. [Persian]

[13]. Bani bashar M., Alami M., Abasi H., Optimization of Operation of the Multifunctional Dam of the Alevis using the Ant Societys Algorithm, Jornal of Water and Soil Science. 2010. 1-20(4). [Persian]

[14]. Hashemi Nasab S.S., Shojaei S., Nejhad Naderi M., Application of Optimization of Ant Antarctic Community in Determining the Optimal Utilization Policy of the KalanMalayer Dam Reservoir, 10 th Iranian Hydraulic Conference, University of Guilan, November 2011. [Persian]

[15]. Gasemi F., Ghasemi A., Comparison of three methods of fuzzy Logic, genetic algorithm and elite Ant colony in optimization of reservoir dams, 7 th National Civil Engineering Congress, Shahid Nikbakht School of Engineering, Zahedan, 17 and 18 May, 2013. [Persian]

[16]. Afshar M.H., Rezaee Sangdehi S.A., Moeini R., Ant Colony Optimization Algorithms for Optimal Operation of Reservoirs: A Comparative Study of Four Algorithms, Ferdowsi Civil Engineering jornal. 2014, 25(2). [Persian]

[17]. Najafi A., Afshar A., Management The Consequences of Chemical Attacks on Urban Water Distribution Networks Using the Optimization Society of Antarctica, Water and Wastewater. 2015, 26(2): 82-94. [Persian]

[18]. Jalali, M.R., Afshar, A. and Marino, M.A., Improved Ant Colony Optimization Algorithm for reservoir operation, Scientica Iranica. 2006, 13: 295-302.

[19]. Afshar, M.H., Ketabchi, H. and Rasa, E., Elitist Continuous Ant Colony Optimization Algorithm: Application to reservoir operation problems, International Journal of Civil Engineering. 2006, 24.

[20]. Jalali, M.R., Afshar, A. and Marino, M.A., Reservoir operation by Colony Optimization Algorithms, Iranian Journal of Science & Technology. 2006, 3.

[21]. Kumar, N.D. and Reddy, M.J., Ant colony optimization for multi-purpose reservoir operation, Water Resources Management. 2006, 20: 879-898.

[22]. Jalali, M.R., Afshar, A., Marino, M.A., Multi-Colony Ant Algorithm for Continuous Multi-Reservoir Operation Optimization Problem, Water Resources Management. 2007. 21: 1429-47.

[23]. Moeini R and Afshar MH., Application of an ant colony optimization algorithm for optimal operation of reservoir. A comparative study of three proposed formulations. Sharif University of Technology. Transation A: Civil Engineering. 2008, 16(4): 273-285.

[24]. López-Ibáñez, M., Prasad, T. D., and Paechter, B., Ant colony optimization for optimal control of pumps in water distribution networks. J. Water Resour. Plann. Manage. 2008, 134(4), 337-346.

[25]. Socha, K., and Dorigo, M., Ant colony optimization for continuous domains. European J. of Operational Research. 2008, 185(3), 1155-1173.

[26]. Darian, A. B., and Moradi, A. M., Reservoir operating by ant colony optimization for continuous domains (ACOR) case study: Dez reservoir. International J. of Eng., and Natural Sciences. 2008, 3(2), 125-129.

[27]. Hashemi, S. S., Tabesh, M., and Ataee Kia, B., Ant-colony optimization of pumping schedule to minimize the energy cost using variable-speed pumps in water distribution networks, Urban Water Journal. 2014. 11(5): 335-347.

[28]. Deng L, Liu, B. The Application Research on the Irrigation Canal System Optimizing the Water Distribution Using Improved Ant Colony Algorithm. Computer Science and Technology. 2017, 12-19.

[29]. Nguyen D, AscoughII J, Maier H, Dandy G, Andales A. Optimization of irrigation scheduling using ant colony algorithms and an advanced cropping system model. Environmental Modelling & Software. 2017. 97: 32-45.

[30]. Özdemir O, Bettemir O, Firat M. Minimum-Cost Design of Water Distribution Line with Differential Evolution Algorithm. Sigma J Eng & Nat Sci. 2017. 8 (3): 189-198.

[31]. Tayfur G. Modern Optimization Methods in Water Resources Planning, Engineering and Management. Water Resources Management. 2017. 31(10): 3205-3233.

[32]. Dorigo, M.; Gianni Di Caro, The Ant Colony Optimization Metaheuristic, Iridia university, 1999.

[33]. Dorigo, M.; V. Maniezzo; and A. Colorni. The Ant System: Optimization by a Colony of cooperating agents, IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics. 1996, 26: 29-41.

[34]. Dréo, J., Pétrowski, A., Siarry, P., Taillard, E. Metaheuristics for Hard Optimizations, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

[35]. Dorigo, M.; Luca Maria Gambardella; and others. Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

[36]. Tavakoli Moghadam R., Norozi N., Kalami S.M., Salamat bakhsh A.,The meta-innovative Algorithms of theoretical fundamentals and implementation in MATLAB, Islamic Azad University,South Tehran University , FirstEdition Tehran,2013 [Persian].

[37]. Dorigo, M.; Luca Maria Gambardella. Ant Colonies for the Traveling Salesman problem, Bio-systems. 1997, 43: 73-81.