

کاربرد الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی کلونی مورچه در تخصیص بهینه منابع آب چاه نیمه سیستان تحت سناریوهای مدیریتی

جواد شهرکی^{۱*}، علی سردار شهرکی^۲، صفیه نوری^۳

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 بهینه منابع آب مخازن چاه نیمه سیستان تحت سه سناریوی مدیریتی با استفاده از تکنیک فراابتکاری جامعه 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 بهینه 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 لوله 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 توسعه سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴ نشان داد تقاضا در ابتدای دوره کم است و به تدریج با توسعه کشاورزی در منطقه، میزان تقاضا افزایش می‌یابد. از این رو، پیشنهاد می‌شود با گسترش حقایب ایران از افغانستان، بتوان مشکلات و خشکسالی‌های چند دهه اخیر را برطرف کرد.

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

مقدمه

امروزه، کمبود آب بزرگ‌ترین معضل جهان است و بحران‌های ناشی از کمبود منابع آب شیرین تهدیدی جدی در توسعه 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، به جز کارکرد حیاتی در تداوم زندگی هر فرد، کاربردهای گسترده 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، مشخص‌کننده درجه امنیت غذایی آن کشور یا منطقه است و ریسک تأمین غذا را برای آن کشور روشن می‌کند. از آنجا که چرخه آب در جهان یک چرخه 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 صحنه رقابتی را فراهم آورد که بیشتر کشورهای جهان در آن شرکت می‌کنند [۲].

هر چند منابع آب موجود در کره 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 کره زمین به صورت بلورها یا رودخانه‌های یخی از دسترس خارج شده و آنچه باقی مانده در عمق زمین ذخیره شده است [۳]. افزایش جمعیت، توسعه فعالیت‌های وابسته به آب و رقابت شدید بین بخش‌های مصرف‌کننده از سوئی 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 عادلانه آب، بر اساس توسعه 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 عادلانه 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 ناحیه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه کشور ۲۵۰ میلی‌متر است که بسیار کمتر از متوسط بارندگی سالانه آسیا و جهان (به ترتیب 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 توسعه کشور در آینده خواهد بود [۶]. قرار گرفتن در انتهای یک حوضه آبخیز بسته، سیستم پیچیده هیدرولیکی-هیدرولوژیکی رودخانه 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 سرچشمه رود هیرمند در منطقه متعلق به ایران، شرایطی را به وجود آورده‌اند که این ناحیه موقعیت ویژه‌ای داشته باشد. در حالی که میزان بارندگی در منطقه 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 نیمه سیستان به صورت گودال‌های طبیعی در جنوب سیستان و در فاصله پنج کیلومتری شهر زهک و ۳۰ کیلومتری شهر زابل با وسعت ۴۶ کیلومترمربع در انتهای حوضه رودخانه هیرمند احداث شده است. این مخازن با آب باران و آب رودخانه سیستان پر می‌شود. حجم کل مخازن مربوط به چاه‌های 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]. منطقه یادشده به دلیل دو رودخانه 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

بهینه‌سازی مخزن ساده و برقایی ارزیابی شده و نتایج به دست آمده با سایر روش‌ها مقایسه شد. نتایج مقایسه، مؤثر بودن فرایند نظریف تطبیقی احتمالاتی در به دست آوردن جواب‌های نزدیک بهینه را تأیید کرد [۱۰]. حسین‌زاده و همکارانش قابلیت الگوریتم چندجامعه‌ای مورچه‌ها را در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص بار آلودگی بررسی کردند. آن‌ها از سه مدل مختلف برای به دست آوردن جواب‌های غالب استفاده کردند [۱۱]. برهانی داریان و مرادی در بهره‌برداری از سیستم‌های چندمخزنی حوضه 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 پیچیده آب ناتوان خواهد بود [۱۲]. بنی‌بشر و همکارانش برای بهره‌برداری بهینه از سد مخزنی علویان واقع در حوضه صوفی‌چای مراغه، از الگوریتمی بر مبنای رفتار مورچه‌ها استفاده کرده‌اند. بر اساس نتایج پژوهش آن‌ها الگوریتم سیستم جامعه مورچه‌ها برای بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها مناسب است [۱۳]. هاشمی‌نسب و همکارانش از الگوریتم جامعه مورچگان برای ارائه سیاست بهینه بهره‌برداری از سد کلان ملایر با هدف تأمین آب شرب و کشاورزی استفاده کرده‌اند. نتیجه بهینه‌سازی انجام شده، رسیدن به ضرایب بهینه برداشت از حجم مخزن در هر دوره و سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن این سد بوده است. بنابراین، پاسخ‌های استخراج شده از الگوریتم مورچگان به عنوان پاسخ‌های نهایی انتخاب می‌شود [۱۴]. قاسمی و قاسمی در تحقیقی ابتدا روش‌های منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکامل یافته 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 نشان‌دهنده برتری روش‌های الگوریتم تکامل یافته سیستم مورچگان نخبه و الگوریتم ژنتیک داشت، در حالی که قدرت بهینه‌سازی روش منطق فازی نسبت به دو الگوریتم استفاده شده دیگر در مسائل غیر خطی، کمتر نشان داده شده است [۱۵]. افشار و همکارانش

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

در زمینه الگوریتم‌های فراابتکاری، پژوهش‌های متعددی انجام شده که در ادامه اشاره کوتاهی به آن‌ها می‌شود:

برهانی داریان و مرتضوی نائینی از الگوریتم ACO با ساختار حجم ذخیره گسسته در بهره‌برداری بهینه از سیستم تک‌مخزنی دز استفاده کردند و گفتند که حل مسائل پیوسته با ساختار گسسته 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 مسئله بهره‌برداری از مخزن سد برقایی 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 به دست آمده توسط الگوریتم‌های سیستم مورچگان ترتیبی و سیستم مورچگان بیشینه-کمینه به ترتیب 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 موفق در حل مسائل بهره‌برداری از مخازن سدها است و الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه-کمینه برای حل مسئله مد نظر مناسب‌تر عمل کرده است [۹]. افشار و همکارانش فرایند نظریف تطبیقی احتمالاتی را برای ارتقای عملکرد الگوریتم مورچگان در رسیدن به جواب‌هایی در حد جواب‌های بهینه پیوسته پیشنهاد دادند. در این روش گسسته‌سازی ابتدا به شکل یکنواخت و سپس با توزیع گوسی انجام شد. در نهایت، قابلیت‌های روش یاد شده با به کارگیری الگوریتم مورچه بیشینه-کمینه (MMAS) در

قابلیت‌های چهار الگوریتم مختلف از الگوریتم‌های بهینه‌سازی جامعه مورچگان به نام‌های الگوریتم پایه سیستم مورچگان، الگوریتم سیستم مورچگان نخبه، الگوریتم سیستم مورچگان ترتیبی و الگوریتم سیستم مورچگان بیشینه-کمینه به منظور حل دو مسئله تک‌هدفه بهره‌برداری از مخزن سد دز به منظور تأمین آب مورد نیاز و بهره‌برداری برقایی از مخزن سد دز را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد الگوریتم بهینه‌سازی جامعه 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 در نظر گرفتن 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 جامعه مورچگان را بررسی کردند. نتایج به دست آمده از حل مدل توسط الگوریتم جامعه 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 در نظر گرفتن رها سازی به عنوان متغیر تصمیم، سیستم تک‌مخزنه دز را طی دوره کوتاه مدت بهینه کردند. الگوریتم‌های به کاررفته در پژوهش یادشده، الگوریتم‌های ساده مورچگان و سیستم جامعه مورچگان هستند که فقط در فرایند به‌روزرسانی فرمون‌ها تفاوت دارند. نتایج به دست آمده از پژوهش آن‌ها کارایی بهتر مدل سیستم جامعه 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 نخبه‌گر 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 فرمون (PP) و مورچه‌های جست‌وجوگر (EA) و جست‌وجوی موضعی از رانش سریع مورچه‌ها به بخش یکسانی از فضای جست‌وجو جلوگیری کردند. همچنین، به منظور حل مسئله ابعادی

الگوریتم در مسائل بزرگ مقیاس راه حلی را برای اختصاص فرمون ارائه دادند و در آن از فرمون دوبعدی استفاده کردند و به منظور ارزیابی روش پیشنهادی به مقایسه آن با الگوریتم ژنتیک پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بهبود شش درصدی جواب‌ها را نشان داد [۲۰]. کومار و ردی کارایی الگوریتم ACO در بهینه‌سازی چندهدفه سیستم چندمخزنه هیراکود در هند را بررسی کردند. آن‌ها مدل ACO را با در نظر گرفتن افق محدود سری زمانی جریان و دسته‌بندی حجم مخزن فرموله کردند. برای ارزیابی عملکرد ACO، مدل توسعه داده شده با الگوریتم ژنتیک با کدگذاری واقعی مقایسه شد. نتایج عملکرد بهتر مدل ACO را در تولید سالانه برقایی نسبت به مدل GA نشان داد [۲۱]. جلالی و همکارانش الگوریتم مورچگان را برای حل مسئله پیوسته بهره‌برداری مخزن ارائه دادند. در این روش فضای جست‌وجوی پیوسته متغیرهای تصمیم در محدوده مجاز به صورت تصادفی و غیرهمگن گسسته‌سازی می‌شوند و به این ترتیب احتمال از دست رفتن دامنه 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، مسئله ده‌مخزنه توسط الگوریتم یادشده حل شده است. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد این روش راه‌های قابل مقایسه با نتایج بهینه عمومی ارائه می‌دهد [۲۲]. معینی و افشار تحقیقی با عنوان «کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچه‌ها برای عملکرد بهتر منابع و مطالعه سه طرح پیشنهادی روی منابع آب در سد دز» را ارائه کردند. هدف از پژوهش آن‌ها، بهینه‌سازی رها سازی سد مخزنی چندمنظوره علویان با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان بود [۲۳]. لویز و همکارانش مسئله بهره‌برداری از پمپ‌ها را با در نظر گرفتن تعداد روشن و خاموش کردن به عنوان یک محدودیت با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها برتری الگوریتم مورچگان را نشان داد [۲۴]. سوشا و دوریگو نسخه جدیدی از الگوریتم جامعه 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 جامعه مورچگان پیوسته» مطرح کردند و آن را روشی دانستند که بتواند ضمن بهره‌گیری از مزایای ACO به حل مسائل

گرفته است که قدرتمند بودن آن در تخصیص بهینه منابع آب را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت و استفاده از منابع آب و تخصیص بهینه این منبع کمیاب بین مصارف مختلف در منطقه سیستم ضروری به نظر می‌رسد که برنامه‌ای برای تحقق این هدف در منطقه مطالعه شده پایه‌ریزی شود. بنابراین، در تحقیق حاضر برای اولین بار تخصیص بهینه مخازن آب چاه نیمه سیستم با کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان تحت سناریوهای مدیریتی بررسی شده است.

روش تحقیق

الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان، از رفتار مورچه‌های طبیعی الهام گرفته شده است که در مجموعه بزرگی در کنار هم زندگی می‌کنند. این الگوریتم از نتایج آزمایش گاس و همکارانش روی مورچه‌های آرژانتینی به دست آمد. سیستم کلونی مورچگان (ACS)^۱ 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 به منظور ایجاد تعادل میان جست‌وجو و بهره‌برداری ایجاد شده‌اند. تغییرات اعمال شده بر الگوریتم مورچه‌ها برای ایجاد ACS به صورت زیر است [۳۶ و ۳۷]:

الف) قاعده انتخاب مقصد: در الگوریتم ACS چگونگی انتخاب مقصد با AS متفاوت است. با فرض اینکه q_0 عددی در بازه $[0,1]$ باشد، با احتمال q_0 ، مسیری برای حرکت انتخاب می‌شود که بیشترین مقدار فرمون و کمترین فاصله را داشته باشد. با احتمال $1-q_0$ ، مسیر حرکت مانند الگوریتم AS انتخاب می‌شود. در واقع q_0 میان جست‌وجو و بهره‌برداری نیز تعادل برقرار می‌کند. جست‌وجوی بیشتر سبب افزایش گوناگونی^۲ جواب‌ها و بهره‌برداری، سبب تأکید^۳ بر بهترین جواب یافت شده می‌شود. مقصد بعدی مورچه k ام که در شهر λ ام است، به صورت رابطه ۱ تعیین می‌شود:

$$j = \begin{cases} \arg \max_{m \in N_i^k} [\tau_{im}^k \alpha \eta_{im}^k \beta] , & q \leq q_0 \\ j_0 & , q > q_0 \end{cases} \quad (1)$$

سیستم‌هایی با متغیرهای پیوسته پردازد [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 گسسته مورچگان با افزایش افق زمان، به نتایج ضعیف‌تر منجر می‌شود [۲۶]. هاشمی و همکارانش از الگوریتم کلونی مورچگان برای بهینه‌سازی برنامه پمپاژ در شبکه 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 برنامه 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 توسعه یافته در شمال چین استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد الگوریتم کلونی مورچه تا حدود زیادی می‌تواند از هدررفت آب در سیستم مطالعه شده جلوگیری کند [۲۸].

نگوین و همکارانش در پژوهشی بهینه‌سازی سیستم آبیاری در شرق کلریدای آمریکا را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد الگوریتم به کار گرفته شده به خوبی توانسته است بهینه‌سازی سیستم آبیاری منطقه مطالعه شده را انجام دهد [۲۹].

آزمیر و همکارانش برای بهینه‌سازی تخصیص بهینه آب کشاورزی از الگوریتم کلونی مورچگان استفاده کردند. هدف مطالعه آن‌ها، حداقل‌سازی هزینه‌های تأسیسات و انتقال آب به بخش کشاورزی بوده است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد الگوریتم استفاده شده 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 پیشینه پژوهش نشان می‌دهد الگوریتم مورچگان مورد توجه بسیاری از محققان در مدیریت منابع آب قرار

1. Ant Colony System
2. Diversification
3. Intensification

تکرار، یعنی ψ^+ اعمال می‌شود. اگر $l_{ij} \in \psi^+$ و J^+ طول یا هزینه متناظر با مسیر ψ^+ باشد، فرمون یال l_{ij} به صورت رابطه ۴ تغییر می‌کند:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho).\tau_{ij} + \frac{\rho}{J^+} \quad (4)$$

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

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \frac{\rho}{(1-\rho).J^+} \quad (5)$$

دومرحله‌ای کردن عمل فرمون‌ریزی 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 هر چه β بیشتر باشد، وزن محیط بیشتر است. به بیان دیگر، تجربه 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 اولیه فرمون موجود روی مسیره‌ها	در الگوریتم MMAS به کار نمی‌رود
ρ	ضریب تبخیر	-
α	اطلاعات فرمونی	در الگوریتم ACS، $\alpha = 1$ فرض می‌شود
β	اطلاعات ذهنی	در الگوریتم‌های SACO، ANTS به کار نمی‌رود

که در آن q عددی تصادفی در بازه صفر و یک و با توزیع یکنواخت است. J_0 نیز مقصدی است تصادفی که با توجه به احتمال تعریف‌شده در رابطه ۲ انتخاب می‌شود:

$$\rho_{i \rightarrow j}^k = \rho_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{m \in N_i^k} \tau_{im}^\alpha \eta_{im}^\beta}, & j \in N_i^k \\ 0, & j \notin N_i^k \end{cases} \quad (2)$$

در رابطه ۲، β و α اعدادی ثابت و مثبت هستند که برای وزن‌دهی اطلاعات فرمون و اطلاعات ذهنی به کار می‌روند. هر قدر وزن نوعی از اطلاعات بیشتر باشد، تأثیر بیشتری بر چگونگی تصمیم‌گیری مورچه‌ها و در جواب به دست‌آمده 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 فرمون: در الگوریتم ACS دو نوع تجدید فرمون اعمال می‌شود؛ یک نوع آن تجدید فرمون محلی است، که مورچه‌ها هنگام حرکت در مسیر، روی یال‌هایی که از آن‌ها عبور می‌کنند، فرمون می‌ریزند. این نوع فرمون‌ریزی به صورت رابطه ۳ انجام می‌شود:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho).\tau_{ij} + \rho\tau_0 \quad (3)$$

که در آن τ_0 مقدار فرمون اولیه موجود روی مسیره‌ها و ρ نیز ضریب تبخیر است. نوع دیگری از فرمون‌ریزی که سراسری است، فقط روی بهترین مسیر یافته‌شده در هر

سه سناریوی مدیریتی انجام می‌شود که در ذیل سناریوهای یادشده تشریح شده‌اند:

سناریوی (۱) انتقال خط لوله دوم آب شرب به شهرستان زاهدان: یکی از طرح‌های توسعه آب در بخش

در مطالعه حاضر تابع هدف، حداکثرسازی میزان تأمین آب از منابع آب چاه نیمه سیستان با توجه قیود مسئله که شامل قیود الگوریتم و محدودیت‌های سیستمی در سیستم مهندسی منابع آب منطقه است. الگوریتم مد نظر تحت

درصدی (هر ساله ۱۰ درصد)، سطوح زیر کشت افزایش داده شده، تا با توجه به شرایط آبی منطقه سیستان بررسی شود که تا چه حد دست‌یابی به این سند و رشد و توسعه 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 در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای اگر فاصله گسسته‌سازی زیاد باشد، این امکان وجود دارد که پس از عبور مورچه‌ای از چند نقطه تصمیم و انتخاب گزینه‌های تصمیم، در نقطه تصمیم بعدی محدوده گزینه‌های تصمیمی که مورچه می‌تواند انتخاب کند (فاصله بین دو دایره توپر) دیگر گره‌ای وجود نداشته باشد. اما اگر قیود زنجیره‌ای در نظر گرفته نشود، می‌توان گسسته‌سازی را به گونه‌ای انجام داد که فاصله گره‌ها زیاد باشد. در تحقیق حاضر فواصل بین گره‌ها $0/5$ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است (شکل ۱).

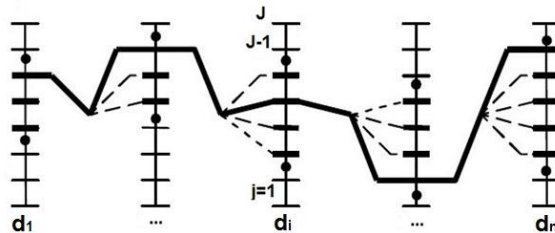
شرب، راه‌اندازی خط لوله دوم انتقال آب شرب با ظرفیت ۴۱ میلیون مترمکعب بر ثانیه به شهرستان زاهدان در سال‌های آتی است. در این سناریو پیش‌بینی تأثیرات اجرای این طرح بر عرضه و تقاضای آب مد نظر است.

سناریوی ۲) تثبیت ریزگردها: در منطقه 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) توسعه سطح زیر کشت بر اساس

افق ۱۴۰۴: طبق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ (سال ۲۰۲۵ میلادی)، باید توسعه سطوح زیر کشت منطقه سیستان، به ۲۰۰ هزار هکتار برسد. بنابراین، در سناریو با هدف توسعه سطح زیر کشت منطقه سیستان تا افق مد نظر به صورت



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

۳. رسیدن به حد قابل قبولی از پاسخ؛

۴. رسیدن به تعداد مشخص از فراخوانی تابع هدف^۱ (NFE).

در پژوهش حاضر برای الگوریتم دو نوع شرایط خاتمه استفاده شده است. یکی سپری شدن تعداد تکرار معین و دیگری سپری شدن تعداد تکرار معین بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه بوده است. شرایط توقف اجرای الگوریتم جامعه مورچگان به این صورت بوده است که اگر طی ۵۰ تکرار متوالی، مقدار تابع هدف بیش از $0/1$ تغییر نداشت (کمتر نشد)، اجرای برنامه متوقف شود.

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. سپری شدن زمان یا تکرار معین؛

۲. سپری شدن زمان یا تکرار معین بدون مشاهده

بهبود خاصی در نتیجه؛

در تعداد مورچه 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 بهینه آن نیز برابر ۰/۹ است.

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 فاصله 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.

جدول ۲. تأثیر تعداد مورچه‌ها بر مقدار تابع هدف در الگوریتم جامعه 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 جامعه 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)

مرتب‌بندی اجرای الگوریتم مورچگان در جدول ۵ نشان داده شده است.

در جدول ۵ مشاهده می‌شود 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 به ترتیب 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 به دست آمده، برای الگوریتم مورچگان میانگین مقدار تابع هدف ۸۳/۳۰۰۵ و بهترین و بدترین مقدار برای تابع هدف الگوریتم مورچگان به ترتیب ۸۲/۵۲۹۰ و ۸۳/۹۰۰۸ به دست آمده است. چگونگی عملکرد الگوریتم با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد در ابتدای اجرای الگوریتم جامعه 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 نمی‌شود. مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم جامعه مورچگان و میزان تقاضا در شکل ۳ نشان داده شده است.

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 ۰/۸ و ۰/۹ به ترتیب 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 جامعه مورچگان تعیین می‌شود. در جدول ۴ پارامترهای مناسب در الگوریتم مورچگان ACO در حل مسئله بهره‌برداری با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای ارائه شده است. در جدول ۴ مشاهده می‌شود که مقدار مناسب پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان برای تعداد مورچه مقدار ۳۵۰، فرومون اولیه مقدار ۱۰۰، ضریب جریمه مقدار ۱۰ و برای ضریب تبخیر فرومون p مقدار ۰/۹ اتخاذ شده است. نتایج به دست آمده 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

جدول ۴. مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان

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

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. نتایج به دست آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان

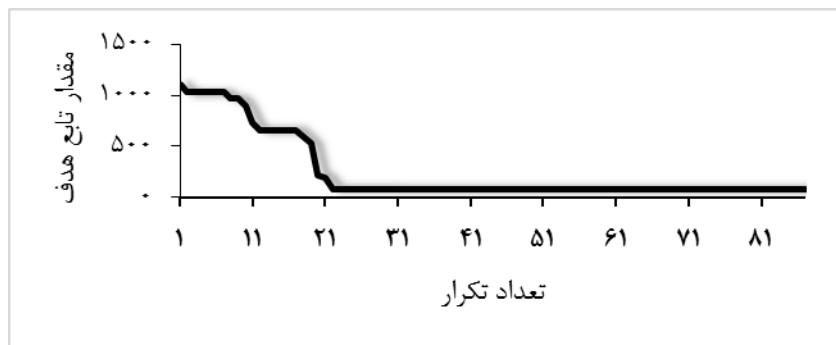
الگوریتم ACO	اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار تابع هدف	۸۲/۵۲۹۰	۸۳/۹۰۰۸	۸۳/۵۲۵۵	۸۳/۵۴۹۱	۸۲/۹۹۸۲	
تعداد تکرار	۸۸	۱۱۰	۷۰	۶۵	۶۶	

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

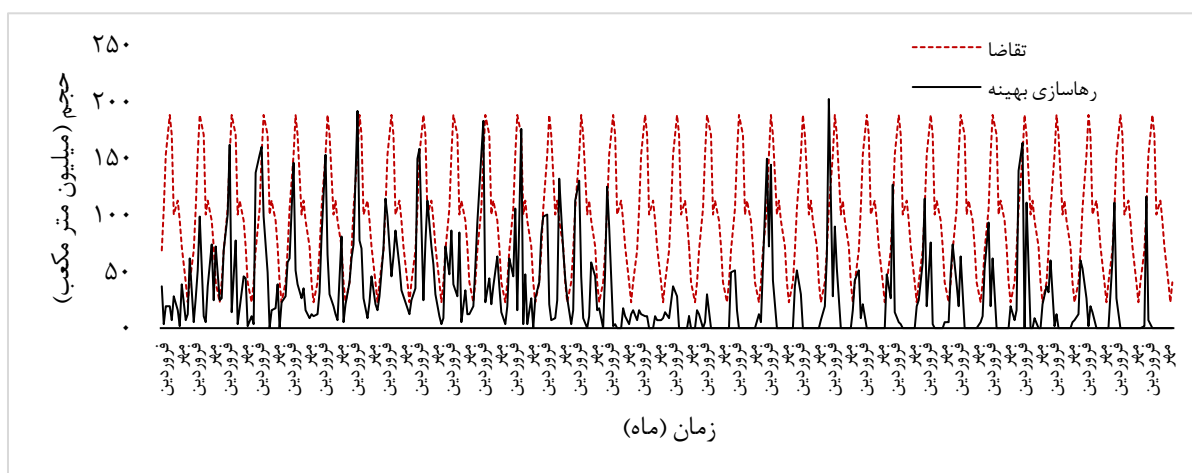
جدول ۶. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبه اجرا

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

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)



شکل ۲. چگونگی عملکرد الگوریتم‌های مورچگان با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای



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

مترمکعب است که میزان تقاضا برای آن ۹۸/۳۱ و مقدار ۶۰/۲۷ میلیون مترمکعب عدم تأمین نیاز داشته است.

نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم جامعه مورچگان (ACO) تحت سناریوی اول: خط لوله دوم آب شرب به زاهدان

نتایج به دست آمده 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.

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 دوره آماری برای الگوریتم جامعه مورچگان ارائه شده است.

بر اساس نتایج ملاحظه می‌شود که در سال اول مقدار رهاسازی بهینه 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

جدول ۷. نتایج به دست آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان تحت برای سناریوی اول

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

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

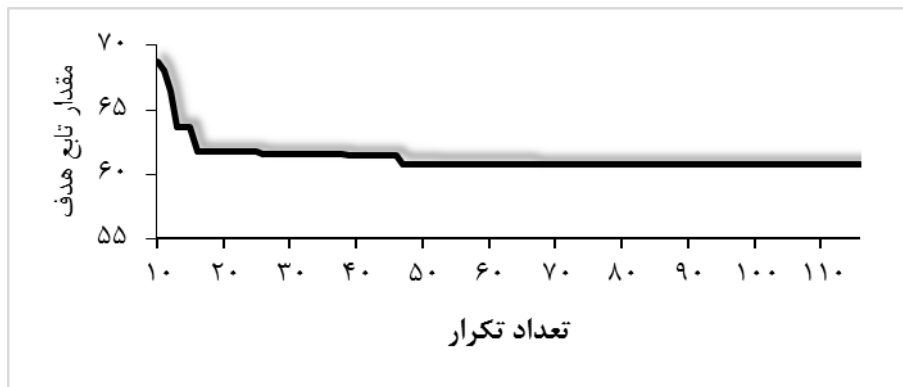
مقدار تابع هدف در سناریوی اول در این الگوریتم $60/7647$ و بدترین مقدار تابع هدف $61/4319$ است. چگونگی عملکرد الگوریتم با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است. در شکل ۵ رهاسازی بهینه مربوط به الگوریتم‌های مورچگان و میزان تقاضا نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، رهاسازی از مقدار تقاضا تخطی نداشته است. عملکرد الگوریتم مورچه در همان تکرارهای اولیه به تابع هدف نزدیک‌تر می‌شود.

در جدول ۷ ملاحظه می‌شود در پنج مرتبه اجرای الگوریتم مورچگان برای سناریوی اول مقدار تابع هدف برای اجرای اول برابر $61/4319$ ، اجرای دوم مقدار $60/7647$ ، اجرای سوم مقدار $60/8947$ ، اجرای چهارم مقدار $60/9446$ و همین‌طور برای اجرای پنجم مقدار $61/1012$ به دست آمده است. در جدول ۸ می‌توان دید که میانگین مقادیر تابع هدف برای الگوریتم مورچگان در پنج مرتبه اجرا برای سناریوی اول $61/0274$ به دست آمده است. همچنین، بهترین

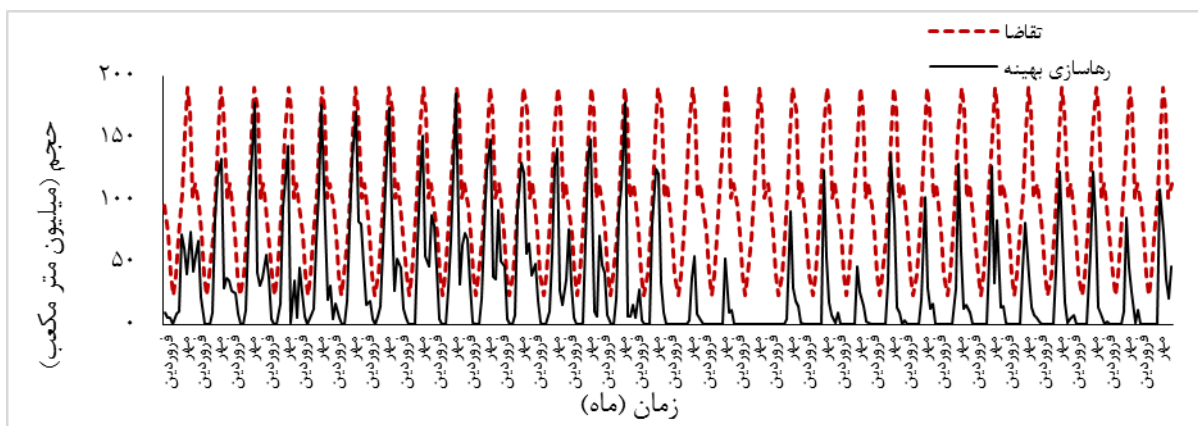
جدول ۸. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبه اجرا تحت سناریوی اول

میانگین مقادیر تابع هدف	بهترین مقدار تابع هدف	بدترین مقدار تابع هدف
61/0274	60/7647	61/4319

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)



شکل ۴. چگونگی عملکرد الگوریتم‌های مورچگان با در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای تحت سناریوی اول



شکل ۵. مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم جامع مورچگان و تقاضا برای سناریوی اول

بر اساس نتایج به دست آمده، 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 در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۶ نشان داده شده است. طبق شکل ۶، در تکرارهای اولیه روند نوسان پذیری برای تابع هدف وجود دارد، طوری که از یک تکرار به بعد تغییری در تابع هدف مشاهده نمی‌شود. شکل ۷ رهاسازی بهینه‌ی مربوط به الگوریتم‌های مورچگان و میزان تقاضا را تحت سناریوی تثبیت ریزگردها نشان می‌دهد. طبق شکل ۷، با در نظر گرفتن سناریوی اول، پس از مدتی دیگر رهاسازی برای بخش کشاورزی دیگر امکان پذیر نیست.

نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم جامعه مورچگان تحت سناریوی دوم: تثبیت ریزگردها
نتایج به دست آمده 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 به دست آمده 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 به ترتیب 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 جامعه مورچگان نیز در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۹. نتایج به دست آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان تحت سناریوی دوم

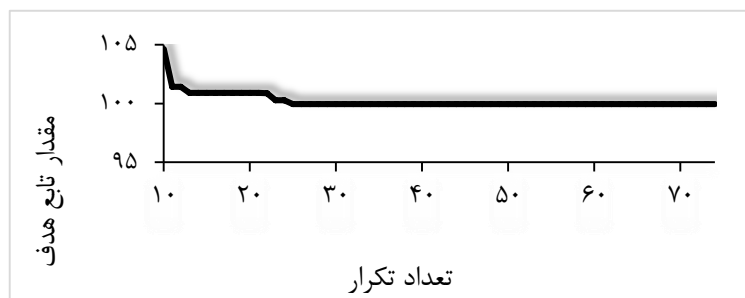
ACQ	اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
	مقدار تابع هدف	۱۰۰/۲۴۴۷	۱۰۰/۰۸۲۸	۹۹/۹۶۰۰	۱۰۰/۰۳۲۳	۹۹/۹۷۶۵

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

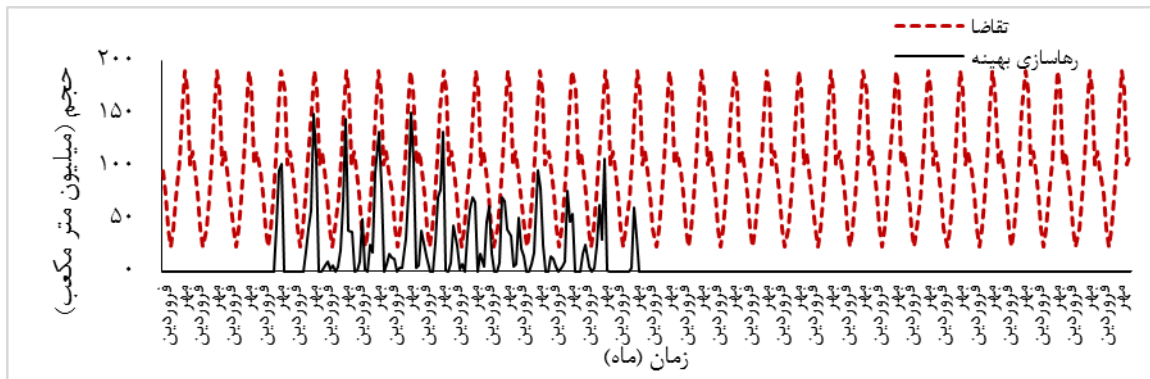
جدول ۱۰. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبه اجرا تحت سناریوی دوم

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 در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای تحت سناریوی دوم



شکل ۷. مقدار رها سازی بهینه خروجی الگوریتم جامعه مورچگان و تقاضا تحت سناریوی دوم

دست آمده است. میانگین، بهترین و بدترین مقدار تابع هدف در پنج مرتبه اجرای الگوریتم جامعه 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 در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای در شکل ۸ نشان داده شده است.

نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم جامعه مورچگان تحت سناریوی سوم: توسعه سطح زیر کشت بر اساس افق ۱۴۰۴

نتایج به دست آمده 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 به دست آمده 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

جدول ۱۱. نتایج به دست آمده از پنج مرتبه اجرای الگوریتم‌های مورچگان تحت سناریوی سوم

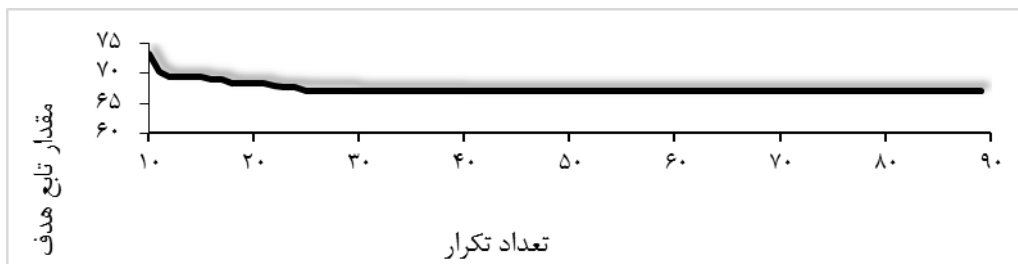
ACQ	اجرا	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار تابع هدف	۶۷/۴۳۱۱	۶۷/۵۴۰۸	۶۷/۴۴۸۶	۶۷/۱۴۶۰	۶۷/۲۶۳۸	

منبع: یافته‌های تحقیق (واحد: میلیون مترمکعب)

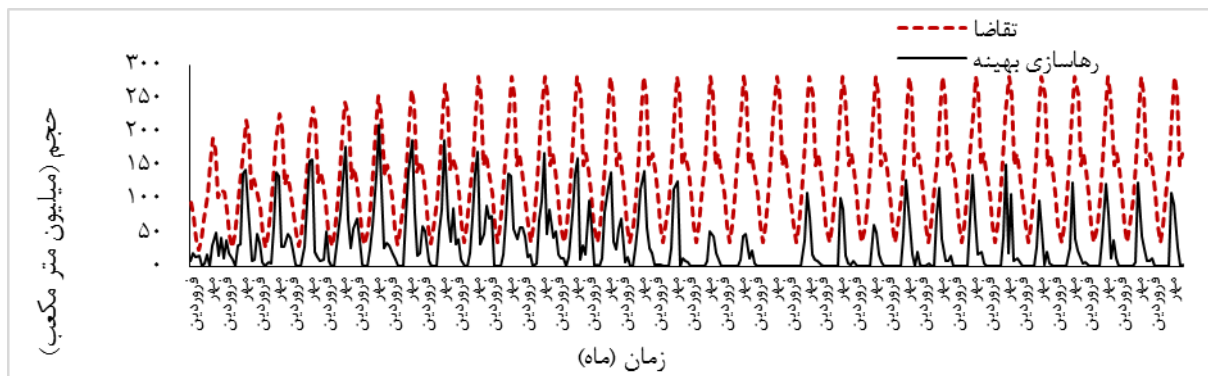
جدول ۱۲. مشخصات آماری عملکرد الگوریتم‌های مورچگان در پنج مرتبه اجرا تحت سناریوی سوم

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 در نظر گرفتن قیود زنجیره‌ای تحت سناریوی سوم



شکل ۹. مقدار رهاسازی بهینه خروجی الگوریتم جامعه مورچگان و تقاضا تحت سناریوی سوم

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 به تدریج با توسعه 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 بهینه منابع آب مخازن چاه نیمه سیستان تحت الگوریتم مورچگان بر اساس سه سناریوی مدیریتی بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده 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 به ترتیب 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 به دست آمده، برای الگوریتم مورچگان میانگین مقدار تابع هدف ۸۳/۳۰۰۵ و بهترین و بدترین مقدار برای تابع هدف الگوریتم مورچگان به ترتیب ۸۲/۵۲۹۰ و ۸۳/۹۰۰۸ به دست آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده پیشنهادی زیر ارائه می‌شود:

از آنجا که هیرمند و هامون به عنوان یک منبع آبی مشترک بین‌المللی میان ایران و افغانستان شناخته می‌شود و طی قرن‌های متمادی به وسیله 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، گفت‌وگو و تعامل گسترده و فراگیر با دولت افغانستان برای اعمال حقایق ایران است. قرار گرفتن سرچشمه 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 ایجاد شده ناشی از کاهش آورد هیرمند غلبه کرد. همچنین، احقاق حقوق ایران نسبت به هامون از طریق گفت‌وگو 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 منطقه سیستان به رودخانه 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 حقایق ایران و اصلاح تخصیص زمانی آن نیاز است.

مطابق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ (۲۰۲۵ میلادی)، سطوح زیر کشت منطقه سیستان با افزایش سالانه ۱۰ درصد به ۲۰۰ هزار هکتار خواهد رسید، بنابراین تعیین الگوی بهینه 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.

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, Journal 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., Moeini R., Reservoir Operation Optimization using Stochastic Adaptive Refinement of Ant Algorithms, Iran-Water Resourse 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, Journal of Water and Soil Science. 2010. 1-20(4). [Persian]
- [14]. Hashemi Nasab S.S., Shojaei S., Nejjad 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 journal. 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 Atae 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, First Edition Tehran, 2013 [Persian].
- [37]. Dorigo, M.; Luca Maria Gambardella. Ant Colonies for the Traveling Salesman problem, Bio-systems. 1997, 43: 73-81.