نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۷، مهر - آبان ۱۴۰۲، ص. ۷۸۶-۷۷۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 17, Oct.-Nov. 2023, p. 771-786

مقاله علمی-پژوهشی

برنامه توزیع و تحویل بهینه آب با استفاده ازالگوریتم‌هایWOA وHSA (مطالعه موردی: شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان (دشت جیرفت))

بنت‌الهدی کمالی‌پور[۱*]، کورش قادری[۲]، محمدمهدی احمدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۶

خلاصه

مسئله تحویل و توزیع آب در شبکه آبیاری، یکی از مسائل مهم جهت تحقق اهداف شبکه و رسیدن به راندمان مطلوب می‌باشد و با تأثیر روی اندازه سازه‌های تحویل، ظرفیت کانال‌ها و هزینه احداث، موجب طراحی کارآمد شبکه می‌شود. به‌علاوه عملکرد ضعیف کانال‌های آبیاری از یک طرف و تأثیر آن در کاهش بهره‌وری آب کشاورزی از طرف دیگر ضرورت ارائه برنامه‌ریزی‌های مؤثر در بهره‌برداری بهینه ازکانال‌ها را ایجاب نموده است. این نوع مسئله یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه، چندمتغیره وچندمحدودیتی است و حل آن نیازمند روش‌های بهینه‌سازی قدرتمندی مانند الگوریتم‌های تکامل‌گرا می‌باشد. در این تحقیق دو مدل بهینه‌سازی براساس الگوریتم‌های HSA (الگوریتم جستجوی هارمونی) وWOA (الگوریتم بهینه‌سازی وال) جهت ارائه ترتیب و نوبت‌بندی انشعابات در کانال‌های آبیاری به منظور کاهش ظرفیت کانال اصلی و کاهش زمان آبیاری توسعه داده شده است. به این منظور ابتدا تعداد انشعابات، ماکزیمم ظرفیت هر کانال، سطح تحت پوشش هر انشعاب، نیاز ناخالص آبیاری، دور آبیاری و تعداد بلوک‌ها به‌عنوان ورودی به مدل معرفی شدند. پس از اجرای مدل بهترین نوبت انشعابات در هر بلوک، حداقل ظرفیت کانال توزیع‌کننده و حداقل زمان آبیاری درشرایط بهینه به‌عنوان خروجی ارائه گردید. جهت کنترل و بررسی برنامه تدوین شده، برنامه بهینه تحویل آب درشبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرفت) با استفاده از دو مدل فوق استخراج شد و ضمن تطبیق با توابع استاندارد جهت بررسی صحت الگوریتم‌ها، مشخص گردید مدل HSA درهر دوفاکتور دبی و زمان، نسبت به مدل WOA عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های WOAوHSA، برنامه تحویل و توزیع آب، بهینه‌سازی، شبکه آبیاری

مقدمه

برنامه‌ریزی تحویل آب فرایندی است که با استفاده از آن، ناحیه آبیاری، فرد دریافت‌کننده آب و زمان تحویل آب به آب‌بر تعیین می‌شود(کمیته بین المللی آبیاری و زهکشی، ۱۹۸۹). برنامه‌ریزی توزیع آب در انشعاباتی که براساس روش آبیاری گردشی مورد بهره‌برداری قرارگرفته‌اند، در افزایش عملکرد پروژه‌های آبیاری مؤثر خواهد بود (Chambers, 1998). روش بهره‌برداری از شبکه، یا به عبارت دقیق‌تر نحوه تحویل آب به آبگیرهای مزارع با سه پارامتر: دبی جریان تحویلی (Q)، تناوب یا فواصل آبیاری (Fr) و مدت‌زمان تحویل آب در هر نوبت آبیاری(d) تعریف می‌شود. ترکیب این سه پارامتر برنامه تحویل آب به مزارع و در نهایت برنامه‌ی بهره‌برداری از شبکه‌ها را مشخص می‌کند. ثابت نگه‌داشتن یا تغییر این پارامترها در طول فصل زراعی، روش‌های بهره‌برداری متنوعی را به وجود می‌آورد. این روش‌ها شامل برنامه تحویل آب گردشی وبرنامه تحویل آب برحسب تقاضا می‌باشد. معمول‌ترین روش بهره‌برداری که بیشترین استفاده را در کانالهای آبیاری دارد، برنامه تحویل آب گردشی است که میزان دبی تحویلی، تناوب آبیاری ثابت و مدت‌زمان تحویل آب، از پیش تعیین شده‌اند (غلامی و همکاران، ۱۳۸۶). در روش تحویل گردشی معمولاً تعدادی از آبگیرها به صورت همزمان آبیاری می‌نمایند. حداکثر تعداد آبگیرهایی که همزمان عمل آبیاری را انجام می‌دهند، بلوک آبیاری نامیده می‌شود. در هر بلوک آبیاری، تعدادی آبگیر به صورت متوالی آبیاری را انجام می‌دهند. مجموع زمان تحویل آب به آبگیرهای واقع در هر بلوک، زمان تکمیل آبیاری هر بلوک را تعیین می‌کندکه نباید از حداکثر دور آبیاری مجاز بیشتر باشد. مجموع دبی آبگیرهایی که همزمان آبیاری می‌نمایند، دبی جاری در کانال توزیع‌کننده را تعیین

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email:Bentolhoda.Kamalipour@agr.uk.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.4.13.3

می‌نماید. لذا ظرفیت کانال توزیع‌کننده تابع توزیع آبگیرها در بلوک‌ها و دبی تحویلی به هر آبگیر می‌باشد. برای حداقل‌سازی ظرفیت کانال توزیع‌کننده لازم است میزان دبی تحویلی به آبگیرها و توزیع آنها در بلوک‌ها به صورت بهینه تعیین گردد. تخصیص بهینه منابع آب سالهاست که در سراسر جهان مورد مطالعه قرار گرفته است و روش-های متفاوتی برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در سراسر جهان توسعه داده شده است. اولین تحقیق در این زمینه به مطالعه ماس و همکاران در مورد بهینه‌سازی مخازن در دهه ۱۹۴۰برمی‌گردد Maier (et al., 2014). روش‌های برنامه ریزی خطی (Joeres and Liebman, 1971)، غیرخطی(Mulvihill and Dracup., 1971)، خطی تصادفی(Dudley and Burt., 1973) و پویا (Meredith, 1973)، از جمله روش‌هایی هستند که به طور گسترده در بهینه‌سازی تخصیص منابع آب به کار می‌روند. در دهه ۱۹۹۰، سازمان ملل متحد کتاب راهنمای منابع آب، استفاده و مدیریت در آسیا و اقیانوسیه را منتشر کرد که نشان‌دهنده بلوغ نسبی توسعه بهینه‌سازی تخصیص منابع آب است.

جدول ۱- پژوهش‌های داخلی وخارجی در زمینه حل مسئله تحویل و توزیع بهینه آب در کانال‌های آبیاری

پژوهشگران	تاریخ پژوهش	شرح پژوهش
ژاو و همکاران	۲۰۰۹	مدل بهینه توزیع آب در شرایط دبی نامساوی کانالها را بر اساس تابع جریمه دینامیک و الگوریتم ژنیتک ارائه کردند.
پاد وهمکاران	۲۰۱۳	استفاده از الگوریتمPSO برنامه بهینه تحویل آب را ارائه کردند.
لیو و همکاران	۲۰۱۸	یک مدل زمان‌بندی تحویل آب و یک الگوریتم سفارشی بهینه‌ساز ازدحام ذرات را برای کانال آبیاری تنظیم کردند.
القندور و البلتاگی	۲۰۱۸	پنج مدل مختلف بهینه‌سازی یعنی الگوریتم ژنتیک (GA)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO)، الگوریتم ممتیک (MA) و الگوریتم اصلاح‌شده جهش قورباغه (SFLA) را برای طراحی و بازسازی شبکه‌های توزیع آب مقایسه کردند.
درویشی وکردستانی	۲۰۱۹	جهت بهینه‌سازی چند هدفه برنامه‌ریزی آب در شبکه کانال‌های آبیاری، دو تابع هدف تعداد تغییرات دریچه و دبی متوسط برای دو شبکه را به طور همزمان، توسط الگوریتم‌های ژنتیک و NSGA-II(non-dominated Sorting Genetic Algorithm) به حداقل رساندند.
کاغذچی و همکاران	۲۰۲۱	شبیه‌سازی و ارزیابی سیستم‌های توزیع و تحویل آب در کشاورزی را با مدل شبکه ترکیبی بیزی (HBNS) انجام داده و مدل خود را به شکل واقعی آزمایش کردند.
موسوی وهمکاران	۲۰۲۱	نتایج بهینه‌سازی نشان داد که الگوریتم وال WOA توان رقابت بالایی با روش‌های بهینه‌سازی جدید دارد .
عطارزاده وهمکاران	۲۰۲۲	مسئله واسنجی شبکه توزیع آب را با استفاده از پنج الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO) ، علف هرز مهاجم (IWO)، ژنتیک (GA)، رقابت استعماری (ICA) و تبرید شبیه‌سازی شده (SA) بررسی ومقایسه‌کردند.
منعم و همکاران	۱۳۸۶	برنامه آبیاری بهینه کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات را با استفاده از روش GA ارائه کردند.
غلامی و همکاران	۱۳۸۶	برنامه بهینه توزیع آب در شبکه‌های آبیاری درودزن فارس را با استفاده ازتئوری الگوریتم ژنتیک ارائه دادند.
منعم و نوری	۱۳۸۹	برنامه بهینه تحویل آب کانالAMX شبکه آبیاری ورامین با استفاده از الگوریتم PSO ارائه شده است.
کاکوئی و عمادی	۱۳۹۲	برنامه تحویل و توزیع بهینه کانالMC شبکه البرز را به روش الگوریتم جامعه مورچگان ارائه کردند.
محمدی اقدم و همکاران	۱۳۹۳	بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب را با استفاده از الگوریتم گروه ذرات دینامیکی جهشی ارائه کردند.
منعم و قدوسی	۱۳۹۳	شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های آبیاری در شرایط مختلف بهره‌برداری را با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان ارائه کردند.
قادری نسب و همکاران	۱۳۹۴	برنامه تحویل و توزیع آب را در شبکه آبیاری سد جیرفت با استفاده از الگوریتم‌های رقابت استعماری و PSO بهینه‌سازی و با نتایج الگوریتم ژنیتک مقایسه گردید.
منصوری وترابی	۱۳۹۴	الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) را برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب استفاده نمودند.
خدادادی و همکاران	۱۳۹۶	الگوی بهینه تحویل آب در شبکه آبیاری زرینه‌رود را با استفاده از الگوریتم PSO ارائه نمودند.
منصوری و محمدی‌زاده	۱۳۹۷	الگوریتم نیروی مرکزی (CFO) در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب آبیاری به‌کاربردند.
خلیفه وهمکاران	۱۳۹۸	بهینه‌سازی شبکه توزیع آب را با الگوریتم ژنتیک موجود در مدلwater Gems ارائه نمودند.
میرکماندار و قادری	۱۴۰۰	به‌منظور ارائه برنامه توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری سد نساء شهرستان بم، الگوریتم PSO رابه کار بردند.
خدادادی وهمکاران	۱۴۰۰	الگوریتمPSO را جهت بهینه‌سازی الگوی تحویل آب در سناریوهای کاهش تخصیص آب شبکه آبیاری زرینه‌رود استفاده کردند.
حسن‌پور وهمکاران	۱۴۰۰	طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها ارائه کردند.
نجارزادگان ومعینی	۱۴۰۱	طراحی بهینه شبکه توزیع آب شهری را با استفاده از الگوریتم ارتقا یافته کلونی زنبورعسل مصنوعی ارائه کردند.

الگوریتم‌های تکامل‌گرا گروهی مهم از الگوریتم‌های جستجو هستند که در آنها با استفاده از قوانین تکاملی موجود در طبیعت برای یافتن جواب مناسب بهره گرفته می‌شود. هیچ الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری خاصی برای حل همه مسائل بهینه‌سازی مناسب نیست(Abdelazim et al., 2019). انتخاب تابع هدف مناسب به جای انتخاب الگوریتم بهینه‌سازی زمان‌بندی آب در شبکه‌های آبیاری، تأثیر زیادی بر نتایج دارد (Darvishi and Kordestani, 2019).

در جدول شماره (۱) برخی پژوهش‌های داخلی وخارجی که در زمینه حل مسئله تحویل و توزیع بهینه آب در کانال‌های آبیاری صورت گرفته است، ارائه گردیده است.

یکی از جدیدترین الگوریتم‌های جستجوی جهانی که به منظور برطرف نمودن ضعف‌های آموزش شبکه عصبی مصنوعی گسترش یافته است الگوریتم بهینه‌سازی وال (WOA)[1] می‌باشد (Mirjalili and Lewis, 2016). الگوریتم بهینه‌سازی وال در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های جستجوی جهانی دارای مزیت‌هایی می‌باشد که این مزیت‌ها شامل تعداد پارامترهای داخلی اصلی کمتر، اجرای آسان و انعطاف‌پذیری بالای آن می‌باشد (Mafarja and Mirjalili, 2017). سادگی اجرای الگوریتم وال و وابستگی کمتر این الگوریتم به پارامترها و همچنین توانایی پوشش مناطق مرزی فضای جستجو با استفاده از تابع لگاریتمی که حرکت مارپیچی حلزونی شکل را شبیه‌سازی می‌کند، محققان را بر آن داشته تا از این الگوریتم در بسیاری ازمسائل مانند بهینه‌سازی مسائل ریاضی، ساختاری، اقتصادی و بهینه‌سازی فیلترهای کریستال فوتونی، طراحی کم هزینه شبکه‌های توزیع آب، تخصیص بهینه آب شبکه آبیاری زهکشی استفاده نمایند (Mirjalili and Lewis., 2016; Kaveh and Ghazaan ., 2017; Kalaipriyan et al., 2017; Touma., 2016; Mirjalili et al.,2020; Ezzeldin and Djebedjian., 2020; جهاندیده و امامی، ۱۴۰۱).

یکی دیگر از الگوریتم‌های پرکاربرد تکامل‌گرا الگوریتم جستجوی هارمونی،[2] (HSA) می‌باشد. این الگوریتم، یکی از روش‌های بهینه-سازی مورد استفاده در حل مسائل غیرخطی است که در سال۲۰۰۱ با تکیه بر تکنیک فراشناختی معرفی شده است

جیم و همکاران مسائل مختلف بهینه سازی مهندسی، از جمله بهینه‌سازی تابع ریاضی و مسائل بهینه‌سازی مهندسی سازه، برای نشان‌دادن اثربخشی و استحکام الگوریتم HS ارائه کردند (Geem et al., 2011). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی هارمونی یک تکنیک جستجو و بهینه‌سازی قدرتمند است که ممکن است راه‌حل‌های بهتری برای مسائل مهندسی نسبت به راه‌حل‌های به‌دست آمده با استفاده از الگوریتم‌های فعلی ارائه دهد (Lee and Geem, 2015). الگوریتم جستجوی هارمونی در بهینه‌سازی مسائل بهره‌برداری مخزن، طراحی شبکه‌های توزیع آب، عملیات مخزن با توجه به کنترل سیل، سیستم‌های چند مخزنه و تک‌مخزنه سد کاربرد دارد. (Janat Rostami et al., 2010;Geem., 2009 ;Bashiri Atrabi et al.,2015 ; میربیک سبزواری وهمکاران ۱۳۹۸).

به‌طورکلی بهره‌وری از پروژه‌های آبیاری در آسیا بسیار کم است. عدم وجود معیارهای فنی برای طراحی بهینه کانال منجر به راندمان ضعیف در بسیاری از طرح‌های آبیاری می‌شود (Paudyal et al., 1991). الگوریتم‌های فراکاوشی در دهه‌های اخیر در زمینه مسئله های مربوط به توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری به‌خوبی عمل کرده‌اند، ازسویی الگوریتم‌های بهینه‌سازی جدید به‌منظور کاستن نقطه‌ضعف‌های الگوریتم‌های قدیمی‌تر ارائه شده‌اند. دربه‌کارگیری الگوریتم‌های فوق، دو موضوع دست‌یابی به طراحی اقتصادی درکنار صرف مدت‌زمان کوتاه‌تر از اهمیت فراوانی برخوردار است. از این‌رو پژوهشگران همواره در راستای جستجوی روش‌های جدید و یا توسعه روش‌های موجود، تلاش می‌کنند، یکی از روش‌های جدید الگوریتم بهینه‌سازی وال(WOA) است. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده قبلی، کاربردهای زیادی از روش WOAدر مسائل مختلف بهینه‌سازی گزارش شده‌است، اما در بحث توزیع وتحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری تاکنون هیچ تحقیقی صورت نگرفته‌است. در پژوهش حاضر سعی شده است عملکرد و میزان توانایی این الگوریتم در حل مسئله مذکور، مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین ترتیب و نوبت‌بندی بهترین انشعابات درهربلوک، حداقل ظرفیت کانال توزیع‌کننده و حداقل زمان آبیاری در شرایط بهینه مشخص گردید. به این منظور الگوریتم بهینه-سازیWOA در محیط متلب کدگذاری شد و نتایج حاصل از آن با نتایج الگوریتم جستجوی هارمونی(HSA) مقایسه گردید. از طرفی در مورد شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرفت)، با هیچ-کدام از روش‌های بهینه سازی WOAوHSA چنین پژوهشی انجام نگردیده است. با توجه به قابلیت الگوریتم‌های فوق در حل مسائل ذکرشده، انتظار می‌رود این روش‌ها توانایی حل مسائل توزیع وتحویل آب در شبکه‌های آبیاری را داشته باشند.

مواد و روش‌ها

الگوریتم بهینه سازی وال (WOA): یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید الهام‌گرفته از طبیعت است که رفتار اجتماعی نهنگ-های کوهان‌دار را تقلید می‌کند(Mirjalili and Lewis., 2016). دراین روش، همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، نهنگ

1- Whale Optimization Algorithm
2- Harmony Search Algorithm

کوهان‌دار شروع به ایجاد حباب به شکل مارپیچی در اطراف طعمه کرده و سپس با شناکردن به سمت سطح، سعی در به‌دام انداختن طعمه دارد. مانور بعدی شامل سه مرحله می‌باشد.

شکل ۱- رفتار تغذیه ای حبابی نهنگ کوهان‌دار(میرجلیلی ولویس۲۰۱۶)

مراحل الگوریتم وال:

مرحله شکار محاصره‌ای (محاصره طعمه): وال‌ها می‌توانند مکان شکار را شناسایی کرده و آنها را محاصره کنند. ازآنجایی که مکان طراحی بهینه در فضای جستجو از راه مقایسه شناخته نمی‌شود، الگوریتم فرض می‌کند که بهترین راه حل کاندید حال حاضر، شکار هدف بوده و یا نزدیک به حالت مطلوب است. بعد از اینکه بهترین عامل جستجو شناسایی شد، عوامل دیگر جستجو سعی می‌کنند تا مکان خود را نسبت به بهترین عامل جستجو، به‌روزرسانی کنند. روابطی که این رفتار را توصیف می‌کنند، عبارتند از:

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)\right| \quad (۱)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A}.\vec{D} \quad (۲)$$

که در آن t تکرار جاری را نشان می‌دهد، $\vec{A}$و$\vec{C}$ بردارهای ضرائب ، X^*بردار مکان بهترین راه حل بدست آمده در حال حاضر و $\vec{X}$ بردار مکان است. نماد $\left|\ \right|$ قدرمطلق است و(.) ضرب داخلی است. لازم به ذکر است که در صورت وجود راه حل بهتر، X^* در هر تکرار باید بروز شود. بردار $\vec{A}$ و $\vec{C}$ به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\vec{r} - \vec{a} \quad (۳)$$

$$\vec{C} = 2.\vec{r} \quad (۴)$$

که $\vec{a}$ به صورت خطی از مقدار ۲ تا ۰ و در طی تکرارها کاهش می‌یابد (در هر دو فاز اکتشاف و استخراج) و $\vec{r}$ بردار تصادفی در فاصله ۰ تا ۱ است.

مرحله بهره برداری در الگوریتم وال(روش حمله به حباب تور): جهت مدل‌سازی ریاضی رفتار حباب تور وال‌ها، دو روش طراحی شده است:

مکانیزم محاصره‌ی انقباضی (حلقه محاصره تنگ): این رفتار از طریق کاهش مقدار $\vec{a}$ در رابطه (۳) حاصل می‌شود. محدوده نوسان $\vec{A}$ بوسیله $\vec{a}$ کاهش می یابد. به عبارت دیگر، $\vec{A}$ یک مقداری تصادفی در فاصله a تا a- است و a در طی تکرارها، از مقدار ۲ تا ۰ کاهش می‌یابد. با انتخاب مقادیر تصادفی A در فاصله ی ۱ تا ۱-، می توان مکان جدید عامل جستجو را در هر کجای بین مکان اصلی عامل و مکان بهترین عامل کنونی، تعریف کرد.

مکان در حال بروزرسانی مارپیچی(بروز رسانی مارپیچی موقعیت): این روش ابتدا فاصله بین وال قرارگرفته در مختصات (X,Y) وطعمه موجود در موقعیت(X*, Y*)را محاسبه می‌کند. معادله‌ای مارپیچی بین موقعیت نهنگ و طعمه ایجاد می‌شود تا حرکت حلزونی شکل(مارپیچ) نهنگ گوژپشت را تقلیدکند. جهت مدل‌سازی ریاضی مکان در حال بروزرسانی مارپیچی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}'.e^{bl}.cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (۵)$$

که در این رابطه 'D به فاصله ۱ امین نهنگ تا طعمه اشاره دارد (بهترین راه حل بدست آمده تا اینجا) (b1 ثابتی برای تعریف شکل مارپیچ لگاریتمی است و اعددی تصادفی بین ۱ تا ۱- می باشد.)

$$\vec{D}' = \left|\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)\right| \quad (۶)$$

لازم به ذکر است که نهنگ گوژپشت، حول طعمه در امتداد یک دایره‌ی انقباضی و همزمان در مسیر مارپیچی شکلی به شنا در می‌آید. جهت مدلسازی این رفتار همزمان، فرض شده است که نهنگ با احتمال ۵۰ درصد از بین مکانیزم محاصره‌ی انقباضی و یا مدل مارپیچی یکی را انتخاب می‌کند تا موقعیت نهنگ‌ها در طول بهینه سازی به‌روزرسانی شود. مدل ریاضی بدین صورت است:

(۶)

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A}.\vec{D} & \text{اگر } p<0.5 \\ \vec{D}'.e^{bl}.cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & \text{اگر } p \geq 0.5 \end{cases}$$

که در آن P عددی تصادفی بین ۰ تا ۱ است .علاوه بر روش حباب تور، نهنگ‌های گوژپشت به صورت تصادفی به دنبال طعمه می‌گردند. مدل ریاضی جستجو بدین صورت است.

مرحله اکتشاف درالگوریتم وال(جستجوی شکار): روشی مشابه بر مبنای تغییر بردار $\vec{A}$را می توان جهت جستجوی شکار (اکتشاف) به‌کار گرفت. در حقیقت، نهنگ‌های گوژپشت، بصورت تصادفی با توجه به موقعیت هریک از یکدیگر جستجو را انجام می‌دهند. بنابراین، بردار $\vec{A}$ را با مقادیر تصادفی بزرگتر از ۱ و یا کمتر از ۱- به کار گرفته شده تا عامل جستجو را مجبور به دور شدن از نهنگ مرجع کند. بر خلاف فاز استخراج، جهت بروزرسانی موقعیت عامل جستجو در فازاکتشاف به جای استفاده از داده‌های بهترین عامل جستجو، از انتخاب تصادفی عامل بهره برده شده است. در هر تکرار، عوامل جستجو موقعیت خود را با توجه به هریک از عامل جستجو که به‌صورت تصادفی یا بهترین راه‌حل به‌دست‌آمده تاکنون بوده، انتخاب و به‌روزرسانی می‌کنند. پارامترa از مقدار ۲به ۰ به منظور ارائه اکتشاف وبهره‌برداری کاهش یافته است. یک عامل جستجوی تصادفی زمانی انتخاب می‌شود که رابطه $|\vec{A}|>1$ برقرار باشد، در حالی‌که بهترین راه‌حل انتخاب شده برای به‌روزرسانی موقعیت عامل جستجو زمانی است که رابطه $|\vec{A}|<1$ برقرار باشد. بسته به مقدارp، WOA قادر به انتخاب بین حرکت مارپیچ و دایره‌ای است. درمقابل در مرحله بهره‌برداری، ما موقعیت یک عامل جستجو را در مرحله اکتشاف با توجه به عامل جستجو که به‌صورت تصادفی انتخاب شده است را به‌جای بهترین عامل جستجو فعلی به‌روزرسانی می‌کنیم. این مکانیسم $|\vec{A}|>1$ جستجو الگوریتمWOA را به یک الگوریتم جستجوی سراسری تبدیل می‌کند. مدل ریاضی به صورت زیر است:

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\overrightarrow{X_{rand}} - \vec{X}\right| \quad (۷)$$

$$\vec{X}(t+1) = \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{A}.\vec{D} \quad (۸)$$

در این معادله، X_{rand} بردار موقعیت تصادفی انتخاب شده (نهنگ تصادفی) از جمعیت جاری است. در نهایت، الگوریتم WOA با ارضای شرایط خاتمه، پایان می‌پذیرد.

الگوریتم جستجوی هارمونی(HSA): بر اساس اصول و رفتار موسیقی‌دانان می‌باشد که برای ساخت یک قطعه موسیقی با هم همکاری کرده و سعی می‌کنند از میان نتهای مختلف، گزینه‌های مناسب‌تر را انتخاب کنند تادرنهایت بهترین قطعه موسیقی ایجادگردد (Geem., 2000). الگوریتمHS در مقایسه با دیگرروش‌های بهینه‌سازی عددی برتری‌هایی دارد که از جمله آن می‌توان به توانایی کار با متغیرهای گسسته و احتمال بسیار کم‌تر به‌دام‌افتادن در دام نقاط بهینه موضعی اشاره نمود (Lee and Geem, 2005). همچنین این الگوریتم از برخی ویژگی‌های سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند حفظ بردارهای قبلی، حفظ حافظه هارمونی از شروع تا پایان و ارزیابی چندین بردار در یک زمان نیز استفاده می‌کند. اما درمقایسه با آن‌ها پیش‌نیازهای ریاضی کم‌تری به کار برده و توانایی حل مسایل مختلف بهینه‌سازی مهندسی را دارد (Geem., 2007).

مراحل الگوریتم جستجوی هارمونی :

مرحله اول-مقداردهی اولیه پارامترهای مسأله والگوریتم: پارامترهای الگوریتم جستجوی هارمونی شامل : اندازه حافظه هارمونی (HMS)[1]، سرعت بررسی حافظه هارمونی (HMCR)[2]، سرعت تنظیم قطعات(PAR)[3]، پهنای باند[4] (bw) تعداد تکرار[5](NI) می‌باشد (Lee and Geem., 2005).

مرحله دوم - مقداردهی اولیه حافظه هارمونی: قبل از این که هارمونی جدید ایجاد شود، ماتریس حافظه هارمونی با گروهی از بردارهای جواب (هارمونی) که به صورت اتفاقی ایجاد می‌شوند پر می شود. در این مرحله به تعداد HMS، بردار جواب در حافظه هارمونی قرار داده می‌شود. به‌این منظور هر بردار جواب به صورت زیر ایجاد می‌شود (انتخابی تصادفی خواهد بود):

$$X_j^i = Lbxi + (Ubxi - Lbxi) * T \quad for \;\; i = 1,2,\dots,N \;\; \& \;\; j = 1,2,\dots,HMS \quad (۹)$$

که در آن، X_i^j : بیانگر متغیرi ام در بردار جوابj ام می‌باشد. پارامترr عدد یکنواخت تصادفی بوده و دارای مقداری بین صفر و یک می‌باشد. Ub وLb به ترتیب کران بالا وکران پایین متغیرها می‌باشد.

مرحله سوم - ایجاد یک هارمونی جدید از حافظه هارمونی : در مرحله تولید هارمونی جدید، زمانی که حافظه هارمونی آماده شد یک بردار جواب جدید(هارمونی)، با استفاده از حافظه هارمونی ایجاد می‌شود. به عبارتی برای هر متغیر یک مقدار جدید انتخاب می‌شود. در انتخاب هر مقدار جدید معمولاً از سه عملگر بررسی حافظه هارمونی، تنظیم قطعات و انتخاب تصادفی استفاده می‌شود. مقادیر جدید سایرمتغیرها نیز به همین ترتیب به‌دست می‌آیند.

$$X_i^{new} \rightarrow \begin{cases} X_i^{new} \epsilon \{X_i^1, X_i^2, \dots, X_i^{HMS}\} & w.p.\, HMCR \\ X_i^{new} \epsilon X_i & w.p.\,(1 - HMCR) \end{cases} \quad (۱۰)$$

پس از این‌که در مرحله سوم مقدار جدید برای متغیر موردنظر X_i^{new} انتخاب شد، احتمالPAR روی آن اعمال می‌شود.

$$pitch\ adjusting\ decision\ for\ X_i^{new} \rightarrow \begin{cases} Yes & w.p \quad PAR \\ No & w.p\,(1 - PAR) \end{cases} \quad (۱۱)$$

تغییر ایجاد شده روی متغیر جدید توسط عملگر تنظیم قطعات انجام می‌شود. اگر متغیرها پیوسته باشند تغییرات براساس رابطه ۱۳ و اگر گسسته باشند براساس رابطه ۱۴ خواهد بود.

1- Harmony Memory Size
2- Harmony Memory Consideration
3- Pitch Adjustment Rate
4- Band Width
5- Number of Improvisation

$$X_i^{new} \rightarrow \begin{cases} X_i^{new} \pm r * Bw & w.p. \quad PAR \\ X_i^{new} & w.p.(1-PAR) \end{cases} \quad (۱۲)$$

$$X_i^{new} \rightarrow \begin{cases} X_{(i+m)}^{new} & w.p. \quad PAR \\ X_i^{new} & w.p.(1-PAR) \end{cases} \quad (۱۳)$$

که در آن، پارامترm اندیس همسایگی بوده و مقداری برابر با۱- یا۱ اختیار می‌کند. پارامتر PAR احتمال تغییر مقدار جدید به مقداری در همسایگی آن در حافظه هارمونی است. محدوده آن مقداری بین صفر و یک است.(Geem, 2006).

مرحله چهارم - به روزرسانی کردن حافظه هارمونی: در این مرحله بردار جواب جدید، x_{new}، که درمرحله سوم ایجاد شده است با استفاده از تابع هدف ارزیابی می‌شود. اگر بردار جواب جدید، از بدترین بردار جواب در حافظه هارمونی، از نظر مقدار تابع هدف بهتر باشد، هارمونی جدید به حافظه هارمونی اضافه شده و بدترین هارمونی از حافظه خارج می‌گردد.

مرحله پنجم- شرط توقف(بررسی معیار توقف): گام سوم و چهارم آنقدر تکرار می‌شود تا شرط توقف ارضا شود که در الگوریتم جستجوی هارمونی بررسی تعداد تکرار است. در صورت عدم برقراری شرط پایان گام سوم و چهارم مجدداً تکرار می‌گردد (Janat Rostami et al., 2010).

بررسی صحت و سقم مدل: برای نشان‌دادن درستی عملکرد الگوریتم‌های به‌کاربرده شده در این پژوهش، از بیست تابع محک استانداردداستفاده شده است. جدول(۴) نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های نهنگ و جستجوی هارمونی را بر روی توابع محک استاندارد فوق نشان می‌دهد. تعداد اعضای جمعیت و تعداد ارزیابی تابع هدف در هر الگوریتم یکسان و متناسب با بعد هر تابع بوده و تعداد تکرارها برابر ۵۰۰ می‌باشد.

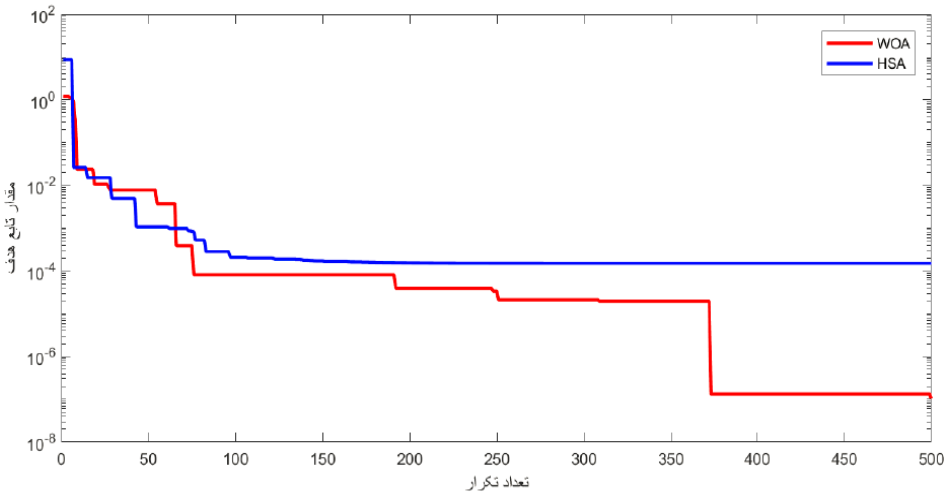
جدول ۲- پارامترهای الگوریتم‌های HSA

پارامتر	مقدار
پهنای باند	۱
سرعت تنظیم قطعات	۰/۹
تعداد تکرار	۵۰۰
اندازه حافظه هارمونی	۱۵
سرعت بررسی حافظه هارمونی	۰/۹

جدول ۳- پارامترهای الگوریتم‌های WOA

پارامتر	مقدار
جمعیت وال‌ها	۱۵
تعداد تکرار	۵۰۰

به عنوان نمونه روند همگرایی تابع روزنبروک در شکل شماره (۲) ارایه شده است. پس از بررسی صحت و سقم مدل‌ها، مقایسه بین دو الگوریتم وال و جستجوی هارمونی صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر و دقت و سرعت همگرایی بهتر الگوریتم جستجوی هارمونی درمقایسه با الگوریتم وال می‌باشد. با توجه به جدول شماره(۴) می‌توان نتیجه گرفت در مسائل با ابعاد کوچک عملکرد هر دو الگوریتم به‌طور تقریبی یکسان و مناسب است. با افزایش بعد مسئله و پیچیدگی آن (تابع Rosenbrock با ابعاد۳ و ۴) عملکرد دو الگوریتم سیر نزولی داشته و از مقدار بهینه فاصله گرفته است. پس از صحت‌سنجی الگوریتم‌های مورد بررسی با استفاده از توابع محک استاندارد، مدلی برای توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرفت) براساس الگوریتم‌های HSA وWOA توسعه داده شد.



شکل ۲- روند همگرایی الگوریتم‌هایWOA وHSA به سمت مقدار مینیمم در تابع روزنبروک دو بعدی (باشرط همگرایی۵۰۰تکرار)

جدول ٤- نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های نهنگ و جستجوی هارمونی را بر روی توابع محک استاندارد

تابع استاندارد	بعد	مقدارهدف	WOA	HSA
Sphere	۲	۰	۵/۱۴۲۹×۱۰$^{-۱۵۴}$	۳/۰۳۹۵×۱۰$^{-۲۶}$
Branin Rcos	۲	۰/۳۹۷۸۸۷۳	۰/۳۹۷۹	۰/۳۹۷۸۹
Goldstein Price	۲	۳	۳	۳
Six Hump Camel Back	۲	−۱/۰۳۱۶	−۱/۰۳۱۶	−۱/۰۳۱۶
Schwefel 2.22	۲	۰	۲/۰۷۲۸×۱۰$^{-۸۱}$	۰/۰۳۷۹×۱۰$^{-۱۲}$
Schwefel 2.21	۲	۰	۶/۹۶۳۴×۱۰$^{-۶۸}$	۲/۴۸۸۳×۱۰$^{-۱۳}$
Schwefel 2.26	۲	−۴۱۸/۹۸۳	−۴۱۸/۹۸۲۹	−۴۱۸/۹۸۲۹
Step 2	۲	۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶۱۸۳۵	۸/۹۰۳×۱۰$^{-۲۷}$
Quartic	۲	۰	۰/۰۸۱۲۲۱	۰/۰۰۰۴۵۱۴۵
Rastrigin	۲	۰	۰	۰
Ackley	۲	۰	۸/۸۸۱۸×۱۰$^{-۱۶}$	۲/۱۳۶۱×۱۰$^{-۱۲}$
Griewank	۲	۰	۰	۰
Booth	۲	۰	۰/۰۰۰۰۰۱۲۸۸۲	۶/۳۵۳۹×۱۰$^{-۲۵}$
Leon	۲	۰	۰/۰۰۰۰۵۶۶۵۲	۵/۳۰۶۲×۱۰$^{-۵}$
Matyas	۲	۰	۱/۹۹۲۸×۱۰$^{-۸۵}$	۷/۲۳۷۴×۱۰$^{-۲۸}$
Himmelblau	۲	۰	۰/۰۰۰۰۰۳۹۴۵۵	۱/۱۶۹۲×۱۰$^{-۲۳}$
Freudenstein Roth	۲	۰	۰/۰۰۰۰۶۰۹۴۵	۳/۵۴۶۷×۱۰$^{-۲۳}$
Fifth Function Of De Jong	۲	۰/۹۹۸۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸
Arts-Deckkers	۲	−۲۴۷۷۷	−۲۴۷۷۶/۵۱۷	−۲۴۷۷۶/۵۱۸۳
Rosenbrock	۲	۰	۵/۸۸۸۹×۱۰$^{-۸}$	۱/۷۳۶×۱۰$^{-۲۴}$
Rosenbrock	۳	۰	۰/۰۰۳۹۴۳	۰/۰۰۲۰۴۸۴
Rosenbrock	۴	۰	۰/۰۵۶۸۹۶	۰/۰۲۱۸۳

توسعه مدل بهینه‌ساز

در این مطالعه، برنامه تحویل و توزیع در محیط نرم افزارMatlab2017 توسعه داده شده‌است. برای اعمال قیود و ارزش کمی آنها از تابع جریمه استفاده شده که مقدار تابع نهایی جهت بهینه-سازی به‌صورت مجموع مقدار تابع هدف مسئله و مقدار تابع جریمه تعریف شده است. مدل بهینه‌ساز به‌صورت کلی برای تعدادی آبگیر (انشعاب)که همه از کانال درجه یک (کانال توزیع‌کننده) منشعب می-شوند توسعه داده شده است. تعداد انشعابات، دبی حداقل و حداکثر مجاز برای هر انشعاب، سطح زیرکشت هر انشعاب، نیاز ناخالص آبیاری درهر انشعاب، تعداد بلوک و دور آبیاری را به‌صورت ورودی از کاربر گرفته شده و بهترین برنامه تحویل آب شامل بهترین ترتیب و نوبت-بندی انشعابات در هر بلوک، کمترین دبی کانال توزیع‌کننده و کمترین زمان تحویل آب را به‌صورت خروجی ارائه می‌دهد. سه جز اصلی هر مسئله بهینه‌سازی متغیر تصمیم‌گیری، قیدها و تابع هدف می‌باشند. در این مطالعه متغیرهای تصمیم‌گیری مقدار دبی جریان تحویلی در کانال توزیع‌کننده و مدت‌زمان تحویل آب می‌باشند که در این مطالعه اجزا به شرح زیرمی‌باشند:

قیدهای مسئله: در این مطالعه جهت اعمال قیود از روش تابع جریمه استفاده شده است. سه قیدی که در این مسئله درنظر گرفته شده است به‌شرح زیر می‌باشد:

الف -میزان دبی قابل انتقال هر انشعاب در محدوده حداقل و حداکثر آن انشعاب باشد (در برخی از شبکه‌ها به واسطه محدودیت-های بهره‌برداری شبکه، جریان در هر کانال توزیع‌کننده از حداقل میزان تعیین شده توسط مدیر شبکه نمی‌تواند کمتر باشد و از طرفی مقدار دبی کانال ازحداکثر دبی طراحی شده کانال نباید بیشتر باشد).

$$Qmin_{di} \le Q_{di} < Qmax_{di} \qquad (۱۴)$$

که Q_{di} دبی تولید شده برای انشعابi ام، $Qmin_{di}$ حداقل دبی مجاز در انشعابi ام و $Qmax_{di}$ حداکثر دبی مجاز در انشعابi ام می-باشد.

ب- میزان دبی قابل انتقال در کانال توزیع‌کننده به‌نحوی باشد که مجموع جریان ورودی به انشعاباتی که همزمان آبیاری می‌نمایند برابر یا کمتراز ظرفیت نهایی کانال توزیع‌کننده باشد.

$$\sum_{j=1}^{m} Q_{dj} \le Q_{MC} \qquad (۱۵)$$

Q_{MC} ظرفیت کانال توزیع‌کننده (کانال درجه یک)، Q_{dj} میزان دبی تولیدی در انشعابj ام و m تعداد انشعابات واقع در هر بلوک می-باشد.

ج- مجموع زمان آبیاری انشعابات واقع در هر بلوک، از دور آبیاری مورد نظر تجاوز ننماید.

$$\sum_{j=1}^{m} t_{dj} \leq 1 \qquad (۱۶)$$

که I دور آبیاری مجاز در شبکه آبیاری، t_{dj} مدت زمان آبیاری انشعاب j ام و m تعداد انشعابات واقع در هر بلوک می‌باشد.

متغیرهای تصمیم گیری: در مسئله تحویل و توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری جریان تحویلی و مدت زمان تحویل آب متغیرهای تصمیم‌گیری می‌باشند.

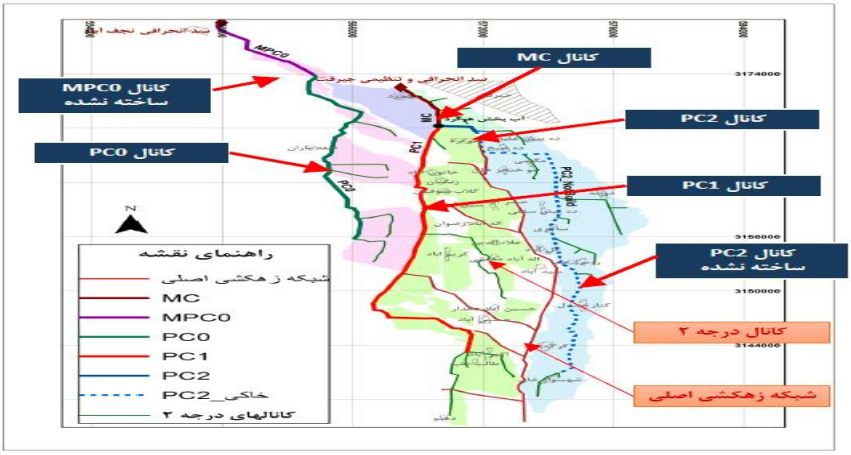
تابع هدف: جهت مقایسه برنامه‌های تحویل آب و دست‌یابی به بهترین گزینه از شاخصی به نام فاکتور شایستگی یا تابع هدف استفاده شده است. اجزا تابع هدف به صورت نرمال شده در فاکتور شایستگی در نظر گرفته شده‌اند. هدف از نرمال نمودن عوامل، هم‌وزن نمودن آنها در توابع هدف بوده است. هدف از این مطالعه حداقل نمودن زمان آبیاری و ظرفیت کانال توزیع‌کننده می‌باشد.

$$min \quad F = Nor(Q_d) + Nor(T_d) = \frac{\sum_{j=1}^{m} Q_{dj}}{Q_{MC}} + \frac{\sum_{j=1}^{m} t_{dj}}{I} \qquad (۱۷)$$

کاربرد مدل

منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه شبکه آبیاری جیرفت در پایین دست سد مخزنی جیرفت و زیر سد انحرافی و بند انحرافی نجف‌آباد می باشد. در واقع به منظور احداث شبکه آبیاری مدرن جیرفت، استفاده بهینه از آب رها شده از سد مخزنی جیرفت و آب مازاد رها شده از نیروگاه مخزنی سد، یک سد انحرافی در پایین دست سد جیرفت احداث شده است. همچنین جهت تأمین مطمئن آب مورد نیاز اراضی تحت پوشش کانال انتقال آب PC0 و تأمین آب مورد نیاز انهار سنتی عنایت آباد، بهجرد، جهاد و احیاء اراضی، بند انحرافی نجف‌آباد در نظر گرفته شده است. محدوده مورد بررسی در این مطالعه برنامه تحویل آب به ۳۴ km کانال شبکه زیر سد انحرافی جیرفت شامل کانالMC به طول km ۴/۸، کانال PC1به طول km ۲۷/۳۶ و کانالPC2 به طول ۲/۲km می‌باشد.

جدول ۵- اطلاعات شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرف) از جمله نام انشعاب، سطح تحت کشت، ماکزیمم ظرفیت کانال، عمق ناخالص آب آبیاری و نیاز آبی در دهه را نشان می‌دهد. حداکثر نیاز آبی محصولات مربوط به دهه سوم فروردین ماه می‌باشد، لذا نیاز آبی واردشده در تابع هدف مربوط به این دهه (بحرانی‌ترین دهه) می‌باشد. با توجه به اینکه محدوده موردبررسی، در مرحله مطالعات اولیه قرار دارد، احتمال تغییر در سطح زیر کشت و جانمایی برخی انشعابات در مرحله اجرا وجودخواهد داشت. بنابراین در صورت نیاز پس از به‌روزکردن جانمایی انشعابات و مقدار نیاز انشعابات می توان از نتایج مطالعه حاضر در باز طراحی این شبکه استفاده کرد. می-توان پس از تایید کارایی الگوریتم‌های معرفی شده در این مطالعه، در طراحی سایر شبکه‌های آبیاری بهره جست که در هدف کاهش حداکثر دبی کانال توزیع‌کننده، هزینه ساخت کانال توزیع‌کننده کاهش پیدا خواهد کرد و در هدف کاهش مدت زمان آبیاری شبکه، در هزینه و زمان صرفه‌جویی خواهد شد.



شکل ۳- وضعیت کانال‌های اصلی و درجه‌دو (مهندسین مشاور آب‌ورزان۱۳۹۶)

جدول ۵- معرفی انشعابات شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرف)(نام انشعاب، سطح زیر کشت، ماکزیمم ظرفیت کانال، عمق ناخالص آب آبیاری، نیاز آبی در دهه)

شماره بلوک	شماره انشعاب	نام انشعاب	مساحت تحت کشت(هکتار)	ماکزیمم ظرفیت(لیتربرثانیه)	نیازناخالص آبیاری(میلیمتر)	نیازآبی در دهه(مترمکعب)
۱	۱	MC1	۱۶۳/۳	۳۰۴/۱۳	۳۱/۵۷	۵۱۵۵۳/۸۱
۱	۲	MC2	۲۲۴/۴	۴۱۰/۸۹	۵۸/۹۳	۱۳۲۲۳۸/۹۲
۱	۳	MC3	۲۲۷/۲	۴۱۶/۶۷	۵۰/۴۹	۱۱۴۷۱۳/۲۸
۲	۴	PC1-H1	۲۱۲/۱	۵۵۷/۵۲	۳۱/۵۷	۶۶۹۵۹/۹۷
۲	۵	PC1-H2	۱۴۶/۹	۳۹۰/۷۲	۵۸/۹۳	۸۶۵۶۸/۱۷
۲	۶	PC1-H3	۱۳۴/۴	۳۵۶/۴	۶۴/۵۷	۸۶۷۸۲/۰۸
۲	۷	PC1-H4	۱۶۳/۳	۴۳۳/۹۲	۵۰/۴۹	۸۲۴۵۰/۱۷
۳	۸	PC1-Z1	۱۸۸/۳	۳۵۰/۵۴	۵۰/۴۹	۹۵۰۷۲/۶۷
۳	۹	PC1-Z2	۱۳۲/۸	۲۵۲/۷۹	۳۱/۵۷	۴۱۹۲۴/۹۶
۳	۱۰	PC1-Z3	۱۶۸	۳۱۸/۰۷	۵۸/۹۳	۹۹۰۰۲/۴
۴	۱۱	PC1-AB1	۹۲/۶	۲۳۸/۰۵	۵۰/۴۹	۴۶۷۵۳/۷۴
۴	۱۲	PC1-AB2	۱۲۷/۸	۳۲۳/۶۱	۳۱/۵۷	۴۰۳۴۶/۴۶
۴	۱۳	PC1-AB3	۲۳۹/۸	۵۸۸/۱۱	۶۷/۹۲	۱۶۲۸۷۲/۱۶
۴	۱۴	PC1-AB4	۲۲۹/۳	۵۴۴/۸۷	۵۸/۹۳	۱۳۵۱۲۶/۴۹
۵	۱۵	PC1-AL1	۲۹۴/۵	۵۳۰/۷۴	۳۱/۵۷	۹۲۹۷۳/۶۵
۵	۱۶	PC1-AL2	۲۷۲/۸	۵۰۲/۳۵	۵۰/۴۹	۱۳۷۷۳۶/۷۲
۶	۱۷	PC2-1	۱۶۳/۳	۳۰۶/۸۵	۵۸/۹۳	۹۶۲۳۲/۶۹
۶	۱۸	PC2-2	۱۶۰/۴	۳۰۴/۳	۶۷/۹۲	۱۰۸۹۴۳/۶۸
۷	۱۹	PC1-B1	۱۵۸/۲	۵۱۹/۹۶	۳۱/۵۷	۴۹۹۴۳/۷۴
۷	۲۰	PC1-B2	۱۸۸/۵	۵۴۸/۵۲	۵۰/۴۹	۹۵۱۷۳/۶۵
۷	۲۱	PC1-B3	۱۱۷/۹	۳۵۶/۴۴	۳۱/۵۷	۳۷۲۲۱/۰۳
۷	۲۲	PC1-B4	۷۱/۳	۲۱۲/۸	۶۴/۵۷	۴۶۰۳۸/۴۱
۷	۲۳	PC1-B5	۹۱/۳	۲۱۱	۵۸/۹۳	۵۳۸۰۳/۰۹
۸	۲۴	PC1-K1	۱۴۲/۲	۳۰۸/۳۸	۵۰/۴۹	۷۱۷۹۶/۷۸
۸	۲۵	PC1-K2	۱۹۵/۹	۳۲۵/۵۵	۳۱/۵۷	۶۱۸۴۵/۶۳
۸	۲۶	PC1-K3	۱۷۹/۸	۳۴۳/۹۱	۶۴/۵۷	۱۱۶۰۹۶/۸۶
۹	۲۷	PC2-GH1	۷۶/۷	۱۶۴/۲۲	۷۱/۵۴	۵۴۸۷۱/۱۸
۹	۲۸	PC2-GH2	۲۰۳/۵	۴۲۴/۶۶	۵۰/۴۹	۱۰۲۷۴۷/۱۵

نتایج وبحث

برنامه بهینه تحویل و توزیع آب به شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرف) در تعداد بلوک ۹ بلوک اجرا شد. قابل‌ذکر است، انتخاب تعداد بلوک به‌گونه‌ای که زمان تکمیل آبیاری بیشتر از ۲۴۰ ساعت شود قابل قبول نمی‌باشد. در بررسی تعداد بلوک‌ها الگوریتم با تعداد جمعیت و تعداد تکرارهای مختلف به‌منظور تعیین حداقل مقدار ظرفیت کانال توزیع‌کننده و حداقل زمان آبیاری اجرا شد. ترتیب و نوبت‌دهی آبیاری انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری برای الگوریتم‌های موردمطالعه در شکل‌های (۴) و (۵) نمایش داده شده است.

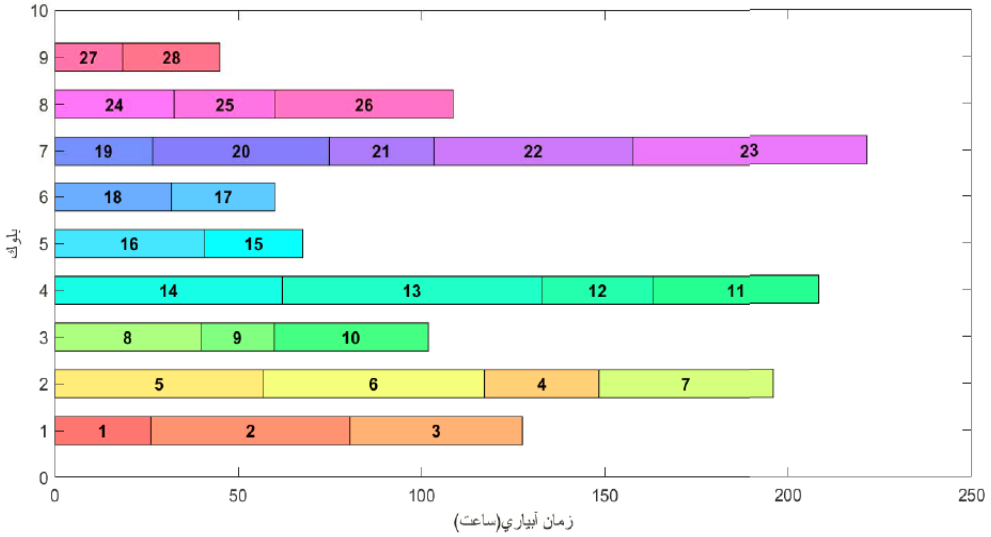
از آنجایی که در روند اجرای برنامه دبی انشعابات به شکل تصادفی تولید می‌شود و عدد ارائه‌شده اعشاری می‌باشد، با هدف عملیاتی کردن برنامه توزیع وتحویل آب در شبکه دبی‌های تولیدی گرد شده است. الگوریتم‌های مورد بررسی در زمان مناسب همگرا شده‌اند که نشان‌دهنده سرعت بالای الگوریتم‌های فراابتکاری در انتخاب بهینه پارامترهاست. زمان اجرای الگوریتم‌ها در پارامترهای بهنیه به طور متوسط ۲۰ ثانیه می باشد.

نتیجه‌گیری

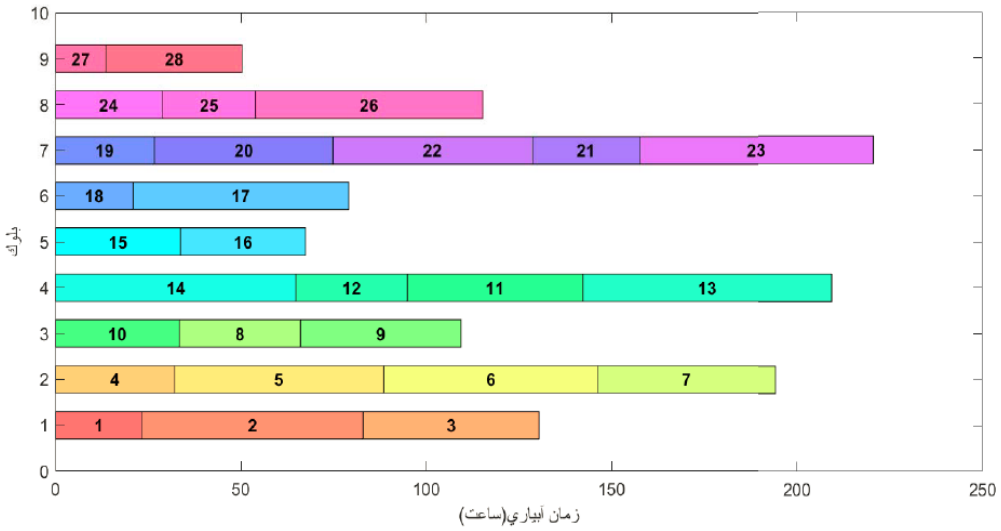
الگوریتم‌های تکامل‌گرا با سرعت پردازش بالایی که دارند می-

توانند در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی به مهندسین و طراحان کمک نمایند، اما این الگوریتم ها در فرآیند حل خود از عملگرها و پارامترهایی استفاده می‌نمایند که کارایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می-دهد. در این مطالعه به‌منظور ارائه برنامه توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری، الگوریتم‌های HSAو WOA توسعه داده شده است. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدل‌های به‌کاربرده در این پژوهش توانایی بهینه‌سازی سیستم توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری را دارا می‌باشند و می‌توان از آن‌ها در مسائل کاربردی شبکه‌ها استفاده کرد. در بهینه‌سازی دو هدفه ظرفیت کانال و زمان تکمیل آبیاری هر دو هم‌زمان بهینه شده‌اند. بسته به سیاست مدیریت سیستم مبنی بر اولویت کاهش ظرفیت کانال و یا کاهش مدت‌زمان تحویل آب برای جلوگیری از بروز تنش آبی به گیاه می‌توان هر کدام از گزینه‌های موردنظر را انتخاب نمود.

تعیین صحیح پارامترهایHSA و WOA بسیار حائز اهمیت است، زیرا موجب افزایش دقت و برآورد جواب بهینه می‌گردد. جهت بررسی صحت وسقم مدل‌های فوق از توابع تست(استاندارد) استفاده گردید.



شکل ٤- نمودار زمان‌بندی تحویل آب به انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری در الگوریتم وال



شکل ٥- نمودار زمان‌بندی تحویل آب به انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری در الگوریتم جستجوی هارمونی

جدول ٦- برنامه تحویل آبیاری بهینه شده شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرفت)

شماره بلوک	نام انشعاب	روش WOA			روش HSA		
		دبی تحویلی به هر انشعاب(لیتربرثانیه)	زمان شروع آبیاری(ساعت)	زمان خاتمه آبیاری(ساعت)	دبی تحویلی به هر انشعاب(لیتربرثانیه)	زمان شروع آبیاری(ساعت)	زمان خاتمه آبیاری(ساعت)
		Q	ST	FT	Q	ST	FT
۱	MC1	۷۰۱	۰	۲۰	۴۵۳	۰	۳۲
۱	MC2	۴۱۱	۲۰	۱۱۰	۵۹۶	۳۲	۹۳
۱	MC3	۷۸۷	۱۱۰	۱۵۰	۸۵۱	۹۳	۱۳۱
۲	PC1-H1	۵۹۱	۰	۳۱	۵۹۵	۰	۳۱
۲	PC1-H2	۴۳۰	۳۱	۸۷	۳۹۸	۷۹	۱۳۹
۲	PC1-H3	۴۰۴	۸۷	۱۴۷	۴۲۲	۱۳۹	۱۹۶
۲	PC1-H4	۴۷۵	۱۴۷	۱۹۵	۴۸۴	۳۱	۷۹
۳	PC1-Z1	۶۷۳	۰	۳۹	۴۵۷	۴۱	۹۸
۳	PC1-Z2	۵۸۱	۳۹	۵۹	۷۶۶	۹۸	۱۱۴
۳	PC1-Z3	۶۴۶	۵۹	۱۰۲	۶۷۷	۰	۴۱
۴	PC1-AB1	۳۰۷	۹۱	۱۳۴	۲۵۶	۸۹	۱۴۰
۴	PC1-AB2	۳۸۸	۶۲	۹۱	۴۳۵	۶۳	۸۹
۴	PC1-AB3	۶۰۴	۱۳۴	۲۰۹	۶۱۵	۱۴۰	۲۱۳
۴	PC1-AB4	۶۰۱	۰	۶۲	۵۹۴	۰	۶۳
۵	PC1-AL1	۸۴۴	۰	۳۱	۱۱۲۶	۰	۲۳
۵	PC1-AL2	۱۰۵۶	۳۱	۶۷	۷۷۴	۲۳	۷۲
۶	PC2-1	۸۲۷	۲۸	۶۱	۸۹۷	۳۰	۶۰
۶	PC2-2	۱۰۷۳	۰	۲۸	۱۰۰۳	۰	۳۰
۷	PC1-B1	۵۲۱	۰	۲۷	۵۲۰	۰	۲۷
۷	PC1-B2	۵۴۹	۸۳	۱۳۱	۵۴۹	۱۰۹	۱۵۸
۷	PC1-B3	۳۷۲	۱۳۱	۱۵۹	۳۵۶	۲۷	۵۶
۷	PC1-B4	۲۲۷	۲۷	۸۳	۲۳۸	۵۶	۱۰۹
۷	PC1-B5	۲۳۱	۱۵۹	۲۲۳	۲۳۷	۱۵۸	۲۲۱
۸	PC1-K1	۶۱۹	۰	۳۲	۹۱۹	۰	۲۲
۸	PC1-K2	۶۳۷	۳۲	۵۹	۳۹۶	۲۲	۶۵

۸	PC1-K3	۶۴۴	۵۹	۱۰۹	۵۸۵	۶۵	۱۲۰
۹	PC2-GH1	۸۲۷	۰	۱۸	۳۳۴	۰	۴۶
۹	PC2-GH2	۱۰۷۳	۱۸	۴۵	۱۵۶۶	۴۶	۶۴

همچنین حداکثرظرفیت کانال یا ماکزیمم دبی در حال حاضر برای شبکه آبیاری ۱۹۰۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که این مقدار پس از بهینه-سازی بوسیله الگوریتم وال۱۷۹۰ لیتر بر ثانیه و بوسیله الگوریتم جستجوی هارمونی ۱۷۷۴لیتر برثانیه می‌باشد که در مقایسه با میزان ظرفیتی کانال بدون شرایط بهینه به ترتیب۱۱۰و۱۲۶ لیتر بر ثانیه کاهش پیدا کرده است. همچنین دور آبیاری این شبکه ۱۰ روزه می-باشد و ۲۴۰ ساعت زمان آبیاری آن است در حالی که این زمان پس از اجرای مدل بوسیله الگوریتم وال ۲۲۳/۵ساعت و بوسیله الگوریتم جستجوی هارمونی۲۲۱ ساعت می‌باشدکه به ترتیب ۶/۵و ۹ساعت کاهش پیدا کرده است، و نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم جستجوی هارمونی در هر دو فاکتور دبی و زمان، نسبت به الگوریتم وال می باشد. همچنین بررسی نمودار همگرایی الگوریتم‌ها نشان می‌دهد الگوریتم جستجوی هارمونی در مقایسه با الگوریتم وال(نهنگ)، سریع‌تر و با تکرار کمتری به همگرایی می‌رسد.

بنابراین ازی شبکه فرعی آبیاری اراضی جازموریان(دشت جیرفت) با روش‌های فراابتکاری مختلف جهت بهبود برنامه تحویل و توزیع آب حائز اهمیت است. همچنین با توجه به گسترش روش‌های بهینه‌سازی تکاملی ونواقص الگوریتم‌های موردمطالعه، استفاده ازروش‌های بهبودیافته HSA مانند:SAHS, HIS, GHSو ازروش‌های بهبودیافته WOA مانند: IWOA WOA, CWOA, LXWOA, MPPT از آنجایی که ممکن است به نتایج بهتری دست یابد، پیشنهاد می‌گردد.

منابع

حسن‌پور، ز.، شاهی‌نژاد، ب.، ترابی‌پوده، ح. و جباری، آ. ۱۴۰۰. طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست. ۵۱(۴): ۳۱-۴۳.

خدادادی، س.ا.، یاسی، م. و منعم، م.ج. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد و ارائه الگوی بهینه تحویل آب در شبکه آبیاری زرینه‌رود. نشریه مدیریت آب و آبیاری. ۷(۱):۱۰۵-۱۱۹.

خدادادی، س.ا.، یاسی، م. و منعم، م.ج. ۱۴۰۰. بهینه‌سازی الگوی تحویل آب در سناریوهای کاهش تخصیص آب شبکه آبیاری زرینه‌رود با استفاده از الگوریتم PSO. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲(۵): ۱۱۷۹-۱۱۹۲ .

جهاندیده، ا. و امامی، س. ۱۴۰۱. ارائه مدلی برای تخصیص آب شبکه آبیاری و زهکشی با استفاده از روشهای هوشمند تکاملی. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۹(۱): ۳۱-۴۴.

خلیفه، س.، بارانی، غ.، خلیفه، و. و ذونعمت کرمانی، م. ۱۳۹۸. بهینه-سازی شبکه توزیع آب با الگوریتم ژنتیک موجود در مدل water Gems

(مطالعه موردی: شهر رویدر استان هرمزگان). نشریه مهندسی عمران فردوسی۳۲(۳).

غلامی، م.، رهنما، م. و ابراهیمی، ح .۱۳۸۶ . ارائه برنامه بهینه توزیع آب در شبکه‌های آبیاری با استفاده از تئوری الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی شبکه آبیاری درود زن فارس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

قادری نسب، ف.، قادری،ک. و رهنما، م. ۱۳۹۴. برنامه تحویل وتوزیع بهینه آب در شبکه آبیاری با استفاده از الگور یتم‌های بهینه‌سازی تکاملی(مطالعه موردی شبکه آبیاری زیرسد جیرفت). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹(۵): ۸۳۰-۸۴۱.

کاکویی، س. و عمادی، ع. ۱۳۹۲ . کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی توزیع آب مطالعه موردی کانالMC شبکه آبیاری البرز. مجله پژوهش‌های حفاظت آبو خاک، ۲۰(۲): ۱۷۹-۱۹۳.

محمدی اقدم،ک.، میرزایی، ای.، پورمحمد، ن. و پورمحمودآقابابا، م. ۱۳۹۳. الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات دینامیکی جهشی برای طراحی شبکه‌های توزیع آب. نشریه آب وفاضلاب. ۱۳۹۴(۴).

منصوری،ر و ترابی،ح. ۱۳۹۴. به‌کارگیری الگوریتم تکامل تفاضلی (DE)برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب(مطالعه موردی: شبکه آبیاری تحت‌فشار اسماعیل‌آباد). نشریه دانش آب و خاک. ۲۵ (۴/۲): ۸۱ تا ۹۵.

منصوری،ر و محمدی‌زاده،م. ۱۳۹۷. کاربرد الگوریتم نیروی مرکزی (CFO)در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۱): ۱۰۱-۱۱۴.

منعم،م. ج و قدوسی،ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های آبیاری در شرایط مختلف بهره‌برداری با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۸(۴): ۶۵۴-۶۶۳

منعم،م. ج ،. نجفی،م. ر. و خوشنواز،ص . ۱۳۸۶ . برنامه ریزی بهینه تحویل آب در کانال آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک. تحقیقات منابع آب ایران.۳(۱): ۱ -۱۱.

منعم،م.ج. و نوری، م.ع .۱۳۸۹ . کابرد الگوریتم بهینه سازیPSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه آبیاری، مجله آبیاری وزهکشی ایران. ۴(۱): ۷۳ -۸۲ .

میربیک سبزواری، م.، ترابی پوده، ح. و یونسی، ح.ا. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه‌یابی جستجوی هارمونی در بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های چند مخزنه و تک‌مخزنهٔ واقعی (مطالعه موردی : سد دز). مجله پژوهش آب ایران، ۱۳(۴): ۲۷-۳۸.

میرکماندار، ب و قادری،ک .۱۴۰۰ . برنامه تحویل و توزیع بهینه آب با استفاده از الگوریتمPSO (مطالعه موردی: شبکه آبیاری سد نساء شهرستان بم). نشریه آبیاری وزهکشی ایران.۱۶(۲): ۴۲۱-۴۳۱.

نجارزادگان،م.ر. و معینی، ر. ۱۴۰۱. بهینه‌سازی طراحی شبکه توزیع آب شهری با استفاده از الگوریتم ارتقا یافته کلونی زنبورعسل مصنوعی. نشریه آب وتوسعه پایدار. ۹(۳): ۹۷-۱۰۶.

Hussien, A. G., Hassanien, A. E., Houssein, E. H., Amin, M. and Azar, A. T. 2020. New binary whale optimization algorithm for discrete optimization problems. Engineering Optimization. 52(6):945-959.

Attarzadeh, F., Ziaei, A.N., Davary, K. and Fallah Choulabi, E. 2022. Comparison of Five Evolutionary Algorithms for Calibration of Water Distribution Networks. Iranian Hydraulic Association Research Article Journal of Hydraulics. 17(2): 21-45

Bashiri Atrabi, H., Qaderi, K., E. Rheinheimer, D. and Sharif,i E. 2015. Application of Harmony Search Algorithm to Reservoir Operation Optimization. Water Resour Manage. 29: 5729–5748.

Chambers, R. Managing Canal Irrigation: Practical Analysis from South Asia. 1988. New Delhi. Bombay. Calcutta: Oxford and IBH Publishing Co Pvt Ltd. and Cambridge University Press.

Darvishi, E. and Kordestani, T. 2019. Multi-objective optimization of water scheduling in irrigation canal network using NSGA-II. Journal of Applied Research in Water and Wastewater. 12: 95–99.

Dudley, N.J. and Burt, O.R. 1973. Stochastic reservoir management and system design for irrigation. Water Resour. Res. 9: 507–522.

El-Ghandour, H. A. and Elbeltagi, E. 2018. Comparison of Five Evolutionary Algorithms for Optimization of Water Distribution Networks. Journal of Computing in Civil Engineering. 32 (1): 04017066. Doi: 10.1061/ (ASCE) CP.1943-5487.0000717.

Ezzeldin, R. and Djebedjian, B. 2020. Optimal design of water distribution networks using whale optimization algorithm. Urban Water Journal. 17(1): 14-22. doi=10.1080/1573062X.2020.1734635

Geem, Z. W.2009. Harmony search optimization to the pump-included water distribution network design. Civil Engineering and Environmental Systems. 6(3): 211–221.

Geem, Z. W., Kim, J. H. and Jeong, S. H. 2011. Cost efficient and practical design of water supply network using harmony search. African Journal of Agricultural Research. 6(13): 3110-3116.

International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). 1989. Planning the management, operation, and maintenance of irrigation and drainage systems. A guide for the preparation of strategies and manuals. World Bank. USA: The World Bank.

Janat Rostami, S., Kholghi, M. and Bozorg Haddad, O. 2010. Management of reservoir operation system using improved harmony search algorithm. Water and Soil Science.University of Tabriz. 20(1): 61-71. (In Persian)

Joeres, E. F. and Liebman, J. C. 1971. Operating rules for joint operation of raw water resources. Water Resour. Res. 7: 225–235.

Kaghazchi, A., Hashemy Shahdany, S. and Roozbahani, A. 2021. Simulation and evaluation of agricultural

advengsoft.2016.01.008.

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Saremi, S. and Mirjalili, S. 2020. Whale Optimization Algorithm: Theory, Literature Review. and Application in Designing Photonic Crystal Filters. In Nature-Inspired Optimizers, edited by S. Mirjalili, J. Dong, and A. Lewis, Studies in Computational Intelligence.Vol:811.:219–238. Cham: Springer.

Mulvihill, W. E. and Dracup, J. A. 1971. Optimal timing and sizing of a conjunctive urban water supply treatment facilities. Water Resources Research.7: 463–478.

Mousavi, S.Z., Akhondali, A.M., Naseri, A., Eslamian, S., and Saadati, S. 2021. Evaluation of whale and particle swarm optimisation algorithms in optimal allocation of water resources of irrigation network to maximise net benefit case study: Salman Farsi. International journal of Hydrology Science and Technology. 12(3): 333–345.

Paudyal, G. N., Pandit, D. S. and Goto, A. 1991. Optimization of design of on-farm channel network in an irrigation area. Irrigation and Drainage Systems. 5(4): 383-395

Pawed, A.W., Mathur, Y. P.and Kumar, R. 2013. Optimal water scheduling in irrigation canal network using particle swarm optimization. IRRIGATION AND DRAINAGE. 62: 135–144.

Touma, H. J. 2016. Study of the economic dispatch problem on IEEE 30-bus system using whale optimization algorithm. Int. J. Eng. Technol. Sci .5(1): 11-18.

United Nations (UN). 1995. Guidebook to Water Resources, Use and Management in Asia and the Pacific. Water Resources and Water Use. Water Resources Series No. 74. United Nations: New York. NY. USA.

Zhao, W., Ma, X., Kang, Y., Ren, H., Su, B. 2009. Optimal Model on Canal water Distribution Based on Dynamic Penalty Function and Genetic Algorithm. IFIP Advances in Information and Communication Technology. 294(2): 1347-1357

water distribution and delivery systems with a Hybrid Bayesian network model. Journal of Agriculture Water Management. 245, 106578.

Kalaipriyan, T., Amudhavel, J. and Sujatha, P. 2017. Whale Optimization Algorithm for Combined Heat and Power Economic Dispatch. Advances and Applications in Mathematical Sciences. 17(1): 197–211. doi:10.1155/2017/6563498.

Kaveh, A. and Ghazaan, M. I. 2017. Enhanced whale optimization algorithm for sizing optimization of skeletal structures. Mech. Based Des. Struct. Mach.45 (3):345–362.

Lee, K. S. and Geem, Z. W. 2005. A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: Harmony search theory and practice. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 194: 3902-3933.

Liu, Y., Yang, T., Zhao, R., Li, Y., Zhao, W. and Ma, X. 2018. Irrigation Canal System Delivery Scheduling Based on a Particle Swarm Optimization Algorithm. Journal of Water. 10(9): 1281.

Mafarja, M. and Mirjalili, S. 2017. Hybrid Whale Optimization Algorithm with simulated annealing for feature selection. 18-Neurocomputing. 260: 302–312.

Mahdavi, M., Fesanghary, M. and Damangir, E. 2007. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. Applied Mathematics and Computation. 188: 1567-1579.

Maier, H. R., Kapelan, Z., Kasprzyk, J., Kollat, J., Matott, L. S., Cunha, M .C., Dandy, G. C., Gibbs, M. S., Keedwell, E., Marchi, A., et al. 2014. Evolutionary algorithms and other metaheuristics in water resources: Current status, research challenges and future directions. Environmental Modelling & Software. 62: 271–299.

Meredith, D. D.1973. Design and planning of engineering systems. Molecules. 9: 705–712.

Mirjalili, S. and Lewis, A. 2016. The Whale Optimization Algorithm. Advances in Engineering Software. 95: 51–67. Doi: 10.1016/j.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 17, Oct.-Nov. 2023, p. 771-786

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۷، مهر - آبان ۱۴۰۲، ص. ۷۸۶-۷۷۱

Optimal Programming for Delivery and Distribution of Water Using WOA and HSA algorithms (Case study: Jazmurian land irrigation sub-network (Dasht Jiroft))

B. H. Kamali Pour [1]*, K. Qaderi[2], M. M. Ahmadi[3]
Recived: Apr.09, 2023 Accepted: May.16, 2023

Abstract

The issue of water delivery and distribution in the irrigation network is one of the important issues to realize the goals of the network and achieve the desired efficiency, and by affecting the size of the delivery structures, the capacity of the channels and the cost of construction, it causes the efficient design of the network. In addition, the poor performance of irrigation canals on the one hand and its effect on the reduction of agricultural water productivity on the other hand has necessitated the provision of effective planning for the optimal exploitation of canals. This type of issue is a multi-objective, multi-variable and multi-constraint optimization problem, and its solution requires powerful optimization methods such as evolutionary algorithms. In this research, two optimization models based on the HSA (Harmony Search Algorithm) and WOA (Whale Optimization Algorithm) algorithms are developed to provide the order and sequence of branches in irrigation canals in order to decreasing in main channel capacity and decreasing in irrigation time. For this purpose, first the number of branches, the maximum capacity of each channel, the area covered by each branch, the gross irrigation requirement, the irrigation cycle, and the number of blocks were introduced as inputs to the model. After implementing the model of the best turn of branches in each block, the minimum capacity of the distributor channel and the minimum irrigation time in optimal conditions were presented as outputs. In order to control and check the developed program, the optimal water delivery program in the irrigation sub-network of Jazmurian lands (Dasht Jiroft) was extracted using the above two models, and while matching with standard functions to check the accuracy of the algorithms, the HSA model was determined in each two-factor discharge and time has a better performance than the WOA model.

Keywords: Irrigation network, Optimization, Programming Delivery and Distribution of Water, WOA and HSA algorithms

1- Ph.D. Student, Department of Water Structures, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2 -Associate Professor, Department of Water Structures, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Structures, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
(*-Corresponding Author Email: Bentolhoda.Kamalipour@agr.uk.ac.ir)