نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد۹، آذر - دی ۱۳۹۴، ص. ۸۴۱-۸۳۰

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 830-841

برنامه تحویل و توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی (مطالعه موردی شبکه آبیاری زیر سد جیرفت)

فرزانه قادری نسب گروهی[1*]، کورش قادری[2]، محمد باقر رهنما[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۲۵

چکیده

برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری بهینه از شبکه آبیاری یک راه حل کارآمد در صرفه‌جویی مصرف آب، افزایش سطح زیرکشت و بهبود عملکرد کشاورزی است. مسئله تحویل و توزیع آب در شبکه آبیاری یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه، چند متغیره و چند محدودیتی است. حل چنین مسئله‌ای نیازمند روش‌های بهینه‌ساز قدرتمند است. الگوریتم‌های تکاملی گروهی مهم از الگوریتم‌های جستجو هستند که در آن‌ها با استفاده از قوانین تکاملی موجود در طبیعت برای یافتن جواب مناسب بهره گرفته می‌شود. در این مطالعه برنامه تحویل و توزیع ارائه شده در شبکه آبیاری با استفاده از الگوریتم‌های رقابت استعماری و PSO بهینه‌سازی شد و با نتایج الگوریتم ژنیتک مقایسه شد. مدل برنامه توزیع آب در انشعابات کانال‌های توزیع‌کننده به گونه‌ای ارائه شده که اهداف متفاوتی اعم از کاهش ظرفیت کانال توزیع‌کننده و کاهش زمان مورد نیاز برای تکمیل برنامه آبیاری به‌صورت تک هدفی و دو هدفی بهینه گردد. در این برنامه ابتدا تعداد انشعابات، حد بالا و پایین میزان دبی تحویلی به هر انشعاب و سطح تحت پوشش هر انشعاب، نیاز ناخالص آبیاری، دور آبیاری و تعداد بلوک‌ها به عنوان ورودی به مدل معرفی می‌شود. با اجرای مدل بهترین نوبت‌بندی انشعابات در هر بلوک، حداقل ظرفیت کانال توزیع‌کننده و حداقل زمان آبیاری در شرایط بهینه به عنوان خروجی مدل ارائه می‌گردد. جهت کنترل و بررسی برنامه تدوین شده، برنامه بهینه تحویل آب در شبکه آبیاری پایین دست سد انحرافی جیرفت با استفاده از مدل تدوین شده استخراج شد. در نتیجه این مطالعه مشخص شد عملکرد الگوریتم رقابت استعماری نسبت به دو الگوریتم دیگر بهتر است که با استفاده از آن در حالت بهینه‌سازی دو هدفه جهت تأمین نیاز آبیاری شبکه، ماکزیمم دبی ۱۳۸۱ لیتر در ثانیه و ماکزیمم زمان آبیاری ۲۳۶ ساعت می‌باشد.

واژه های کلیدی: الگوریتم‌های PSO و رقابت استعماری، برنامه تحویل و توزیع آب، بهینه‌سازی، شبکه آبیاری

مقدمه

یکی از دلایل ضعف عملکرد پروژه‌های آبیاری، توزیع نامناسب آب در سطح اراضی و انشعابات می‌باشد. سیستم‌های توزیع آب آبیاری اغلب چند هدفه بوده و میعارهای عدالت، کفایت و به‌هنگام بودن در آن‌ها اهمیت دارد. از آنجاییکه سیستم‌های توزیع آب کانال در ظرفیت و طول متفاوت طراحی شده‌اند، مستلزم مدت زمان تحویل متفاوت می‌باشند. برنامه‌ریزی آبیاری تحت این شرایط به ویژه برای توزیع آب گردشی، فرآیندی پیچیده می‌باشد (Santhi and Pundarikanthan, 2000).

در برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب باید مدت زمان تحویل آب، میزان دبی تحویلی و تناوب آبیاری تعیین گردند. معمول‌ترین روش بهره‌برداری که بیش‌ترین استفاده را در کانال‌های آبیاری دارد، برنامه تحویل آب گردشی است که عوامل مدت زمان تحویل آب، میزان دبی تحویلی و تناوب آبیاری ثابت و از پیش تعیین شده‌اند. در مسئله تحویل و توزیع آب استفاده از روش‌های تحلیلی و بهینه‌سازی می‌تواند بخشی از مشکلات موجود را رفع نماید. مسئله برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری یک مسئله پیچیده بهینه‌سازی چند هدفه، چند متغیره و چند محدودیتی با انواع متغیرها است که حل آن نیازمند کاربرد روش‌های توانمند بهینه‌ساز است (منعم و نوری، ۱۳۸۹). 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. با توجه به نیاز آبی هر آبگیر و عوامل تحویل آن، مدت زمان تحویل آب به هر آبگیر تعیین می‌شود. مجموع زمان

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- استادیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: Email: gaderi_f@alumni.ut.ac.ir)

تحویل آب به آبگیرهای واقع در هر بلوک، زمان تکمیل آبیاری هر بلوک را تعیین می‌کند که نباید از حداکثر دور آبیاری مجاز بیش‌تر باشد. مجموع دبی آبگیرهایی که همزمان آبیاری می‌نمایند، دبی جاری در کانال توزیع‌کننده را تعیین 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.

الگوریتم‌های تکاملی گروهی مهم از الگوریتم‌های جستجو هستند که در آن‌ها با استفاده از قوانین تکاملی موجود در طبیعت برای یافتن جواب مناسب بهره گرفته می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک (الهام گرفته از تکامل موجودات)، حرکت جمعی ذرات (الهام گرفته از حرکت دسته جمعی پرندگان و ماهی‌ها) و الگوریتم رقابت استعماری (الهام گرفته از فرایند تکامل اجتماعی – سیاسی) اشاره کرد.

الگوریتم‌های بهنیه‌سازی تکاملی محدودیت‌های روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک در حل مسائل با ماهیت غیرخطی و مشتق‌ناپذیر را ندارند. این الگوریتم‌ها تنها یک تک نقطه را جستجو نکرده بلکه جمعیتی از نقاط را به صورت موازی بررسی می‌نمایند. به طور کلی استفاده از الگوریتم‌های تکاملی خیلی سر راست است و هیچگونه محدودیتی برای تعریف تابع هدف وجود ندارد. هم‌چنین نیاز به اطلاعاتی ضمنی و دیگر دانش‌های مکمل ندارند (راعی و علی بیکی، ۱۳۸۹).

مرور منابع نشان می‌دهد که برنامه تحویل توزیع بهینه آب در شبکه‌های آبیاری همیشه یکی از دغدغه‌های محققان بوده است. سوریاونشی و ردی مسئله برنامه‌ریزی کانال را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی ۰-۱ جهت آماده سازی برنامه‌ریزی عملیاتی خروجی‌های کانال آبیاری به کار گرفتند. آن‌ها نظریه‌ی "لوله جریان"را برای توسعه این مدل ریاضی معرفی کردند (Suryavanshi and Rddey., 1386).

ونگ و همکاران متوجه شدند در تدوین تابع هدف توسعه یافته توسط سوریاونشی و ردی (۱۹۸۶) نقص جزئی وجود دارد، که با معرفی یک تابع فعال سازی آنرا اصلاح کردند (Wang et al, 1995) اما این مدل فقط در سیستم‌های آبیاری که در آن انشعابات فرعی دبی یکسان دارند، قابل اجرا بوده و از این‌رو کاربردهای آن محدود است. ردی و همکاران جهت فرموله کردن این مسئله، مفهوم "زمان-بلوک" را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی ۰-۱ معرفی کردند. بهبود قابل توجه در این مدل این است که در سیستم‌های آبیاری که در آن انشعاب‌های فرعی دارای دبی متفاوت هستند نیز قابل اعمال است (Reddy et al, 1999).

وردلا و بکتیکل (۲۰۰۴) از روش GA[1] برای برنامه‌ریزی آب آبیاری با هدف بهینه‌سازی منابع آب در سیستم آبیاری و بر اساس برنامه گردشی استفاده کردند (Wardlaw and Bhaktikul., 2004).

منعم و نامداریان با استفاده از یک روش بازپخت شبیه‌سازی شده یک مدل چند هدفه جهت توزیع آب مطلوب در سیستم‌های آبیاری ارائه کردند (Monem and Namdarian, 2005).

ژاو و همکاران مدل بهینه توزیع آب در در شرایط دبی نامساوی کانال‌ها را بر اساس تابع جریمه دینامیک و الگوریتم ژنتیک ارائه کردند(Zhao et al, 2009) . پاد و همکاران با هدف به حداقل رساندن ظرفیت کانال و حداقل کردن مراحل عملیاتی دریچه اصلی کانال تحویل آب، نرخ آب تحویلی و زمان شروع به نقاط تحویل را به عنوان متغیرهای تصیم‌گیری در نظر گرفتند و با استفاده از الگوریتم PSO برنامه بهینه تحویل آب را ارائه کردند. برنامه تحویلی ارائه شده توسط آن‌ها هیدروگراف ورودی به کانال تحویل آب را در طی دوره گردش ثابت نشان داد که به مفهوم حداقل بهره‌برداری دریچه کانال اصلی و در نتیجه حداقل تلفات انتقالی می‌باشد (Pawed et al, 2013).

قابل ذکر است که با توجه به اهمیت مسئله تحویل و توزیع بهینه آب در ایران نیز برنامه تحویل و توزیع بهنیه در تعدادی از شبکه‌های آبیاری کشور تهیه شده است که به عنوان مثال می‌توان به برنامه تحویل و توزیع آب در کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات در حالات دو هدفی و تک هدفی با الگوریتم جامعه مورچگان توسط عمادی و کاکوئی (۱۳۹۱) و الگوریتم ژنتیک توسط منعم و همکاران (۱۳۸۶)، برنامه تحویل و توزیع بهینه در کانال amx ورامین در حالت تک هدفی با الگوریتم جامعه مورچگان توسط کاکوئی و عمادی (۱۳۹۲)، الگوریتم PSO توسط (منعم و نوری ۱۳۸۹) و الگوریتم SA توسط منعم و نامداریان (Monem and Namdarian., 2005) و هم‌چنین برنامه توزیع و تحویل بهینه شبکه آبیاری میاناب شوشتر به‌صورت دو هدفی با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسط خوشنواز و همکاران(۱۳۹۰) اشاره کرد.

با توجه به اهمیت مسئله تحویل و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و با توجه به اینکه الگوریتم‌های PSO و رقابت استعماری (ICA) محدودیت‌های روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک مانند توقف در نقاط بهینه موضوعی و عدم پیاده‌سازی شرایط کامل مسئله را نداشته و قدرت خود را در بسیار از مسائل مهندسی به اثبات رسانده‌اند، در مطالعه حاضر از این الگوریتم‌ها استفاده شد و به منظور مقایسه قدرت این الگوریتم‌ها با GA، شبکه آبیاری زیر سد جیرفت که برنامه بهینه آن به روش GA توسط جهانشاهی (۱۳۸۷) ارائه شده بود مورد

1- genetic algorithm

مطالعه قرار گرفت. به طور مختصر اهداف این مطالعه عبارتند از ارائه ترتیب و نوبت‌بندی بهینه انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری به گونه‌ای که دبی کانال توزیع کننده و دور آبیاری حداقل گردد.

مواد و روش‌ها

الگوریتم PSO[1]

الگوریتم PSO برای اولین بار در سال 1995 توسط کندی و ابرهات و به عنوان یک روش جستجوی غیر قطعی برای بهینه‌سازی مطرح شد (Kennedy and Eberhart., 1995). PSO الگوریتمی با جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان یا ماهی‌ها مدل شده است. در PSO، ذرات[2] در فضای جستجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش ذرات و همسایگانشان می‌باشد. بنابراین موقعیت سایر توده[3] ذرات روند جستجوی یک ذره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه‌ی این رفتار اجتماعی ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند(Kennedy and Eberhart., 1995) .

پایه PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. هر عامل تلاش می کند تا موقعیت خود را با استفاده از موقعیت فعلی، سرعت فعلی، بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد تنظیم کند. که عبارت را می‌توان با مفهوم سرعت بیان کرد. سرعت هر عامل را می‌توان از معادله زیر به دست آورد (Eberhart and Kennedy., 2001)

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1 rand_1 \times (pbest_i - s_i^k) + c_2 rand_2 \times (pbest - s_i^k) \quad (۱)$$

که v_i^k سرعت ذره i در تکرار k ام، w تابع وزن، c_j یک ضریب وزنی است. rand یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ ، s_i^k موقعیت فعلی ذره i در تکرار k ام، $pbest_i$ ، بهترین مکانی که تاکنون ذره i در آن قرار گرفته است همچنین $gbest_i$ بهترین مکانی است که در کل همسایگی ذره i ام وجود دارد.

اولین عبارت در سمت راست رابطه ۱، سرعت مرحله قبل ذره i می‌باشد. در واقع ذره بدون دو عبارت بعدی حرکت را در جهت قبلی خود ادامه می‌دهد. جملات دوم و سوم برای تغییر سرعت ذره می‌باشند

1- Particle Swarm Optimization
2 -Particle
3 -Swarm

الگوریتم رقابت استعماری[4] (ICA)

روشی در حوزه محاسبات تکاملی است که به یافتن پاسخ بهینه مسائل مختلف بهینه‌سازی می‌پردازد. این الگوریتم با مدل‌سازی ریاضی فرایند تکامل اجتماعی- سیاسی، الگوریتمی برای حل مسائل ریاضی بهینه‌سازی ارائه می‌دهد (Atashpaz-Gargari and Lucas, 2007).

الگوریتم رقابت استعماری نیز مجموعه اولیه‌ای از جواب‌های احتمالی را تشکیل می‌دهد. این جواب‌های اولیه در الگوریتم ژنتیک با عنوان "کروموزوم"، در الگوریتم ازدحام ذرات با عنوان "ذره" و در الگوریتم رقابت استعماری نیز با عنوان "کشور" شناخته می‌شوند. الگوریتم رقابت استعماری جواب‌های اولیه (کشورها) را به تدریج بهبود داده و در نهایت جواب مناسب مسئله بهینه‌سازی (کشور مطلوب) را در اختیار می گذارد.

پایه‌های اصلی این الگوریتم را سیاست همسان‌سازی[5]، رقابت استعماری[6] و انقلاب[7] تشکیل می‌دهند. این الگوریتم با تقلید از روند تکامل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشورها و با مدل‌سازی ریاضی بخش‌هایی از این فرایند، عملگرهایی را در قالب منظم به‌صورت الگوریتم ارائه می‌دهد که می‌توانند به حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی کمک کنند. در واقع این الگوریتم جواب‌های مسئله بهینه‌سازی را در قالب کشورها نگریسته و سعی می‌کند در طی فرایندی تکرار شونده این جواب‌ها را رفته رفته بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه مسئله برساند(Sun and Liang ., 2014).

الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک را می‌توان یک روش جستجوی کلی نامید که از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می‌کند. الگوریتم ژنتیک بر روی یک‌سری از جواب‌های مساله به امید بدست آوردن جواب‌های بهتر قانون بقای بهترین را اعمال می کند Goldberg(1989)، Lawrence (1991) و Ritzel و Eheart (1994).

تدوین مدل بهینه ساز

در این مطالعه، برنامه تحویل و توزیع در محیط نرم‌افزار Matlab2014 تدوین شده است. برای اعمال قیود و ارزش کمی آن‌ها از تابع جریمه استفاده شده که مقدار تابع نهایی جهت بهینه‌سازی به صورت مجموع مقدار تابع هدف مساله و مقدار تابع جریمه تعریف شده است. مدل بهینه‌ساز به صورت کلی برای تعدادی آبگیر (انشعاب) که همه از کانال درجه یک (کانال توزیع کننده)

4- Imperialist Competitive Algorithm
5- Assimilation
6- Imperialistic Competition
7- Revolution

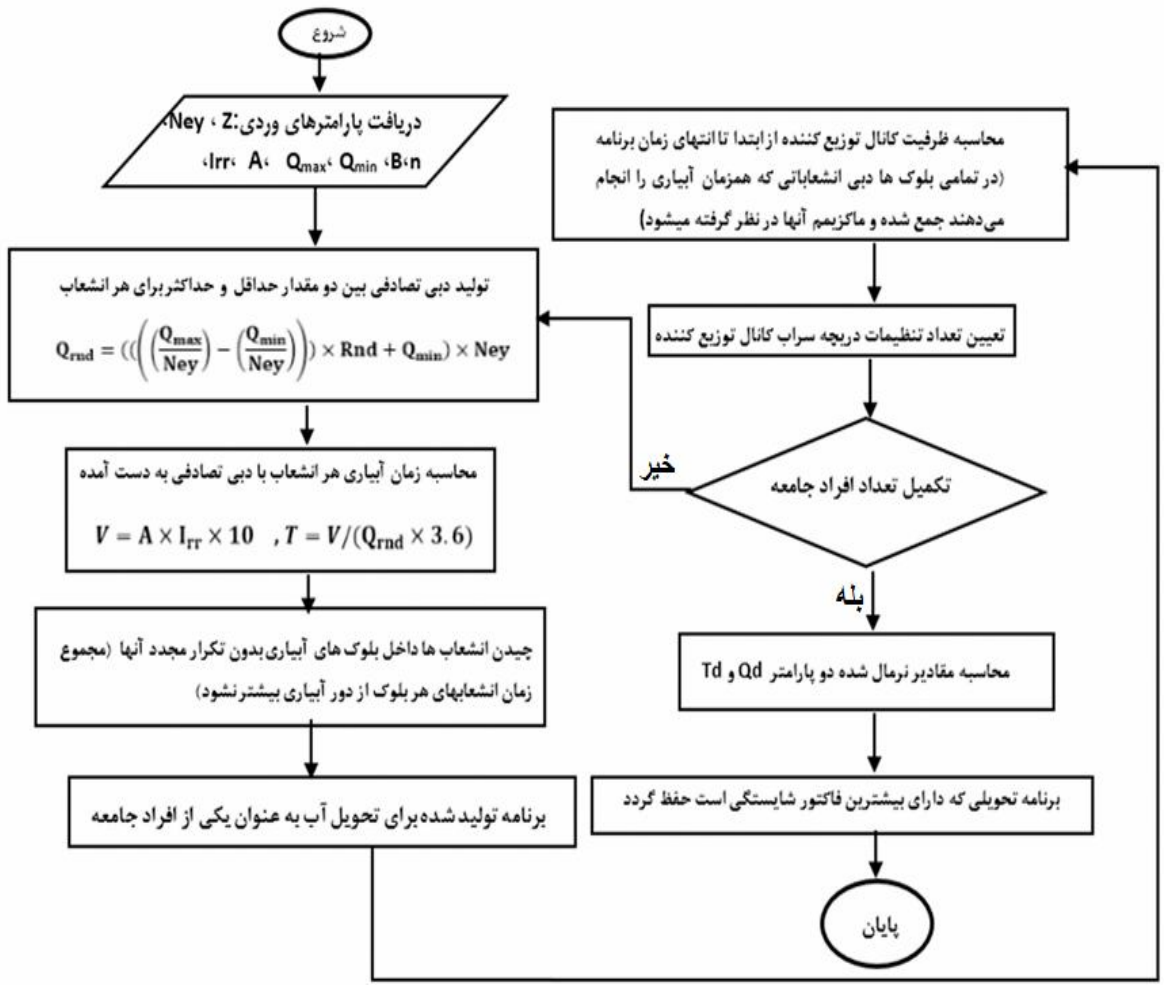
منشعب می‌شوند توسعه داده شده است. تعداد انشعابات، دبی حداقل و حداکثر مجاز برای هر انشعاب، سطح زیر کشت هر انشعاب، نیاز ناخالص آبیاری در هر انشعاب، مضرب تولید دبی در هر دریچه، تعداد بلوک و دور آبیاری را به صورت ورودی از کاربر گرفته شده و بهترین برنامه تحویل آب شامل بهترین ترتیب و نوبت‌بندی انشعابات در هر بلوک، کم‌ترین دبی کانال توزیع‌کننده و کم‌ترین زمان تحویل آب را به صورت خروجی ارائه می‌دهد. در شکل ۱ به طور مختصر الگوریتم و روند انجام تدوین برنامه ترسیم شده است

سه جز اصلی هر مسئله بهینه‌سازی متغیر تصمیم‌گیری، قیدها و تابع هدف می‌باشند. در این مطالعه متغیرهای تصمیم‌گیری مقدار بده جریان تحویلی در کانال توزیع کننده و مدت زمان تحویل آب می‌باشند. در مسئله تحویل و توزیع بهینه قیدهای مسئله به شرح زیر می‌باشند:

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

$$Q_{min_{di}} \leq Q_{d_i} \leq Q_{maxd_i} \quad (۲)$$

که Q_{d_i} دبی تولید شده برای انشعاب i ام، $Q_{min_{di}}$ حداقل دبی مجاز در انشعاب iام و Q_{maxd_i} حداکثر دبی مجاز در انشعاب iام می‌باشد.



شکل ۱– فلوچارت بهینه‌سازی برنامه تحویل و توزیع آب در شبکه آبیاری (z: ماکزییم ظرفیت کانال اصلی، Ney: مضرب تولید دبی تصادفی با توجه به نوع دریچه، n: تعداد انشعاب‌ها، Q_{min}: دبی حداقل هر انشعاب، Q_{max}: دبی حداکثر هر انشعاب، A: مساحت تحت پوشش هر انشعاب، I_{rr}نیز ناخالص آبیاری هر انشعاب، Rand عدد تصادفی، Td : زمان کل آبیاری به دست آمده و Qd: ظرفیت کل کانال توزیع‌کننده)

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

$$\sum_{j=1}^{m} Q_{dj} \leq Q_{MC} \qquad (۳)$$

که Q_{MC}، ظرفیت کانال توزیع‌کننده (کانال درجه یک)، Q_{dj} میزان دبی تولیدی در انشعابj و m تعداد انشعاباتی است که همزمان آبیاری می‌شوند.

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

$$\sum_{j=1}^{m} t_{dj} \leq I \qquad (۴)$$

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

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، هم وزن نمودن آن‌ها در توابع هدف بوده است. برنامه در دو حالت تک هدفه و دو هدفه نوشته شده است. در حالت تک هدفه حداقل نمودن ظرفیت کانال توزیع‌کننده و در حالت دو هدفه حداقل نمودن زمان آبیاری و ظرفیت کانال توزیع‌کننده می‌باشد. در رابطه ۵ توابع هدف مورد استفاده به صورت نرمال شده بیان شده‌اند.

$$\min \quad F = Nor(T_d) = \frac{\sum_{j=1}^{m} t_{dj}}{I}$$

$$\min \quad F = Nor(Q_d) + Nor(T_d) = \frac{\sum_{j=1}^{m} Q_{dj}}{Q_{MC}} + \frac{\sum_{j=1}^{m} t_j}{I} \qquad (۵)$$

کاربرد مدل

محدوده مورد مطالعه شبکه آبیاری جیرفت در پایین دست سد مخزنی جیرفت و زیر سد انحرافی می‌باشد. در واقع به‌منظور 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.

جدول۱- سطح زیر کشت، ماکزیمم ظرفیت کانال اصلی و ...در دوره آبیاری برای شبکه آبیاری زیر سد انحرافی جیرفت (جهانشاهی، ۱۳۸۷)

نام انشعاب	غلات(ha)	علوفه(ha)	مرکبات(ha)	ماکزیمم ظرفیت(lit/s)	نیاز آبی در دهه(m^3)
MC-to1	-	10	25	150	18275
MC-to2	-	15	32	150	24965
MC-to3	-	37	60	210	53155
MC-to4	-	8	9	30	9010
MC-to5	25	-	25	120	12125
MC-PC2-L1	80	20	150	420	98290
MC-PC1-to1	121	-	121	90	31985
PC1-to2	117	-	115	150	82555
PC1-to3	-	5	41	90	21820
PC1-to4	-	-	16	90	7120
PC1-to5	-	-	4	150	10906
PC1-to6	-	23	7	60	23070
PC1-to7	-	30	90	480	89580
PC1-to8	-	-	7	120	5923
PC1-to9	-	-	60	90	26700
PC1-to10	-	11	56	90	32785
PC1-to11	-	-	14	120	9038
PC1-to12	-	30	38	120	38360
PC1-to13	-	33	20	120	32495
PC1-to14	-	39	38	120	44795
PC1-to15	-	39	24	90	38565
PC1-to16	-	14	21	90	19355
PC1-to17	-	55	26	150	82485
PC1-to18	30	23	34	450	32775
PC1-to19	-	28	26	60	31590
PC1-to20	-	12	20	60	17480
PC1-to21	15	-	10	150	15580
PC1-to22	34	30	19	210	31265
PC1-to23	-	21	10	90	19465
PC1-to24	26	30	19	210	30945
PC1-to25	50	17	13	90	19940
PC1-to26	15	-	18	60	8610
PC1-to27	30	-	26	90	12770

محدوده مورد بررسی در این مطالعه برنامه تحویل آب به ۳۴km کانال شبکه زیر سد انحرافی جیرفت شامل کانال MC به طول ۴/۸km ، کانال PC1 به طول ۲۷/۳۶ km و کانال PC2 به طول ۲/۲km می‌باشد. در مجموع در محدوده مورد مطالعه، ۳۳ دریچه کشویی از کانال‌های MC، PC1 و PC2 منشعب شده است. به‌منظور مقایسه نتایج الگوریتم‌های مورد مطالعه با GA داده های مورد استفاده در مطالعه (جهانشاهی، ۱۳۸۷) مورد استفاده قرار گرفته است

در جدول ۱ سطح زیر کشت محصولات تحت هر انشعاب به تفکیک نوع محصول، ماکزیمم ظرفیت هر انشعاب و نیاز آبیاری هر انشعاب طی دور آبیاری ۱۰ روز (بر اساس ماکزیمم نیاز آبیاری در دوره برای دهه سوم فرودین ماه) و نشان داده شده است (جهانشاهی، ۱۳۸۷).

قابل ذکر است در شبکه مورد مطالعه با توجه به متفاوت بودن محصولات تحت هر انعشاب و در نتیجه نیاز آبیاری متفاوت انشعابات، تغییراتی در کد تدوین شده داده شد تا قادر به دریافت حجم آب مورد نیاز هر انشعاب طی دور آبیاری باشد. با توجه به نوع محصولات و شرایط اقلیمی منطقه حداکثر نیاز آبیاری طی دور آبیاری ۱۰ روز، در دهه سوم فروردین ماه خواهد بود، در ستون اول جدول ۱ مقادیر حجم آب مورد نیاز هر انشعاب نشان داده شده اند.

علاوه بر این در حال حاضر سطح زیر کشت برخی انشعابات تغییر پیدا کرده است. اما به منظور اینکه بتوان نتایج الگوریتم‌های مورد مطالعه را با GA مقایسه کرد از داده‌های قبلی استفاده شده است. در صورت نیاز پس از به روز کردن مقدار نیاز انشعابات می‌توان از نتایج مطالعه حاضر در باز طراحی این شبکه استفاده کرد. هم‌چنین می‌توان پس از تایید کارایی الگوریتم‌های معرفی شده در این مطالعه، در طراحی سایر شبکه‌های آبیاری بهره جست که در هدف کاهش حداکثر دبی کانال توزیع کننده، هزینه ساخت کانال توزیع کننده کاهش پیدا خواهد کرد و در هدف کاهش مدت زمان آبیاری شبکه، در هزینه و زمان صرفه‌جویی خواهد شد.

بحث و نتایج

تعیین پارامترهای بهینه الگوریتمهای PSO و ICA

جهت تعیین مقادیر مناسب پارامترهای برنامه تدوین شده با مقادیر مختلف پارامترها در محدوده‌های توصیه شده اجرا شده و تأثیر مقدار هر کدام از پارامترها بر بهبود نتایج مورد بررسی قرار گفت که خلاصه نتایج بررسی پارامترهای این الگوریتم‌ها در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است.

به‌عنوان مثال جهت تعیین تعداد اعضای جمعیت در الگوریتم PSO ، مدل توسعه یافته با $c_1=2$، $c_2=2$، $v_{max}=2$ و $v_{min}=-2$ در تعداد اندازه جمعیت ۵۰ تا ۲۰۰ عضو اجرا شد و تأثیر تعداد جمعیت بر روی همگرائی و یافتن نقطه بهینه در فضای جستجو مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصله در تعداد جمعیت ۱۰۰ ، این مقدار انتخاب شد. در تعداد جمعیت بیش‌تر از ۱۰۰ زمان اجرای الگوریتم طولانی‌تر بود و بهبود قابل ملاحضه‌ای در نتایج حاصل نمی‌شد. زمان اجرای الگوریتم در پارامترهای بهنیه به طور متوسط ۵۸ ثانیه می‌باشد

به همین روش نیز پارامترهای بهینه در الگوریتم ICA تعیین شد. قابل ذکر است در الگوریتم ICA زمان اجرای مدل برای پارامترهای بهنیه به طور متوسط ۲۱ ثانیه می‌باشد.

جدول ۲- نتایج پارمترهای بهینه الگوریتمPSO در مطالعه حاضر

پارامتر	دامنه تغییرات	بهترین مقدار
C_1	1.5- 2.5	2
C_2	1.5- 2.5	2
V_{max}	[-2, -1]	-2
v_{min}	[1, 2]	2
تعداد ذرات	50-200	100
تعداد نسل	50-150	100

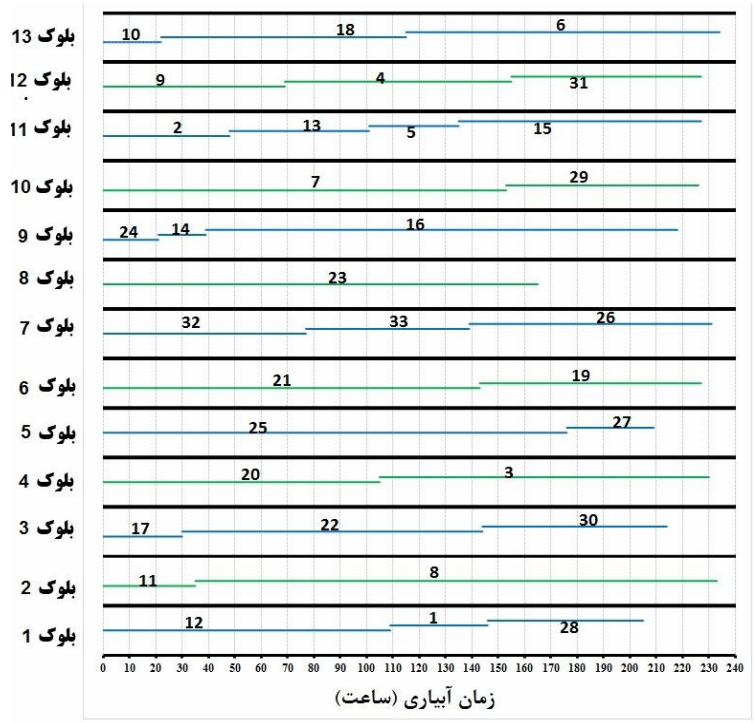
جدول ۳- نتایج پارمترهای بهینه الگوریتمICA در مطالعه حاضر

پارامتر	دامنه تغییرات	بهترین مقدار
تعداد کل کشور	40-80	50
تعداد کشورهای استعمارگر	4-8	5
تعداد نسل	20-300	50
ضریب ارزش متوسط مستعمره ها	0.05-0.2	0.1
نرخ انقلاب	0.01-0.1	0.05
احتمال انقلاب	0.05-0.2	0.1
ضریب همسان‌سازی	1.5-2.5	2

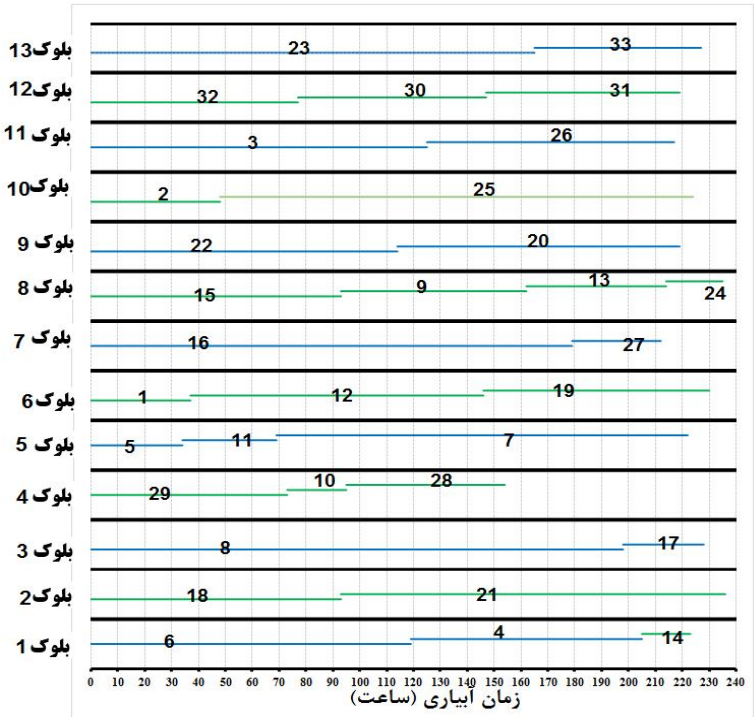
تعیین پارامترهای بهینه در شبکه آبیاری

بعد از تعیین پارامترهای بهینه الگوریتم، برنامه تدوین شده جهت تعیین پارامترهای بهینه زمان آبیاری و دبی کانال توزیع‌کننده شبکه اجرا شد. برنامه تدوین شده به صورت تک هدفه و دو هدفه با منظور کاهش زمان آبیاری و کاهش ظرفیت کانال اصلی در تعداد بلوک ۱۰ تا ۲۵ اجرا شده است. لازم به ذکر است در بررسی تعداد بلوک‌ها چندین بار الگوریتم اجرا می‌شد و طی هر اجرا، علاوه بر اینکه زمان لازم جهت تکمیل برنامه آبیاری و دبی کانال توزیع کننده مد نظر قرار می‌گرفت، به تعداد تنظیمات دریچه سراب هم توجه می‌شد. در شرایطی که در دو اجرای متفاوت برنامه، پارامترهای دبی حداکثر کانال توزیع‌کننده و زمان آبیاری تفاوت قابل ملاحضه‌ای نداشتند، حالت بهینه بر اساس تنظیم دریچه سراب کم‌تر انتخاب می‌شد. هم‌چنین قابل ذکر است تعداد بلوک کم‌تر از ۱۳ به واسطه زمان تکمیل آبیاری بیش‌تر از ۲۴۰ ساعت قابل پذیرش نبود. علاوه بر این در تعداد بلوک‌های بیش‌تر از ۱۸ نیز میزان دبی کانال توزیع کننده

افزایش قابل ملاحضه‌ای پیدا می‌کرد. در بین مدل‌های اجرا شده بهترین ترتیب و نوبت بندی انشعاب‌ها در تعداد بلوک متفاوت، در حالتی که ۱۳ بلوک برای کل شبکه در نظر گرفته شده بود حاصل شد. در شکل‌های ۲ و ۳ حالت بهنیه ترتیب و نوبت‌بندی انشعابات آبیاری داخل بلوک‌های آبیاری در حالت دو هدفی برای الگوریتم‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل۲ – ترتیب و نوبتبندی بهینه انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری در الگورتیم PSO در حالت دو هدفی



شکل۳ –ترتیب و نوبتبندی بهینه انشعابات داخل بلوکهای آبیاری در الگورتیم ICA در حالت دو هدفی

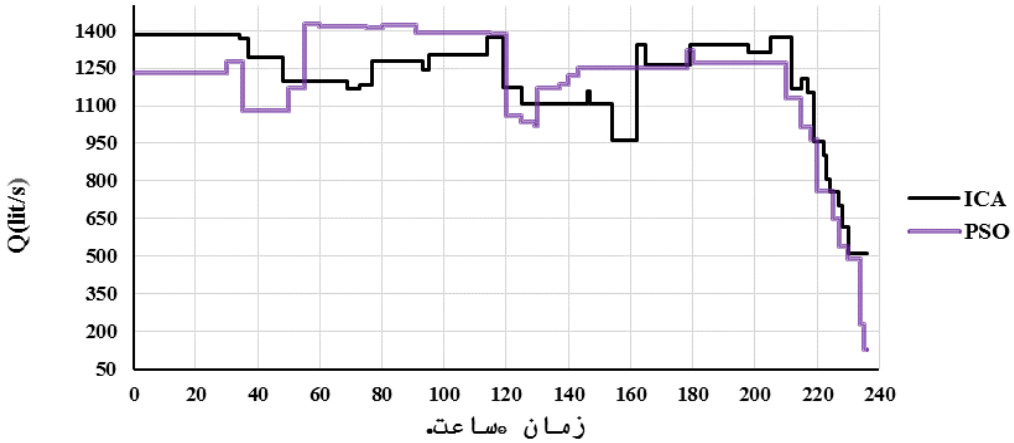
در جدول ۴، برنامه بهینه تحویل آب در شبکه آبیاری مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم‌های **ICA** و **PSO** نشان داده شده است. البته قابل ذکر است از آنجاییکه در روند اجرای برنامه دبی هر انشعاب به صورت تصادفی تولید می‌شود و عدد حاصل شده اعشاری است، با هدف عملیاتی کردن برنامه توزیع و تحویل آب در شبکه دبی‌های تولید شده گرد شده‌اند.

جدول٤- برنامه تحویل آبیاری بهینه شده شبکه آبیاری زیر سد انحرافی جیرفت با استفاده از ICA و PSO

ردیف	نام انشعاب	شماره بلوک		برنامه تحویل الگوریتم PSO			برنامه تحویل الگوریتم ICA		
		PSO	ICA	زمان شروع	زمان پایان	دبی	زمان شروع	زمان پایان	دبی
1	MC-to1	1	6	80	137	89	0	37	137
2	MC-to2	11	10	0	55	126	0	48	144
3	MC-to3	4	11	91	225	110	0	125	118
4	MC-to4	12	1	75	180	24	119	205	29
5	MC-to5	11	5	120	178	58	0	34	99
6	MC-PC2-L1	13	1	130	234	258	0	119	230
7	MC-PC1-to1	10	5	0	129	69	69	222	58
8	PC1-to2	2	3	50	210	143	0	198	116
9	PC1-to3	12	8	0	75	81	93	162	88
10	PC1-to4	13	4	0	30	66	73	95	90
11	PC1-to5	2	5	0	50	61	34	69	87
12	PC1-to6	1	6	0	80	80	37	146	59
13	PC1-to7	11	8	55	120	383	162	215	470
14	PC1-to8	9	1	35	60	65	205	223	91
15	PC1-to9	11	8	178	236	128	0	93	80
16	PC1-to10	9	7	60	220	57	0	179	51
17	PC1-to11	3	3	0	75	33	198	228	84
18	PC1-to12	13	2	30	130	107	0	93	115
19	PC1-to13	6	6	143	227	108	146	230	108
20	PC1-to14	4	9	0	91	137	114	219	119
21	PC1-to15	6	2	0	143	75	93	236	75
22	PC1-to16	3	9	75	140	83	0	114	47
23	PC1-to17	8	13	0	180	127	0	165	139
24	PC1-to18	9	8	0	35	260	215	236	435
25	PC1-to19	5	10	0	125	70	48	224	50
26	PC1-to20	7	11	115	218	47	125	217	53
27	PC1-to21	5	7	125	220	46	179	212	131
28	PC1-to22	1	4	137	220	105	95	154	147
29	PC1-to23	10	4	129	230	54	0	73	74
30	PC1-to24	3	12	140	215	115	77	147	123
31	PC1-to25	12	12	180	235	101	147	219	77
32	PC1-to26	7	12	0	50	48	0	77	31
33	PC1-to27	7	13	50	115	55	165	227	57

در شکل ۴ هیدروگراف دریچه سراب کانال توزیع‌کننده برای الگوریتم‌های ICA و PSO نشان داده شده است. بدیهی است اپراتور در طی دور آبیاری مطابق این هیدروگراف باید نسبت به تنظیم دریچه سراب اقدام نماید.

در جدول ۵ خلاصه نتایج مطالعه حاضر و مقایسه آن با GA نشان داده شده است. جهت مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مورد بررسی در این مطالعه با نتایج محقق قبلی (جهانشاهی، ۱۳۸۷)، سه فاکتور حداکثر دبی کانال توزیع‌کننده، حداکثر زمان تحویل آب در شبکه و تعداد تنظیمات دریچه سراب در نظر گرفته شدند. با بررسی جدول ۵ مشخص می‌شود که در حالت بهینه‌سازی تک هدفه روش GA (جهانشاهی، ۱۳۸۷) در هر سه فاکتور دبی، زمان و تعداد تنظیمات دریچه سراب عملکرد ضعیف‌تر و یا مشابه با نتایج حاصل شده در مطالعه اخیر (PSO و ICA) دارد. با توجه به اینکه در حالت بهینه‌سازی تک‌هدفه تمرکز بر روی حداقل کردن ظرفیت کانال توزیع کننده است، روش GA علمکرد مطلوبی نداشته و دبی را به میزان ۳۶ lit/s نسبت به روش PSO و ۳۴ lit/s نسبت به روش ICA، بیش‌تر به دست آورده است.



شکل٤ -هیدروگراف تنظیم دریچه سراب کانال توزیع کننده

جدول۵- خلاصه نتایج برنامه تحویل و توزیع آب در مطالعه حاضر و مقایسه با الگوریتم ژنتیک

نوع الگوریتم بهینه سازی	نتایج تک هدف			نتایج دو هدفی		
	دبی(lit/s)	زمان(hr)	تعداد تنظیمات دریچه سراب	دبی(lit/s)	زمان(hr)	تعداد تنظیمات دریچه سراب
(2008) Jahanshahi	۱۴۷۴	۲۳۸	۲۹	۱۵۰۶	۲۳۵	۳۱
PSO	۱۴۳۸	۲۳۸	۲۹	۱۴۲۵	۲۳۶	۲۸
ICA	۱۴۴۰	۲۳۴	۲۸	۱۳۸۱	۲۳۶	۳۰

علاوه بر این با بررسی فاکتور دوم (حداکثر زمان تکمیل برنامه آبیاری) مشخص می‌شود، در روش GA زمان تکمیل آبیاری نسبت به روش ICA نیز ۴ ساعت بیش‌تر به دست آمده است. هم‌چنین در حالت بهنیه‌سازی دو هدفی جهت مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج (جهانشاهی، ۱۳۸۷) بررسی سه پارامتر دبی، زمان و تعداد تنظیمات دریچه سراب نشان می‌دهد که روش GA دبی را به میزان ۸۱ lit/s نسبت به PSO و ۱۲۵ lit/s نسبت به ICA بیش‌تر برآورد کرده است، بنابراین مشخص است که در محاسبه دبی عملکرد مطلوبی نداشته است. هم‌چنین در مطالعه جهانشاهی (۱۳۸۷) تعداد تنظیمات دریچه سراب ۳ بار بیش‌تر از روش ICA و ۲ بار بیش‌تر از روش PSO به دست آمده است که در این زمینه هم عملکرد ضعیف‌تری داشته است و فقط توانسته زمان را یک ساعت کم‌تر برآورد کند. بنابراین مشخص است روش PSO و ICA در مطالعه حاضر نتایج جهانشاهی (۱۳۸۷) را بهبود داده‌اند.

با توجه به ایکنه در الگوریتم PSO حرکت هر ذره تحت تأثیر دو ذره یعنی local best و global best است اما در ICA هر کشور علاوه بر اینکه سعی می‌کند از استعمارگر خود تقلید کند تا خصوصیات خوب را به ارث ببرد در عین حال فرایند انقلاب را نیز انجام می‌دهد که گاهی به ویژگی‌هایی دست پیدا می‌کند که کشور استعمارگر خود هم ندارد و این باعث فضای جستجوی بیش‌تر ICA در مقایسه با PSO می‌شود. با توجه به ایکنه در الگوریتم PSO حرکت هر ذره تحت تأثیر دو ذره یعنی local best و global best است اما در ICA هر کشور علاوه بر اینکه سعی می‌کند از استعمارگر خود تقلید کند تا خصوصیات خوب را به ارث ببرد در عین حال فرایند انقلاب را نیز انجام می‌دهد که گاهی به ویژگی‌هایی دست پیدا می‌کند که کشور استعمارگر خود هم ندارد و این باعث فضای جستجوی بیش‌تر ICA در مقایسه با PSO می‌شود.

علاوه بر این در مطالعه حاضر برای به اشتراک گذاشتن ویژگی‌های بیش‌تر ذرات، ترکیب بهتر آن‌ها و هم‌چنین به‌منظور فراهم کردن فضای جستجوی وسیع‌تر، کدنویسی به صورت باینری نوشته شده که شرایط مسئله شامل ۳۳ انشعاب و ۱۳ بلوک آبیاری در حالت حقیقی منجر به تولید مسئله‌ای با ۳۳۰ بعد به صورت باینری شده است. زمانی که ابعاد مسئله افزایش می‌یابد الگوریتم ICA به واسطه فضای جستجوی وسیع‌تر قدرت بیش‌تری در یافتن نقاط بهنیه دارد.

نتیجه گیری

در این مطالعه به‌منظور ارائه برنامه توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری، الگوریتم‌های PSO و ICA به کار گرفته شدند. جهت بررسی قدرت الگوریتم‌های مورد مطالعه با GA شبکه آبیاری زیر سد انحرافی

جیرفت در استان کرمان انتخاب شد. در حالت بهینه‌سازی دو هدفی با استفاده از الگوریتم PSO حداکثر زمان آبیاری ۲۳۶ ساعت و حداکثر دبی lit/s ۱۴۲۵به دست آمد که حداکثر ظرفیت کانال توزیع کننده را نسبت به lit/s GA ۸۱ کم‌تر دست آورده است. گرچه مدت زمان آبیاری یک ساعت افزایش پیدا کرده است اما تعداد تنظیم دریچه سراب نیز سه بار کم‌تر می‌باشد.

هم‌چنین ICA نسبت به GA ظرفت کانال توزیع‌کننده را lit/s ۱۲۵ کم‌تر به دست آورده و تعداد تنظیمات دریچه سراب را یک بار کم‌تر محاسبه کرده است. با توجه به اینکه ابعاد مسئله بالاست، در چنین مسئله‌هایی الگوریتم ICA به واسطه فراهم کردن فضای جستجوی وسیع‌تر توانسته آرایش بهتری از انشعابات را داخل بلوک‌های آبیاری ایجاد کند که در نهایب منجر به نتایج بهتر بهینه‌سازی شده است. روش ICA روشی قدرتمند است که تونایی فرار از دام نقاط بهینه محلی را دارا بوده و با احتمال بیش‌تری نسبت به GA و الگوریتم PSO به موقعیت بهینه سراسری همگرا می‌شود.

به طور کلی در نتیجه مطالعه مشخص شده در مسئله تحویل و توزیع آب در شبکه آبیاری عملکرد الگوریتم ICA نسبت به PSO و GA و عملکرد PSO نسبت به GA بهتر می باشد.

مراجع

جهانشاهی،پ. ۱۳۸۷. بهره‌برداری بهینه از شبکه آبیاری سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهشکی سد جیرفت)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید باهنر کرمان

خوشنواز،ص.، رمضانی مقدم،ج.، نصرالهی.، حیدری،ع و آل علی، س. م. ۱۳۹۰. بهینه‌سازی تخصیص آب در شبکه آبیاری میان آب شوشتر، نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

راعی،ر و علی بیکی،ه. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی پرتفوی سهام با استفاده از روش حرکت تجمعی ذرات. تحقیقات مالی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران. ۱۲ . ۲۹: ۲۱ – ۴۰.

-عمادی،ع.ر و کاکویی،س. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی توزیع آب کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶. ۵ : ۱۱۱۸-۱۱۰۹

-کاکویی،س و عمادی،ع.ر. ۱۳۹۲. توزیع و تحویل بهینه آب در کانال AMX از شبکه آبیاری ورامین با استفاده از الگوریتم سیستم جامعه مورچگان مجله پژوهش آب ایران. ۷ .۱۳: ۵۱-۵۸

منعم،م.ج و نوری،م.ع. ۱۳۸۹ . کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری، مجله آبیاری و زهکشی ایران.۱. ۴: ۷۲-۸۳.

منعم،م.ج و نوری،م.ع. ۱۳۸۹ . کابرد الگوریتم بهینه سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه آبیاری، مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱. ۴:۷۳-۸۲

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

-Atashpaz-Gargari, E. and Lucas, C., 2007, Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition, IEEE Congress on Evolutionary Computation, ۴۶۶۱_۴۶۶۷

-Goldberg, D. E. (1989), Genetic Algorithms in Search,Optimization and Machine Learning. Addison –Wesley. Reading, Mass.

-Kennedy, J., and Eberhart, R. C. (1995). "Particle swarm optimization." Proc., IEEE Int. Conf. on Neural Networks IV, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 1942–1948.

-Kennedy, J., and Eberhart, R. C. (2001). Swarm intelligence, Academic Press, California.

-Lawrence, D. (1991), Handbook of Genetic Algorithms. Van Nostrand. Rein hold. New York.

-Monem, M. J. and Namdarian, R. (2005), Application of simulated annealing (SA) techniques for optimal water distribution in irrigation canals, Irrigation and Drainage. 54: 365–373 (2005)

-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 (2013)

-Reddy, J.M., Wilamowski,B. and Sharmasarakar, F.C. 1999. Optimal scheduling of irrigation for lateral canals. ICID Journal 48(3): 1–12.

-Ritzel, B.J. and Eheart, J. W. (1994), "Using genetic algorithms to solve a multiple objective groundwater pollution containment problem",Water Resour. Res. 30(5): pp. 1589-1603.

-Santhi, C. and Pundarikanthan, N.V. 2000, A new planning model for canal schedulingof rotational irrigation, Agricultural Water Management 43 (2000) 327-343

-Sun, W. and Liang, Y. 2014. Least-Squares Support Vector Machine Based on Improved Imperialist Competitive Algorithm in a Short-Term Load Forecasting Model, Journal of Energy Engineering

-Suryavanshi, A.R. and Reddy J.M., 1986,Optimal operation scheduling of irrigation distribution systems, Journal of Agricultural Water Management 11: 23–30.

-Wang Z, Reddy J.M, Feyen J. 1995. Improved 0–1 programming model for optimal flow scheduling in irrigation canals. Irrigation and Drainage Systems 9: 105–116.

-Wardlaw RB, Bhaktikul K. 2004b. Application of genetic algorithms for irrigation water scheduling. Irrigation and Drainage 53(4): 397–414.

-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., CCTA 2, volume 294 of IFIP Advances in Information and Communication Technology, page 1347-1357. Springer.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 830-841

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد۹، آذر - دی ۱۳۹۴، ص. ۸۴۱-۸۳۰

Optimal Programming for Delivery and Distribution of Water Irrigation Network Using Evolutionary Algorithms (the case study: the Network Irrigation at Downstream of the Jiroft dam)

F.Qaderi Nasab[*1], K. Qaderi[2], M. B. Rahnama[3]

Recived: Sep.13, 2015 Accepted: Jan.14, 2015

Abstract

Planning for optimal operation in irrigation network is an efficient solution in water saving, increasing in cultivation and improving agriculture performance. Problem of water delivery scheduling in irrigation network is a multi-objective, multi-variable, and multi-constraint problem. Solving such problem needs powerful optimization methods. Evolutionary algorithms are major group of search algorithms that are used for finding a suitable answer using current evolutionary rules in nature. In this research the provided delivery and distribution program in irrigation network is optimized using Imperial Comparative Algorithms (ICA) and PSO and are compared with genetic algorithm results. In this research the delivery and distribution program in distribution channel branches are provided so that the various objects such as decreasing in distributor channel capacity and decreasing in time needed for complete the irrigation program optimize as a single and two objectives. In this program, first branch numbers, upper and lower limit of delivery discharge to per branch and branch coverage, gross irrigation requirement, irrigation interval and block numbers as input are defined to the model. By running the model, the best intermittent of branches in per block, minimum of distributer channel capacity and minimum irrigation duration in optimum conditions define to the model as outputs. To control and considering of developed program, the optimum delivery program in downstream irrigation network of Jiroft diversion dam using this model is provided. The results show that in two-objective optimum status for irrigation supply of the network, Imperialist Competitive Algorithm performance is better than the other two algorithms so that the maximum discharge is 1381 cubic meter per second and maximum irrigation duration is 236 hours.

Keywords: Optimization, Imperialist Competitive Algorithm, PSO Algorithm, Water delivery Schedule and Irrigation network

1- PHD student, Water structures Department ,Shahid Bahonar University of Kerman
2- Assistant Professor , Water structures Department , Shahid Bahonar University of Kerman
3- Associate Professor , Water structures Department , Shahid Bahonar University of Kerman
(*- Corresponding Author Email: gaderi_f@alumni.ut.ac.ir)