نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۴۳۱-۴۲۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 421-431

مقاله علمی-پژوهشی

برنامه تحویل و توزیع بهینه آب با استفاده از الگوریتم Pso (مطالعه موردی: شبکه آبیاری سد نساء شهرستان بم)

بهاره میرکماندار[۱*]، کورش قادری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

چکیده

برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری تحویل به‌موقع و کافی آب با حداقل بهره‌برداری از هدآب روی دریچه کانال مطابق قیدهای میزان ظرفیت آن و دوره چرخش آبیاری می‌باشد. 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 از کانال‌های آبیاری را ایجاب نموده است. روش‌های رایج برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب عموماً ابتکاری و مبتنی بر تجربه کارشناسان بوده که روش‌هایی کارآمد در صرفه‌جویی بهینه آب نمی‌باشند، بنابراین استفاده از روش‌های تحلیلی و بهینه‌سازی می‌تواند بخشی از مشکلات موجود را رفع نماید. مسئله‌ی 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. روش‌های ابتکاری توانایی حل این‌گونه مسائل پیچیده و عبور از نقاط بهینه موضعی و یافتن بهینه سراسری را دارند. پژوهش حاضر با به‌کارگیری الگوریتم فرا ابتکاری بهینه‌سازی PSO (رفتار جمعی ذرات) به توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه آبیاری سد نساء شهرستان بم واقع در استان کرمان پرداخته 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 شد. پس از اجرای مدل بهترین نوبت انشعابات در هر بلوک، حداقل ظرفیت کانال توزیع‌کننده و حداقل زمان آبیاری در شرایط بهینه به‌عنوان خروجی ارائه گردید. در حال حاضر ماکزیمم دبی شبکه ۳۰۰۰ لیتر بر ثانیه و ۳۶۰ ساعت، زمان آبیاری است. مطابق نتایج ارائه‌شده در این پژوهش در حالت بهینه‌سازی دوهدفه، ماکزیمم دبی ۲۴۶۹ لیتر در ثانیه و ماکزیمم زمان آبیاری ۳۵۶ ساعت می‌باشد که در مقایسه با ظرفیت کنونی کانال ۵۳۱ لیتر بر ثانیه دبی و ۴ ساعت زمان آبیاری کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم Pso، تخصیص بهینه، سد نساء، شبکه آبیاری

مقدمه

افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و افزایش بهره‌وری آب مورداستفاده یکی از مهم‌ترین اهداف ایجاد و توسعه شبکه‌های آبیاری می‌باشد. در کشورهای مختلف از جمله ایران نبود، مدیریت و بهره‌برداری ضعیف از شبکه‌های آبیاری، تحویل و توزیع نامناسب آب به کانال‌ها و انشعابات و به‌تبع آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی، کمبود آب و خشک‌سالی‌های اخیر لزوم افزایش کارایی شبکه‌های آبیاری را تأیید می‌کند. گرچه استفاده غیرضروری از آب موجب کاهش بهره‌وری شبکه‌های آبیاری و مدیریت شبکه به کشاورزان و کمبود امکانات نسبت داده می‌شود. روش بهره‌برداری از شبکه، یا به عبارت دقیق‌تر نحوه تحویل آب به آبگیرهای مزارع با سه پارامتر تعریف می‌شود: دبی جریان تحویلی (Q)، تناوب یا فواصل آبیاری (Fr)، و مدت‌زمان تحویل آب در هر نوبت آبیاری (d)، 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. در مواردی که این پارامترها توسط تأمین‌کننده آب (مسئول شبکه‌ی آبیاری) در ابتدای فصل زراعی تعیین شود و تا انتهای فصل نیز بدون تغییر بماند، برنامه تحویل آب را گردشی

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: bahar.Mirkamandari@gmail.com)
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.13.2

می‌نامند. در صورتی که تغییر این پارامترها در طول فصل زراعی بر اساس تقاضای مصرف‌کننده در محدوده ظرفیت سیستم به وجود آید، برنامه تحویل آب برحسب تقاضا است. 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 این روش به تعداد آبگیرهایی که هم‌زمان عمل آبیاری را انجام می‌دهند، بلوک آبیاری نامیده می‌شوند. در هر بلوک آبیاری، تعدادی آبگیر به‌صورت متوالی آبیاری را انجام می‌دهند. با توجه به نیاز آبی هر آبگیر و عوامل تحویل آن، مدت‌زمان تحویل آب به هر آبگیر تعیین می‌شود. مجموع زمان 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 حداقل سازی ظرفیت کانال توزیع‌کننده لازم است میزان دبی تحویلی به آبگیرها و توزیع آن‌ها در بلوک‌ها به‌صورت بهینه تعیین گردد (قادری نسب و همکاران، ۱۳۹۴)

روش‌های بهینه‌سازی متفاوتی برای حل مسئله تحویل و توزیع بهینه آب در کانال‌های آبیاری وجود دارد و پژوهش‌های زیادی در این خصوص انجام شده است. به‌طور مثال سوریوانشی و ردی مسئله برنامه‌ریزی کانال را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی ۰-۱ جهت آماده‌سازی برنامه‌ریزی عملیاتی خروجی‌های کانال آبیاری به کار گرفتند (Suryavanshi and Reddy., 1986). ونگ و همکاران دریافتند در تدوین تابع هدف توسعه‌یافته توسط سوریوانشی و ردی نقص جزئی وجود دارد که با معرفی یک تابع فعال‌سازی آن را اصلاح کردند؛ اما این مدل فقط در سیستم‌های آبیاری که در آن انشعابات فرعی دبی یکسان دارند، قابل‌اجرا بوده و ازاین‌رو کاربردهای آن محدود است(vang et all., 1990). مایر و همکاران روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان را بکار بردند و به این نتیجه رسیدند که این روش از لحاظ کارایی در محاسبات و توانایی یافتن راه‌حل نزدیک به بهینه جهانی عملکرد بهتری نسبت به GAs دارد (Maier et all., 2003). ژاو و همکاران مدل بهینه توزیع آب در شرایط دبی نامساوی کانال‌ها را بر اساس تابع جریمه دینامیک و الگوریتم ژنتیک ارائه کردند(Zhao et all., 2009). ماتور و همکاران پژوهشی با عنوان برنامه‌ریزی بهینه عملیات آبیاری کانال ثانویه فامن در منطقه فنگ-جیا-شان، چین با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام داده و نتایج نشان داد رویکرد الگوریتم ژنتیک انعطاف‌پذیری کافی در تصمیم‌گیری‌ها در راستای مدیریت آبیاری کانال‌ها دارد (Mator 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 به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری در نظر گرفتند و با استفاده از الگوریتم PSO برنامه بهینه تحویل آب را ارائه کردند (Pawed et al., 2013). 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. ایکودایسی و آدیمو استفاده از الگوریتم‌های تکاملی را به‌عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی مؤثر منابع کمیاب آب در مناطق نیمه‌خشک مرور کرده و اعلام داشتند این مطالعات شامل تخصیص و زمان‌بندی آب آبیاری با برنامه‌ریزی و تمرکز ویژه بر الگوی کشت محصولات می‌باشد (Ikudayisi and Adeyemo et al., 2015). نگوین و همکاران با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها برنامه‌ای جهت بهینه‌سازی تخصیص آب به محصولات ارائه کردند (Neguin et al., 2016). لیو و همکاران یک مدل زمان‌بندی تحویل آب و یک الگوریتم سفارشی بهینه‌ساز ازدحام ذرات را برای کانال آبیاری منشعب از کانال شمالی منطقه فنجیاسان و کانال اصلی غربی در منطقه‌ی آبیاری رودخانه شیتوهه در استان شانشی چین تنظیم کردند (Liu et al., 2018). نتایج این مدل نشان داد الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به‌سرعت برنامه‌های بهینه‌سازی تحویل آب برای کانال‌های آبیاری را برآورده کند. غلامی و همکاران (۱۳۸۶)، برنامه بهینه توزیع آب در شبکه‌های آبیاری درود زن فارس را با استفاده از تئوری الگوریتم ژنتیک ارائه داده و نشان دادند بهترین برنامه آبیاری با تأمین اهداف متفاوت اعم از کاهش ظرفیت کانال توزیع‌کننده آب به انشعابات، کاهش زمان موردنیاز برای تکمیل برنامه آبیاری و کاهش تلفات زمانی در هر دور آبیاری می‌باشد. منعم و نوری(۱۳۸۹)، الگوریتم بهینه‌سازی Pso را برای توزیع و تحویل بهینه آب در کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار داده و روش مذکور در کانال amxاز شبکه آبیاری ورامین با ۱۱ آبگیر بکار گرفتند. هدف این مسئله حداقل سازی ظرفیت کانال و حداکثر استفاده از دور آبیاری بوده، دبی و مدت تحویل بهینه آب به ۱۱ آبگیر با رعایت ظرفیت کانال و سازه‌ها و حداکثر دور آبیاری تعیین شده است. کیانفر و همکاران (۱۳۹۰) برنامه تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری و زهکشی صوفی‌چای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه کرده و نتایج حاصله نشان می‌دهد که اختلاف مقدار آب تخصیص‌یافته واقعی و مقدار بهینه در مناطق مختلف به‌طور متوسط برابر ۲/۱ میلیون مترمکعب است. عمادی و کاکویی (۱۳۹۱) با الگوریتم جامعه مورچگان توزیع آب در کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات را بهینه‌سازی کرده و از مقایسه الگوریتم مورچگان با الگوریتم ژنتیک در حالت تک هدفی، ظرفیت کانال را ۹۰ لیتر بر ثانیه کمتر و زمان تکمیل برنامه آبیاری را ۱۰ ساعت بیشتر به دست آوردند. قادری

نسب و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای 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 کردند. مدل برنامه توزیع آب در انشعابات کانال‌های توزیع‌کننده به‌گونه‌ای ارائه شده که اهداف متفاوتی اعم از کاهش ظرفیت کانال توزیع‌کننده و کاهش زمان موردنیاز برای تکمیل برنامه آبیاری به‌صورت تک هدفی و دو هدفی بهینه گردد. کنگازیان و همکاران (۱۳۹۶)، به طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات با پارامترهای فازی پرداخته و ضریب اصطکاک در رابطه دارسی ویسباخ، هد مخزن و میزان تقاضا بر روی گره‌ها به‌عنوان پارامترهای فازی مستقل در نظر گرفته شده و در نهایت به بررسی تغییرات هزینه با در نظر گرفتن مسئله عدم قطعیت پرداخته می‌شود. درویشی و کردستانی (۱۳۹۸)، دو تابع هدف تغییر تعداد دریچه‌ها و متوسط دبی را در شبکه AMX ورامین توسط الگوریتم NSGA-II و ژنتیک حداقل سازی کردند. نتایج این دو الگوریتم حاکی از آن است که به حداقل رساندن هم‌زمان این دو تابع هدف در مقایسه با اینکه متوسط دبی کانال به تنهایی تابع هدف باشد، منجر به کاهش تعداد دریچه‌ها می‌شود و این بدان معناست که تابع هدف متوسط دبی نمی‌تواند به تنهایی تعداد مراحل عملیات را کاهش دهد. کاغذچی و همکاران (۱۴۰۰) شبیه‌سازی و ارزیابی سیستم‌های توزیع و تحویل آب در کشاورزی را با مدل شبکه ترکیبی بیزی (HBNs) انجام داده و مدل خود را در ایران به شکل واقعی آزمایش کردند. ایشان این مدل را بر اساس انتظارات منطقه‌ی آبیاری مدنظر به‌گونه‌ای که شاخص‌های عملکرد "کفایت"، بهره‌وری" و "برابری" تحویل آب باشد ارائه کردند. در این پژوهش الگوریتم فرا ابتکاری Pso برای توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه آبیاری سد نساء بم مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به‌صورت ترتیب و نوبت‌بندی بهینه انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری به‌گونه‌ای که دبی کانال توزیع‌کننده و دور آبیاری حداقل گردد ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

الگوریتم Pso

الگوریتم تکاملی Pso توسط کندی و ابرهات در سال ۱۹۹۵ از حرکت جمعی پرندگان و ماهی‌ها برای یافتن غذا الهام گرفته است. در این الگوریتم هر یک از اعضای یک اجتماع یک ذره نامیده می‌شود. در یک اجتماع الگوریتم Pso موقعیت هر ذره در واقع یک جواب بالقوه برای مسئله بهینه‌سازی است. موقعیت ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش ذرات و همسایگانش می‌باشد. لذا موقعیت سایر توده ذرات روند جستجوی یک ذره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حین حرکت ذرات، هر یک از آن‌ها در طول مسیر حرکتشان حافظه‌ای از بهترین ارزش خود و موقعیت مربوط به آن را در خود ذخیره می‌کنند .ارزش ذرات با توجه به تابع معیار مربوط به مسئله بهینه‌سازی سنجیده می‌شود. برای ذره i ام، بهترین ارزش و موقعیت مربوط به آن به ترتیب در متغیرهای $pbest_i$ و $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ ذخیره می‌شود. همچنین بهترین موقعیت ذرات در تمام تکرارها و موقعیت مربوط به آن به ترتیب در متغیرهای $gbest_i$ و $p_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD})$ ذخیره می‌شود. D بعد فضای جستجو را نشان می‌دهد. مجموعه n ذره در یک اجتماع، جمعیت نام دارد و به صورت $pop = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ بیان می‌شود. اساس روش Pso بر این اصل استوار است که ذرات در هر تکرار به سمت $pbest_i$ و $gbest_i$ خود شتاب می‌گیرند و در نتیجه در هر تکرار با اضافه شدن بردار جابجایی در هر ذره، موقعیت جدیدی در فضای جستجو برای هر ذره پیدا می‌شود و در انتهای الگوریتم موقعیت مربوط به $gbest_i$ به‌عنوان جواب بهینه مسئله در نظر گرفته می‌شود .در هر تکرار موقعیت و سرعت ذره ام طبق روابط (۱) و (۲) بهنگام می‌شود:

$$V_i^{iter+1} = (wv_id\hat{}iter + c_1\, rand()(p_{id} - x_{id}^{iter}) + c_2\, rand()(p_gd - x_id\hat{}iter) \quad (۱)$$

$$x_{id}{}^{iter+1} = x_{id}{}^{iter} + v_{id}{}^{iter+1} \quad (۲)$$

که در آن $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ بردار سرعت ذره iام و $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ بردار موقعیت آن می‌باشد. در این رابطه c_1 و c_2 اعداد مثبتی می‌باشد که به ترتیب ضریب یادگیری شخصی و ضریب یادگیری جهانی (جمعی) نامیده می‌شوند. $rand()$ تابعی است که اعداد تصادفی بین صفر تا یک تولید می‌کند. فاکتور اینرسی است که تأثیر سرعت فعلی بر سرعت کنونی را کنترل می‌نماید و مقدار مجاز آن در الگوریتم Pso استاندارد در بازه (۰/۹-۰/۴) تغییر می‌کند. مقدار w در ابتدای استفاده از این الگوریتم ثابت فرض می‌شد اما نتایج تجربی نشان داد که بهتر است در ابتدای فرایند جستجو، جهت بهبود جستجوی فراگیر در فضای تصمیم، مقدار زیادتری برای این پارامتر در نظر گرفته شده و به‌تدریج برای کنترل تعادل بین جستجوی جهانی و جستجوی محلی در طی تکرارهای متوالی، به‌صورت خطی با زمان کاهش یابد (shi and Eberhat)بدین منظور در این پژوهش برای کاهش مقدار wدر هر تکرار از یک ضریب ثابت جدید به نام w_{damp} استفاده شد.

$$w^{iter+1} = w^{iter} \times w_{damp} \quad (۳)$$

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچه ساده‌تر می‌باشد. همچنین اندازه جمعیت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات کمتر از الگوریتم ژنتیک می‌باشد بنابراین مقداردهی اولیه جمعیت در به‌کارگیری این الگوریتم، ساده‌تر از سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند است. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌آسانی قابل اجراست و در حل بسیاری از مسائل بهینه‌سازی گسسته و غیرخطی پیوسته مورد استفاده قرار گرفته است.

نکته جالب اینکه این الگوریتم فقط عملگرهای اصلی ریاضی را بکار می‌برد و نتایج خوبی را در محیط‌های ثابت، نویزی و پیوسته در حال تغییر و دینامیک فراهم می‌کند. به علت وجود مزایایی همچون مفهوم ساده، پیاده‌سازی آسان و همگرایی سریع نسبت به سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی، امروزه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات توجه زیادی را به خود جلب کرده است و کاربردهای وسیعی در زمینه‌های مختلف دارد. ولی در مسائل با بعد بالاتر و پیچیده‌تر که دارای نقاط بهینه محلی زیادی می‌باشند همگرایی سریع می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که ذرات جمعیت در یک نقطه بهینه محلی متوقف شده‌اند. به این پدیده همگرایی زودرس گفته می‌شود. شناخت رفتار پارامترهای این الگوریتم و تعیین مقادیر دقیق آن‌ها، افزایش جمعیت و تعداد تکرار با توجه به مسئله موردنظر می‌تواند نقش بسزایی در کاهش یا افزایش سرعت همگرایی و گریز از بهینه‌های محلی را در پی داشته باشد.

تعریف مدل بهینه‌ساز

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 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 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 به‌صورت 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 به‌صورت خروجی ارائه می‌دهد. در شکل ۱ به‌طور 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 دبی جریان تحویلی در کانال توزیع‌کننده و مدت‌زمان تحویل آب می‌باشند. در مسئله تحویل و توزیع بهینه قیدهای مسئله به شرح زیر می‌باشند:

الف- میزان دبی قابل‌انتقال هر انشعاب در محدوده حداقل و حداکثر آن انشعاب باشد (در برخی از شبکه‌ها به‌واسطه محدودیت‌های بهره‌برداری از شبکه، جریان در هر کانال توزیع‌کننده از حداقل میزان تعیین‌شده توسط مدیر شبکه نمی‌تواند کمتر باشد و از طرفی مقدار دبی کانال از حداکثر دبی طراحی‌شده کانال نباید بیشتر باشد).

$$Q_{min_{di}} \le Q_{d_i} \le Q_{max_{di}} \quad (۴)$$

Q_{d_i}دبی تولیدشده برای انشعاب iام، $Q_{min_{di}}$ حداقل دبی مجاز در انشعاب iام و $Q_{max_{di}}$ و حداکثر دبی مجاز در انشعاب iام می‌باشد.

ب- میزان دبی قابل‌انتقال 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.

$$\sum_{j=1}^{m} Q_{d_j} \le Q_{MC} \quad (۵)$$

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

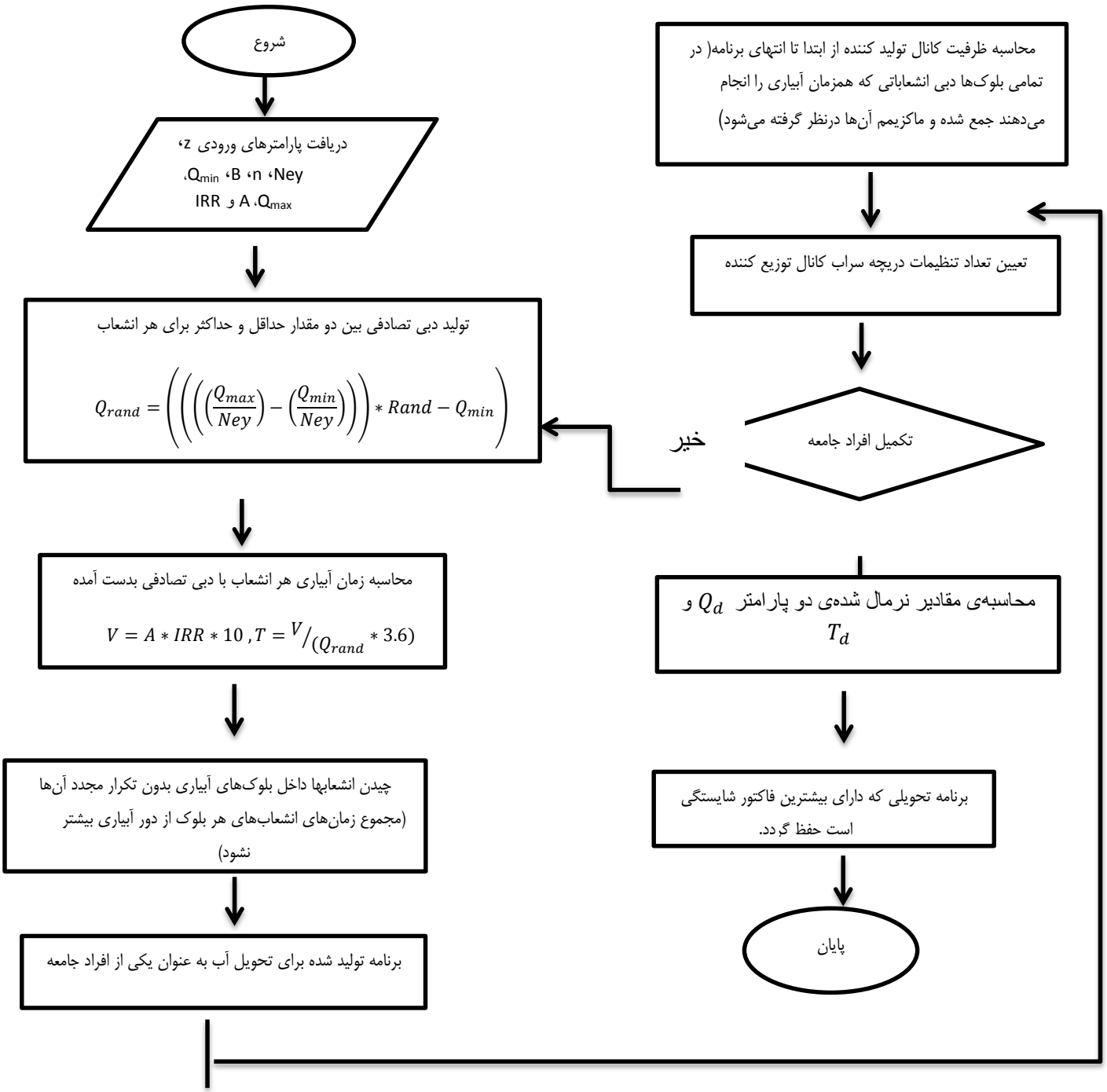
ج- مجموع زمان آبیاری انشعابات واقع در هر بلوک، از دور آبیاری موردنظر تجاوز ننماید.

$$\sum_{j=1}^{m} t_{dj} \le I \quad (۶)$$

I دور آبیاری مجاز در شبکه آبیاری، t_{dj} مدت‌زمان آبیاری انشعاب jام 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 به‌صورت نرمال شده در فاکتور شایستگی در نظر گرفته شده‌اند. هدف از نرمال نمودن عوامل، هم‌وزن نمودن آن‌ها در توابع هدف بوده است. برنامه در دو حالت تک‌هدفه و دوهدفه نوشته شده است .در حالت تک‌هدفه حداقل نمودن ظرفیت کانال توزیع‌کننده و در حالت دوهدفه حداقل نمودن زمان آبیاری و ظرفیت کانال توزیع‌کننده می‌باشد. در رابطه (۷) و (۸) توابع هدف مورداستفاده به‌صورت نرمال شده بیان شده‌اندند (قادری نسب و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\text{MIN} \quad \text{F} = \text{Nor}(T_d) = \frac{\sum_{j=1}^{m} t_{dj}}{I} \quad (۷)$$

$$\text{MIN} \quad \text{F} = \text{Nor}(Q_d) + Nor(T_d) = \frac{\sum_{j=1}^{m} Q_{dj}}{Q_{MC}} + \frac{\sum_{j=1}^{m} t_{dj}}{I} \quad (۸)$$

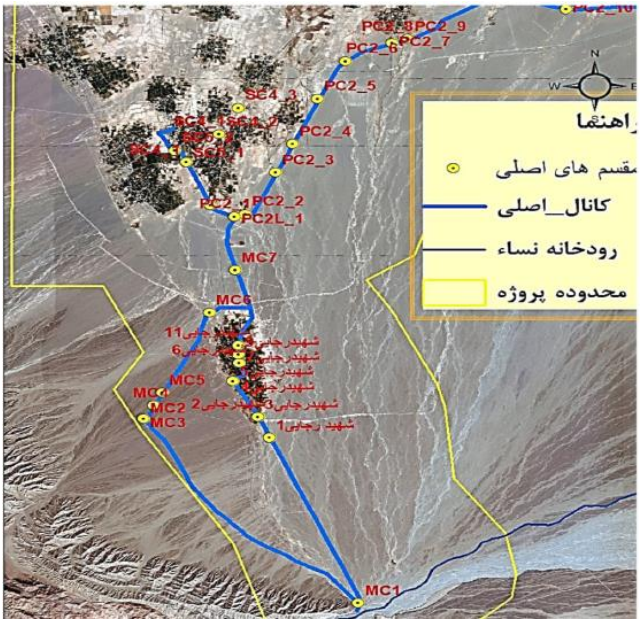


شکل ۱- فلوچارت بهینه‌سازی برنامه تحویل و توزیع آب در شبکه آبیاری (z= ماکزیمم ظرفیت کانال اصلی، Ney= مضرب تولید دبی تصادفی با توجه به نوع دریچه، n= تعداد انشعاب‌ها، Q_{min}= دبی حداقل هر انشعاب، Q_{max} = دبی حداکثر هر انشعاب، A= مساحت تحت پوشش هر انشعاب، IRR= نیاز ناخالص آبیاری برای هر انشعاب، Rand= عدد تصادفی، T_d = زمان کل آبیاری به‌دست‌آمده و Q_d= ظرفیت کل کانال توزیع‌کننده) (قادری نسب و همکاران، ۱۳۹٤)

کاربرد مدل

سد مخزنی نساء در ۸۰ کیلومتری شهر بم در نزدیکی روستای انجیرک و ۲۸۰ کیلومتری کرمان، در موقعیت ۲۸/۶۵ درجه شمالی و ۵۸/۴۰ درجه شرقی قرار دارد. این سدی سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی(CFRD) است که حجم کل مخزن آن ۱۶۸ میلیون مترمکعب آب را برای تأمین مصارف کشاورزی، شرب، محیطزیست، تغذیه

سفره‌های زیرزمینی و صنعت شهرستان‌های بـم و بـروات اختصـاص داده شده است. کارشناسان و مهندسین مشاور جهت برآورد حجم آب موردنیاز اراضی تحت پوشش منابع آبی، این اراضی را به ۲ بخش باغی و زراعی تقسـیم نمـوده‌انـد. شـکل (۲) شـمای کلـی شـبکه آبیـاری موردمطالعه و ۲۰ انشعاب مربوطه را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- شمای کلی شبکه آبیاری نساء و انشعابات مربوطه

جدول ۱- معرفی انشعابات شبکه آبیاری نساء (نام انشعاب، سطح زیر کشت، ماکزیمم ظرفیت کانال، عمق ناخالص آب آبیاری، نیاز آبی در دهه)(شرکت آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۷)

شماره	نام انشعاب	مساحت تحت کشت زراعی و باغی (ha)	ماکزیمم ظرفیت (lit/s)	IRR(mm)	نیاز آبی در دهه (m^3)
۱	شهید رجایی ۱۱-۲	۳۲۹/۸	۷۰۰/۵	۱۶۴/۷۴	۵۴۳۳۳۳/۳
۲	۶MC	۸۷۵/۵	۲۱۱۸	۲۰۵/۸۱	۱۸۰۰۰۰۰
۳	۲-۲PC	۷۴/۰۵	۵۹۶	۲۱۱/۵۳	۱۵۶۶۶۶/۶
۴	۳-۲PC	۲۹۱/۷	۷۸۵	۲۰۶/۸۳	۶۰۳۳۳۳/۳
۵	۴-۲PC	۵۱	۴۲۰	۲۲۲/۲۲	۱۱۳۳۳۳/۳
۶	۶-۲PC	۱۱۹/۲۱	۴۴۲	۲۰۱/۳۲	۲۴۰۰۰۰
۷	۷-۲PC	۵۷/۳۹	۱۴۵	۱۶۸/۴۴	۹۶۶۶۶/۶
۸	۸-۲PC	۱۲۷/۴۱	۲۸۸	۱۸۰/۵۲	۲۳۰۰۰۰
۹	۹-۲PC	۲۷/۴۸	۷۸	۱۶۹/۸۲	۴۶۶۶۶/۶
۱۰	۱۰-۲PC	۱۳۳/۵۴	۵۹۳	۱۹۲/۲۰	۲۵۶۶۶۶/۶
۱۱	۱۱-۲PC	۱۸۶/۰۳	۶۲۱	۱۹۸/۸۹	۳۷۰۰۰۰
۱۲	۱۲-۲PC	۹۸/۷۴	۲۸۶	۲۱۹/۴۳	۲۱۶۶۶۶/۶
۱۳	۱L-۲PC	۷۳/۸۵	۳۸۱	۲۰۳/۱۱	۱۵۰۰۰۰
۱۴	۲L-۲PC	۸۵/۸۸	۲۹۷	۱۹۰/۱۸	۱۶۳۳۳۳/۳
۱۵	۱-۵SC	۷۰/۱۱	۲۵۸	۱۶۶/۴۰	۱۱۶۶۶۶/۶
۱۶	۲-۵SC	۱۶۹/۷۸	۳۸۵	۱۸۸/۴۸	۳۲۰۰۰۰
۱۷	۱-۴SC	۹۰/۴۱	۳۶۱	۱۵۸/۵۳	۱۴۳۳۳۳/۳
۱۸	۲-۴SC	۴۲/۰۹	۱۸۳	۱۷۴/۲۳	۷۳۳۳۳/۳
۱۹	۳-۴SC	۵۸/۰۹	۳۳۸	۱۵۴/۹۳	۹۰۰۰۰
۲۰	بین سد مخزنی و سد انحرافی	۲۱/۳۲	۲۹۷	۲۱۸/۵۵	۴۶۶۶۶/۶

جدول (۱) اطلاعات شبکه آبیاری این سد از جمله نام انشعاب، سطح تحت کشت اراضی زراعی و باغی، ماکزیمم ظرفیت کانال، عمق ناخالص آب آبیاری و نیاز آبی در دهه را نشان می‌دهد. حداکثر نیاز آبی محصولات مربوط به دهه اول مرداد ماه می‌باشد، لذا نیاز آبی واردشده در تابع هدف مربوط به این دهه (بحرانی‌ترین دهه) می‌باشد.

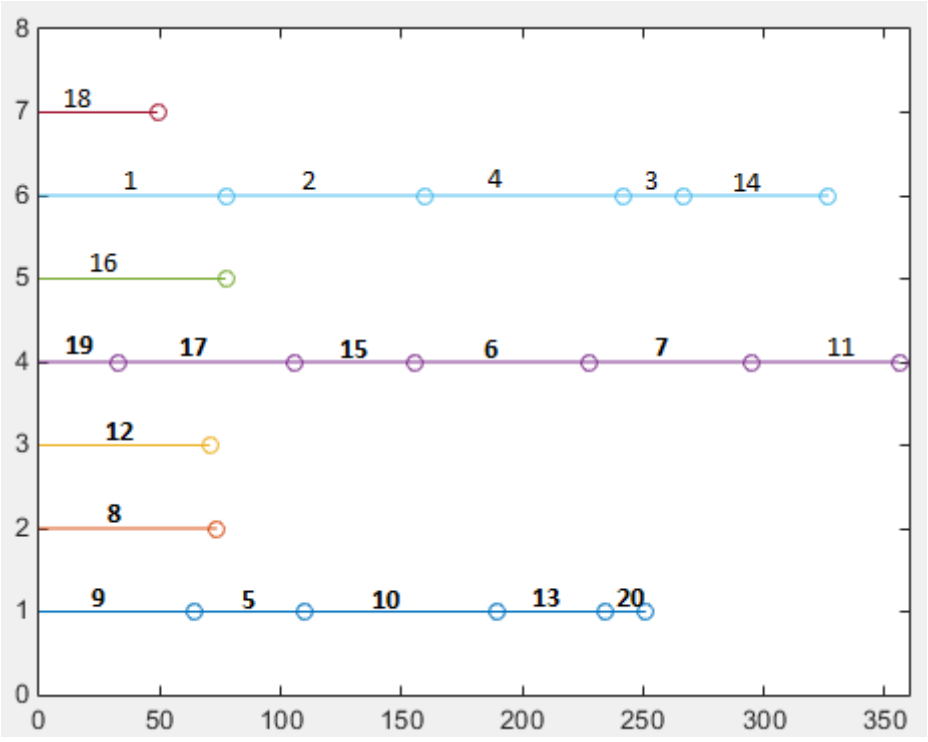
نتایج و بحث

تعیین پارامترهای بهینه الگوریتم PSO: پارامترهای مختلفی از مدل منتخب در محدوده‌های توصیه‌شده، جهت اجرا و بررسی تأثیر آن‌ها بر بهبود نتایج انتخاب و خلاصه‌ی نتایج بررسی‌ها در جدول (۲) و (۳) ارائه شده است. مقادیر C_1=2، C_2=2، V_{max}=2 و V_{min}=-2 در تعداد اندازه جمعیت ۵۰ تا ۲۰۰ عضو و همچنین تعداد تکرار ۵۰ تا ۲۰۰ اجرا شد. انتخاب این اندازه جمعیت و این تعداد تکرار موجب کاهش همگرایی و ازدحام ذرات در بهینه‌های محلی می‌گردد. پس از بررسی تأثیر انتخاب تعداد جمعیت و تعداد تکرار مدل نشان داد در تعداد جمعیت و تعداد تکرار، ۱۰۰ نتایج بهتری ارائه می‌شود و برای جمعیت بیشتر از ۱۰۰ زمان اجرای الگوریتم بسیار طولانی‌تر بوده و بهبود مقابل ملاحظه‌ای در نتایج حاصل نمی‌شود.

جدول ۲- پارامترهای بهینه منتخب در پژوهش حاضر

پارامتر	دامنه تغییرات	بهترین مقدار منتخب
C_1	۱/۵-۲/۵	۲
C_2	۱/۵-۲/۵	۲
V_{max}	[-۱و-۲]	-۲
V_{min}	[۱ و ۲]	۲
تعداد ذرات	۵۰-۲۰۰	۱۰۰
تعداد نسل (تعداد تکرار)	۵۰-۱۵۰	۱۰۰

نتایج بهینه شبکه آبیاری سد نساء: برنامه بهینه تحویل و توزیع آب به شبکه آبیاری سد نساء در تعداد بلوک ۶ تا ۱۰ بلوک اجرا شد. قابل‌ذکر است، انتخاب تعداد بلوک به‌گونه‌ای که زمان تکمیل آبیاری بیشتر از ۳۶۰ ساعت شود قابل‌قبول نمی‌باشد. در بررسی تعداد بلوک‌ها الگوریتم با تعداد جمعیت و تعداد تکرارهای مختلف به‌منظور تعیین حداقل مقدار ظرفیت کانال توزیع‌کننده، تعداد تنظیمات دریچه سراب و حداقل زمان آبیاری اجرا شد.



شکل ۳- نمودار زمان‌بندی تحویل آب به انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری در الگوریتمPSO

جدول ۳- برنامه تحویل آبیاری بهینه‌شده شبکه آبیاری سد نساء با الگوریتم PSO

شماره	نام انشعاب	شماره بلوک	زمان شروع آبیاری	زمان خاتمه آبیاری	دبی تحویلی به هر انشعاب (lit/s)
۱	شهید رجایی ۱۱-۲	۶	۰	۷۷	۱۷۰۹
۲	MC6	۶	۷۷	۱۶۰	۱۷۹۵
۳	۲-۲PC	۶	۲۴۱	۲۶۷	۱۸۳۲
۴	۳-۲PC	۶	۱۶۰	۲۴۱	۱۵۷۰
۵	۴-۲PC	۱	۶۴	۱۰۹	۱۵۰۵
۶	۶-۲PC	۴	۱۵۵	۲۲۸	۱۳۲۹
۷	۷-۲PC	۴	۲۲۸	۲۹۴	۱۱۴۲
۸	۸-۲PC	۲	۰	۷۳	۸۳۵
۹	۹-۲PC	۱	۰	۶۴	۴۵۹
۱۰	۱۰-۲PC	۱	۱۰۹	۱۸۹	۱۳۹
۱۱	۱۱-۲PC	۴	۲۹۴	۳۵۶	۲۶۱
۱۲	۱۲-۲PC	۳	۰	۷۱	۲۸۳
۱۳	۱L-۲PC	۱	۱۸۹	۲۳۴	۲۰۸۷
۱۴	۲L-۲PC	۶	۲۶۷	۳۲۶	۵۸۴
۱۵	۱-۵SC	۴	۱۰۶	۱۵۵	۵۷۵
۱۶	۲-۵SC	۵	۰	۷۷	۶۳۵
۱۷	۱-۴SC	۴	۳۳	۱۰۶	۲۷۷
۱۸	۲-۴SC	۷	۰	۴۹	۷۰۷
۱۹	۳-۴SC	۴	۰	۳۳	۲۴۰
۲۰	بین سد مخزنی و سد انحرافی	۱	۲۳۴	۲۵۱	۱۳۲

زمانی که در اجرای متفاوت مدل، مقادیر بهینه ارائه‌شده برای دو پارامتر دبی حداکثر کانال توزیع‌کننده و زمان آبیاری اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای نداشت، حالت بهینه مطابق تنظیم دریچه سراب کمتر انتخاب شد. در بین مدل‌های اجراشده نتایج حاصل از انتخاب ۷ بلوک مقادیر بهینه ظرفیت کانال توزیع‌کننده و حداقل زمان آبیاری را ارائه داد. ترتیب و نوبت‌دهی آبیاری انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری برای الگوریتم موردمطالعه در شکل (۳) نمایش داده شده است.

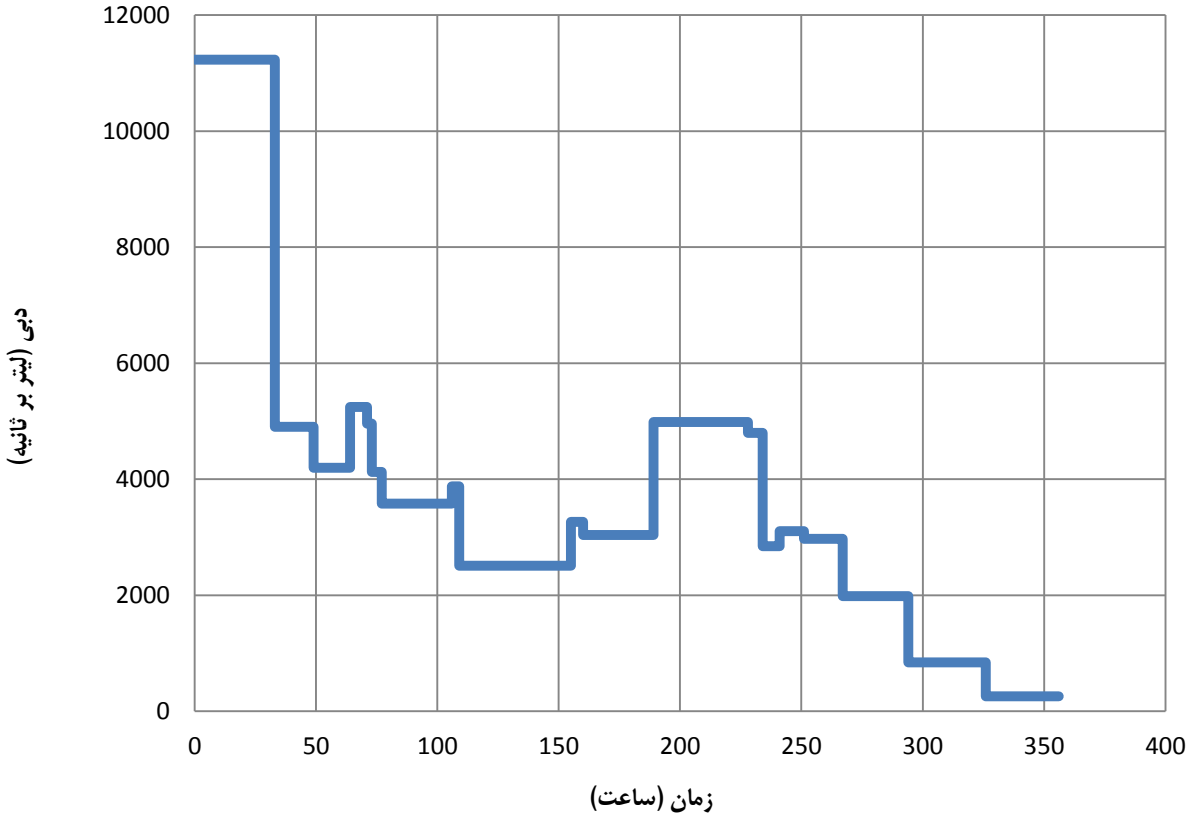
جدول (۳)، برنامه بهینه تحویل آب در شبکه آبیاری سد نساء با استفاده از الگوریتم PSO نشان داده شده است. از آنجایی که در روند اجرای برنامه دبی انشعابات به شکل تصادفی تولید می‌شود و عدد ارائه‌شده اعشاری می‌باشد، با هدف عملیاتی کردن برنامه توزیع و تحویل آب در شبکه دبی‌های تولیدی گرد شده است.

هیدروگراف دریچه سراب کانال توزیع‌کننده برای الگوریتم PSO در شکل (۴) نمایش داده شده است. تنظیم دریچه سراب در طی دور آبیاری باید مطابق این هیدروگراف انجام شود.

نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های تکاملی با سرعت پردازش بالایی که دارند می‌توانند در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی به مهندسین و طراحان کمک نمایند؛ اما این الگوریتم‌ها در فرآیند حل خود از عملگرها و پارامترهایی استفاده می‌نمایند که کارایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. الگوریتم PSO از جمله الگوریتم‌های تکاملی است که از مدل‌های واقعی در طبیعت الهام گرفته است. PSO از رفتار جمعی پرندگان در یافتن غذا بهره می‌گیرد. بدین ترتیب که جمعیتی متشکل از یک سری ذرات تشکیل می‌دهد که هر ذره معرف یک پرنده در فضای جستجو می‌باشد. این مدل با بروز کردن موقعیت ذرات با توجه به میزان شایستگی، جمعیت را به سمت جواب بهینه هدایت می‌کند. در این مطالعه به‌منظور ارائه برنامه توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری سد نساء شهرستان بم، الگوریتم PSO به کار گرفته شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدل به‌کاربرده در این پژوهش توانایی بهینه‌سازی سیستم توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری را دارا می‌باشد و می‌توان از آن در مسائل کاربردی شبکه‌ها استفاده کرد. در بهینه‌سازی تک‌هدفه صرفاً ظرفیت کانال (Q_d) مدنظر است و زمان تکمیل آبیاری (T_d) آزاد گشته، ولی در بهینه‌سازی چند 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. در این روش افزایش جمعیت از تعداد ۱۰۰ به بالا تأثیری در بهبود نتایج حاصله نداشت، بنابراین برای جلوگیری از طولانی شدن زمان اجرای مدل و همچنین حصول جواب با دقت مطلوب انتخاب تعداد جمعیت برابر ۱۰۰ مدنظر قرار گرفت.



شکل ٤- هیدروگراف تنظیم دریچه سراب کانال توزیع‌کننده

تعیین صحیح پارامترهای PSO بسیار حائز اهمیت است، زیرا موجب افزایش دقت و برآورد جواب بهینه می‌گردد. همچنین حداکثر ظرفیت کانال یا ماکزیمم دبی در حال حاضر برای شبکه آبیاری ۳۰۰۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که این مقدار پس از بهینه‌سازی ۲۴۶۹ لیتر بر ثانیه می‌باشد در مقایسه با میزان ظرفیتی کانال بدون شرایط بهینه ۵۳۱ لیتر بر ثانیه کاهش پیدا کرده است. همچنین دور آبیاری این شبکه ۱۵ روزه می‌باشد و ۳۶۰ ساعت زمان آبیاری آن است در حالی که این زمان پس از اجرای مدل ۴ ساعت کاهش پیدا کرده و در حالت بهینه ۳۵۶ ساعت می‌باشد. متأسفانه تاکنون پژوهشی در راستای بهینه‌سازی و بهبود برنامه تحویل و توزیع آب در شبکه آبیاری مذکور با روش‌های فرا ابتکاری انجام نشده است که بتوان نتایج حاصله این پژوهش را با آن مقایسه نمود. بنابراین بهینه‌سازی شبکه آبیاری سد نساء با روش‌های فرا ابتکاری مختلف جهت بهبود برنامه تحویل و توزیع آب حائز اهمیت است. همچنین در حالت بهینه‌سازی تک‌هدفه با توجه به گسترش روش‌های بهینه‌سازی تکاملی و نقطه‌ضعف روش PSO برای حل مسائل گسسته استفاده از روش‌های تلفیقی PSO با سایر روش‌ها و یا JPSO از آنجایی که ممکن است به نتایج بهتری دست یابد، پیشنهاد می‌گردد.

منابع

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 دانشکده مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

عمادی، ع. و کاکویی، س. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی توزیع آب کانال BP14شبکه آبیاری فومنات با استفاده از الگوریتم مورچگان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۵): ۱۱۱۸-۱۱۰۹.

قادری نسب، ف.، قادری، ک. و رهنما، م. ۱۳۹۴. برنامه تحویل و

توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی (مطالعه موردی شبکه آبیاری زیر سد جیرفت). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹(۵): ۸۴۱-۸۳۰.

منعم، م. و نوری، م. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی. ۴(۱): ۸۴-۷۲.

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

Kaghazchi, A., Hashemy Shahdany, S. and Roozbahani, A. 2021. Simulation and evaluation of agricultural water distribution and delivery systems with a Hybrid Bayesian network model. Journal of Agriculture Water Management. 245(2).

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.

Mathur, Y., Sharma, G. and Pawde, A. 2013. Optimal operation scheduling of irrigation canals using genetic

algorithm. international journal of recent trends in engineering. 1(6): 11–15.

Nguyen, D., Maier, H., Dandy, G. and Ascough, J. 2016. Framework for computationally efficient optimal

crop and water allocation using ant colony optimization. Environmental Modelling Software. 76: 37–53.

Rezaei, F., Safavi, H., Mirchi, A. and Madani, K. 2017. F-MOPSO: An alternative multi-objective PSO algorithm for conjunctive water use management. Journal of Hydro-Environment Research. 14: 1–18.

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

Maier, H., Simpson, A., Zecchin, A., Foong, W., Phang, K. Y., Seah, H. y. and Tan, C. 2003. Ant colony optimization for design of water distribution system. Journal of Water Resources Planning and Management., ASCE. 129(3): 200- 209.

Zhao, W., Ma, X., Kang, Y., Ren, H. and Su, B. 2009. Optimal Model on Canal water Distribution Based on Dynamic Penalty Function and Genetic Algorithm. International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. 294(2): 1347-1357.

Pawed, A.W., Mathur, Y.P. and Kumar, R. 2013. Optimal water scheduling in irrigation canal network using particle swarm optimization. Journal of Irrigation and Drainage. 62(2): 135–144.

Ikudayisi, A. and Adeyemo, J. 2015.Irrigation water optimization using evolutionary algorithms. Environmental Economics. 6(1): 200-205.

Shi, Y. and Eberhart, R. C. 1998. Parameter selection in particle swarm optimization. Proceedings of the 7th International Conference on Evolutionary Programming VII. 2(4): 591-600.

Kennedy, J. and Eberhart, R.C. 1995. Particle swarm optimization. International Conference on

Neural Networks, Perth, Australia.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 16, Jun.-Jul. 2022, p. 421-431

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۶، خرداد - تیر ۱۴۰۱، ص. ۴۳۱-۴۲۱

Optimal Programming for Delivery and Distribution of Water Irrigation Network Using PSO Algorithm (Case study: the Network Irrigation Nesa Dam in Bam City)

B. Mirkamandar[1], K.Qaderi[2]

Recived: Oct.10, 2021 Accepted: Feb.10, 2021

Abstract

The objective of distribution and delivery of water canal scheduling in irrigation canal networks is timely and adequate delivery of water with minimum operational stages of the head gate of supply canal in the presence of canal capacity and irrigation rotation period constraints. Poor performance of irrigation canals and its effect on decreasing of Agricultural water productivity requires attention for their improvement. Traditional approach for water delivery planning is based on personal experiences, which is not necessarily Satisfactory. The use of analytical and optimization methods could resolve some of these difficulties. Classical optimization methods are facing some limitations such as: being trapped in local optimum points, and difficulties in handling different variables. To overcome some of these limitations, new techniques which can solve complex problems could be used. This study has used the meta-optimization algorithm of PSO optimization to distribute and deliver optimal water in the irrigation network of Nesa Dam in Bam city located in Kerman province. 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. 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. At present, the maximum discharge for the irrigation network is 3000 lit/s and irrigation time is 360 hours, but according to the results presented in this study, in a two-objective optimization the maximum discharge is 2469 lit/s and the maximum irrigation time is 356 hours. Which reduces the irrigation time by 531 liters per second and 4 hours.

Key words: Irrigation network, Nessa dam, Optimal allocation, Pso algorithm

1 - Ph.D. Student, Water Structures Department, Shahid Bahinar University of Kerman, Kerman, Iran
2 - Associate Professor, Water Structures Department, Shahid Bahinar University of Kerman, Kerman, Iran
(*-Corresponding Author Email: bahar.mirkamandari@gmail.com)