

## ارائه برنامه توزیع و تحویل بهینه آب در کانال BP14 شبکه آبیاری فومنت با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی PSO و ICA

فرزانه قادری نسب گروهی<sup>۱\*</sup>، کورش قادری<sup>۲</sup> و محمدباقر رهنما<sup>۳</sup>

### چکیده

روش‌های معمول برای برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری، بیشتر تجربی هستند که توزیع و تحویل نامناسب در شبکه و به تبع آن نارضایتی کشاورزان را به دنبال دارند. مسأله توزیع و تحویل آب در شبکه آبیاری یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه، چند متغیره و چند محدودیتی است که برای حل آن می‌توان از الگوریتم‌های تکامل‌گرا بهره برد. در این مطالعه دو الگوریتم رقابت استعماری (ICA) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای تدوین برنامه توزیع و تحویل آب به کار گرفته شدند. برنامه تحویل آب در انشعابات کانال توزیع‌کننده به گونه‌ای ارائه شد که اهداف متفاوتی اعم از کاهش ظرفیت کانال توزیع‌کننده و کاهش زمان مورد نیاز برای تکمیل برنامه آبیاری به صورت تک هدفی و دو هدفی بهینه شد. برای کنترل و بررسی برنامه تدوین شده، برنامه بهینه تحویل آب در شبکه آبیاری فومنت در غرب گیلان از مدل تدوین شده، استخراج شد و با نتایج برنامه بهینه ارائه شده با الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم جمعیت مورچگان (ACS) مقایسه شد. در نتیجه مطالعه مشخص شد الگوریتم ICA نسبت به سه روش دیگر، برنامه تحویل مناسب‌تری دارد. بعد از الگوریتم ICA الگوریتم‌های PSO و ACS عملکرد بهتری دارند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم‌های PSO و ICA، برنامه توزیع و تحویل آب، بهینه‌سازی، کانال BP14 شبکه آبیاری فومنت.

**ارجاع:** قادری نسب گروهی ف. قادری ک. و رهنما م. ۱۳۹۶. ارائه برنامه توزیع و تحویل بهینه آب در کانال BP14 شبکه آبیاری فومنت با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی PSO و ICA. مجله پژوهش آب ایران. ۲۷: ۶۳-۷۱.

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۲- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۳- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

\* نویسنده مسئول: [gaderi\\_f@alumni.ut.ac.ir](mailto:gaderi_f@alumni.ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۸

## مقدمه

روش‌های معمول برای برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب عموماً ابتکاری و مبتنی بر تجربه کارشناسی هستند که مناسب‌ترین روش نیستند (منعم و نوری، ۱۳۸۹). مسأله برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری یک مسأله پیچیده بهینه‌سازی چندهدفه، چندمتغیره، و چندمحدودیتی با انواع متغیرها است که حل آن نیازمند کاربرد روش‌های توانمند بهینه‌ساز است (منعم و نوری، ۱۳۸۹). برنامه تحویل آب فرایندی است که با استفاده از آن، ناحیه آبیاری، فرد دریافت‌کننده آب و زمان تحویل آب به آب‌بر تعیین می‌شود. در نقاط مختلف جهان از برنامه‌های متفاوتی برای تحویل آب استفاده می‌شود. برنامه‌های کنونی تحویل آب، تنها به دلیل سابقه کاربرد طولانی همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرند، نه به دلیل اینکه بهترین برنامه قابل اعمال در منطقه مورد نظر باشند (کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی، ۱۹۸۹).

در برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب باید مدت زمان تحویل آب، میزان دبی تحویلی و تناوب آبیاری تعیین شود. ثابت یا متغیر بودن عوامل فوق، روش‌های بهره‌برداری با انعطاف‌پذیری متفاوتی را به وجود می‌آورد. معمول‌ترین روش بهره‌برداری که بیشترین استفاده را در کانال‌های آبیاری دارد، برنامه تحویل آب گردشی است. در روش تحویل گردشی، معمولاً تعدادی از آبگیرها به صورت هم‌زمان آبیاری شدند. حداکثر تعداد آبگیرهایی که هم‌زمان عمل آبیاری را انجام می‌دهند، بلوک آبیاری نامیده می‌شوند. در هر بلوک آبیاری، تعدادی آبگیر به صورت متوالی آبیاری را انجام می‌دهند.

سوریاونشی و ردی (۱۹۸۶) برای اولین بار برنامه‌ریزی خطی ۱۰۰ را به منظور ارائه برنامه‌ریزی عملیاتی خروجی‌های کانال آبیاری و با هدف حداقل کردن هزینه ساخت کانال، به کار گرفتند. ردی و همکاران (۱۹۹۴) با ارتقاء کار پژوهشگران پیشین، روش بهبود یافته‌ای از تخصیص آب به کانال‌های آبیاری را با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی خطی ارائه کردند. وردلا و بکتیکل (۲۰۰۴) از روش GA برای برنامه‌ریزی آب آبیاری با هدف بهینه‌سازی منابع آب در سیستم آبیاری و بر اساس برنامه گردشی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد استفاده از روش GA در مسأله توزیع آب در کانال نسبت به مطالعات قبلی نسبتاً ساده‌تر است. ژاو و همکاران (۲۰۰۸) مدل بهینه توزیع آب

در شرایط دبی نامساوی کانال‌ها را بر اساس تابع جریمه دینامیک و الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. در نتیجه مطالعات آن‌ها کاهش چشمگیر مدت زمان مربوط به توزیع آب، مدت زمان منطقی‌تر تحویل آب به کانال‌های جانبی و توزیع متناسب دبی در کانال بالایی و به تبع آن کاهش تلفات آب در حین انتقال مشاهده شد. پاد و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از الگوریتم PSO برنامه بهینه تحویل آب را ارائه کردند. در برنامه تحویل ارائه شده توسط آنان، هیدروگراف جریان ورودی به کانال تقریباً در طی دوره گردش ثابت بود و در نتیجه، تلفات مربوط به انتقال به حداقل رسید.

بررسی منابع نشان می‌دهد که توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری با برنامه‌ریزی خطی شروع می‌شود و در طی زمان سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی مثل برنامه‌ریزی خطی بهبودیافته، GA، PSO و SA (بازپخت فلزات) هم در مطالعات محدودی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطابق جدول ۱ در ایران عملکرد الگوریتم‌های جامعه مورچگان و ژنتیک در شبکه‌های متعددی بررسی شده است. در حالیکه عملکرد الگوریتم PSO تنها در یک شبکه بررسی شده و عملکرد الگوریتم ICA تاکنون بررسی نشده است. بدین سبب هدف در این مطالعه، بررسی عملکرد الگوریتم PSO و ICA در ارائه برنامه توزیع و تحویل بهینه و مقایسه دقت آن با سایر الگوریتم‌هاست. برای بررسی عملکرد این دو الگوریتم، کانال BP14 از شبکه آبیاری فومنات انتخاب شد. مطابق جدول ۱، برنامه بهینه این شبکه را قبلاً به روش GA و ACS به ترتیب منعم و همکاران (۱۳۸۶) و عمادی و کاکویی (۱۳۹۱) انجام شده است که می‌توان عملکرد الگوریتم‌های ICA و PSO را با الگوریتم‌های GA و ACS مقایسه کرد.

## مواد و روش‌ها

الگوریتم PSO را در سال ۱۹۹۵ کندی و ابرهات و به عنوان یک روش جست‌وجوی غیرقطعی مطرح کرد. PSO الگوریتمی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان یا ماهی‌ها مدل شده است. در PSO، ذرات در فضای جست‌وجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جست‌وجو تحت تأثیر تجربه و دانش ذرات و همسایگان‌شان است؛ بنابراین موقعیت سایر توده‌ی ذرات روند جست‌وجوی یک ذره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه‌ی این رفتار اجتماعی ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند (کندی و ابرهات، ۱۹۹۵).

جدول ۱- بررسی الگوریتم‌های مورد مطالعه در ارائه برنامه بهینه توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری در ایران

محقق	کانال مورد مطالعه	الگوریتم
کاکویی و عمادی (۱۳۹۰)	کانال دولت آباد شبکه آبیاری تاجن	جامعه مورچگان (ACS)
کاکویی و عمادی (۱۳۹۲)	کانال MC شبکه آبیاری البرز	
عمادی و کاکویی (۱۳۹۱)	کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات	
کاکویی و عمادی (۱۳۹۲)	کانال AMX ورامین	
منعم و همکاران (۱۳۸۶)	کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات	ژنتیک (GA)
جهانشاهی (۱۳۸۷)	شبکه زیر سد انحرافی جیرفت	
خوشنواز و همکاران (۱۳۹۰)	کانال WMC شبکه آبیاری میان آب شوشتر	بازپخت فلزات (SA)
(Monem and Namdarian, 2005)	کانال AMX شبکه آبیاری ورامین	
منعم و نوری (۱۳۸۹)	کانال AMX شبکه آبیاری ورامین	

الف- میزان دبی قابل انتقال هر انشعاب در محدوده حداقل و حداکثر آن انشعاب باشد.

$$Q_{\min_{di}} \leq Q_{di} \leq Q_{\max_{di}} \quad (1)$$

که  $Q_{di}$  دبی تولید شده برای انشعاب  $i$ ام،  $Q_{\min_{di}}$  حداقل دبی مجاز در انشعاب  $i$ ام و  $Q_{\max_{di}}$  حداکثر دبی مجاز در انشعاب  $i$ ام است.

ب- میزان دبی قابل انتقال در کانال توزیع کننده به گونه‌ای باشد که مجموع جریان ورودی به انشعابات که هم‌زمان آبیاری می‌شوند برابر یا کمتر از ظرفیت نهایی کانال توزیع کننده باشد.

$$\sum_{j=1}^m Q_{dj} \leq Q_{MC} \quad (2)$$

که  $Q_{MC}$  ظرفیت کانال توزیع کننده (کانال درجه یک)، میزان دبی تولیدی در انشعاب  $j$  و  $m$  تعداد انشعابات است که هم‌زمان آبیاری می‌شوند.

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

$$\sum_{j=1}^m t_{dj} \leq I \quad (3)$$

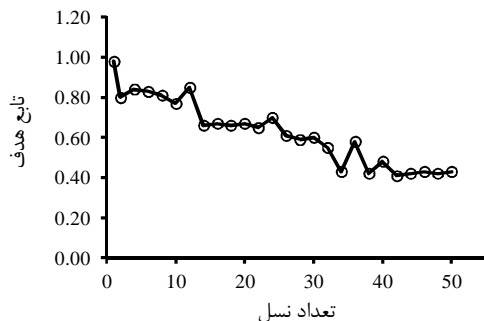
که  $I$  دور آبیاری مجاز در شبکه،  $t_{dj}$  مدت زمان آبیاری انشعاب  $j$ ام و  $m$  تعداد انشعابات در هر بلوک است.

برای مقایسه برنامه‌های تحویل آب و دستیابی به بهترین گزینه از شاخص، "فاکتور شایستگی" یا تابع هدف استفاده شده است. اجزا تابع هدف به صورت نرمال در فاکتور شایستگی در نظر گرفته شده‌اند. هدف از نرمال کردن عوامل، هم وزن کردن آن‌ها در توابع هدف بوده است. برنامه در دو حالت تک هدفه و دو هدفه نوشته شده است. در

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 (آتشی‌گرگی و لوکاس، ۲۰۰۷). پایه‌های اصلی این الگوریتم را سیاست همسان‌سازی، رقابت استعماری و انقلاب تشکیل می‌دهند (سان و لینگ، ۲۰۱۴). در این مطالعه، برنامه توزیع و تحویل آب در محیط نرم‌افزار Matlab 2014 تدوین شده است. کدنویسی در حالت باینری (گسسته) انجام شده است. برای اعمال قیود و ارزش کمی آن‌ها از تابع جریمه استفاده شده است. مدل بهینه‌ساز به صورت کلی برای تعدادی آنگیر (انشعاب) که همه از کانال درجه یک (کانال توزیع کننده) منشعب می‌شوند، توسعه داده شده است. تعداد انشعابات، دبی حداقل و حداکثر مجاز برای هر انشعاب، سطح زیرکشت 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 نوبت بندی انشعابات در هر بلوک، کمترین میزان دبی کانال توزیع کننده و کمترین زمان تحویل آب را به صورت خروجی ارائه می‌دهد.

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

نسل‌ها با چند آزمون اولیه تعداد تکرار مناسب که پس از آن عملاً بهبودی در نتایج مشاهده نمی‌شد، مطابق شکل ۲ به میزان پنجاه نسل تعیین شد.



شکل ۲- تغییرات تابع هدف در طی نسل‌ها در الگوریتم ICA

برای تعیین سایر فاکتورها هر گزینه در ده تکرار مورد آزمون قرار گرفت و با بررسی تغییرات روی همگرایی و یافتن نقطه بهینه در فضای جست‌وجو بررسی شد. در جدول ۲ پارمترهای مناسب الگوریتم ICA نشان داده شده است.

همچنین برای تعیین مقدار مناسب پارمترهای PSO در برنامه تدوین شده، مقدار مختلف پارمترها در محدوده‌های توصیه شده اجرا و تأثیر مقدار هر کدام از پارمترها بر بهبود نتایج بررسی شد. خلاصه نتایج بررسی پارمترهای الگوریتم PSO در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول ضریب  $C_1$  پارامتر شناختی<sup>۱</sup>، ضریب  $C_2$  پارامتر اجتماعی<sup>۲</sup> و  $v_{min}$  و  $v_{max}$  به ترتیب حداکثر و حداقل سرعت حرکت ذره هستند.

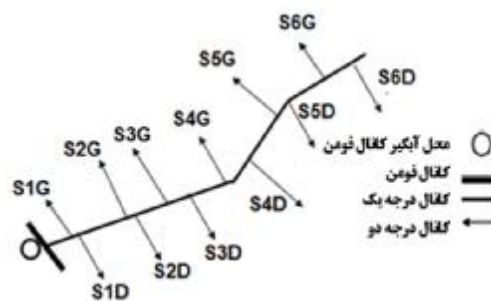
بعد از تعیین پارمترهای مناسب در هر یک از الگوریتم‌ها، برنامه تدوین شده برای تعیین پارمترهای بهینه زمان آبیاری و دبی کانال توزیع‌کننده شبکه به کار گرفته شد. برنامه تدوین شده به صورت تک هدفه و دو هدفه با منظور کاهش زمان آبیاری و کاهش ظرفیت کانال اصلی در تعداد بلوک ۴ تا ۸ اجرا شده است. گفتنی است در بررسی تعداد بلوک‌ها چندین بار الگوریتم اجرا می‌شد و طی هر اجرا، علاوه بر این که زمان لازم برای تکمیل برنامه آبیاری و دبی کانال توزیع‌کننده مد نظر قرار می‌گرفت، به تعداد تنظیمات درجه سراب هم توجه می‌شد. در شرایطی که در دو اجرای متفاوت برنامه، پارمترهای دبی حداکثر کانال توزیع‌کننده و

حالت تک هدفه حداقل کردن ظرفیت کانال توزیع‌کننده و در حالت دو هدفه، حداقل کردن زمان آبیاری و ظرفیت کانال توزیع‌کننده است. در رابطه (۴) تابع تک هدفه و در رابطه (۵) تابع دو هدفه مورد استفاده به صورت نرمال شده بیان شده‌اند.

$$\min F = \text{Nor}(Q_d) = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{dj}}{Q_{MC}} \quad (4)$$

$$\min F = \text{Nor}(Q_d) + \text{Nor}(T_d) = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{dj}}{Q_{MC}} + \frac{\sum_{j=1}^m t_{dj}}{I} \quad (5)$$

کانالی که برنامه تدوین شده بر آن مورد آزمون قرار گرفته است در منطقه فومنت، در غرب گیلان قرار دارد. در این پژوهش کانال درجه یک BP14 از واحد عمرانی F2 شرقی به علت قرار گرفتن در مکان نسبتاً میانی شبکه و دور بودن از نقاط مرزی ابتدا و انتها، نزدیکی به اداره آبیاری فومنت و امکان کنترل و تنظیم دقیق تر کانال‌های درجه ۲ آن انتخاب شده است. در شکل ۱ نمای کلی کانال و انشعابات مورد مطالعه ارائه شده است. طول کانال ۶۸۵۲ متر با مقطع دوزنقه و ظرفیت آن در ابتدا ۳ مترمکعب در ثانیه و در انتها ۱/۸ مترمکعب در ثانیه است. همچنین وسعت تحت پوشش انشعابات در مجموع ۲۱۰۰ هکتار است. نیاز شبکه ۵۰ میلی‌متر و دور آبیاری ۱۵ روز می‌باشد (خوشنواز، ۱۳۸۱).



شکل ۱- شمای کلی کانال BP14 و انشعابات آن

### نتایج و بحث

#### تعیین پارمترهای بهینه الگوریتم‌های PSO و ICA

تعیین برخی عوامل الگوریتم رقابت استعماری شامل تعداد کل کشور، تعداد کشورهای استعمارگر، تعداد نسل و ... با انجام تحلیل حساسیت انجام شده است. برای این کار تابع هدف تک جمله‌ای شامل ظرفیت کانال توزیع‌کننده، تعداد بلوک و حداکثر دور آبیاری ثابت در نظر گرفته شد و هر کدام از فاکتورهای مورد بررسی از الگوریتم تغییر پیدا می‌کرد. برای مثال در حالت تک هدفه جهت تعیین تعداد

1- Self-cognitive coefficient  
2- Social-influence coefficient

است. البته همان‌طور که در مطالعه منعم و همکاران (۱۳۸۶) هم اشاره شده است، زمانی که مدت زمان آبیاری افزایش می‌یابد، احتمال بروز تنش آبی در گیاه افزایش می‌یابد که در چنین حالتی PSO تحویل آب در شبکه را با ریسک کمتری ارائه می‌دهند. در مجموع در حالت تک هدفی الگوریتم‌های ICA و PSO بهترین عملکرد را داشته‌اند. الگوریتم PSO گرچه عملکرد پایین‌تری نسبت به ICA داشته، کمترین زمان تحویل آب را به دست آورده است.

جدول ۲- پارمترهای مناسب الگوریتم ICA

پارامتر	بهترین مقدار
تعداد کل کشور	۵۰
تعداد کشورهای استعمارگر	۵
تعداد نسل	۵۰
ضریب ارزش متوسط مستعمره‌ها	۰/۱
نرخ انقلاب	۰/۰۵
احتمال انقلاب	۰/۱
ضریب همسان‌سازی	۲

جدول ۳- پارمترهای مناسب الگوریتم PSO

پارامتر	بهترین مقدار
$C_1$	۲
$C_2$	۲
$V_{max}$	۲
$V_{min}$	-۲
تعداد ذرات	۱۰۰
تعداد نسل	۱۰۰

زمان آبیاری تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشتند، حالت بهینه بر اساس تنظیم درجه سراب کمتر انتخاب می‌شد. در جدول ۴ خلاصه نتایج برنامه توزیع و تحویل بهینه در کانال BP14 شبکه آبیاری فومنات با استفاده از الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق و مطالعات سایر پژوهشگران ارائه شده است.

با بررسی مقادیر ارائه شده در جدول ۴ در حالت تک هدفی مشخص می‌شود که الگوریتم ICA نسبت به سه الگوریتم دیگر در برآورد حداکثر ظرفیت کانال آبیاری بهترین عملکرد را داشته است؛ به گونه‌ای که میزان دبی را نسبت به الگوریتم‌های GA، ACS و PSO به ترتیب ۶۴ lit/s، ۶۴ lit/s و ۲۴ lit/s کمتر محاسبه کرده است. با توجه به این‌که در شاخص فاکتور شایستگی هدف حداقل کردن دبی کانال توزیع‌کننده بوده است، الگوریتم‌های ICA، ACS و PSO به ترتیب بهترین عملکرد را در پژوهش این هدف دنبال کردند. حداکثر ظرفیت کانال اصلی، از پارامترهای اصلی در طراحی شبکه آبیاری است. کاهش این پارامتر، هزینه‌های احداث شبکه را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. همچنین گاهی اوقات امکان تحویل حجم آب به اندازه نیاز وجود دارد؛ ولی در یک بازه زمانی خاص تحویل دبی از یک میزان به بالاتر امکان‌پذیر نیست؛ از این رو الگوریتمی که طی چیدمان انشعابات داخل بلوک‌های آبیاری حداکثر ظرفیت کانال اصلی را کمتر برآورد کند، عملکرد بهتری را دارد. همچنین در الگوریتم ICA حداکثر زمان آبیاری نسبت به روش ACS یک ساعت کمتر است. در حالت تک هدفی، الگوریتم در PSO کمترین زمان تحویل آب ارائه شده است؛ به گونه‌ای که زمان تحویل آب نسبت به الگوریتم‌های GA، ACS و ICA به ترتیب ۱۰، ۱۵ و ۱۴ ساعت کمتر محاسبه شده

جدول ۴- خلاصه نتایج برنامه توزیع و تحویل بهینه در کانال BP14 شبکه فومنات و مقایسه الگوریتم‌های متفاوت

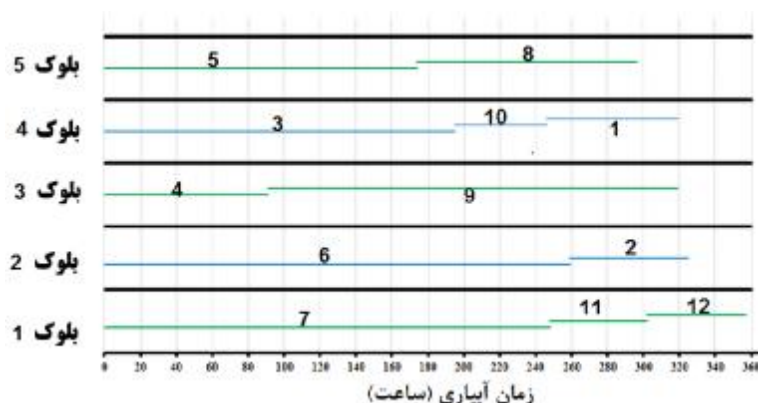
نوع الگوریتم بهینه‌سازی	نتایج تک هدفی		نتایج دو هدفی		
	دبی (lit/s)	زمان (hr)	تنظیمات درجه سراب	دبی (lit/s)	زمان (hr)
GA (منعم و همکاران، ۱۳۸۶)	۶۱۰	۳۵۳	۱۲	۷۹۵	۲۵۳
ACS (عمادی و کاکویی، ۱۳۹۱)	۵۷۰	۳۵۸	۱۱	۶۹۰	۲۹۴
PSO (مطالعه حاضر)	۵۹۵	۳۴۳	۱۲	۶۴۵	۳۰۰
ICA (مطالعه حاضر)	۵۴۶	۳۵۷	۱۱	۶۳۰	۲۹۲

به الگوریتم‌های GA، ACS و PSO به ترتیب ۱۶۵ lit/s، ۶۰ lit/s و ۱۵ lit/s برآورد کرده است. در شکل ۳ ترتیب

با بررسی مجدد جدول ۴ مشخص است که در حالت دو هدفی نیز الگوریتم ICA بهترین عملکرد را دارد که نسبت

انشعابات در بلوک‌های آبیاری ارائه شده در الگوریتم PSO در حالت تک‌هدفه نشان داده شده است.

و نوبت‌بندی انشعابات در بلوک‌های آبیاری در حالت بهینه به روش الگوریتم ICA در حالت تک‌هدفی نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴ ترتیب و نوبت‌بندی بهینه

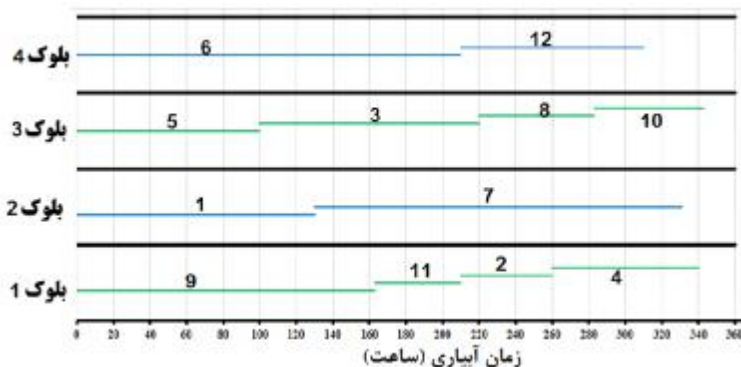


شکل ۳- ترتیب و نوبت بندی انشعابات برای برنامه توزیع و تحویل بهینه تک هدفه در الگوریتم ICA

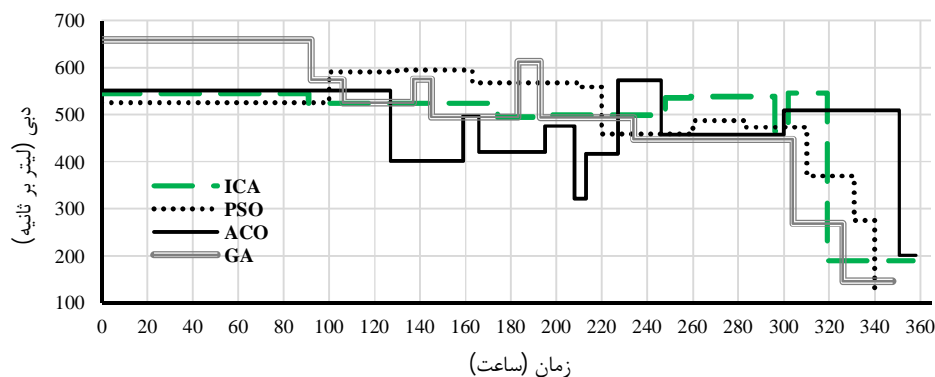
داده شده است. قابل ذکر است در کد تدوین شده ترتیبی اتخاذ شد که پس از تولید دبی‌های تصادفی برای هر انشعاب و محاسبه زمان آبیاری هر انشعاب در صورتی که زمان به دست آمده اعشاری بودند، به سمت بالا گرد شود تا آب دریافتی انشعاب از مقدار نیاز آن انشعاب کمتر نباشد. این امر منجر شده است که هیچ حجم آب دریافتی در انشعابات کمتر از نیاز نباشد. در واقع یکی از مزیت‌های مدل تدوین شد این است که در هیچ‌یک از انشعابات کانال درجه ۲ کمبود آب دریافتی وجود نخواهد داشت. در جدول ۶ حجم آب مورد نیاز و دریافتی هر انشعاب در برنامه توزیع و تحویل ارائه شده نشان داده شده است. با بررسی این جدول مشخص می‌شود که در هر دو الگوریتم مورد بررسی در این مطالعه، همه انشعابات به اندازه کافی آب دریافت می‌کنند.

نکته قابل توجه، این است که برنامه توزیع و تحویل بهینه در مطالعه حاضر در الگوریتم رقابت استعماری در پنج بلوک و در الگوریتم PSO در چهار بلوک حاصل شده است، در حالی که در مطالعه منعم و همکاران (۱۳۸۶) در تعداد شش بلوک و در مطالعه عمادی و کاکویی (۱۳۹۱) برنامه توزیع و تحویل بهینه در تعداد هفت بلوک حاصل شده است. در شکل ۵ گراف دبی آب تحویلی و تنظیم دریچه سراب در کانال درجه یک ترسیم شده است. همان‌طور که مشخص است در روش ICA تغییرات دبی در کانال درجه یک کمترین مقدار را دارد و از این جهت نیز روش ICA بهترین عملکرد را داراست.

در جدول ۵ برنامه توزیع و تحویل بهینه حاصل شده در این مطالعه (الگوریتم‌های ICA و PSO) شامل زمان شروع و پایان تحویل آب به انشعابات، دبی تحویلی به انشعاب و شماره قرارگیری بلوک آبیاری در تابع هدف تک‌هدفه نشان



شکل ۴- ترتیب و نوبت بندی انشعابات برای برنامه توزیع و تحویل بهینه تک هدفه در الگوریتم PSO



شکل ۵- گراف تحویل آب و تنظیم دریچه سراب در کانال درجه یک شبکه آبیاری فومنات

جدول ۵- برنامه توزیع و تحویل بهینه ارائه شده در این مطالعه

ردیف	نام انشعاب	بلوک قرارگیری		برنامه تحویل الگوریتم PSO			برنامه تحویل الگوریتم ICA		
		ICA	PSO	زمان شروع	زمان پایان	دبی	زمان شروع	زمان پایان	دبی
۱	S1D	۴	۲	۰	۱۳۰	۹۰	۲۴۶	۳۱۹	۱۶۰
۲	S1G	۲	۱	۲۱۰	۲۶۰	۱۱۷	۲۵۹	۳۲۵	۸۹
۳	S2D	۴	۳	۱۰۰	۲۲۰	۲۴۴	۰	۱۹۵	۱۵۰
۴	S2G	۳	۱	۲۶۰	۳۴۰	۱۴۵	۰	۹۱	۱۲۸
۵	S3D	۵	۳	۰	۱۰۰	۱۸۰	۰	۱۷۴	۱۰۳
۶	S3G	۲	۴	۰	۲۱۰	۱۰۶	۰	۲۵۹	۸۶
۷	S4D	۱	۲	۱۳۰	۳۳۱	۹۵	۰	۲۴۸	۷۷
۸	S4G	۵	۳	۲۲۰	۲۸۳	۱۴۴	۱۷۴	۲۹۶	۷۴
۹	S5D	۳	۱	۰	۱۶۳	۱۵۰	۹۱	۳۱۹	۱۰۸
۱۰	S5G	۴	۳	۲۸۳	۳۴۳	۱۳۰	۱۹۵	۲۴۶	۱۵۳
۱۱	S6D	۱	۱	۱۶۳	۲۱۰	۱۲۲	۲۴۸	۳۰۲	۱۰۷
۱۲	S7G	۱	۴	۲۱۰	۳۱۰	۱۰۳	۳۰۲	۳۵۷	۱۸۹

جدول ۶- مقایسه حجم آب مورد نیاز و حجم آب تحویلی به انشعابات کانال BP14

نام انشعاب	مساحت (هکتار)	حجم مورد نیاز (m <sup>3</sup> )	ICA		PSO	
			مدت تحویل آب (hr)	دبی (lit/s)	مدت تحویل آب (hr)	دبی (lit/s)
S1D	۸۴	۴۲۰۰۰	۷۳	۱۶۰	۱۳۰	۹۰
S1G	۴۲	۲۱۰۰۰	۶۶	۸۹	۵۰	۱۱۷
S2D	۲۱۰	۱۰۵۰۰۰	۱۹۵	۱۵۰	۱۲۰	۲۴۴
S2G	۸۳	۴۱۵۰۰	۹۱	۱۲۸	۸۰	۱۴۵
S3D	۱۲۹	۶۴۵۰۰	۱۷۴	۱۰۳	۱۰۰	۱۸۰
S3G	۱۶۰	۸۰۰۰۰	۲۵۹	۸۶	۲۱۰	۱۰۶
S4D	۱۳۷	۶۸۵۰۰	۲۴۸	۷۷	۲۰۱	۹۵
S4G	۶۵	۳۲۵۰۰	۱۲۲	۷۴	۶۳	۱۴۴
S5D	۱۷۶	۸۸۰۰۰	۲۲۸	۱۰۸	۱۶۳	۱۵۰
S5G	۵۶	۲۸۰۰۰	۵۱	۱۵۳	۶۰	۱۳۰
S6D	۴۱	۲۰۵۰۰	۵۴	۱۰۷	۴۷	۱۲۲
S7G	۷۴	۳۷۰۰۰	۵۵	۱۸۹	۱۰۰	۱۰۳

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برای بررسی عملکرد الگوریتم‌های PSO و ICA در ارائه برنامه توزیع بهینه آب در شبکه آبیاری، کانال BP14 شبکه آبیاری فومنت به صورت مطالعه موردی انتخاب شد تا امکان مقایسه عملکرد این الگوریتم‌ها با GA و ACS نیز فراهم شود. برنامه تدوین شده به صورت کدنویسی گسسته (باینری) در محیط MATLAB 2014 توسعه داده شد. در نتیجه پژوهش، مشخص شد الگوریتم ICA بهترین عملکرد و الگوریتم‌های ACS و PSO در ارائه حداکثر زمان تحویل آب در شبکه و حداکثر دبی تحویلی در رقابت با یکدیگر هستند. با توجه به این‌که در مسأله توزیع و تحویل آب در انشعابات ابعاد مسأله بالاست، الگوریتم ICA به واسطه فراهم کردن فضای جست‌وجوی وسیع‌تر توانسته آرایش بهتری از انشعابات را داخل بلوک‌های آبیاری ایجاد کند که در نهایت منجر به نتایج بهتر بهینه‌سازی شده است.

با توجه به اینکه در این مطالعه مسأله کدنویسی به صورت گسسته صورت گرفت که متغیرهای مسأله شامل هشت بلوک و دوازده انشعاب مسأله‌ای با ۸۴ بعد ایجاد کرده است. زمانی که ابعاد مسأله افزایش می‌یابد، تعداد کل جواب‌ها در فضای جست‌وجو نیز زیاد می‌شود و این امر جست‌جو در فضای جواب‌ها را مشکل می‌کند. در چنین شرایطی، ICA عملکرد بهتری دارد. این امر در نتیجه مطالعات برخی از پژوهشگران از جمله صمدی و جاویدان (۱۳۸۹) و هاشمی و همکاران (۱۳۹۳) نیز بیان شده است که ICA در مسائل با ابعاد بالا کارایی مناسب و سرعت همگرایی بالاتری در مقایسه با روش‌های معمول نظیر الگوریتم ژنتیک دارد. در مطالعه مشابه دیگری نیز پورکازمی و همکاران (۱۳۹۲) با اشاره به این مسأله که اهمیت استفاده از الگوریتم‌هایی مانند PSO، GA و ICA در حل مسائل، با ابعاد بالا است، بیان کردند که در این گونه مسائل تعداد حالت‌های ممکن و قابل قبول بسیار زیاد خواهد بود و استفاده از ICA امکان یافتن جواب‌های بهتر و مطمئن‌تر از نظر برازندگی را فراهم می‌آورد. بنابراین در نتیجه این پژوهش مشخص شد که ICA در مسأله توزیع و تحویل آب در شبکه آبیاری بهترین عملکرد را دارد. در واقع روش ICA روشی قدرتمند است که توانایی فرار از دام نقاط بهینه محلی را دارد و با احتمال بیشتری نسبت به GA و الگوریتم PSO و ACS به

موقعیت بهینه سراسری همگرا می‌شود. بنابراین می‌توان از آن در مسأله توزیع و تحویل آب در شبکه آبیاری استفاده کرد.

## سپاس‌گزاری

داده‌های کانال BP14 شبکه آبیاری فومنت و مشخصات شبکه از جناب آقای دکتر صائب خوشنواز دریافت شد. نگارندگان مقاله مراتب قدردانی و سپاس را از نامبرده ابراز می‌دارند.

## منابع

- پورکازمی م. ح. فتاحی م. مظاهری س. و اسدی ب. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی سبد پروژه‌های با اثر متقابل با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA). مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران. ۵(۱): ۱-۲۰.
- 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 سازه‌های آبی. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۸۷ ص.
- خوشنواز ص. ۱۳۸۱. تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهشکی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران. ۹۰ ص.
- خوشنواز ص. رضضانی‌مقدم ج. نصرالهی ع. ح. و آل‌علی 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. ۱۱ ص.
- صمدی م. و جاویدی م. ح. ۱۳۸۹. ارائه روشی جدید برای حل مسئله توسعه شبکه انتقال به کمک الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری. بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق. شرکت توانیر. پژوهشگاه نیرو. تهران. ۹ ص.
- عمادی ع. و کاکویی س. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی توزیع آب کانال BP14 شبکه آبیاری فومنت با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان. نشریه آب و خاک



- irrigation canals, *Irrigation and Drainage*. 54: 365-373.
17. 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
18. Poli R. Kennedy J. and Blackwell T. 2007. Particle swarm optimization: An overview. *Swarm Intelligence*. 1(1): 33-57.
19. Radhey Shyam H. S. and Chauhan J. S. Sharma. 1994. Optimal operation scheduling model for a canal system. *Agricultural Water Management*. 26: 213-225.
20. 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*. 141(4): p04014037-1-04014037-8.
21. Suryavanshi A. R. and Reddy J. M. 1986. Optimal operation scheduling of irrigation distribution systems, *Journal of Agricultural Water Management*. 11: 23-30.
22. Wardlaw R. B. and Bhaktikul K. 2004. Application of genetic algorithms for irrigation water scheduling. *Irrigation and Drainage*. 53(4): 397-414.
23. Zhao W. Ma X. Kang Y. Ren H. and Su B. 2008. Optimal Model on Canal water Distribution Based on Dynamic Penalty Function and Genetic Algorithm. In *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*. 1347-1357. Springer, Boston, MA.
۷. (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۵): ۱۱۰۹-۱۱۱۸.
۷. کاکویی س. و عمادی ع. 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.
۸. کاکویی س. و عمادی ع. ۱۳۹۰. تخصیص بهینه آب در شبکه آبیاری تجن با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر. کرمان. ۱۱ ص.
۹. کاکویی س. و عمادی ع. ۱۳۹۲. کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی توزیع آب مطالعه موردی کانال MC شبکه آبیاری البرز. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۲۰(۲): ۱۷۹-۱۹۴.
۱۰. 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.
۱۱. منعم م. ج. و نوری م. ع. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه آبیاری، *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. ۱(۴): ۷۳-۸۲.
۱۲. هاشمی س. ز. امیری ع. میرمحمدی ع. و بیات م. ۱۳۹۳. بهینه‌سازی شبکه توزیع گاز طبیعی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری. *پژوهش نفت*. ۲۴(۷۸): ۳۹-۴۷.
13. Atashpaz-Gargari E. and Lucas C. 2007. Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition, *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. 4661-4667.
14. 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
15. 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*.
16. Monem M. J. and Namdarian R. 2005. Application of simulated annealing (SA) techniques for optimal water distribution in

