



انجمن مهندسان کشاورزی و منابع طبیعی ایران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره ششم، ۱۳۹۹

۶۷-۸۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17886.3347

مقاله کامل علمی - پژوهشی

برآورد حداقل تلفات بهره‌برداری و نشت کانال‌های خاکی با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز جامعه مورچگان

سارا آذرگنبد^۱، * سید مهدی هاشمی شاهدانی^۲ و عباس روزبهانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران،

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: در شبکه‌های آبیاری، بخش قابل توجهی از آب در طی فرآیند توزیع و انتقال به علت تلفات ناشی از نشت و بهره‌برداری هدر می‌رود. با توجه به محدودیت‌های منابع آب لازم است تا به منظور رفع این مشکل روش‌هایی برای کاهش تلفات از کانال ارائه گردند. از این رو، در پژوهش پیشرو، با هدف ارتقاء بهره‌وری آب در سامانه‌های توزیع آب کشاورزی، روشی برای برآورد حداقل تلفات ناشی از نشت و بهره‌برداری در کانال‌های خاکی با استفاده از مدل بهینه‌ساز الگوریتم جامعه مورچگان ارائه شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش نوآوری و هدف، بهینه‌سازی تلفات نشت و بهره‌برداری در سامانه‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان است و در نهایت نتایج حاصل از الگوریتم برای مدیریت منابع آب به‌ویژه در سامانه‌های توزیع آب کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرد. برای دستیابی به هدف ذکر شده در بخش نخست، اطلاعات پایه موردنیاز از کانال دشت مغان جمع‌آوری و با هدف شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در کانال‌های روباز از مدل ریاضی بهره‌برداری ساده‌شده انتگرالی - تأخیری استفاده شد. در ادامه، به منظور حداقل‌سازی تلفات نشت از رابطه استخراج شده از سابقه پژوهش استفاده و بر اساس مقدار نشت اندازه‌گیری شده در هر بازه از ۲۳ کیلومتر کانال مدنظر این پژوهش، واسنجی و صحت‌سنجی شد. به منظور بهینه‌سازی در این پژوهش، دو تابع تک‌هدفه، به ترتیب با هدف حداقل‌سازی تلفات نشت و حداقل‌سازی کمبود آب تحویلی به هر آبگیر در فرآیند توزیع آب در کانال اصلی، تعریف و در مدل بهینه‌ساز الگوریتم جامعه مورچگان، تنظیم و تدوین شدند. در ادامه با ایجاد لینک بین مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی، رابطه برآورد نشت و مدل بهینه‌ساز الگوریتم جامعه مورچگان، امکان بهینه‌سازی توابع مذکور فراهم شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج حاصل شده، در بهینه‌سازی تابع هدف اول، با هدف حداقل‌سازی تلفات نشت، مقدار تلفات نشت در طول ۲۳ کیلومتر بازه انتخابی پژوهش، از مقدار ۰/۱۹۹ مترمکعب بر ثانیه (تلفات نشت در وضعیت حال

* مسئول مکاتبه: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

حاضر بهره‌برداری کانال مورد مطالعه) به ۰/۱۸۷ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافت. بنابراین، میزان کاهش تلفات نشت برای تابع هدف اول ۶ درصد است. اما اعمال تابع هدف اول منجر به افزایش مقدار تلفات بهره‌برداری از ۳۹/۹۱ درصد، که مقدار تلفات بهره‌برداری حاضر در کانال است، به ۴۵/۵۵ درصد شده است. به بیان دیگر، تلفات بهره‌برداری در طول بازه انتخابی نسبت به تلفات بهره‌برداری حاضر در کانال مذکور، ۵/۶۴ درصد افزایش یافته است. بنابراین، مقدار کل تلفات در تابع هدف اول در مقایسه با وضعیت حاضر کانال به میزان ۰/۳۹ درصد کاهش نمود. در تابع هدف دوم بهینه‌سازی، نتایج حاصل بیانگر کاهش تلفات بهره‌برداری از مقدار ۳۹/۹۱ درصد به مقدار ۲۷/۹۱ درصد است که نشان‌دهنده کاهش ۱۲ درصدی تلفات بهره‌برداری در مقایسه با وضع موجود این نوع تلفات است. همچنین تلفات نشت از مقدار ۰/۱۹۹ مترمکعب بر ثانیه به ۰/۲۱۶۸ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافته است، که نشان‌دهنده افزایش ۸/۹ درصدی تلفات نشت در مقایسه با شرایط موجود است. مقدار کل کاهش تلفات در تابع هدف دوم نسبت به وضعیت حاضر برابر ۳/۱ درصد است.

نتیجه‌گیری: نتایج توابع تک‌هدفه کاهش تلفات نشت و بهره‌برداری نشان دادند که بهینه‌سازی با هدف کاهش تلفات نشت، منجر به کاهش چشمگیری در کاهش کل تلفات در کانال‌های آبیاری نمی‌گردد. اما در سوی مقابل بهینه‌سازی با هدف کاهش تلفات بهره‌برداری، مدل بهینه‌ساز الگوریتم جامعه مورچگان با انتخاب اعماق بهینه توانست مقدار تلفات بهره‌برداری را تا مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد. با توجه به نتایج، به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که پروژه‌های مدرن‌سازی، نوسازی و بهسازی شبکه‌های آبیاری، که با هدف کاهش تلفات و بهبود بهره‌وری آب انجام می‌گیرد، در صورتی که معطوف به بهبود فرآیند بهره‌برداری گردد، منجر به کاهش بیش‌تر تلفات در سامانه توزیع آب کشاورزی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری، بهینه‌سازی، تلفات توزیع، تلفات نشت، کانال اصلی خاکی

مقدمه

کانال آبیاری می‌شوند، شامل تلفات ناشی از نشت، تبخیر و بهره‌برداری سازه‌های تحویل و تنظیم سطح آب می‌باشند (۲). از بین تلفات مزبور، به علت کم‌تر بودن تلفات تبخیر در مقایسه با تلفات نشت و بهره‌برداری، معمولاً تلفات تبخیر در نظر گرفته نمی‌شود (۱۵). درصد تخمین تلفات نشت توسط منابع مختلف، متفاوت است و برخی از آن تخمین‌ها مختص به یک منطقه خاص است. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، میزان تلفات ناشی از نشت در کانال‌های آبیاری، برای مثال در منطقه‌ای از مکزیک بیش از ۴۰ درصد (۹) و در دهلی‌نو به میزان ۴۵ درصد از کل حجم آب تحویلی (۱۲) است. بنابراین با توجه به مقادیر قابل‌توجه تلفات نشت گزارش‌شده در پژوهش‌ها، حجم بسیاری از آب منحرف‌شده برای

آب یک منبع مشترک با عملکردها، کاربردها و محاسن متعدد است. امروزه، این منبع با چالش‌های جدی زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی مواجه شده است. از این رو با وجود محدودیت‌ها در منابع آب، بزرگ‌ترین چالش در بخش کشاورزی، بهبود بهره‌وری و راندمان آب در شبکه‌های آبیاری است (۷). بنابراین با هدف بهبود بهره‌وری، مدیران شبکه برخلاف توسعه منابع جدید که یک راهکار تأمین - محور است به رویکرد تقاضا - محور یعنی کاهش نیاز آبی در منطقه تحت آبیاری، رو آورده‌اند. در این راستا در گام اول، برآورد صحیح تلفات انتقال و توزیع آب به‌منظور مدیریت مناسب سیستم، ضروری است (۲). عواملی که سبب تلفات آب در

به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب از دیگر روش‌های بهبود عملکرد بهره‌برداری در کانال است (۱۲). در مسائل مختلف مهندسی آب از روش‌های مختلف بهینه‌سازی به کرات استفاده شده است (۱۴ و ۲۲). روش‌های مذکور با هدف دست یافتن به جستجویی مؤثر، کارا و تیزبینانه‌تر در محدوده موردنظر پا به میدان حل مسائل بهینه‌سازی گذاشته‌اند (۴). یکی از الگوریتم‌های فراکاوشی، الگوریتم جامعه مورچگان می‌باشد (۵). در سال‌های اخیر از مزایای آن برای حل طیف گسترده‌ای از مسائل مدیریت منابع آب مانند طراحی بهینه سیستم‌های توزیع آب (۸)، مسائل مربوط به مدیریت آبیاری (۱۸)، استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی (۱۹) و ... استفاده شده است. از ویژگی‌های مثبت این الگوریتم می‌توان به بازخورد مثبت که منجر به افزایش سرعت در پیدا کردن راه‌حل مطلوب، کنترل توزیع به‌منظور جلوگیری از همگرایی زودرس (۱۳) و خودسازمان‌دهی اشاره کرد و همچنین فرآیند بهینه‌سازی این الگوریتم به ویژگی‌های ریاضی بستگی نداشته و پتانسیل همبستگی نیز دارد (۱۰). با توجه به بررسی سوابق پژوهش در بخش‌های مختلف، میزان تلفات در کانال‌های آبیاری بسیار زیاد است که این امر منجر به کاهش راندمان انتقال آب می‌گردد. بنابراین با هدف کاهش این تلفات راهکارهایی ارائه شده‌اند. در مطالعات قبلی، تحلیل‌ها و بررسی‌های انجام شده، به‌طور مجزا و با تکیه بر کاهش یک نوع از مؤلفه‌های تلفات سعی در کاهش تلفات در سامانه‌های توزیع و انتقال آب داشته‌اند. اما در پژوهش حاضر، در راستای کاهش تلفات آب در سامانه‌های توزیع آب کشاورزی، هر دو تلفات نشت و بهره‌برداری موردبررسی و تحلیل قرار گرفته و با به‌کارگیری ابزار بهینه‌سازی اقدام به کاهش تلفات مذکور در کانال‌های آبیاری شده است. در این

مقاصد آبیاری به زمین‌های کشاورزی نمی‌رسد، بر این اساس با هدف کاهش تلفات نشت، راهکارهایی پیشنهاد شدند. به‌طور مثال، پوشش در کانال‌ها روشی است که در سراسر جهان به‌طور گسترده استفاده شده است. با گذشت زمان، پوشش کانال‌ها تغییر کرده و عملکرد اولیه آن از بین می‌رود. به‌طوری‌که با گسترش درز و شکاف در سطح کانال، تفاوت قابل‌توجهی در میزان نشت در کانال‌های پوشش‌دار و غیرپوشش مشاهده نمی‌گردد (۱۵). علاوه بر تلفات نشت، بخش دیگری از تلفات انتقال و سامانه‌های توزیع آب، تلفات ناشی از بهره‌برداری است. در تحقیقی توسط USBR در منطقه آبیاری آلتوس در آمریکا از ۳۵ درصد کل تلفات، مقدار ۲۲ درصد تلفات بهره‌برداری گزارش شد (۲). در اسپانیا به‌علت تلفات بهره‌برداری تنها ۴۵ درصد آب ورودی به مزارع می‌رسد (۲۰). با توجه به پژوهش‌های مذکور، برای کاهش این نوع از تلفات که مقدار قابل‌توجهی است، روش‌هایی به‌کار گرفته شده است، به‌طور مثال در پژوهشی که توسط شاهوردی و همکاران (۲۰۱۶) انجام شد، به توسعه مدل ریاضی الگوریتم یادگیری سارسای فازی^۱ برای تعیین دستورالعمل بهره‌برداری مناسب سازه‌های آب‌بند و آبیگر با روش مبتنی بر تقاضا در کانال آبیاری شبکه دز با هدف بهبود بهره‌برداری پرداخته شد (۲۳). در پژوهشی دیگر توسط یلتقیان خیابانی و هاشمی شاهدانی (۲۰۱۸)، طراحی سامانه کنترل خودکار برای ارتقاء بهره‌برداری سامانه‌های انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی در شرایط کم‌آبی مورد استفاده قرار گرفت (۲۸)، در مطالعه‌ای که توسط دلاور و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد، یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی زمان واقعی (RTSO)^۲ برای تخصیص بهینه آب در شبکه‌های آبیاری با هدف کاهش تلفات بهره‌برداری ارائه شد (۳). همچنین

1- Fuzzy Sarsa Learning

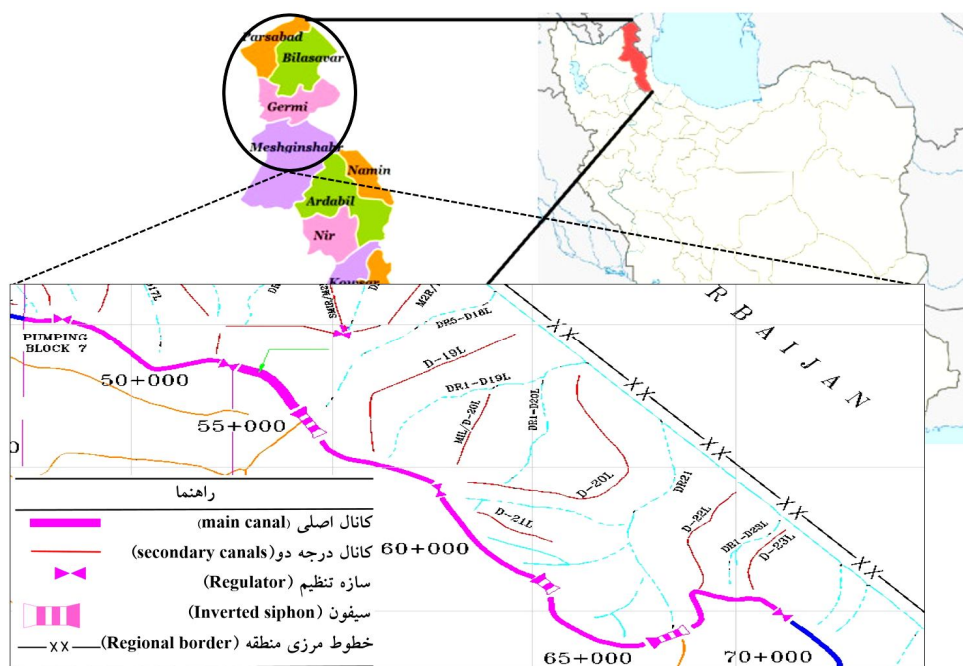
2- Real-Time simulation-optimization

۳۹° ۳۶' ۱۶" عرض جغرافیایی و ۴۷° ۴۶' ۴۴" شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت منطقه‌ای که دشت مغان اطلاق می‌شود در حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ هزار هکتار برآورد گردیده است و دارای بافت خاک رسی می‌باشد. کانال مورد مطالعه در این پژوهش در مسیر بعد از دریاچه شهرک شهید غفاری و در موقعیت مربوط به کیلومتر ۴۶ تا ۶۹ واقع شده است. لازم به ذکر است که کانال مورد مطالعه، به‌عنوان یکی از مناطق بحرانی از نظر تلفات نشت مؤثر در کاهش راندمان کل (۴۰ درصد) در شبکه آبیاری دشت مغان معرفی شده است (۱).

پژوهش فرض شده است که: (۱) مقدار دبی ورودی به کانال اصلی در مقایسه شرایط بهره‌برداری معمول تغییر نمی‌کند. (۲) مدل ریاضی ساده‌شده (مدل انتگرالی-تأخیری) قابلیت شبیه‌ساز مناسب هیدرولیک جریان در کانال روباز را دارا می‌باشد. (۳) برای محاسبه نرخ نشت، خاک در امتداد کانال مورد مطالعه همگن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: کانال اصلی دشت مغان جلگه وسیعی است که در شمال استان اردبیل و در غرب دریای خزر بر روی طول جغرافیایی



شکل ۱- موقعیت شبکه آبیاری دشت مغان در ایران.

Figure 1. Location of Moghan plain network in Iran.

کانال آبیاری، مدل انتگرالی-تأخیری (۲۱) برای شبیه‌سازی استفاده شد. این مدل شامل دو بخش تأخیری که تشریح‌کننده قسمت جریان یکنواخت بالادست است و بخش انتگرالی که توصیف‌کننده یک مخزن پایین‌دست است که باعث می‌شود تا سطح آب

شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال مورد مطالعه: با توجه به معادلات حاکم بر جریان در پژوهش، مدل‌های متعددی توسط پژوهشگران برای حل ساده‌تر معادلات سنت و نانت مطرح شده که در پژوهش حاضر پرکاربردترین مدل ریاضی ساده‌شده تحلیلی

(۲۷). مشخصات هندسی و هیدرولیکی کانال موردبررسی در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

را در سطح تنظیم شده نگه دارد. از قابلیت های این مدل، داشتن عملکرد مناسب برای شبیه سازی کانال های روباز، با عمق کم و شیب دار و همچنین قادر به بیان رفتار نوسانی پایین با دقت بالا است

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی و هندسی کانال مغان.

Table 1. Hydraulic and Geometric Characteristics of Moghan Canal.

شیب طولی کانال (متر بر متر) Longitudinal slope (m.m ⁻¹)	عرض کف (متر) Bed width (m)	شیب جانبی (متر بر متر) Slide slope (m.m ⁻¹)	عمق آب نرمال (متر) Normal water depth (m)	مجموع دبی آبیگر (مترمکعب بر ثانیه) Total discharge of off-take (m ³ .sec ⁻¹)	تعداد آبیگر Number of off take	طول (متر) Length (m)	شماره بازه Reach No.
0.00033	4	1.5	1.61	0.05	1	5640	بازه اول First Reach
0.00033	3	1.5	1.55	0.3	1	26	بازه دوم Second Reach
0.00033	3	1.5	1.37	0.19	2	6054	بازه سوم Third Reach
0.00033	3	1.5	1.16	0.21	3	11282	بازه چهارم Fourth Reach

Minimize:

$$Z_1 = Q_s = Ky_n [(4\pi - \pi^2)^{1.3} + 2m^{1.3} \left(\frac{0.77+0.462m}{1.3+0.6m} + \left\{ \frac{b}{y_n} \right\}^{\frac{1+0.6m}{1.3+0.6m}} \right)^{\frac{1.3+0.6m}{1+0.6m}}]$$

$$y_{\min} \leq y_n \leq y_{\max}$$

که در آن، Q_s دبی نشت ($m^3.s^{-1}$)، K ضریب نفوذپذیری ($m.s^{-1}$)، b عرض کف کانال برحسب متر و y_n عمق نرمال آب در کانال برحسب متر است. y_{\min} مقدار حداقل مجاز عمق آب در کانال برحسب متر و y_{\max} مقدار حداکثر مجاز عمق آب در کانال برحسب متر است.

(۱) توابع هدف بهینه سازی و ساختار آن: با توجه به هدف اصلی این پژوهش که کاهش تلفات نشت و تلفات بهره برداری در سامانه های توزیع در حال بهره برداری است، توابع هدف به صورت دو تابع تک هدفه معرفی گردید.

حالت اول تابع هدف: هدف اصلی در این حالت حداقل سازی تلفات نشت در کانال خاکی مورد مطالعه این پژوهش می باشد. مقدار دبی نشت در هر بازه با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد (۲۴)، بر این اساس تابع هدف در اینجا به گونه ای تدوین شد که مقدار تلفات نشت در هر بازه از کانال کمینه گردد. متغیر تصمیم مقدار عمق آب در کانال می باشد. بدین ترتیب تابع هدف مسأله عبارت است از:

$$0.12 < (Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}) < 0.35 \quad (۳)$$

که در آن، Fr عدد فرود (بی‌بعد)، V سرعت متوسط جریان یکنواخت ($m.s^{-1}$)، g شتاب ثقل ($m.s^{-2}$) و D عمق هیدرولیکی کانال (m) است.

سرعت مجاز (V): سرعت متوسط جریان از تقسیم دبی (Q) بر سطح مقطع جریان (A) حاصل می‌شود.

$$V_{min} < V < V_{max} \quad (۴)$$

برای کانال‌های با خاک بستر از نوع سیلت و ماسه یا سیلت با خاک رس حداقل سرعت جریان برای این‌که رسوبات ته‌نشین نگردند و فرسایش نیز نداشته باشند، به صورت زیر است (۲۴):

$$v_{min} = 0.41y_n^{0.64} \quad (۵)$$

که در آن، y_n عمق نرمال (m) و v_{min} ($m.s^{-1}$) است. حداکثر سرعت مجاز با توجه به جدول راهنمای (USDA) برای خاک‌های مشابه به بافت خاک کانال دشت مغان برابر ۱/۰۷ متر بر ثانیه است (۲۶).

کفایت تحویل (P_A): در تابع هدف اول مقدار این شاخص باید مطابق استاندارد ارائه شده پژوهش مولدن و گیتس (۱۹۹۰) باشد تا بهره‌برداری در کانال دچار اختلال نگردد (۱۶). بنابراین به منظور عدم ایجاد اختلال در آبیگری در کانال‌های در حال بهره‌برداری محدودیت شاخص کفایت به صورت رابطه ۶ بیان شد:

$$P_A \geq 0.7 \quad (۶)$$

حالت دوم تابع هدف: در این حالت، هدف به حداقل رسانیدن میزان تلفات بهره‌برداری در سامانه‌های توزیع آب کشاورزی است. بر این اساس، تابع تک‌هدفه رابطه ۲ بیان گردید. در این تابع هدف شاخص کفایت مورد بررسی قرار گرفت. بنا بر هدف مذکور لازم است تا میزان شاخص کفایت تحویل دبی به آبیگرها (P_A) افزایش یابد تا هدف در این حالت تأمین گردد. متغیر تصمیم مقدار عمق آب در کانال است (رابطه ۲):

(۲)

Minimize:

$$Z_2 = (1 - P_A) = (1 - (\frac{1}{T} \sum T [\frac{1}{R} \sum R(P_A)]))$$

$$P_A = \frac{Q_d}{Q_r} \text{ if } Q_d < Q_r \text{ otherwise } P_A = 1$$

که در آن، P_A شاخص کفایت و بی‌بعد است و Q_r و Q_d به ترتیب معرف مقدار آب مورد نیاز (منظور آب درخواستی بر اساس حقابه یا قرارداد در این پژوهش) و مقدار آب تحویل داده شده در عمل برای آبیگر X در دوره زمانی t و نمادهای $\frac{1}{R}$ و $\frac{1}{T}$ به ترتیب متوسط زمانی و مکانی هستند.

محدودیت‌ها

عدد فرود (Fr): برای دستیابی به طراحی بهتر و دقیق‌تر بهتر است که پارامترهای جریان را توسط عدد فرود کنترل کرد. مطابق تحقیقات مؤسسه USBR عدد فرود (رابطه ۳) باید بین ۰/۱۲ و ۰/۳۵ باشد (۲۴).

می‌گردد. حالت کلی به‌روز کردن فرمون به‌صورت رابطه ۸ می‌باشد (۱۷):

$$\tau_{i,j}(t+1) = (1-\rho)\tau_{i,j}(t) + \Delta\tau_{i,j}(t) \quad (8)$$

که در آن، $\tau_{i,j}(t+1)$ مقدار فرمون ریخته شده در گزینه j از نقطه تصمیم i در تکرار $t+1$ است. $\tau_{i,j}(t)$ نیز مقدار فرمون موجود در گزینه تصمیم $L_{i,j}(t)$ در تکرار t می‌باشد. پارامتر ρ نیز ضریب تبخیر فرمون است که مقدار آن در بازه صفر تا یک تغییر می‌کند. هم‌چنین $\Delta\tau_{i,j}(t)$ از رابطه زیر به‌دست می‌آید (۱۷):

$$\Delta\tau_{i,j}(t) = \sum_{k=1}^m \frac{Q}{f(\varphi)^k} \quad (9)$$

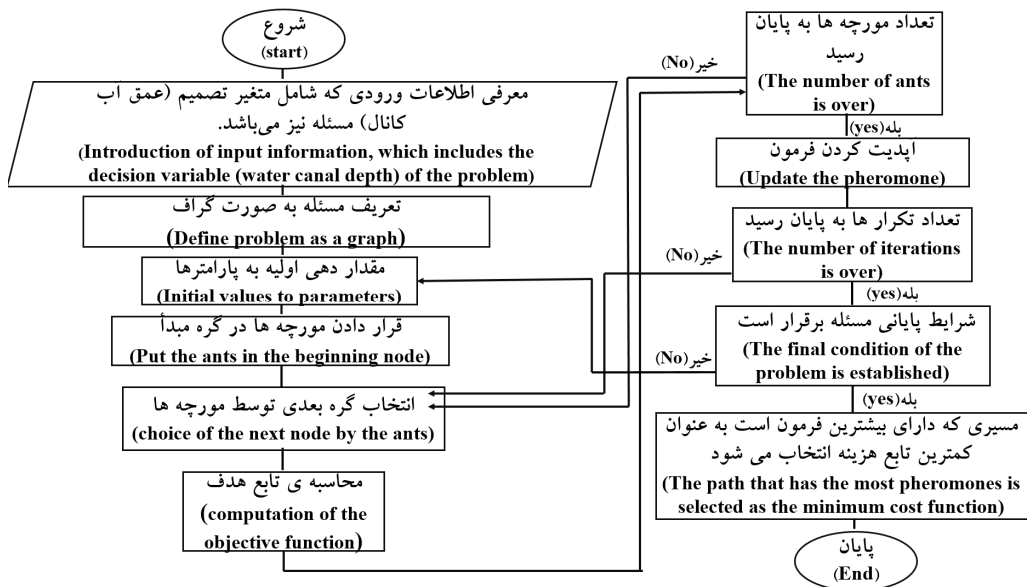
که در آن، m برابر با تعداد مورچه‌ها (اجزای جامعه ACO) در هر تکرار، $f(\varphi)^k$ مجموعه گزینه‌های تصمیم انتخاب‌شده به‌وسیله مورچه k ام در تکرار t ام و Q مقدار ثابتی است که وابسته به مقدار فرمون است و ضریب بازگشت فرمون نامیده می‌شود. لازم به ذکر است که کدنویسی مربوط به الگوریتم جامعه مورچگان در فضای MATLAB R2016b انجام‌شده است. شکل ۲ فلوجارت الگوریتم جامعه مورچگان را برای بهینه‌سازی توابع هدف این پژوهش نشان می‌دهد.

بهینه‌سازی جامعه مورچگان: الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان (ACO) یکی از روش‌های فراکاوشی است که از رفتار مورچه‌ها در پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر از لانه تا منبع غذایی با استفاده از فرمون^۱ الهام گرفته شده است (۵). در ابتدا مسأله به‌صورت یک گراف تعریف می‌شود. بعد از تعریف گراف مناسب مسأله موردنظر، هر مورچه برای حرکت با استفاده از رابطه احتمالی تعیین سیاست تصمیم‌گیری، یکی از گزینه‌های تصمیم موجود را انتخاب می‌نماید و به نقطه تصمیم بعدی می‌رود. در هر a مرحله تصمیم‌گیری، احتمال انتخاب هر مسیر به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۱۷).

$$\rho_{ij}(k,t) = \frac{[\tau_{i,j}(k,t)^\alpha][\eta_{i,j}(k,t)^\beta]}{\sum_{j=1}^J [\tau_{i,j}(k,t)^\alpha][\eta_{i,j}(k,t)^\beta]} \quad (10)$$

که در آن، $\rho_{ij}(k,t)$ نمایشگر احتمال انتخاب گزینه تصمیم j واقع در نقطه تصمیم i توسط مورچه k ، در تکرار t ام می‌باشد. $\tau_{i,j}(k,t)$ نیز گویای مقدار فرمون جایگذاری شده بر روی گزینه تصمیم $L_{i,j}(t)$ در تکرار t ام است. $\eta_{i,j} = 1/c_{ij}$ نمایشگر مقدار کاوشی است که تابعی از هزینه انتخاب گزینه تصمیم j واقع در نقطه تصمیم i می‌باشد. α و β پارامترهایی هستند که نسبت وزنی بین فرمون و مقدار کاوشی را کنترل می‌نمایند. در گام دوم بعد از ساخت یک جواب کامل توسط هر مورچه، مقدار تابع هدف به ازای این جواب ساخته‌شده، محاسبه می‌گردد. گام‌های دوم و سوم برای تمامی مورچگان در نظر گرفته‌شده، تکرار می‌گردند. در گام سوم فرمون مسیرها قبل از شروع تکرار بعد، به‌روز می‌شود و مسیرهای جواب مناسب‌تر با مقدار فرمون بیش‌تری علامت‌گذاری

1- Pheromone



شکل ۲- روند بهینه‌سازی به وسیله الگوریتم جامعه مورچگان با تابع هدف پژوهش حاضر.

Figure 2. The process of Ant colony algorithm optimization with the objective function of the present study.

کم‌تر از ۱۰ درصد دبی نشت به‌دست آمده، قابل قبول است. در جدول ۲ مقدار دبی نشت تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده و مقدار ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) به تفکیک هر بازه نشان داده شد.

نتایج و بحث

به‌منظور استفاده از رابطه محاسبه دبی نشت از سابقه تحقیقات (رابطه ۱) در مدل بهینه‌ساز، ابتدا واسنجی و صحت‌سنجی فرمول انجام شد. با توجه به جدول ۲ میزان تلفات نشت به‌اندازه ۴ درصد کم‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده به‌دست آمد، اما به‌علت خطای

جدول ۲- دبی نشت تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده در هر بازه کانال دشت مغان به همراه ضریب جرم باقی‌مانده.

Table 2. Estimated and measured seepage rates for each segment of the Moghan plain canal along with Coefficient of Remaining Mass.

شماره بازه Segment no	طول (کیلومتر) Length (Km)	دبی نشت اندازه‌گیری شده Measured seepage (m ³ .sec ⁻¹)	دبی نشت تخمین زده شده Estimated seepage (m ³ .sec ⁻¹)	ضریب جرم باقی‌مانده CRM
1	5.64	0.0615	0.0606	0.015
2	0.026	0.00014	0.00013	0.071
3	6.054	0.0488	0.044	0.098
4	11.282	0.0975	0.0940	0.036
کل (Total)	23	0.208	0.199	0.04

مقدارهای فرض شده برای پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان است، ابتدا یک پارامتر را متغیر در نظر گرفته و پارامترهای دیگر ثابت فرض شوند. پس از تعیین پارامتر متغیر، پارامترهای دیگر به همین صورت تنظیم می‌گردند (۲۵).

نتایج بهینه‌سازی تابع هدف اول: پس از محاسبه نرخ نشت به دست آمده در طول ۲۳ کیلومتر و به تفکیک هر بازه از کانال، می‌توان مدل بهینه‌ساز الگوریتم جامعه مورچگان را تنظیم و اجرا نمود. بدین منظور لازم است تا با استفاده از جدول ۳ که فهرستی از

جدول ۳- پارامتر مورد آزمایش در الگوریتم.

Table 3. Parameter tested in algorithm.

مقادیر فرض شده پارامترها Assumed values of parameters	پارامترها Parameters
10, 20, 30, 40	تعداد مورچه (Number of ants)
10, 30, 60, 80, 100	تعداد تکرار (Number of iteration)
0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1	α
0.01, 0.03, 0.04, 0.06, 0.08, 0.09	ρ
0, 0.01, 0.1, 1	β
0.8, 0.9, 1, 1.5	Qu

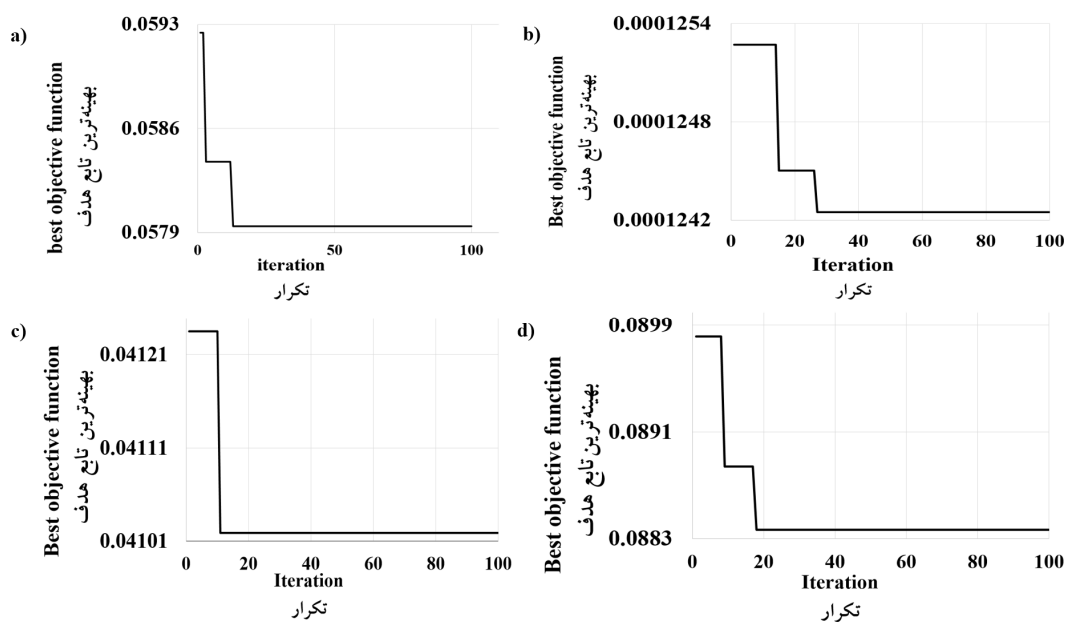
این بازه را به میزان ۴/۴۵ و ۴/۶۱ درصد کاهش داد. همان‌طور که مشخص است، شاخص کفایت آبگیر محاسبه شده به ازای این عمق در بازه‌های اول و دوم دارای شرایط مطلوب برای آبگیری است. در بازه‌های سوم و چهارم کانال، با کاهش عمق آب در کانال به ترتیب برابر ۱۰ و ۹ درصد دبی نشت به میزان ۶/۸۲ و ۵/۹۶ درصد کاهش یافته است. اما شاخص کفایت تحویل آب به آبگیرها در این بازه‌ها در محدوده ضعیف این شاخص قرار گرفت. به‌طور کلی، در تابع هدف اول با کاهش عمق آب، اگرچه مقدار تلفات نشت در هر بازه کاهش یافته است، اما مطلوبیت بهره‌برداری از نقطه نظر شاخص کفایت تحویل آب، به‌خصوص در بازه‌های سوم و چهارم کانال کاسته شده است.

با استفاده از جدول ۳ چند اجرای اولیه برای هر بازه از کانال و برای تابع هدف اول با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان انجام پذیرفت تا مقادیر مناسب هر پارامتر به تفکیک هر بازه به دست آید. جدول ۴ این مقادیر را برای هر بازه نشان می‌دهد. سپس مدل بهینه‌ساز برای تابع هدف اول با احتساب پارامترهای آن برای بازه‌های اول تا چهارم کانال اجرا و تکرار تا جایی انجام پذیرفت که به مقدار بهینه همگرا شد. شکل ۳ نحوه همگرا شدن به جواب بهینه را در هر بازه و پس از ۱۰۰ تکرار در کانال نشان می‌دهد. در نهایت بهینه‌ترین حالت برای بازه‌های اول تا چهارم کانال در جدول ۴ نشان داده شد. در بازه‌های اول و دوم، بهینه‌ساز به ترتیب با کاهش تقریباً ۷ و ۶/۵ درصد از عمق نرمال در کانال دبی نشت در

جدول ۴- تنظیم پارامترهای الگوریتم مورچگان برای تابع هدف اول و مقدار بهینه آن به تفکیک بازه‌های کانال.

Table 4. Adjustment of Ant colony algorithm parameters for first objective function and its optimal value for each segment.

بازه‌های کانال Canal segment	α	ρ	Qu	β	تعداد مورچه Number of ants	شاخص کفایت (درصد) Adequacy index (percent)	دبی نشت (مترمکعب بر ثانیه) Seepage discharge ($m^3 \cdot sec^{-1}$)	عمق آب بهینه (متر) Optimal Water Depth (m)
بازه اول First segment	0.5	0.03	1	0	20	85.7	0.0579	1.5
بازه دوم Second segment	0.5	0.03	0.95	0	40	88.9	0.0001243	1.45
بازه سوم Third segment	0.5	0.08	1	0	30	78.2	0.04102	1.228
بازه چهارم Fourth segment	0.5	0.01	1	0	10	76.64	0.08838	1.05



شکل ۳- تابع هدف بهینه برای بازه‌های اول (a)، دوم (b)، سوم (c) و چهارم (d) و برای Z_1 .

Figure 3. Best objective function for first (a), second (b), third (c) and fourth (d) segments and for Z_1 .

الگوریتم مورچگان برای هر بازه ارائه شد. با توجه به هدف و پارامترهای تنظیم شده، نحوه همگرا شدن به جواب بهینه پس از ۲۰۰ تکرار به جواب بهینه صفر برای تمام بازه‌ها و با استفاده از مدل بهینه‌ساز در شکل ۴ نشان داده شد. با توجه به جدول ۵ و مقدار شاخص کفایت در هر بازه، آبرگیری در تمامی بازه‌ها

نتایج بهینه‌سازی تابع هدف دوم: در این حالت تابع هدف کاهش تلفات بهره‌برداری است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در ابتدا برای هر بازه از کانال چند اجرای اولیه به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم مورچگان با استفاده از جدول ۲ انجام می‌گیرد. در جدول ۵ مقادیر مناسب هرکدام از پارامترهای

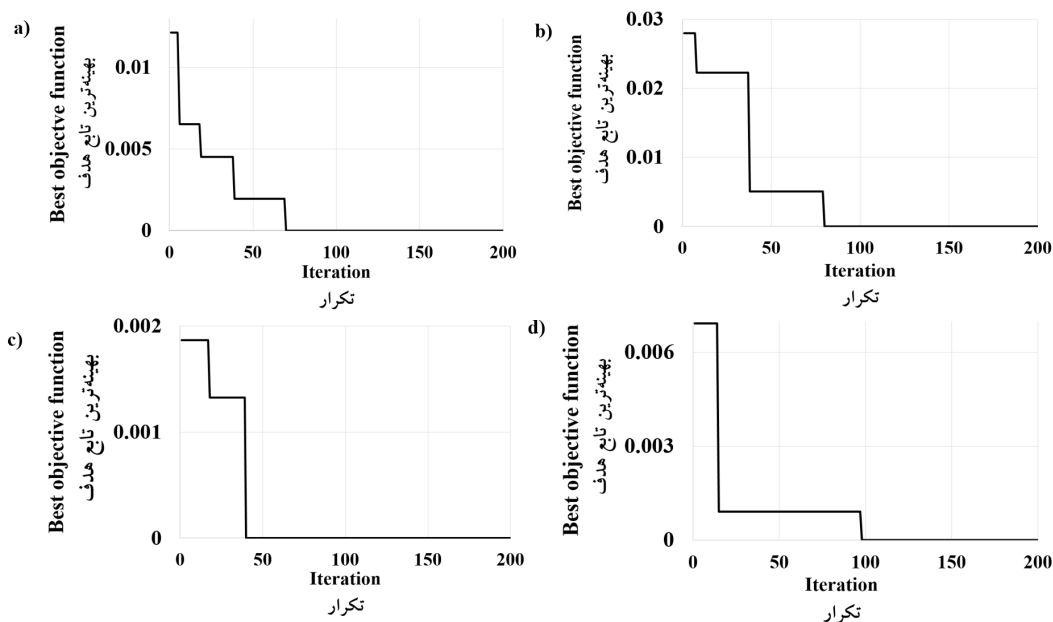
با افزایش عمق در هرکدام از بازه‌ها مقدار تلفات نشت به ترتیب به میزان ۵/۶، ۳/۱، ۸/۹ و ۱۱/۵ درصد نسبت به تلفات نشت حاضر در هر بازه افزایش داشته است.

در حالت متعارف انجام خواهد گرفت و هیچ‌گونه خللی در تحویل و دریافت آب توسط آبیگرهای هر بازه رخ نمی‌دهد. از طرف دیگر، تلفات نشت در هر بازه بیش‌تر از مقدار تلفات نشت حاضر در هر بازه می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است،

جدول ۵- تنظیم پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان برای تابع هدف دوم و مقدار بهینه آن به تفکیک بازه‌های کانال.

Table 5. Adjustment of Ant colony algorithm parameters for second objective function and its optimal value for each segment.

عمق آب بهینه (متر) Optimal Water Depth (m)	دبی نشت (مترمکعب بر ثانیه) Seepage discharge (m ³ .sec ⁻¹)	شاخص کفایت (درصد) Adequacy index (percent)	تعداد مورچه Number of ants	β	Qu	ρ	α	بازه‌های کانال Canal segment
1.75	0.064	100	30	0	1	0.01	1	بازه اول First segment
1.63	0.000134	100	30	0	0.8	0.08	0.8	بازه دوم Second segment
1.57	0.0479	100	40	0	1	0.03	1	بازه سوم Third segment
1.37	0.1048	100	40	0	1.5	0.04	1	بازه چهارم Fourth segment



شکل ۴- تابع هدف بهینه برای بازه‌های اول (a)، دوم (b)، سوم (c) و چهارم (d) و برای تابع هدف Z_2 .

Figure 4. Best objective function for first (a), second (b), third (c) and fourth (d) segments and for Z_2 objective function.

درصد بیش‌تر از مقدار تلفات بهره‌برداری حاضر در کانال است. در تابع هدف دوم، با توجه به نتایج در طول کل بازه مقدار تلفات بهره‌برداری به مقدار ۱۲ درصد کم‌تر از تلفات بهره‌برداری شده است. هم‌چنین مدل بهینه‌ساز میزان تلفات نشت به‌دست‌آمده را در طول کل بازه انتخابی ۰/۲۱۶۸ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آورد که نسبت به تلفات نشت در کانال به مقدار ۸/۹ درصد افزایش داشته است.

پس از نتایج و بررسی‌های انجام‌شده برای هر بازه از کانال، تأثیر هرکدام از توابع در طول کل بازه نیز بررسی شد. با توجه به نتایج (جدول ۶) میزان تلفات نشت به‌دست‌آمده با استفاده از مدل بهینه‌ساز برای تابع هدف اول برابر ۰/۱۸۷ مترمکعب بر ثانیه است که نشان‌دهنده کاهش ۶/۰۴ درصدی تلفات نشت برای تابع هدف اول است. میانگین میزان شاخص کفایت تحویل آب به آبیگرها در طول کل کانال نشان داد که مقدار تلفات بهره‌برداری در تابع هدف اول ۵/۶۴

جدول ۶- نتایج تلفات نشت و بهره‌برداری برای هر دو تابع هدف.

Table 6. The results of seepage and operational losses for both objective functions.

درصد کاهش کل تلفات برای هر تابع هدف در مقایسه با وضعیت حال حاضر Percentage reduction of total losses for each objective function compared to the current situation	مقدار کل تلفات (درصد) Amount of total operational losses (percentage)	مقدار تلفات بهره‌برداری در طول کل کانال (درصد) Amount of operational losses over the entire canal (percentage)	میانگین شاخص کفایت در طول کل کانال (درصد) Average of adequacy index over the entire canal (percentage)	مقدار تلفات نشت در طول کل کانال (درصد) Amount of seepage losses over the entire canal (percentage)	وضعیت حاضر (۱) Current situation
-	60	39.91	88	20.09	وضعیت حاضر (۱) Current situation
-0.39	59.61	45.55	82.36	14.06	تابع هدف اول First objective function
-3.1	56.91	27.91	100	28.99	تابع هدف دوم Second objective function

Delavar و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی زمان واقعی (RTSO) به تخصیص بهینه آب در شبکه‌های آبیاری با هدف کاهش تلفات بهره‌برداری پرداخته شد و نتایج بیانگر کاهش ۱۲ درصدی تلفات بهره‌برداری می‌باشد (۳). یکی از نکات قابل‌توجه در پژوهش‌های انجام‌شده توسط پژوهشگران در راستای کاهش تلفات این است که هدف اکثر پژوهش‌ها تنها معطوف به کاهش یکی از دو تلفات نشت و بهره‌برداری بوده است در صورتی‌که این پژوهش بر هر دو نوع تلفات متمرکز

روش‌های بهینه‌سازی دیگری در راستای کاهش تلفات پیشنهاد شده است به‌طور مثال Dong و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل بهینه‌ساز بهبودیافته ازدحام گریه (ICSO) به طراحی بهینه سطح مقطع کانال با هدف کمینه کردن تلفات نشت به کاهش ۲۰ درصدی آن در کانال مورد مطالعه پژوهش دست یافتند (۶). هم‌چنین Liu و همکاران (۲۰۱۸) با توسعه مدل برنامه‌ریز تحویل آب با روش بهینه‌ساز ازدحام ذرت (PSO) موجب به کاهش ۱/۸۹ و ۱/۵۱ درصدی تلفات نشت شدند (۱۱). در پژوهش

نشت آب و تلفات بهره‌برداری رخ دهد. چگونگی پیاده‌سازی عمق بهینه محاسبه‌شده به توانایی سامانه تنظیم سطح آب موجود در کانال آبیاری برمی‌گردد؛ به عبارت دیگر در کانال‌هایی که از سازه‌های تنظیم هیدرومکانیکال (مانند دریچه‌های آمیل) استفاده شده است، به راحتی می‌توان عمق هدف در هر بازه کانال را منطبق با عمق بهینه تنظیم نمود. در کانال‌های آبیاری که از سازه‌های تنظیم سطح آب غیرمتحرک (مانند انواع سرریزهای ثابت کوتاه یا لبه طولانی) استفاده می‌شود، می‌توان در قالب یک پروژه بهسازی به نحوی اقدام به تغییر ارتفاع موردنیاز در تاج سرریز نمود تا در فصول آبیاری آبی رقوم بهینه مختص هر بازه تأمین شود. در سامانه‌های کنترل خودکار پیاده‌سازی عمق بهینه به دست آمده به راحتی توسط کنترلرها قابل پیاده‌سازی است. در شرایطی که امکان بهسازی سازه‌های غیرمتحرک تنظیم سطح آب وجود نداشته باشد، به کارگیری روش توسعه داده شده در این پژوهش در صورتی قابل استفاده است که تغییر متغیر تصمیم «عمق سطح آب» به «مدت زمان بازشدگی آبنگورها» اتفاق بیفتد. در این ارتباط لازم به توضیح است که پیاده‌سازی مورد اخیر نیازمند تغییر برنامه‌ریزی توزیع آب در کانال اصلی و بالطبع آن افزایش تیم‌های بهره‌برداری و اپراتورها و افزایش تعداد تنظیم‌ها در هر روز است؛ بنابراین با در نظر گرفتن هر دو حالت با/بدون بهسازی در کانال آبیاری، پیاده‌سازی هدف کاهش تلفات بدون هزینه نخواهد بود که نیازمند مطالعات اقتصادی خاص خود می‌باشد. با توجه به نتایج کاربردی این پژوهش، اولویت پیاده‌سازی پروژه‌های مدرن‌سازی و بهسازی در شبکه‌های آبیاری کشور بهتر است معطوف به به‌کارگیری سامانه‌های مدرن بهره‌برداری شود تا حجم قابل توجهی از تلفات در سامانه‌های توزیع آب

شده است و با کاهش یکی از دو نوع تلفات توانست کل تلفات (مجموع تلفات نشت و بهره‌برداری) در بازه مورد مطالعه پژوهش را کاهش دهد.

نتیجه‌گیری کلی

این راستا، در این مطالعه به منظور کاهش هرکدام از تلفات به طور جداگانه، دو تابع تک‌هدفه تعریف و در مدل بهینه‌ساز الگوریتم جامعه مورچگان، تنظیم و تدوین شد. لازم به ذکر است که تابع هدف اول حداقل‌سازی تلفات نشت و تابع هدف دوم حداقل‌سازی تلفات بهره‌برداری در کانال است. نتایج بهینه‌سازی تابع هدف اول نشان داد که در مقایسه با وضعیت حال حاضر بهره‌برداری کانال آبیاری دشت مغان، کاهش تراز سطح آب در بازه‌های اول تا چهارم منجر به کاهش کل تلفات به مقدار ۰/۳۹ درصد شده که نشان از عدم تأثیر فراوان به‌کارگیری تابع هدف اول در کاهش تلفات در کانال آبیاری شده است. نتایج بهینه‌سازی تابع هدف دوم بیانگر آن است که افزایش تراز سطح آب در بازه‌های اول تا چهارم، موجب کاهش تلفات کل به میزان ۳/۱ درصد شد؛ بنابراین با توجه به نتایج حاصل از تابع هدف اول و دوم بهتر است برای کاهش بیش‌تر تلفات در طول کانال مورد مطالعه از نتایج تابع هدف دوم استفاده نمود و مقدار عمق آب را در بازه‌های اول تا چهارم برابر عمق بهینه به دست آمده در تابع هدف دوم تنظیم نمود. اعماق مناسب برای بازه‌های اول تا چهارم به ترتیب برابر با ۱/۷۵، ۱/۶۳، ۱/۵۷ و ۱/۳۷ متر می‌باشند.

به‌طورکلی، در این پژوهش سعی شد تا بدون تغییر در میزان دبی ورودی به کانال اصلی (که بر اساس حقابه‌های مشخص و در نظر گرفتن راندمان‌های انتقال و توزیع آب آبیاری تعیین شده است)، مقدار بهینه رقوم سطح آب در هرکدام از بازه‌های کانال به نحوی محاسبه شود که حداقل تلفات

انتقال و توزیع آب در حال بهره‌برداری، می‌توان تلفات را تا حدودی در این سامانه‌ها کاهش داد. در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد تا در جهت کاهش تلفات در سامانه‌های توزیع و انتقال آب کشاورزی هر دو تلفات نشت و بهره‌برداری به‌طور هم‌زمان در کانال کاهش یافته و بهینه‌سازی در قالب یک تابع چندهدفه انجام گردد.

تقدیر و تشکر

با توجه به این‌که مقاله حاضر با حمایت مالی دفتر پژوهش‌های کاربردی شرکت مدیریت منابع آب ایران در قالب پروژه تحقیقاتی به شماره کد ۰۰۲/س/۹۸ صورت پذیرفته است، نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت مذکور اعلام می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

مقاله حاضر مستخرج از بخشی از نتایج پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول مقاله است که در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ و در گروه آموزشی مهندسی آب پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

کشاورزی کاهش یابد. به‌عبارت‌دیگر، اگر توجهات معطوف به بهبود فرآیند بهره‌برداری (توزیع و تحویل آب کشاورزی) گردد، حجم بیش‌تری از تلفات کاهش خواهد یافت. از محدودیت‌های این پژوهش عدم استفاده از سامانه‌های مدرن توزیع و تحویل آب کشاورزی که قطعاً با به‌کارگیری این‌های خودکار نیازی به افزایش عمق آب در کانال (که در این پژوهش توسط مدل بهینه‌ساز ارائه‌شده است) نبوده و عملاً افزایشی در میزان تلفات نشت رخ نخواهد داد. با این اوصاف و به‌منظور ارائه یک چارچوب کلی کاهش تلفات در سامانه توزیع آب کشاورزی، هر دو هدف کاهش نشت و بهره‌برداری موردبررسی قرار گرفت. شایان‌ذکر است که برای کانال‌هایی با میزان نشت قابل‌توجه می‌توان از تابع هدف اول ارائه‌شده در این پژوهش، به‌منظور تعیین عمق بهینه آب در کانال آبیاری استفاده نمود. در این شرایط پیشنهاد می‌گردد در صورتی‌که امکان پیاده‌سازی روش‌های بهره‌برداری نوین در شبکه آبیاری وجود ندارد، از آبیگرهایی با حساسیت کم‌تر نسبت به تغییرات سطح آب در کانال اصلی (مانند دریچه‌های مدول نیرپیک) استفاده نمود. هم‌چنین توصیه کاربردی دیگر در این شرایط کاهش ارتفاع پاشنه آبیگر می‌باشد (که البته نیاز به انجام مدل‌سازی مستقل است) تا علاوه بر کاهش نشت به‌واسطه کاهش عمق آب در کانال آبیاری، اختلال کم‌تری در آبیگری رخ دهد. درمجموع با به‌کارگیری از رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش برای سامانه‌های

منابع

1. Soil and Water Resources Engineering Company. 2009. Revision studies of the first phase of Moghan irrigation and drainage network. Ardabil. 282p. (In Persian)
2. Barkhordari, S., Shahadany, S.H., Taghvaeian, S., Firoozfar, A.R., and Maestre, J.M. 2020. Reducing losses in earthen agricultural water conveyance and distribution systems by employing automatic control systems. Computers and Electronics in Agriculture. 168. 105122p.
3. Delavar, M., Moghadasi, M., and Morid, S. 2011. Real-time model for optimal water allocation in irrigation systems

- during droughts. *J. Irrig. Drain. Engin.* 138: 6. 517-524.
4. De León-Aldaco, S.E., Calleja, H., and Alquicira, J.A. 2015. Metaheuristic optimization methods applied to power converters: A review. *IEEE Transactions on Power Electronics.* 30: 12. 6791-6803.
 5. Dorigo, M., and Stutzle, T. 2004. *Ant Colony Optimization.* MIT Press, Cambridge, 321p.
 6. Dong, L., Yuxiang, H., Qiang, F., Imran, K. M., Song, C., and Yinmao, Z. 2016. Optimizing channel cross section in irrigation area using improved cat swarm optimization algorithm. *Inter. J. Agric. Biol. Engin.* 9: 5. 76-82.
 7. Hadizadeh, F., Allahyari, M.S., Damalas, C.A., and Yazdani, M.R. 2018. Integrated management of agricultural water resources among paddy farmers in northern Iran. *Agricultural Water Management.* 200: 19-26.
 8. Hajibandeh, E., and Nazif, S. 2018. Pressure zoning approach for leak detection in water distribution systems based on a multi objective ant colony optimization. *Water resources management.* 32: 7. 2287-2300.
 9. Kinzli, K.D., Martinez, M., Oad, R., Prior, A., and Gensler, D. 2010. Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. *Agricultural Water Management.* 97: 6. 801-810.
 10. Liu, L., Dai, Y., and GAO, J. 2014. Ant colony optimization algorithm for continuous domains based on position distribution model of ant colony foraging. *Sci. World J.* 2014. 428539.
 11. Liu, Y., Yang, T., Zhao, R.H., Li, Y.B., Zhao, W.J., and Ma, X.Y. 2018. Irrigation canal system delivery scheduling based on a Particle Swarm Optimization algorithm. *Water.* 10: 9. 1281p.
 12. Martin, C.A., and Gates, T.K. 2014. Uncertainty of canal seepage losses estimated using flowing water balance with acoustic Doppler devices. *J. Hydrol.* 517: 746-761.
 13. Marzband, M., Yousefnejad, E., Sumper, A., and Domínguez-García, J.L. 2016. Real time experimental implementation of optimum energy management system in standalone microgrid by using multi-layer ant colony optimization. *Inter. J. Elec. Power Ener. Syst.* 75: 265-274.
 14. Moinaldini, E., Mohamad Reza Pour, O., and Zeinali, M.J. 2016. Optimization of Water Network Distribution Using Fast Messy Genetic and firefly Algorithms in Relopt Model (Case Study: Havanirouz Town, Kerman). *J. Water Soil Cons.* 23: 4. 45-64. (In Persian)
 15. Mohammadi, A., Parvaresh Rizi, A., and Abbasi, N. 2019. Perspective of Water Distribution Based on the Performance of Hydraulic Structures in the Varamin Irrigation Scheme (Iran). *Irrigation and Drainage.* 68: 2. 245-255.
 16. Molden, D.J., and Gates, T.K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *J. Irrig. Drain. Engin.* 116: 6. 804-823.
 17. Moeini, R., and Afshar, M.H. 2012. Layout and size optimization of sanitary sewer network using intelligent ants. *Advances in Engineering Software.* 51: 49-62.
 18. Nguyen, D.C.H., Maier, H.R., Dandy, G.C., and Ascough II, J.C. 2016. Framework for computationally efficient optimal crop and water allocation using ant colony optimization. *Environmental Modelling and Software.* 76: 37-53.
 19. Safavi, H.R., and Enteshari, S. 2016. Conjunctive use of surface and ground water resources using the ant system optimization. *Agricultural Water Management.* 173: 23-34.
 20. Serra, P., Salvati, L., Queralt, E., Pin, C., Gonzalez, O., and Pons, X. 2016. Estimating Water Consumption and Irrigation Requirements in a Long-Established Mediterranean Rural Community by Remote Sensing and Field Data. *Irrigation and Drainage.* 65: 5. 578-588.
 21. Schuurmans, J. 1997. Control of Water Levels in Open-Channels, Ph.D. dissertation, Delft Univ. of Technology, Delft, Netherlands. 235p.

22. Shabani bohlooli, A., and Dastoorani, M. 2019. Evaluation of Genetic and Particle Swarm Optimization Algorithms Based on Non-Dominating Sorting Approach for Multi Objective Optimization Operation of Reservoirs. *J. Water Soil Cons.* 26: 5. 165-179. (In Persian)
23. Shahverdi, K., Monem, M.J., and Nili, M. 2016. Fuzzy SARSA learning of operational instructions to schedule water distribution and delivery. *Irrigation and Drainage.* 65: 3. 276-284.
24. Tabari, M.M.R., Tavakoli, S., and Mari, M.M. 2014. Optimal design of concrete canal section for minimizing costs of water loss, lining and earthworks. *Water resources management.* 28: 10. 3019-3034.
25. Tseng, H.E., Chang, C.C., Lee, S.C., and Huang, Y.M. 2019. Hybrid bidirectional ant colony optimization (hybrid BACO): An algorithm for disassembly sequence planning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence.* 83: 45-56.
26. USDA. 2007. Threshold channel design. In: *Stream Restoration Design, National Engineering Handbook.* United States Department of Agriculture, 714p.
27. Van Overloop, P.J., Horváth, K., and Aydin, B.E. 2014. Model predictive control based on an integrator resonance model applied to an open water channel. *Control Engineering Practice.* 27: 54-60.
28. Yaltaghian Khiabani, M., and Hashemy Shahdany, S.M. 2018. Design of Automatic Control System to Equitable Water Distribution under Water Shortages and Inflow Fluctuation Operational Conditions, Case study of Roodasht Irrigation district. *J. Water Soil Cons.* 25: 5. 185-200. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(6), 2021
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17886.3347

Research Full Paper

Estimation of the Minimum Amount of Seepage and Operational Losses in the Earthen Canals using Ant Colony Optimization Algorithms

S. Azargashb¹, *S.M. Hashemy Shahdany² and A. Roozbahani²

¹M.Sc. Student of Water Structure, Dept. of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran,

²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran

Received: 04.06.2020; Accepted: 08.26.2020

Abstract

Background and Objectives: In irrigation networks, a significant portion of water is wasted during the conveyance and distribution process due to seepage and operational losses. To deal with the limitation of water resources, it is necessary to provide methods for reducing losses from canals. Therefore, the current study aimed to represent a method for estimating the minimum seepage and operational losses in earthen canals in order to improve water efficiency in agricultural water distribution systems using ant colony optimization algorithm.

Materials and Methods: In this research, the innovation and aim are to optimize seepage and operational losses in water distribution system using the ant colony optimization and the results of the algorithm are used to manage water resources, especially in agricultural water distribution systems. To achieve this goal, initially, basic information was collected from the Moghan plain canal and for the purpose of hydraulic flow simulation in the canal a simplified mathematical integrator-delay model was used. Then, in order to minimize seepage losses, a formula extracted from research history was applied. In addition, the seepage formula was calibrated and validated based on the measured seepage amount at each segment over the 23 km of the canal. Also, to optimize the purpose of this study, two single objectives, which they were minimizing seepage and water shortage delivered to each offtake in the main canal distribution process, respectively, were defined and adjusted in ant colony optimization algorithm model. Then, by linking the hydraulic simulator model, the estimation seepage formula and the Ant colony optimization model, it was possible to optimize the mentioned objective functions.

Results: According to the results, optimizing the first objective function, in order to minimize seepage losses caused the reduction of total seepage amount during the 23 Km of selected research area, from 0.199 Cubic meter per second (seepage in the present condition of the studied canal) to 0.187 Cubic meter per second. Therefore, the reduction in seepage losses for the first objective function was 6 percent. However, the application of the first objective function has led to an increase in the amount of operational losses from 39.91%, which is the amount of current operational losses in the canal, to 45.55%. In other words, the operational losses from the first objective function compared to the current operational losses, increased by 5.64%. Accordingly, the total reduction of losses in the first objective function compared to the current losses in the canal was 0.39 percent. By applying the second objective function, the results show a reduction in operational losses from 39.91% to 27.91%, which indicates a 12% reduction in operational losses compared to the current situation of this type of losses. Also, seepage losses have increased from 0.199 cubic meter per second to 0.2168 cubic meter per

* Corresponding Author; Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

second, which indicates an 8.9% increase in seepage losses compared to the current situation. Overall, the total losses reduction in the second objective function compared to the current situation is equal to 3.1 percent.

Conclusion: Single objective functions of seepage and operational losses reduction results showed that optimization with the purpose of reducing seepage losses did not lead to a significant reduction in total losses in irrigation canals. On the other hand, in order to reduce operational losses, Ant colony optimization algorithm model by choosing optimum water depths could reduce the amount of operational losses to a considerable amount. According to the results, it can be generally acknowledged that modernization, renovation and rehabilitation projects of irrigation networks with the target of reducing losses and improving water use efficiency, if more focused on improving the operating process, more reduction of losses would result in agricultural water distribution system.

Keywords: Distribution losses, Main earthen canal, Operational, Optimization, Seepage losses