

کاربرد مدل تابع جریان در بهینه‌سازی نیروی انسانی مورد استفاده در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری

محمد بزاز^۱ و ابراهیم امیری تکلدانی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری تخصصی علوم و مهندسی آب گرایش سازه‌های هیدرولیکی؛ و استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۹

چکیده

در این تحقیق، توزیع جریان در شبکه‌های آبیاری با رویکرد بهینه‌سازی مسافت طی شده برای باز و بسته کردن دریچه کانال‌ها برای آبیاری و همچنین تعداد تنظیم‌های دریچه سراب کانال توزیع‌کننده بررسی شد. برای شبیه‌سازی توزیع جریان در شبکه آبیاری، از مدل تابع جریان استفاده شده است. این مدل توزیع جریان را به شکلی شبیه‌سازی می‌کند که با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در شبکه، از قبیل ظرفیت کانال‌ها و زمان بهره‌برداری از آنها، بتوان برنامه‌ریزی آبیاری را به صورت بهینه ارائه داد. مدل تهیه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شد و برای بررسی کارایی مدل، توزیع جریان در کانال AMX در شبکه آبیاری دشت ورامین شبیه‌سازی شد و مقادیر بهینه پارامترها تعیین گردید. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان می‌دهد که تعداد دفعات بهینه برای تنظیم دریچه‌های آبیاری در کانال‌های توزیع‌کننده ۷ است که بدین ترتیب مسافت طی شده برای باز و بسته کردن آنها ۳۷۵۲۶ متر، مدت زمان بهره‌برداری ۲۱۶ ساعت و دبی کانال اصلی ۱۲۴۴ لیتر به دست آمده است. با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات گذشته می‌توان نتیجه گرفت که مدل معرفی شده که بر اساس مدل تابع جریان ارائه شده می‌تواند ابزاری توانمند برای مدل‌سازی توزیع جریان باشد.

واژه‌های کلیدی

برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب، بهره‌برداری سازه‌های آبیاری، توزیع جریان، مدت زمان بهره‌برداری، مدل تابع جریان

مقدمه

به تبع آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی است، به طوری که در هر کانال آبیاری مقدار آب تحویلی به اراضی پایین دست هر دریچه با نیاز واقعی آن مطابقت ندارد و ممکن است کمتر یا بیشتر از مقدار مورد نیاز باشد. همچنین، مدیریت ناصحیح موجب افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری از شبکه می‌شود (Kanooni, 2013).

از عواملی که بر عملکرد شبکه‌های آبیاری تأثیر می‌گذارد، برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب آبیاری است. این

با وجود احداث شبکه‌های مدرن آبیاری در اکثر کشورهای جهان، مطالعات درباره عملکرد شبکه‌های آبیاری، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، حاکی از دست نیافتن به بازده مورد انتظار آنهاست که عمدتاً ناشی از عملیات بهره‌برداری و نگهداری ناکافی و مدیریت غیرموثر حاکم بر این سیستم‌ها تشخیص داده شده است. یکی از عواقب مدیریت ضعیف در شبکه‌های آبیاری، تحویل و توزیع نامناسب آب به کانال‌ها و انشعاب‌ها و

روی کانال فنگ جیاشان در چین به‌کار بردند. ردی و همکاران (Reddy *et al.*, 1999) با استفاده از برنامه‌ریزی صفر و یک به‌صورت تک هدفی برنامه‌تحویل آب را در یک کانال تهیه کردند. انور و کلارک (Anwar & Clarke, 2001) با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح، مدلی برای توزیع جریان بر حسب تقاضا میان مصرف‌کنندگان تهیه کردند. منعم و نامداریان (Monem & Namdarain, 2005) توزیع جریان در کانال آبیاری را با استفاده از الگوریتم شبیه‌ساز سردکردن فلزات با هدف کمینه‌کردن همزمان تعدادی از متغیرهای برنامه‌ریزی آبیاری از جمله دبی کانال‌ها، زمان بهره‌برداری و تعداد تنظیمات در دریچه سرآب بهینه‌سازی کردند. توزیع جریان در این تحقیق با استفاده از مفهوم بلوک آبیاری شبیه‌سازی شد. بلوک آبیاری به مجموعه آبگیرهایی گفته می‌شود که به‌صورت متوالی آبگیری می‌شوند. مدل‌سازی توزیع جریان در این روش به‌نحوی است که کانال‌های فرعی در تعدادی مشخص از بلوک آبیاری قرار می‌گیرند و این بلوک‌ها به‌صورت موازی آبگیری می‌شوند. زیا و انور (Zia & Anvar, 2010) نشان دادند که چگونه محدودیت‌های زمان‌بندی آب آبیاری می‌تواند به درستی فرموله و با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شود. در این تحقیق از دو مدل لوله‌های جریان و بلوک‌های زمانی برای شبیه‌سازی توزیع و تحویل جریان در شبکه‌های آبیاری استفاده شد. سوزی و همکاران (Sothea *et al.*, 2012) در تحقیق خود مسئله توزیع را با استفاده از الگوریتم MIQP بهینه کردند. تابع هدف مدل در این مطالعه به گونه‌ای تعریف شده بود تا ظرفیت کانال و نفر - ساعت مورد استفاده به‌منظور بهره‌برداری از شبکه بهینه شود. ایشان برای بررسی کارایی مدل تهیه شده، بهینه‌سازی توزیع و تحویل آب را در کانال گیگانس در جنوب فرانسه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل ارائه شده کارایی مناسبی

امر نه تنها خصوصیات فیزیکی شبکه‌ها اعم از ظرفیت کانال‌ها و نوع، ظرفیت و ساز و کار بهره‌برداری از سازه‌های تنظیم و آبگیرها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه روی برخی از پارامترهای مدیریتی شامل عملکرد شبکه، سهولت بهره‌برداری و هزینه‌هایی مانند نفر-ساعت یا ماشین-ساعت مصرف شده برای بهره‌برداری از شبکه نیز مؤثر است.

برنامه‌ریزی تحویل آب بر اساس چگونگی تغییرات عوامل تحویل آب (دبی، تناوب و مدت تحویل آب به انشعاب‌ها) متفاوت خواهد بود. اگر عوامل تحویل آب ثابت در نظر گرفته شوند و تصمیم‌گیری در مورد آنها به‌عهده مسئولان بهره‌برداری باشد، به آن روش گردشی می‌گویند. چنانچه عوامل تحویل متغیر و تصمیم‌گیری در مورد آنها بر اساس درخواست پایین‌دست باشد به آن روش بر حسب تقاضا گفته می‌شود. به ترکیبی از این دو روش نیز روش توافقی گفته می‌شود. در روش گردشی، انعطاف‌پذیری پایین و سهولت بهره‌برداری بالاست. این روش در عین حال بر حسب تقاضا انعطاف‌پذیری بالایی دارد ولی به‌لحاظ بهره‌برداری دارای پیچیدگی‌های زیادی نیز هست و برای پاسخگویی به تقاضاهای رسیده می‌تواند موجب افزایش ظرفیت و در نتیجه افزایش ابعاد سازه‌های انتقال شود. کاهش منابع آب در دسترس و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی با توجه به افزایش جمعیت باعث شده است تا روش‌های تحویل توافقی و برحسب تقاضا به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب در دسترس بیشتر مورد توجه بهره‌برداران و محققان قرار گیرد (Kanooni, 2013).

سوریوانشی وردی (Suryavanshi & Reddy, 1986) برای اولین بار مدل ریاضی برنامه‌ریزی توزیع آب در کانال را معرفی و از مدل برنامه‌ریزی خطی برای بهره‌برداری بهینه در کانال استفاده کردند. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 1995) با توسعه مدل برنامه‌ریزی صفر و یک آن را

مواد و روش‌ها

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی توزیع جریان در شبکه‌های آبیاری از جمله روش‌های برنامه‌ریزی صفر و یک، بلوک آبیاری و بلوک زمانی در پیش گرفته شده و پس از آن با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی، پارامترهای توزیع جریان بهینه گردیده است. در این تحقیق، از مدل جدیدی با عنوان تابع جریان برای مدل‌سازی توزیع و تحویل آب استفاده شده است. این مدل با این فرض طراحی شده است که دبی مورد نیاز آن در زمان بهره‌برداری از بالادست تامین شود. برای باز و بسته کردن دریچه‌ها نقطه شروع حرکت بهره‌بردار از ابتدای کانال توزیع کننده در نظر گرفته شده است. با استفاده از این روش، مقادیر متفاوتی برای پارامترهای مورد نظر برای بهینه‌سازی شمال دبی و مدت زمان بهره‌برداری از کانال توزیع کننده به دست می‌آید و با نتایج تحقیقات محققان دیگر مقایسه خواهد شد. ورودی‌های مدل، تابع هدف، قیدهای مسئله و متغیرهای تصمیم به شرح زیرند.

- Q_{iA} : دبی طراحی کانال‌های فرعی

- Q_P : دبی طراحی کانال تغذیه کننده

- T_{iA} : مدت زمان بهره‌برداری طراحی کانال‌های فرعی

- T_P : مدت زمان بهره‌برداری طراحی کانال تغذیه کننده

- n : تعداد کانال‌های فرعی

- V_i : حجم آب مورد نیاز پایین دست هر آبگیر

- dis_{ij} : فاصله آبگیرها از یکدیگر

تابع هدف

رابطه ۱ تابع هدف مورد استفاده را نشان می‌دهد. از آنجا که اجزای تابع هدف از یک بعد نیستند برای جمع کردن آنها با یکدیگر باید بی بعد شوند. بدین منظور،

در حل مسئله توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری دارد. آنیل و همکاران (Anil et al., 2013) با استفاده از الگوریتم هوش جمعی مسئله بهینه‌سازی توزیع و تحویل آب را در شبکه‌های آبیاری حل کردند و نتیجه گرفتند که با توجه به فرمول بندی در مدل بهینه‌سازی، هیدروگراف کانال اصلی در زمان بهره‌برداری مقدار تقریباً ثابتی به خود می‌گیرد. بدین معنا که پارامترهای توزیع و تحویل جریان به نحوی تعیین شده است که دبی کانال توزیع کننده در زمان تغذیه کانال‌های پایین دست تغییر نمی‌کند. کانونی و منعم (Kanooni & Monem, 2014) مدلی ارائه دادند که در آن با بهینه‌سازی همزمان تخصیص آب به واحدهای زراعی و توزیع و تحویل جریان در شبکه آبیاری، علاوه بر کاهش مصرف آب در شبکه، سود حاصل از کشت محصولات نیز افزایش یافت.

در اکثر تحقیقات مورد اشاره در بالا، متغیرهای مورد نظر برای بهینه‌سازی، دبی کانال‌ها و زمان بهره‌برداری از آنها بوده است و کمتر به بررسی توزیع جریان با رویکرد بهینه‌سازی پارامترهای دیگر، مانند نیروی انسانی مورد استفاده برای بهره‌برداری از شبکه، پرداخته شده است. بهینه‌سازی نیروی انسانی باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش راندمان مدیریت شبکه می‌گردد. در تحقیق حاضر، توزیع و تحویل جریان با استفاده از مدل تابع جریان شبیه‌سازی شده است و پس از آن مقادیر پارامترهای مسافت طی شده برای باز و بسته کردن کانال‌های فرعی و همچنین تعداد تنظیمات سراب به عنوان پارامترهای بهره‌برداری، بهینه گردیده‌اند. متفاوت بودن متغیرهای تصمیم به کارگرفته شده در این مدل، مستقل بودن آنها نسبت به یکدیگر و توانایی بهینه‌سازی پارامترهای جدید (مسافت طی شده برای باز و بسته کردن دریچه‌ها) از ویژگی‌های این مدل است.

$$Z = \bar{Q}_s + \bar{T}_s + \bar{dis} + \bar{V}q \quad (۴)$$

قیده‌های مسئله

قیده‌ها به نحوی تعریف شده‌اند که مقادیر دبی و زمان بهره‌برداری کانال‌ها که مدل تولید می‌کند از مقادیر طراحی آنها تجاوز نکنند. این قیده‌ها در رابطه‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده‌اند.

$$Q_i \leq Q_{iA} \quad (۵)$$

$$Q_s \leq Q_P \quad (۶)$$

$$T_i \leq T_{iA} \quad (۷)$$

$$T_s \leq T_P \quad (۸)$$

که در آنها،

Q_i = دبی تولید شده در مدل برای کانال‌های فرعی؛
 Q_s = دبی کانال تغذیه‌کننده که مدل آن را محاسبه می‌کند؛ T_i = مدت زمان بهره‌برداری به دست آمده از مدل برای کانال‌های فرعی؛ و T_s = مدت زمان بهره‌برداری کانال تغذیه‌کننده که مدل آن را محاسبه می‌کند.

متغیرهای تصمیم مورد استفاده به شرح زیرند:

۱- دبی کانال‌های فرعی (Q_i)

۲- مدت زمان بهره‌برداری از کانال‌های فرعی (T_i^*)

الگوریتم مدل تابع جریان

در شکل ۲، الگوریتم مدل تابع جریان به منظور محاسبه تابع هدف به شکل خلاصه آورده شده است. بخش‌هایی که در آنها مقادیر متغیر تصمیم تولید می‌شود با رنگ تیره نشان داده شده‌اند. در این روش، ابتدا یک مقدار برای دبی کانال‌های فرعی (Q_i) تولید می‌شود. پس از آن با توجه به

ابتدا مدل یک بار اجرا می‌شود و برای هر یک از اجزای تابع هدف مقدار بهینه به دست می‌آید و سپس هر یک از اجزای تابع هدف بر مقادیر بهینه به دست آمده خودشان تقسیم می‌شوند. در این مرحله، مدل مجدداً اجرا می‌شود تا مقادیر بهینه پارامترها به دست آیند. علامت هت بالاسر اجزای تابع هدف نشان‌دهنده بی‌بعد بودن این پارامترهاست.

$$Min FF = \bar{G} + \bar{Dis} + P(V,Z) \quad (۱)$$

که در آن،

G = تعداد تغییرات دریاچه سراب در کانال توزیع‌کننده. این پارامتر با توجه به هیدروگراف ورودی به کانال توزیع‌کننده تعیین می‌شود که از مدل به دست می‌آید. Dis = مسافت طی شده برای باز و بسته کردن دریاچه کانال‌ها. با توجه به زمان شروع آبیگری هر کانال فرعی و مدت زمانی که برای آبیگری طی می‌کند، زمان شروع و پایان آبیگری هر کانال به دست می‌آید. گفتنی است که با توجه به ترتیب آبیگری کانال‌ها، لازم است مسافتی برای باز و بسته کردن کانال‌ها طی شود. این مسافت را مدل محاسبه می‌کند. $P(V,Z)$ = برای آنکه مدل از قیده‌های مسئله تخطی نکند از تابع جریمه استفاده می‌شود. این تابع در رابطه ۲ نشان داده شده است. در این رابطه، β ضریبی است ثابت که با افزایش تخطی مقدار آن افزایش می‌یابد.

رابطه ۳ تخطی از b را برای متغیر a نشان می‌دهد.

برای تعیین مقدار Z نیز از رابطه ۴ استفاده می‌شود.

$$P(V,Z) = \beta VZ \quad (۲)$$

$$V = Max\left(\frac{a}{b} - 1.0\right) ; a \leq b \quad (۳)$$

نسبت به مدت زمان آبیگری، اندک است. بنابراین، اختلالات حجمی ایجاد شده در مقدار آب ورودی به کانال‌های فرعی نسبت به حجم آب ورودی قابل توجه نخواهد بود. همچنین، در مجاورت اغلب سازه‌های آبیگری، از سازه‌های تنظیم سطح آب استفاده می‌شود و در نتیجه سطح آب در ورودی کانال‌های توزیع‌کننده به کمک سازه‌های تنظیم جریان تنظیم می‌شود، از این رو با تغییر دبی جریان در کانال تغذیه کننده، تغییرات سطح آب بالادست آبیگری‌های فرعی کنترل می‌شود و بنابراین تأثیر تغییرات دبی کانال توزیع‌کننده روی کانال‌های فرعی جزئی است. گفتنی است که در تحقیقات دیگر محققان نیز تکیه بر همین فرضیات بوده است و محدودیت‌های ساختاری در مدل ارائه شده در این تحقیق و تحقیقات سایر محققان اجازه بررسی تأثیر تغییرات دبی کانال توزیع‌کننده بر دبی کانال‌های فرعی را نمی‌دهد.

ساختار الگوریتم ژنتیک

این روش بر اساس نظریه تکاملی داروین طراحی شده است. داروین نشان داد که انتخاب طبیعی باعث حذف گونه‌های نامناسب و موجب بقا و تکثیر گونه‌های مناسب می‌گردد. این روش با استفاده از شبیه‌سازی تابع هدف به صورت یک کروموزوم به جستجوی تصادفی در فضای مسئله می‌پردازد. در این حالت، دی‌ان‌ای کروموزوم‌ها نقش متغیرهای تصمیم را بازی می‌کنند. ابتدا تعدادی کروموزوم به طور تصادفی ایجاد می‌شود. پس از آن، کروموزوم‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند و نسل بعدی را به وجود می‌آورند. گزینه‌های مناسب‌تر (نه الزاماً بهتر)، از نسل بعدی استخراج می‌شوند و بار دیگر تولید نسل ادامه می‌یابد تا جواب مناسب به دست آید.

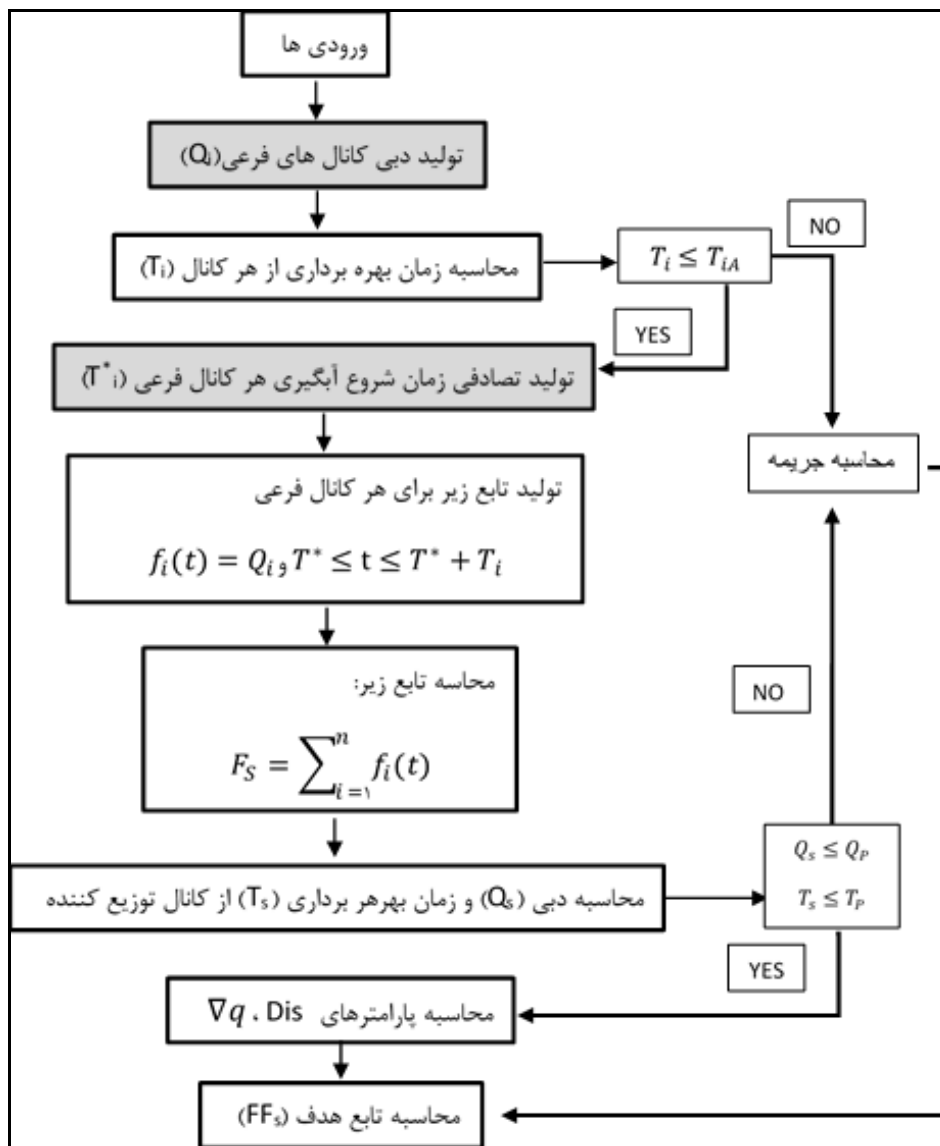
برای تولید نسل از روش‌های ترکیب و جهش استفاده می‌شود. در روش ترکیب، بخشی از ژن‌ها در دو کروموزوم والد با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند و فرزندان را به وجود

حجم آب مورد نیاز پایین دست، مدت زمان بهره‌برداری کانال‌های فرعی (T_i) محاسبه می‌شود. بنابراین، حجم آب مورد نیاز پایین دست ثابت می‌ماند ولی مقادیر دبی و زمان بهره‌برداری کانال‌های فرعی متغیر خواهد بود. اگر این پارامتر از مقدار طراحی آن بیشتر بود به تابع هدف جریمه اعمال می‌شود. پس از آن زمان شروع آبیگری هر یک از کانال‌های فرعی (T_i^*) به صورت تصادفی تولید می‌شود. در مرحله بعد، به ازای هر کانال فرعی تابعی تولید خواهد شد که رابطه آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در مرحله بعد، تمام تابع‌های تولید شده با یکدیگر جمع می‌شوند. تابع به دست آمده هیدروگراف ورودی به کانال توزیع‌کننده است. ماکزیمم هیدروگراف را دبی (Q_s) و طول هیدروگراف را زمان بهره‌برداری (T_s) کانال تغذیه‌کننده در نظر می‌گیریم.

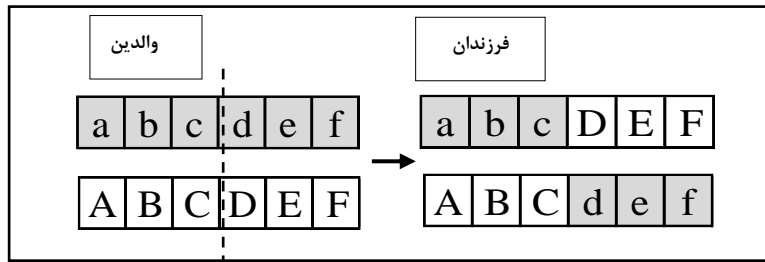
اگر مقادیر به دست آمده برای این پارامترها از مقدار طراحی آن بیشتر بود به تابع هدف جریمه اعمال می‌شود. زمان شروع آبیگری کانال‌ها را مدل تولید کرده است و زمان بهره‌برداری از کانال‌های فرعی را نیز با توجه به دبی تولید شده برای آنها مدل محاسبه می‌کند. سپس، زمان شروع و پایان آبیگری کانال‌های فرعی به دست می‌آید. با توجه به این دو پارامتر، ترتیب باز و بسته شدن کانال‌های فرعی را مدل محاسبه می‌کند. با توجه به ترتیب آبیگری کانال‌های فرعی، مسافت طی شده برای باز و بسته کردن آبیگریها (Dis) محاسبه می‌شود. در اینجا با محاسبه تابع هدف، نقش مدل به پایان می‌رسد. یادآوری می‌شود که به طور قطع تغییرات دبی در هیدروگراف ورودی به کانال توزیع‌کننده بر دبی ورودی به کانال‌های فرعی تأثیر می‌گذارد. اما نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که مدت زمان آبیگری کانال‌های فرعی نسبتاً طولانی اما فاصله زمانی بین شروع تغییرات تا رسیدن به شرایط تعادلی کوتاه است و در نتیجه مدت زمانی که آبیگریهای فرعی تحت تأثیر تغییر دبی کانال بالادست قرار می‌گیرند،

برخی از ژن‌ها در کروموزوم اولیه به روش‌های مختلف تغییر می‌کند و کروموزوم جدید را به‌وجود می‌آورند. در این تحقیق، با توجه به تعداد بالای متغیرهای تصمیم، از روش‌های جهش تک نقطه‌ای، دو و سه نقطه‌ای استفاده شده است. جهش تک‌نقطه‌ای در شکل ۳ نشان داده شده است.

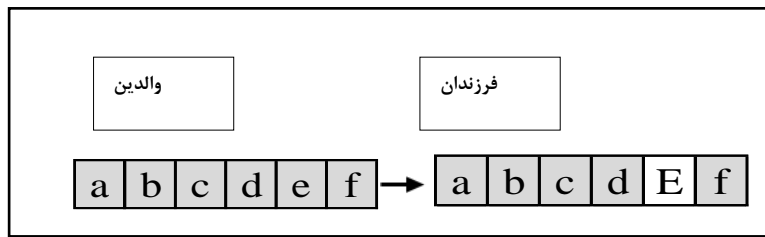
می‌آورند. روش‌های ترکیب ژن‌ها متفاوت است و در این تحقیق، برای ترکیب کروموزوم‌ها با یکدیگر از روش تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و یکنواخت استفاده شده است. روش ترکیب تک‌نقطه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین، برای رهایی از نقاط بهینه محلی در تولید نسل از پدیده جهش استفاده می‌شود. در پدیده جهش، مقادیر



شکل ۱- الگوریتم شبیه سازی توزیع جریان با استفاده از روش تابع جریان



شکل ۲- روش ترکیب تک‌نقطه‌ای برای تولید نسل بعد



شکل ۳- روش جهش برای تولید نسل بعد

منطقه مورد مطالعه

برای بررسی کارایی مدل تابع جریان، توزیع و تحویل جریان در کانال AMX از شبکه آبیاری ورامین با این مدل بهینه گردید. شبکه آبیاری ورامین در ۴۰ کیلومتری جنوب شرق تهران قرار دارد. کانال اصلی OABC این شبکه در قسمت اول به طول ۷۶۰۹ متر با ظرفیت ۳۲ متر مکعب در ثانیه فاقد هرگونه تاسیسات آبیاری است و به حوضچه تقسیم در نقطه A ختم می‌شود. از حوضچه تقسیم A، دو کانال AU و AMX و یک کانال انتقال ABC منشعب می‌شوند. کانال AMX با ظرفیت ۱۴ متر مکعب و با شیب ۰/۰۰۰۱۲ با مقطع دوزنقه‌ای و پوشش بتونی طراحی و اجرا شده است. شیب جانبی کانال ۱ عمودی به ۱/۵ افقی است. در این کانال، به‌منظور تنظیم سطح آب جهت تغذیه کانال‌های پایین‌دست، از سرریز نوک اردکی و برای آبیاری کانال‌های فرعی از دریچه‌های مدولار نیرپیک استفاده شده است. در جدول ۱، مشخصات کانال‌های تغذیه‌کننده از کانال AMX نشان داده شده است.

برای انتخاب والدین، از چرخه رولت استفاده می‌شود. در این روش والدین به‌نحوی انتخاب می‌شوند که احتمال انتخاب افراد نخبه برای تولید نسل بعد بیشتر می‌شود. به‌منظور رهایی از نقاط بهینه محلی چرخه رولت در دو حالت استفاده می‌شود. در حالت اول، این روش روی تمام جمعیت اعمال می‌گردد. در حالت دوم، بخشی از جمعیت به‌صورت تصادفی جدا و چرخه رولت روی آنها اعمال می‌شود (Moti-Ghader et al., 2010).

تعیین مقادیر مناسب برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک نقش موثری در دستیابی به جواب‌های بهینه توسط این الگوریتم دارد. این پارامترها عبارت‌اند از میزان ترکیب و جهش تعداد نسل اول و روش خاتمه مدل. میزان ترکیب و جهش نشان‌دهنده آن است که چه تعداد از فرزندان نسل بعد با روش ترکیب تولید می‌شوند و چه تعداد با روش جهش. به‌طور مشابه، روش خاتمه مدل نیز انواع مختلف دارد. می‌توان با دستیابی به جوابی مشخص مدل را خاتمه داد یا با گذشت زمان مشخص یا تعداد تکرار مشخص، مدل پایان یابد. در این تحقیق، مدل با رسیدن به یک تعداد تکرار مشخص پایان می‌یابد.

جدول ۱- مشخصات کانال‌های زیرمجموعه کانال AMX در دشت ورامین

شماره کانال فرعی	نام کانال فرعی	دبی طراحی کانال‌ها (لیتر بر ثانیه)	حجم آب تحویلی (متر مکعب)	فاصله آبیگرها از یکدیگر (متر)
۱	M1	۵۷۰	۵۰۶۸۸	۱۲۲۵
۲	M2	۷۵۰	۶۰۴۸۰	۱۴۱۴
۳	M3	۵۵۰	۴۷۵۲۰	۱۱۷۳
۴	M5	۵۰۰	۴۳۲۰۰	۱۱۱۸
۵	X2	۱۱۰۰	۹۰۷۲۰	۱۶۵۸
۶	X3	۷۵۰	۶۳۳۶۰	۱۴۱۴
۷	X4	۳۰۰	۲۷۲۱۶	۸۶۶
۸	X5	۲۰۶۰	۱۸۱۴۴۰	۲۳۴۵
۹	X6	۷۸۰	۶۸۵۴۴	۱۴۱۴
۱۰	X7	۴۲۰	۳۶۷۲۰	۱۰۶۱
۱۱	X8	۱۹۲۰	۱۶۹۹۲۰	۲۲۳۶

نتایج و بحث

الگوریتم ژنتیک بررسی شد و پارامترهای مناسب به‌منظور بهینه‌سازی مدل تابع جریان به‌دست آمد. مقادیر این پارامترها در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

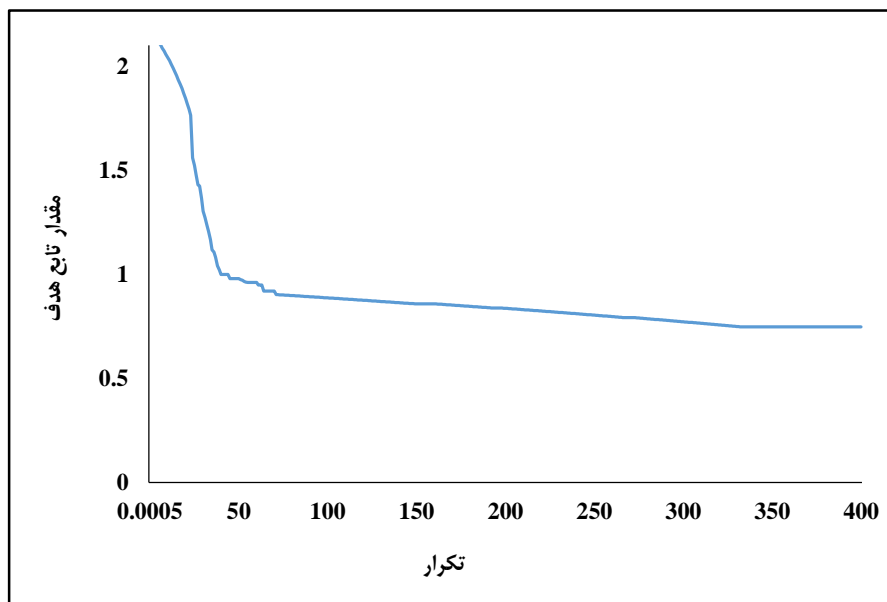
با توجه به تعداد متغیرهای تصمیم و فضای جواب مسئله تغییرات تابع هدف با مقادیر مختلف پارامترهای

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

پارامترهای الگوریتم ژنتیک	جمعیت اولیه	تعداد تکرار	میزان ترکیب	میزان جهش
مقدار	۷۰	۴۰۰	۰/۲	۰/۸

دارد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که تابع هدف در هر تکرار بهبود پیدا کرده و در تکرارهای انتهایی به مقدار بهینه رسیده است. همچنین دیده می‌شود که تغییرات تابع هدف در تکرارهای اولیه زیاد است ولی این تغییرات به مرور کمتر می‌شوند. دلیل این امر نیز جریمه‌های اعمال شده به دلیل تخطی از قیدهای مسئله در جواب‌های تولید شده در تکرارهای اولیه است. با بهتر شدن جواب‌ها در تکرارهای اولیه، مدل به جواب‌های بدون جریمه دست پیدا می‌کند و از آن به بعد تغییرات تابع هدف روند کندتری به خود می‌گیرد.

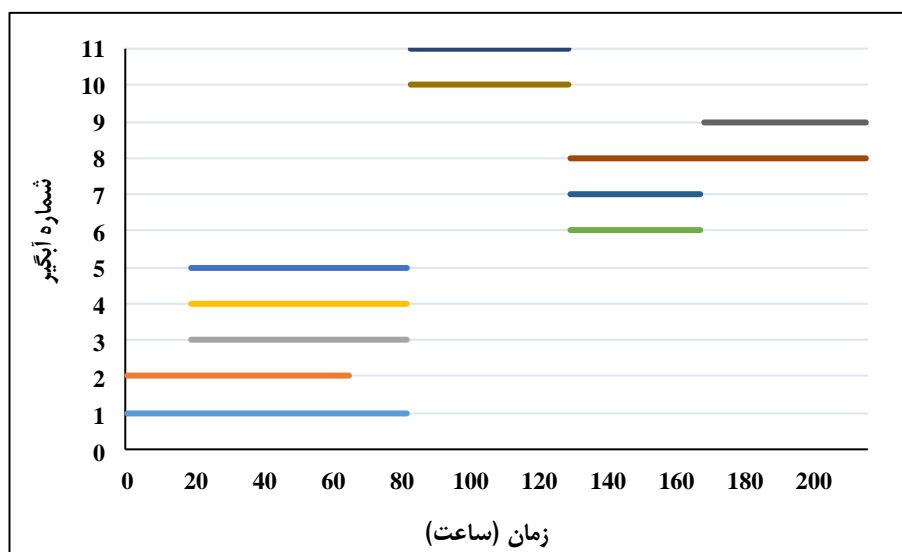
در شکل ۵، تغییرات تابع هدف نسبت به تعداد تکرار در الگوریتم ژنتیک در مدل تابع جریان نشان داده شده است. در این شکل، بهترین مقدار به‌دست آمده برای تابع هدف در هر تکرار نشان داده شده است. تغییرات تابع هدف در تکرارهای ابتدایی بسیار زیاد است ولی در تکرارهای انتهایی کمتر می‌شود، با این همه برای بهتر نشان دادن این تغییرات از نمودار نیمه لگاریتمی استفاده شده است. در شکل ۵، محور عمودی لگاریتم مقدار تابع هدف را نشان می‌دهد. در این شکل می‌بینیم که تابع هدف در روش تابع جریان روند کاهشی تقریباً یکنواختی



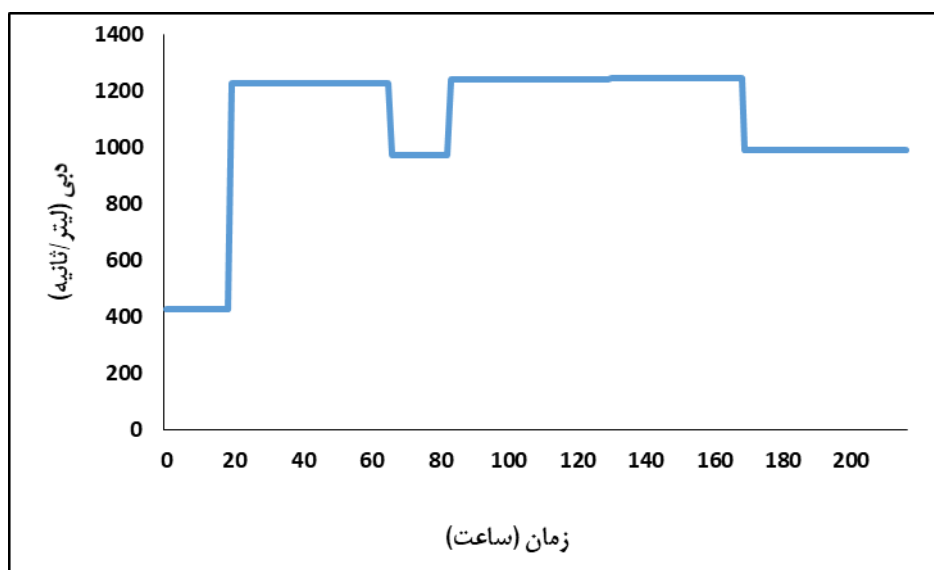
شکل ۴- تغییرات تابع هدف نسبت به تعداد تکرار

بهره‌برداری از آنها در جدول ۳ و مقادیر بهینه دبی و زمان بهره‌برداری کانال توزیع‌کننده و مسافت طی شده برای باز و بسته کردن کانال‌های فرعی و همچنین تعداد تنظیمات سراب در کانال توزیع‌کننده در جدول ۴ نشان داده شده است.

در شکل ۵، ترتیب آبیگری کانال‌های فرعی به‌دست‌آمده با مدل تابع جریان نشان داده شده است. از حاصل جمع دبی‌های کانال‌های فرعی طی زمان، هیدروگراف ورودی به کانال توزیع‌کننده به‌دست می‌آید (شکل ۶). مقادیر بهینه دبی کانال‌های فرعی و مدت زمان



شکل ۵- ترتیب آبیگری کانال‌های فرعی در روش تابع جریان



شکل ۶- هیدروگراف ورودی به کانال توزیع کننده

در جدول ۴، مقادیر بهینه تعداد تنظیم‌های سراب در کانال توزیع کننده، مسافت طی شده برای باز و بسته کردن کانال‌های فرعی، دبی و مدت زمان بهره‌برداری در کانال توزیع کننده نشان داده شده و با نتایج تحقیقات سایر محققان مقایسه شده است. نتایج جدول ۴ نشان‌دهنده آن است که تعداد تنظیم‌های سراب در تحقیق حاضر نسبت به نتایج ارائه شده در تحقیقات دیگر مناسب‌تر است. گفتنی است که مسافت طی شده که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است اما دیگر محققان مقداری برای آن گزارش نداده‌اند. منعم و نامداریان (Monem & Namdarian, 2005) با استفاده از الگوریتم تبرید (SA)، کاکویی و عمادی (Kakooi & Emadi, 2013) با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان (ACS) و منعم و نوری (Monem & Noori, 2010) با استفاده از الگوریتم هوش جمعی (PSO) توزیع جریان در کانال AMX را بهینه‌سازی کرده‌اند. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان می‌دهد که در مقایسه با نتایج تحقیقات منعم و نامداریان (Monem & Namdarian, 2005) و منعم و نوری (Monem & Noori, 2010)، در مدل حاضر مقادیر بهتری برای دبی و مدت زمان بهره‌برداری به‌دست آمده است.

با مقایسه ترتیب آبیاری انشعاب‌ها در شکل ۶، دیده می‌شود که مدل تابع جریان به گونه‌ای ترتیب آبیاری را به‌دست می‌دهد که در آن آبیگرهایی که از لحاظ مکانی نزدیک به یکدیگرند غالباً از لحاظ زمانی نیز نزدیک به یکدیگر آبیگری می‌شوند. این امر باعث می‌شود برای باز و بسته کردن دریاچه کانال‌های فرعی مسافت کمتری طی شود. با توجه به اینکه یکی از اهداف مدل ارائه شده در این تحقیق حداقل‌سازی مسافت طی شده برای بهره‌برداری از کانال‌هاست این امر نشان می‌دهد که نتایج حاصل از اجرای مدل قابل قبول است. با توجه به شکل ۶، آبیگرهای شماره ۱ تا ۵ تقریباً همزمان، آبیگرهای ۶ تا ۹ و آبیگرهای ۱۰ و ۱۱ نیز تقریباً به‌صورت همزمان آبیگری می‌شوند. شکل ۷ نشان می‌دهد که تغییرات هیدروگراف به‌دست آمده با روش تابع جریان در دوره بهره‌برداری اندک است. این موضوع به این معناست که تعداد دفعات تغییر دبی در کانال توزیع کننده کم است. بنابراین، دریاچه سراب در کانال توزیع کننده نیاز به تنظیمات کمتری دارد. همچنین، این امر منجر به حداکثر استفاده از مدت زمان بهره‌برداری کانال توزیع کننده و کاهش دبی ماکزیمم هیدروگراف می‌گردد.

کاربرد مدل تابع جریان در بهینه‌سازی نیروی...

همچنین در مقایسه با تحقیق کاکویی و عمادی (Kakooi & Emadi, 2013)، دبی به‌دست آمده در این تحقیق بیشتر ولی زمان بهره برداری کمتری به‌دست آمده است.

جدول ۳- پارامترهای بهینه به‌دست آمده برای کانال‌های فرعی

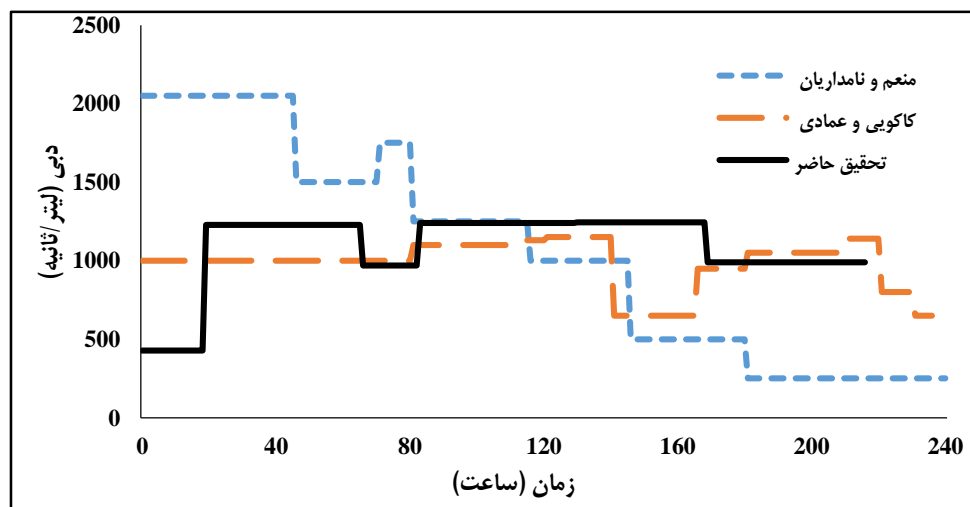
روش تابع جریان				
شماره کانال	دبی (متر مکعب)	مدت زمان آبیگری (ساعت)	زمان شروع آبیگری (ساعت)	زمان پایان آبیگری (ساعت)
۱	۵۲۳	۸۲	۰	۸۲
۲	۶۸۹	۶۵	۰	۶۵
۳	۱۶۸	۶۳	۱۹	۸۲
۴	۲۸۶	۶۳	۱۹	۸۲
۵	۲۷۶	۶۳	۱۹	۸۲
۶	۴۲۹	۳۸	۱۳۰	۱۶۸
۷	۱۲۶	۳۸	۱۳۰	۱۶۸
۸	۹۱۶	۸۶	۱۳۰	۲۱۶
۹	۳۵۹	۴۷	۱۶۹	۲۱۶
۱۰	۱۷۹	۴۶	۸۳	۱۲۹
۱۱	۹۶۳	۴۶	۸۳	۱۲۹

جدول ۴- مقایسه مقادیر به‌دست آمده برای پارامترهای کانال توزیع کننده در این تحقیق و تحقیقات دیگر

شرح	تحقیق حاضر	منعم و نامداریان (Monem & Namdarian, 2005)	کاکویی و عمادی (Kakooi & Emadi, 2013)	منعم و نوری (Monem & Noori, 2010)
مسافت طی شده برای بهره برداری از کانال‌ها (متر)	۳۷۵۲۶	-	-	-
تعداد تغییرات سراب در کانال توزیع کننده	۷	۸	۱۰	۱۱
دبی کانال توزیع کننده (لیتر بر ثانیه)	۱۲۴۴	۲۰۵۰	۱۱۵۰	۱۶۴۰
مدت زمان بهره برداری از کانال توزیع کننده (ساعت)	۲۱۶	۲۴۰	۲۳۶	۲۳۶

در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که هیدروگراف به‌دست آمده در این تحقیق روندی یکنواخت‌تر دارد و در نتیجه تغییرات دبی در محدوده کمتری به وقوع می‌پیوندد.

برای مقایسه بهتر نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با تحقیقات گذشته، هیدروگراف ورودی به کانال توزیع کننده به‌دست آمده در این تحقیق و تحقیق منعم و نامداریان (Monem & Namdarian, 2005) و کاکویی و عمادی (Kakooi & Emadi, 2013)



شکل ۷- مقایسه هیدروگراف به دست آمده در این تحقیق با نتایج تحقیقات دیگر محققان

مدل تهیه شده در این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که در مجموع مدل تابع جریان، نسبت به سایر مدل‌های ارائه شده، برای شبیه‌سازی توزیع و تحویل جریان از جمله مدل بلوک آبیاری عملکرد بهتری دارد ضمن اینکه با استفاده از این مدل می‌توان پارامترهای بیشتری را نیز بهینه کرد. هیدروگراف ورودی به کانال توزیع کننده به دست آمده از این مدل تغییرات کم و روند نسبتاً یکنواختی دارد و دبی و مدت زمان بهره‌برداری از کانال‌های فرعی به نحوی با مدل تعیین می‌گردد که آبیگری آبیگرهای نزدیک به هم تا حد ممکن همزمان باشد که بدین طریق مسافت طی شده به منظور باز و بسته کردن آنها به حداقل ممکن خود برسد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از مدل تابع جریان توزیع جریان در شبکه‌های آبیاری با رویکرد بهینه‌سازی مسافت طی شده به منظور باز و بسته کردن دریاچه کانال‌ها جهت آبیگری و همچنین تعداد تنظیم‌های دریاچه سراب کانال توزیع کننده، شبیه‌سازی گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل تابع جریان برای شبیه‌سازی توزیع و تحویل جریان در شبکه‌های آبیاری کارایی مناسبی دارد. با استفاده از این مدل می‌توان برنامه آبیاری را به نحوی تنظیم کرد که علاوه بر بهینه کردن دبی و مدت زمان بهره‌برداری از کانال‌ها، مسافت طی شده برای باز و بسته کردن کانال‌ها و همچنین تعداد تنظیمات سراب در کانال توزیع کننده نیز بهینه شود. مقایسه نتایج به دست آمده از

مراجع

- Anil, W. P., Yogesh, P. M. and Komar, R. 2013. Optimal water scheduling canal network using particle swarm optimization. *Irrig. Drain.* 62, 135-144.
- Anwar, A. and Clarke, D. 2001. Irrigation scheduling using mixed-integer linear programming. *J. Irrig. Drain. Eng.* 127(2): 63-69.
- Kakooi, S. and Emadi, A. R. 2013. Optimal water delivery and distribution in AMX canal of Varamin irrigation network using ACS algorithm. *Iranian Water Res. J.* 13, 51-58. (in Persian)

- Kanooni, A. and Monem, M. J. 2014. Integrated stepwise approach for optimal water allocation in irrigation canals. *Irrig. Drain.* 63, 12-21.
- Kanooni, A. 2013. Development of an integrated optimal water allocation and distribution model at different levels of irrigation networks. Ph. D. Thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. Tehran, Iran. (in Persian)
- Monem, M. J. and Namdarian, R. 2005. Application of simulated annealing (SA) techniques for optimal water distribution in irrigation canals. *Irrig. Drain.* 54, 365-373.
- Monem, M. J. and Nouri, M. A. 2010. Application of PSO method for optimal water delivery in irrigation networks. *Iranian J. Irrig. Drain.* 1(4): 73-82. (in Persian)
- Moti-Ghader, H., Lotfi, S. H. and Seyyed-Asfahlan, M. 2010. An Overview of Some Intelligent Optimization Method. Islamic Azad University Press. Shabestar, Iran. (in Persian)
- Reddy, J. M., Wilamowski, B. and Sharmasarkar, F. C. 1999. Optimal scheduling irrigation for lateral canals. *ICID J. Irrig. Drain.* 48, 1- 12.
- Sothea, H., Pierreo, M., Gilles, B. and Cyril, G. 2012. Optimization of irrigation scheduling for complex water distribution using mixed integer quadratic programming (MIPQ). Proceeding of the International Conference on Hydroinformatics. July 14-18. Hamburg, Germany.
- Suryavanshi, A. R. and Reddy, J. M. 1986. Optimal operation scheduling of irrigation distribution system. *Agr. Water Manage.* 11, 23-30.
- Wang, Z. R., Mohan, J. and Feyan, J. 1995. Improved 0-1 programming model for optimal flow scheduling in irrigation canals. *J. Irrig. Drain. Sys.* 9, 105-116.
- Zia, U. H. and Anvar, A. 2010. Irrigation scheduling with genetic algorithms. *J. Irrig. Drain. Eng.* 136, 704-714.

Application of Flow Function Model in Optimization of Human Resources for Operation of Irrigation Networks

M. Bazaz and E. Amiri-Tokaldany*

* Corresponding Author: Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran.
Email: amiri@ut.ac.ir

Received: 3 September 2017, Accepted: 9 January 2018

In this research, distribution of flow in irrigation networks with the aim of optimizing the covered distance to open and close the gates for irrigation, as well as the regulation number of control gates inside distributor channel was investigated. In order to simulate the flow distribution, flow function model was used because it simulates the flow distribution by considering the existing restrictions in irrigation networks such as canal flow capacity and the operation time, there is possibility to provide optimized irrigation planning. The optimization was carried out using Genetic Algorithm and in order to verify the performance of the provided model, the flow distribution in AMX canal of Varamin Irrigation Network was simulated and the optimized value of the relevant parameters was determined. According to the results obtained from the model, it was found that to achieve optimized irrigation planning, the number of regulation gates in distributor canal could be reduced to 7, while the covered distance for opening and closing the gates, the discharge of main canal, and the operation time of the canal should be 37526 m, 1244 litre per second, and 216 respectively. Comparing the results with those provided from previous researches showed that the model presented in this research can be used as a powerful tool for modelling some functions of the flow distribution in irrigation networks.

Key words: Flow Distribution, Flow Function Based Model, Gate Regulation, Operation Time, Optimized Irrigation Planning