تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۹/ شماره ۷۲/ پاییز ۱۳۹۷/ص ۱۰۰-۸۷

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

محمد بزاز[۱] و ابراهیم امیری‌تکلدانی[۲*]

۱ و ۲- به‌ترتیب: 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 آبگیری و هم‌چنین تعداد تنظیم‌های دریچهٔ سراب کانال توزیع‌کننده بررسی شد. برای شبیه‌سازی توزیع جریان در شبکهٔ 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 به‌صورت بهینه ارائه داد. مدل تهیه‌شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شد و برای بررسی کارایی مدل، توزیع جریان در کانال AMX در شبکهٔ آبیاری دشت ورامین شبیه‌سازی شد و مقادیر بهینهٔ پارامترها تعیین گردید. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان می‌دهد که تعداد دفعات بهینه برای تنظیم دریچه‌های آبگیری در کانال‌های توزیع‌کننده ۷ است که بدین‌ترتیب مسافت طی‌شده برای باز و بسته کردن آنها ۳۷۵۲۶ متر، مدت زمان بهره‌برداری ۲۱۶ ساعت و دبی کانال اصلی ۱۲۴۴ لیتر به‌دست آمده است. با مقایسهٔ نتایج این تحقیق با تحقیقات گذشته می‌توان نتیجه گرفت که مدل معرفی‌شده که بر اساس مدل تابع جریان ارائه شده می‌تواند ابزاری توانمند برای مدل‌سازی توزیع جریان باشد.

واژه‌های کلیدی

برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب، بهره‌برداری سازه‌های آبگیر، توزیع جریان، مدت زمان بهره برداری، مدل تابع جریان

مقدمه

با وجود احداث شبکه‌های مدرن آبیاری در اکثر کشورهای جهان، مطالعات دربارهٔ عملکرد شبکه‌های آبیاری، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، حاکی از دست نیافتن به بازده مورد انتظار آنهاست که عمدتا 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 به‌تبع آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی است، به‌طوری‌که در هر کانال آبیاری مقدار آب تحویلی به اراضی پایین‌دست 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

* نگارنده مسئول: amiri@ut.ac.ir

http://doi: 10.22092/idser.2018.115322.1253

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 به‌عهدهٔ 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 استفادهٔ 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 توسعهٔ مدل برنامه‌ریزی صفر و یک آن را 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 برنامهٔ تحویل 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 همزمانِ 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 مسئلهٔ 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

در حل مسئلهٔ توزیع و تحول آب در شبکه‌های آبیاری دارد. آنیل و همکاران (Anil *et al.*, 2013) با استفاده از الگوریتم هوش جمعی مسئلهٔ بهینه‌سازی توزیع و تحویل آب را در شبکه‌های آبیاری حل کردند و نتیجه گرفتند که با توجه به فرمول‌بندی در مدل بهینه‌سازی، هیدروگراف کانال اصلی در زمان بهره‌برداری مقدار تقریبا ثابتی به خود می‌گیرد. بدین معنا که پارامترهای توزیع و تحویل جریان به نحوی تعیین شده است که دبی کانال توزیع‌کننده در زمان تغذیهٔ کانال‌های پایین‌دست 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 شبکهٔ 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 بسته‌کردن کانال‌های فرعی و همچنین تعداد تنظیمات سراب به عنوان پارامترهای بهره‌برداری، بهینه گردیده‌اند. متفاوت بودن متغیرهای تصمیم به‌کارگرفته 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.

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 نقطهٔ شروع حرکت بهره‌بردار از ابتدای کانال توزیع‌کننده 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 توزیع‌کننده به‌دست می‌آید و با نتایج تحقیقات محققان دیگر مقایسه خواهد شد. ورودی‌های مدل، تابع هدف، قیدهای مسئله و متغیرهای تصمیم به‌شرح زیرند.

- Q_{iA}: دبی طراحی کانال‌های فرعی
- Q_P: دبی طراحی کانال تغذیه‌کننده
- T_{iA}: مدت زمان بهره‌برداری طراحی کانال‌های فرعی
- T_P: مدت زمان بهره‌برداری طراحی کانال تغذیه‌کننده
- n: تعداد کانال‌های فرعی
- V_i: حجم آب مورد نیاز پایین‌دست هر آبگیر
- dis_{ij}: فاصلهٔ آبگیرها از یکدیگر

تابع هدف

رابطهٔ ۱ تابع هدف مورد استفاده را نشان می‌دهد. از آنجا که اجزای تابع هدف از یک بعد نیستند برای جمع‌کردن آنها با یکدیگر باید بی‌بعد شوند. بدین منظور،

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

$$Min\ FF = \hat{G} + \widehat{Dis} + P(V.Z) \quad (۱)$$

که در آن،

G= تعداد تغییرات دریچهٔ سراب در کانال توزیع‌کننده. این پارامتر با توجه به هیدروگراف ورودی به کانال توزیع‌کننده تعیین می‌شود که از مدل به‌دست می‌آید. Dis= مسافت طی شده برای باز و بسته کردن دریچه کانال‌ها. با توجه به زمان شروع آبگیری هر کانال فرعی و مدت زمانی که برای آبگیری طی می‌کند، زمان شروع و پایان آبگیری هر کانال به‌دست می‌آید. گفتنی است که با توجه به ترتیب آبگیری 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 قیدهای مسئله تخطی نکند از تابع جریمه استفاده می‌شود. این تابع در رابطهٔ ۲ نشان داده شده است. در این رابطه، β ضریبی است ثابت که با افزایش تخطی مقدار آن افزایش می‌یابد.

رابطهٔ ۳ تخطی از b را برای متغیر a نشان می‌دهد. برای تعیین مقدار Z نیز از رابطهٔ ۴ استفاده می‌شود.

$$P(V.Z) = \beta VZ \quad (۲)$$

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

$$Z = \widehat{Q_s} + \widehat{T_s} + \widehat{dis} + \widehat{\nabla q} \quad (۴)$$

قیدهای مسئله

قیدها به‌نحوی تعریف شده‌اند که مقادیر دبی و زمان بهره‌برداری کانال‌ها که مدل تولید می‌کند از مقادیر طراحی آنها تجاوز نکند. این قیدها در رابطه‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده‌اند.

$$Q_i \le Q_{iA} \quad (۵)$$

$$Q_s \le Q_P \quad (۶)$$

$$T_i \le T_{iA} \quad (۷)$$

$$T_s \le T_P \quad (۸)$$

که در آنها،

Q_i= دبی تولید شده در مدل برای کانال‌های فرعی؛ Q_s= دبی کانال تغذیه‌کننده که مدل آن را محاسبه می‌کند؛ Ti= مدت زمان بهره‌برداری به‌دست آمده از مدل برای کانال‌های فرعی؛ و TS= 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 به‌منظور محاسبهٔ 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

حجم آب مورد نیاز پایین‌دست، مدت زمان بهره‌برداری کانال‌های فرعی (T_i) محاسبه می‌شود. بنابراین، حجم آب مورد نیاز پایین‌دست 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 آبگیری هر یک از کانال‌های فرعی (T^*_i) به‌صورت تصادفی تولید می‌شود. در مرحلهٔ بعد، به‌ازای هر کانال فرعی تابعی تولید خواهد شد که رابطهٔ آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در مرحلهٔ بعد، تمام تابع‌های تولید شده با یکدیگر جمع می‌شوند. تابع به‌دست 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.

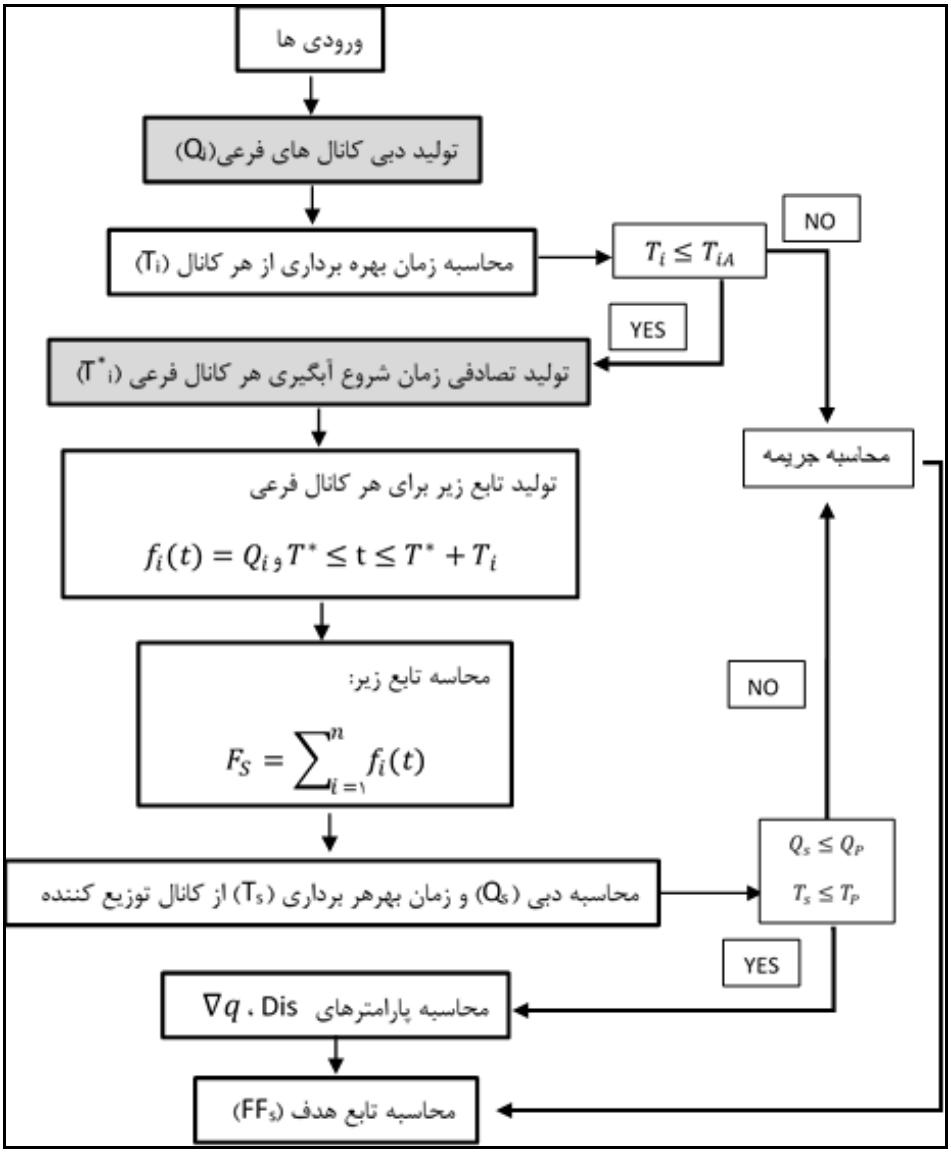
اگر مقادیر به‌دست آمده برای این پارامترها از مقدار طراحی آن بیشتر بود به تابع هدف جریمه اعمال می‌شود. زمان شروع آبگیری کانال‌ها را مدل تولید کرده است و زمان بهره‌برداری از کانال‌های فرعی را نیز با توجه به دبی تولید شده برای آنها مدل محاسبه می‌کند. سپس، زمان شروع و پایان آبگیری کانال‌های فرعی به‌دست می‌آید. با توجه به این دو پارامتر، ترتیب باز و بسته شدن کانال‌های فرعی را مدل محاسبه می‌کند. با توجه به ترتیب آبگیری کانال‌های فرعی، مسافت طی شده برای باز و بسته کردن آبگیرها (Dis) محاسبه می‌شود. در اینجا با محاسبهٔ تابع هدف، نقش مدل به پایان می‌رسد. یادآوری می‌شود که به‌طور 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 آبگیری کانال‌های فرعی نسبتا طولانی اما فاصلهٔ زمانی بین شروع تغییرات تا رسیدن به شرایط تعادلی کوتاه است و در نتیجه مدت زمانی که آبگیرهای فرعی تحت تاثیر تغییر دبی کانال بالادست قرار می‌گیرند، نسبت به مدت زمان آبگیری، 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 آبگیری، 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 آبگیرهای فرعی کنترل می‌شود و بنابراین تأثیر تغییرات دبی کانال توزیع‌کننده روی کانال‌های فرعی جزیی 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 اجازهٔ بررسی تاثیر تغییرات دبی کانال توزیع‌کننده بر دبی کانال‌های فرعی را نمی‌دهد.

ساختار الگوریتم ژنتیک

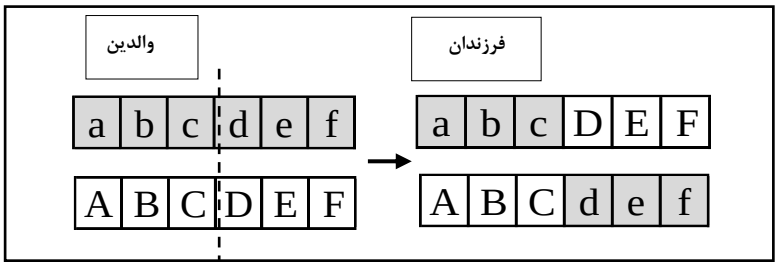
این روش بر اساس نظریهٔ تکاملی داروین طراحی شده است. داروین نشان داد که انتخاب طبیعی باعث حذف گونه‌های نامناسب و موجب بقا و تکثیر گونه‌های مناسب می‌گردد. این روش با استفاده از شبیه‌سازی تابع هدف به‌صورت یک کروموزوم به جستجوی تصادفی در فضای مسئله می‌پردازد. در این حالت، دی‌ان‌ای کروموزوم‌ها نقش متغیرهای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

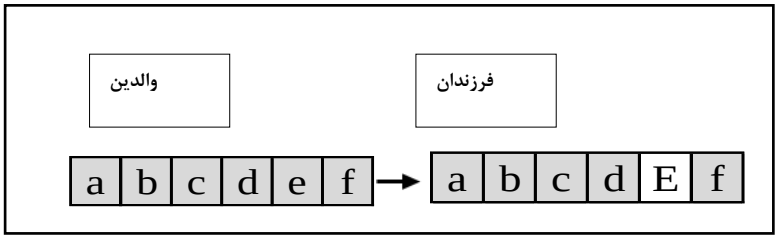
می‌آورند. روش‌های ترکیب ژن‌ها متفاوت است و در این تحقیق، برای ترکیب کروموزوم‌ها با یکدیگر از روش تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و یکنواخت استفاده شده است. روش ترکیب تک‌نقطه ای در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین، برای رهایی از نقاط بهینهٔ محلی در تولید نسل از پدیدهٔ جهش استفاده می‌شود. در پدیدهٔ جهش، مقادیر برخی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



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

برای انتخاب والدین، از چرخهٔ 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 چرخهٔ رولت در دو حالت استفاده می‌شود. در حالت اول، این روش روی تمام جمعیت اعمال می‌گردد. در حالت دوم، بخشی از جمعت به‌صورت تصادفی جدا و چرخهٔ 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 نفرات نسل اول و روش خاتمهٔ مدل. میزان ترکیب و جهش نشان‌دهندهٔ 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.

منطقهٔ مورد مطالعه

برای بررسی کارایی مدل تابع جریان، توزیع و تحویل جریان در کانال AMX از شبکهٔ آبیاری ورامین با این مدل بهینه گردید. شبکهٔ 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 آبگیری است و به حوضچهٔ تقسیم در نقطهٔ 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 ذوزنقه‌ای 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 تغذیهٔ کانال‌های پایین‌دست، از سرریز نوک اردکی و برای آبگیری کانال‌های فرعی از دریچه‌های مدولار نیرپیک استفاده شده است. در جدول ۱، مشخصات کانال‌های تغذیه‌کننده از کانال AMX نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات کانال‌های زیرمجموعه کانال AMX در دشت ورامین

شمارهٔ کانال فرعی	نام کانال فرعی	دبی طراحی کانال‌ها (لیتر بر ثانیه)	حجم آب تحویلی (متر مکعب)	فاصلهٔ آبگیرها 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

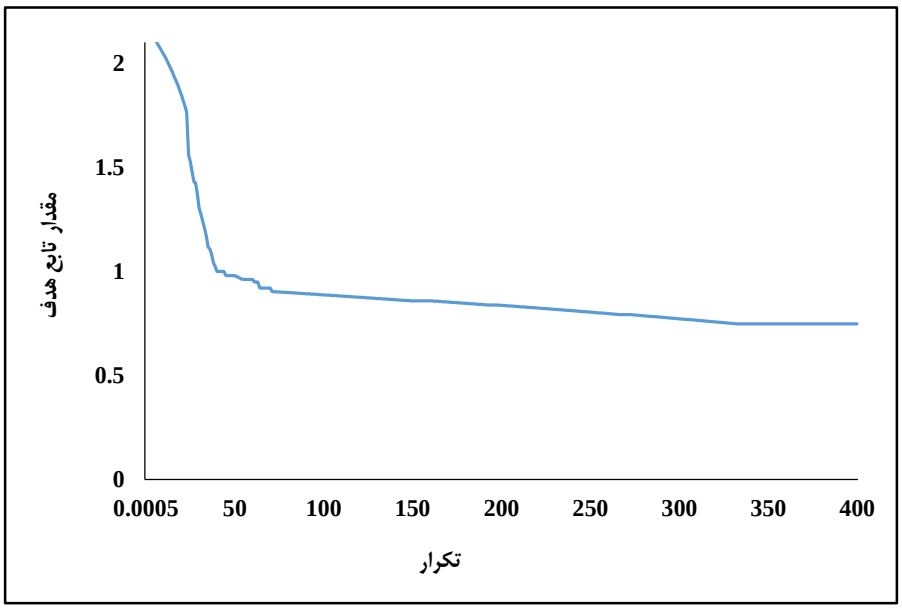
نتایج و بحث

با توجه به تعداد متغیرهای تصمیم و فضای جواب مسئله تغییرات تابع هدف با مقادیر مختلف پارامترهای الگوریتم ژنتیک بررسی شد و پارامترهای مناسب به‌منظور بهینه‌سازی مدل تابع جریان به‌دست آمد. مقادیر این پارامترها در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

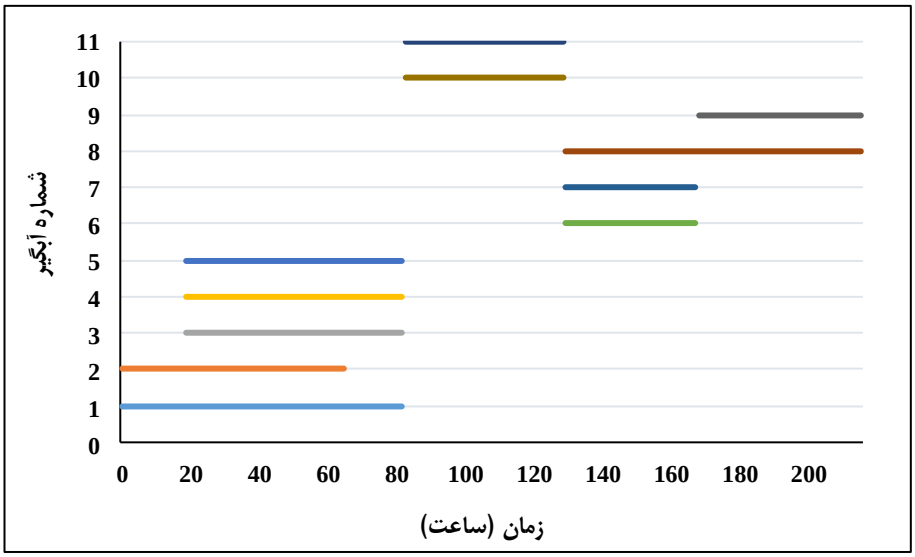
پارامترهای الگوریتم ژنتیک	جمعیت اولیه	تعداد تکرار	میزان ترکیب	میزان جهش
مقدار	۷۰	۴۰۰	۰/۲	۰/۸

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 نشان‌دادن 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 تقریبا یکنواختی دارد. این موضوع نشان‌دهندهٔ 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 بهترشدن 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.

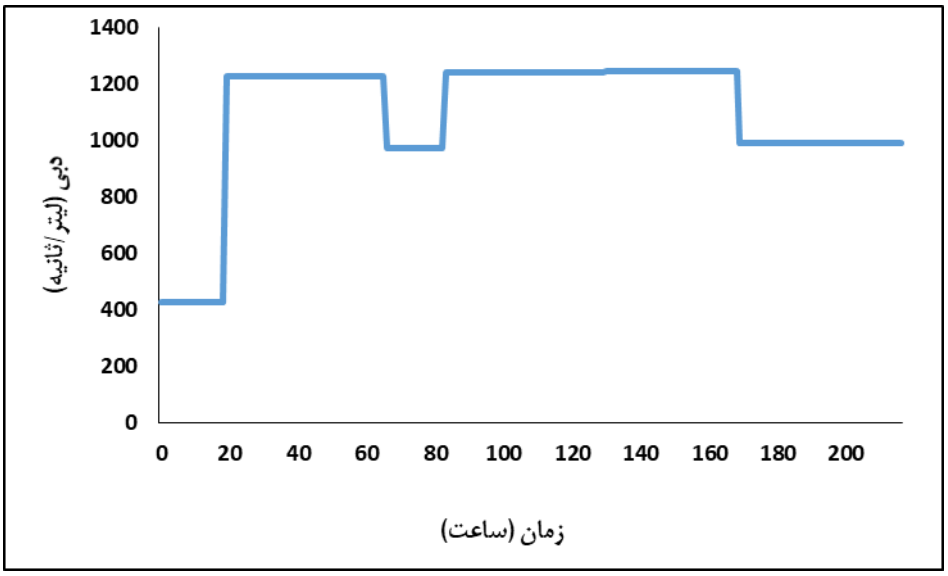


شکل ٤- تغییرات تابع هدف نسبت به تعداد تکرار

در شکل ۵، ترتیب آبگیری 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 بهینهٔ دبی کانال‌های فرعی و مدت زمان بهره‌برداری از آنها در جدول ۳ و مقادیر بهینهٔ دبی و زمان بهره‌برداری کانال توزیع‌کننده و مسافت طی‌شده برای باز و بسته کردن کانال‌های فرعی و همچنین تعداد تنظیمات سراب در کانال توزیع‌کننده در جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل ۵- ترتیب آبگیری کانال‌های فرعی در روش تابع جریان



شکل ٦- هیدروگراف ورودی به کانال توزیع‌کننده

با مقایسهٔ ترتیب آبگیری انشعاب‌ها در شکل ۶، دیده می‌شود که مدل تابع جریان به گونه‌ای ترتیب آبگیری را به‌دست می‌دهد که در آن آبگیرهایی که از لحاظ مکانی نزدیک به یکدیگرند غالبا از لحاظ زمانی نیز نزدیک به یکدیگر آبگیری می‌شوند. این امر باعث می‌شود برای باز و بسته کردن دریچه 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، آبگیرهای شمارهٔ ۱ تا ۵ تقریبا همزمان، آبگیرهای ۶ تا ۹ و آبگیرهای ۱۰ و ۱۱ نیز تقریبا به‌صورت همزمان آبگیری می‌شوند. شکل ۷ نشان می‌دهد که تغییرات هیدروگراف به‌دست آمده با روش تابع جریان در دورهٔ بهره‌برداری اندک است. این موضوع به این معناست که تعداد دفعات تغییر دبی در کانال توزیع‌کننده کم است. بنابراین، دریچهٔ سراب در کانال توزیع‌کننده نیاز به تنظیمات کمتری دارد. همچنین، این امر منجر به حداکثر استفاده از مدت زمان بهره‌برداری کانال توزیع‌کننده و کاهش دبی ماکزیمم هیدروگراف می‌گردد.

در جدول ۴، مقادیر بهینه تعداد تنظیم‌های سراب در کانال توزیع‌کننده، مسافت طی شده برای باز و بسته کردن کانال‌های فرعی، دبی و مدت زمان بهره‌برداری در کانال توزیع‌کننده نشان داده شده و با نتایج تحقیقات سایر محققان مقایسه شده است. نتایج جدول ۴ نشان‌دهندهٔ آن است که تعداد تنظیم‌های سراب در تحقیق حاضر نسبت به نتایج ارائه شده در تحقیقات دیگر مناسبت‌تر 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.

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.

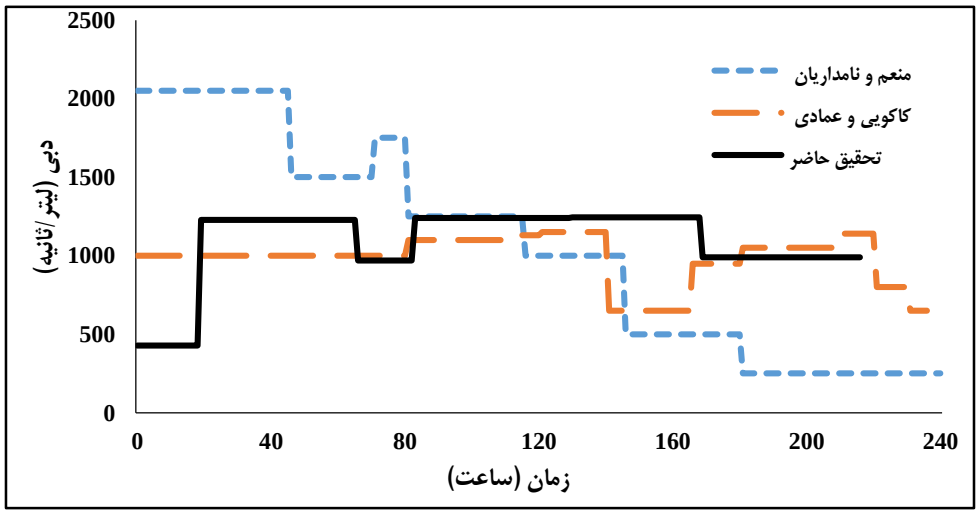
جدول ۳- پارامترهای بهینه به‌دست آمده برای کانال‌های فرعی

شمارهٔ کانال	روش تابع جریان			
	دبی (متر مکعب)	مدت زمان آبگیری (ساعت)	زمان شروع آبگیری (ساعت)	زمان پایان آبگیری (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 ٤- مقایسهٔ مقادیر به‌دست آمده برای پارامترهای کانال توزیع‌کننده 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 توزیع‌کننده	۷	۸	۱۰	۱۱
دبی کانال توزیع‌کننده (لیتر بر ثانیه)	۱۲۴۴	۲۰۵۰	۱۱۵۰	۱۶۴۰
مدت زمان بهره برداری از کانال توزیع‌کننده (ساعت)	۲۱۶	۲۴۰	۲۳۶	۲۳۶

برای مقایسهٔ 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)) 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 محدودهٔ کمتری به وقوع می‌پیوندد.



شکل ۷- مقایسهٔ هیدروگراف به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج تحقیقات دیگر محققان

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از مدل تابع جریان توزیع جریان در شبکه‌های آبیاری با رویکرد بهینه‌سازی مسافت طی‌شده به‌منظور باز و بسته کردن دریچه کانال‌ها جهت آبگیری و همچنین تعداد تنظیم‌های دریچه سراب کانال توزیع‌کننده، شبیه‌سازی گردید. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل تابع جریان برای شبیه‌سازی توزیع و تحویل جریان در شبکه‌های آبیاری کارآیی مناسبی دارد. با استفاده از این مدل می‌توان برنامهٔ آبیاری را به‌نحوی 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 توزیع‌کننده نیز بهینه شود. مقایسهٔ نتایج به‌دست آمده از 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 توزیع‌کننده به‌دست آمده از این مدل تغییرات کم و روند نسبتا یکنواختی دارد و دبی و مدت زمان بهره‌برداری از کانال‌های فرعی به نحوی با مدل تعیین می‌گردد که آبگیری آبگیرهای 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.

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 programing 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.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.19/No.72/ Autumn 2018/P:87-100

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 distributer 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