DOI: http://dx.doi.org/10.22092/aridse.2017.109612
تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۷/ شماره ٦٧/سال ۱۳۹۵/ص ١٦-١
AERI

بهینه‌سازی برنامهٔ تخصیص آب در شبکهٔ آبیاری بیله‌وار با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مریم عمرانی و محمد مهدی حیدری*،**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. تلفن: ۳۸۳۲۳۷۲۷(۰۸۳)، پیام‌نگار: mm.heidari@razi.ac.ir

** به‌ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ و استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۰

چکیده

با افزایش جمعیت و محدود بودن منابع آبی، بهره‌برداری صحیح و مناسب از شبکه‌های آبیاری ضروری است. یکی از دلایل کاهش عملکرد شبکه‌های آبیاری، توزیع نامناسب آب در سطح اراضی و انشعاب‌هاست. با گسترش رایانه و روش‌های عددی، امکان توسعهٔ مدل‌های شبیه‌سازی جریان و بهینه‌سازی توزیع آب در شبکه‌های آبیاری فراهم شده است. در این پژوهش، از الگوریتم ژنتیک به‌منظور تهیهٔ برنامهٔ بهینهٔ توزیع آب در کانال BLMC شبکهٔ بیله‌وار واقع در استان کرمانشاه استفاده شده است. برنامهٔ تحویل و توزیع بهینه به‌صورت تک هدفی ارائه شد که شامل حداقل کردن اختلاف حجم آب تحویلی و آب مورد نیاز هر مزرعه است. در ابتدا با استفاده از تحلیل حساسیت، تأثیر پارامترها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک بر تابع هدف بررسی شد. مقدار بهینه برای تعداد نسل و اندازهٔ جمعیت به‌ترتیب ۲۵۰، ۲۰۰ و احتمال تلاقی و و احتمال جهش برای بهینه‌سازی توزیع آب به‌ترتیب ۹۰ و ۱ درصد تعیین شد. در حالتی‌که روشن و خاموش شدن پمپ مزارع هر ٢٤ ساعت یک بار اتفاق افتد، اختلاف حجم آب تحویلی و آب مورد نیاز کل مزارع شبکهٔ بیله‌وار برای دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد به‌ترتیب ۲۸۹۱۰ و ١٤١٣٠ مترمکعب است. همچنین، در این پژوهش تعدادی از شاخص‌های عملکرد هیدرولیکی شبکه برای برنامهٔ آبیاری ارائه شده توسط شرکت بهره‌بردار و برنامهٔ تهیه شده با الگوریتم ژنتیک محاسبه گردید. شاخص کفایت، راندمان و عدالت توزیع در کل شبکه برای برنامهٔ آبیاری ارائه شده توسط شرکت بهره بردار به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۷٦ و ۰/۰۷٦ و برای برنامهٔ تهیه شده با الگوریتم ژنتیک به‌ترتیب ۰/۹۸۵، ۰/۹۹ و ۰/۰۱ است. در اینجا برنامهٔ تهیه شده با الگوریتم ژنتیک دارای شاخص‌های عملکرد هیدرولیکی بهتری است.

واژه‌های کلیدی

الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی توزیع آب، شبکهٔ آبیاری بیله‌وار، مدل هیدرودینامیک FLDWAV

مقدمه

افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و بالا بردن راندمان مصرف آب از مهم‌ترین هدف‌های احداث و توسعهٔ شبکه های آبیاری است. در کشورهای در حال توسعه، به‌خصوص در ایران، عملکرد بهره‌برداری و توزیع آب در کشاورزی مطلوب نیست و با توجه به کمبود آب و خشکسالی‌های اخیر، بالابردن راندمان بهره‌برداری از شبکه های آبیاری ضروری است. تحویل و توزیع نامناسب آب به کانال‌ها و انشعاب‌ها و به‌تبع آن توزیع نامناسب آب در سطح اراضی کشاورزی سبب می‌شود تا میزان آب تحویلی به آبگیرها با نیاز واقعی آن مطابقت نداشته باشد و سبب کاهش عملکرد هیدرولیکی شبکه شود. راندمان پایین و مصرف بی‌رویهٔ آب در شبکه‌های آبیاری معمولا به کشاورزان و نبود امکانات نسبت داده می شود، اما مدیریت شبکه و برنامهٔ تحویل و توزیع آب که از سوی مدیران بهره‌برداری تهیه می‌شود نیز در این موضوع سهم قابل توجهی دارد. روش بهره‌برداری از کانال شامل عواملی مانند نوع، ترتیب و زمان بندی عملیات تنظیم سازه ها، حدود

تنظیمات سازه‌ها و نحوهٔ تنظیم جریان ورودی به شبکه است. بررسی کارایی و موفقیت روش بهره‌برداری شبکهٔ آبیاری با محاسبهٔ شاخص‌هایی مانند نسبت عملکرد تحویل، راندمان بهره‌برداری و شاخص‌های عملکرد هیدرولیکی امکان‌پذیر است که به انتخاب کاربر بستگی دارد (Monem & Shuurmans, 1992). اگر مقادیر واقعی این شاخص‌ها به مقدار ایده‌آل نزدیک باشد، برنامهٔ تحویل آب در شبکه مناسب است. به‌سخنی دیگر، مدیران بهره‌برداری از شبکه باید برنامهٔ تحویل و توزیع آب را طوری تعیین کنند که این شاخص‌ها به مقدار ایده‌آل نزدیک شود. به‌منظور تهیهٔ برنامهٔ بهره‌برداری مناسب آب در کانال‌های آبیاری می‌توان ترکیبی از شاخص‌های مورد نظر نسبت به مقدار ایده‌آل را به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفت و با رعایت قیدها و محدودیت‌ها آن را بهینه کرد.

تکنیک‌های بهینه‌سازی را می‌توان به دو دسته کلاسیک و غیرکلاسیک (هوشمند) تقسیم کرد. روش‌های کلاسیک مبتنی هستند بر حساب دیفرانسیل و مقدار نهایی تابع به کمک مشتقات آن پیدا می‌شود، بنابراین، تابع مورد نظر باید علاوه بر داشتن رابطهٔ صریح با متغیرهای تصمیم، پیوسته و مشتق‌پذیر نیز باشد. طولانی بودن مدت زمان اجرای برنامه و پیدا کردن نقاط بهینهٔ موضعی، به‌جای نقطهٔ بهینه سراسری، از دیگر معایب روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی است. روش‌های غیرکلاسیک در مسایلی که تابع هدف در آنها ناپیوسته یا مشتق‌ناپذیر است و نیز در مسائلی به‌کار گرفته می‌شوند که توابع آنها مشتق‌پذیر اما تعیین حد نهایی آن پیچیده است. در روش‌های هوشمند که الگوریتم ژنتیک یکی از آن روش‌هاست، نیاز به داشتن رابطهٔ صریح بین تابع هدف و متغیرهای تصمیم نیست و سرعت همگرایی بالایی برای رسیدن به نقطه بهینه سراسری دارند.

وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 1995) با توسعهٔ مدل برنامه‌ریزی صفر و یک، آن را روی کانال فنگ جیاشان در چین به‌کار بردند. برنامهٔ بهره‌برداری از کانال در این پژوهش به نحوی تعیین شد که ظرفیت کانال در آن حداقل باشد. دیویدسون و گولتر (Davidson & Goulter, 1995) در تحقیقی امکان استفاده از الگوریتم ژنتیک را برای ارائهٔ طرح خط سیر انشعاب‌های شبکهٔ توزیع بررسی کردند. کوچک‌زاده و همکاران (Kouchakzadeh *et al.*, 1999) با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS-POM شبکهٔ آبیاری قوری چای را شبیه‌سازی و سه سناریوی مختلف برای بهره‌برداری از آن را بررسی کردند و بر اساس شاخص‌های عملکرد هیدرولیکی شبکه، گزینهٔ مناسب را به‌دست آوردند. منعم و همکاران (Monem *et al.*, 2007) برای بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی شبکهٔ آبیاری فومنات در گیلان از روش بهینه‌سازی ژنتیک استفاده کردند و برنامهٔ بهینهٔ توزیع آب را ارائه دادند. منعم و نامداریان (Monem & Namdarian, 2005) با استفاده از روش بهینه‌سازی SA و تابع چند هدفه، مدلی برای توزیع بهینهٔ آب در کانال‌های آبیاری ارائه دادند و آن را در شبکهٔ آبیاری ورامین آزمودند. متور و همکاران (Mathur *et al.*, 2009) با استفاده از الگوریتم ژنتیک، برنامهٔ بهینهٔ توزیع آب را در کانال فنگ‌جیاشان چین ارائه و نتایج کار خود را با مدل وانگ مقایسه کردند. مدت زمان بهره‌برداری در هر دو روش ۳۳۶ ساعت و حداکثر ظرفیت کانال ۱/۸ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد.

منعم و نوری (Monem & Nouri, 2010) از روش بهینه‌سازی PSO برای توزیع بهینهٔ آب در کانال AMX از شبکهٔ ورامین استفاده و آن را با SA مقایسه کردند. نتایج تحقیقات این محققان نشان داد که ظرفیت کانال با استفاده از روش PSO، ۳۲۰ لیتر بر ثانیه کمتر از روش SA به‌دست می‌آید. کاکویی و عمادی (Kakooei & Emadi, 2013) با استفاده از روش الگوریتم جامعهٔ مورچگان برنامهٔ توزیع بهینهٔ آب در کانال MC شبکهٔ آبیاری البرز را تهیه کردند. مدل توسعه یافته برای سه گزینه متفاوت اجرا شد. در گزینهٔ اول هدف فقط کاهش

دبی مورد نیاز شبکه اما در گزینه‌های بعدی علاوه بر کاهش دبی، کاهش اختلاف حجم آب تحویلی و مورد نیاز و کاهش تعداد تنظیمات دریچهٔ سراب را مدنظر قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که حداکثر دبی مورد نیاز شبکه در گزینهٔ اول ۵۷۳/۳ لیتر بر ثانیه کمتر از حداکثر دبی مورد نیاز شبکه در گزینهٔ دوم و به‌میزان ۱۰۵/۳ لیتر بر ثانیه کمتر از حداکثر دبی مورد نیاز شبکه در گزینهٔ سوم است؛ این محققان در هر سه گزینه حداکثر دبی شبکه را از ظرفیت کنونی کانال MC کمتر به‌دست آوردند.

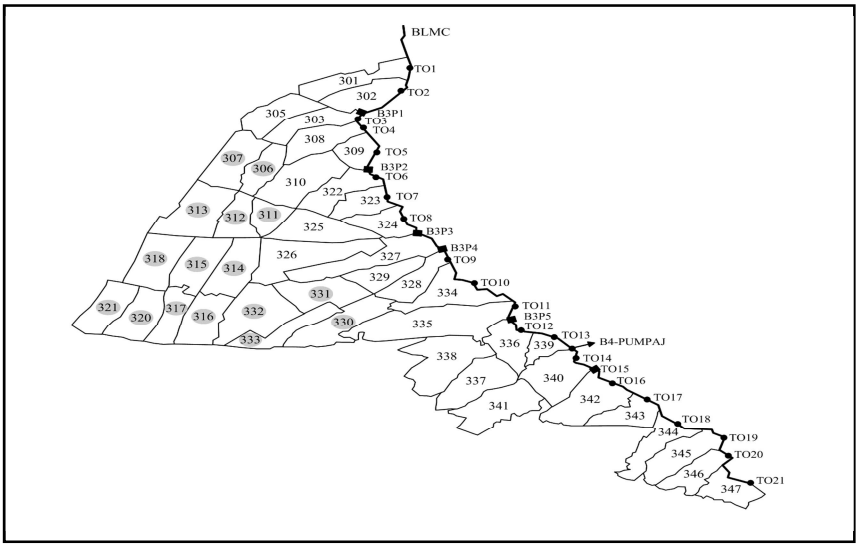
در تحقیق حاضر، برنامهٔ بهینهٔ توزیع و تحویل آب در کانال BLMC شبکهٔ آبیاری بیله‌وار بررسی شده است. با توجه به اهمیت توزیع آب در شبکهٔ آبیاری بیله وار و امکان بهره‌برداری مناسب از شبکه، به‌دلیل وجود شرکت بهره‌بردار در این منطقه، ارائهٔ برنامهٔ بهینهٔ تحویل آب برای این شبکه ضرروی خواهد بود. در این تحقیق، ابتدا یک مدل کامپیوتری با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل هیدرودینامیک FLDWAV به‌منظور ارائهٔ برنامهٔ بهینهٔ توزیع آب در کانال‌های آبیاری تدوین و پس از آن با استفاده از مدل، برنامهٔ توزیع آب در کانال BLMC دشت بیله‌وار تهیه شد.

مواد و روش‌ها

معرفی شبکهٔ آبیاری بیله‌وار

طرح گاوشان در دو استان کرمانشاه و کردستان و در دو حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ کرخه و سیروان قرار گرفته است. شبکهٔ آبیاری و زهکشی دشت بیله‌وار در قالب چهار ناحیهٔ عمرانی B1، B2، B3 و B4 و شامل دو رشته کانال اصلی BRMC و BLMC است. آب در واحدهای عمرانی B1 و B2 با کانال BRMC و در واحدهای عمرانی B3 و B4 با کانال BLMC انتقال می‌یابد. با توجه به قرار گرفتن شرکت بهره‌بردار در ناحیهٔ عمرانی B3 و B4 و نیازمندی شرکت به داشتن برنامهٔ تحویل و توزیع آب در هر دور آبیاری، کانال BLMC و نواحی مربوط برای تهیهٔ برنامهٔ بهره‌برداری بهینه در این تحقیق انتخاب شد. واحد عمرانی B3 به وسعت ۲۱۹۳ هکتار دارای ۴۵ واحد زراعی است که با سیستم بارانی آبیاری می‌شود. فشار مورد نیاز سیستم آبیاری بارانی ۲۹ واحد را ایستگاه پمپاژ تأمین می‌کند. در ۱۶ واحد دیگر، فشار مورد نیاز سیستم آبیاری بارانی به‌دلیل اختلاف ارتفاع کانال با مزارع، با نیروی ثقل تأمین می‌شود. سیستم آبیاری بارانی از نوع کلاسیک متحرک و دبی طراحی آبپاش‌ها ۳/۵۴ لیتر بر ثانیه است. واحد عمرانی B4 دارای یک ایستگاه پمپاژ متمرکز در فاصلهٔ ۸۶۶۶ متری از ابتدای کانال است که به‌صورت کاملا اتوماتیک کنترل می‌شود و ۱۰۵۰ هکتار زمین را با استفاده از سیستم بارانی آبیاری می‌کند. شکل ۱ موقعیت واحدهای زراعی B3، واحد عمرانی B4 و آبگیرهای کانال اصلی را نشان می‌دهد. گفتنی است که در واحدهای زراعی که شمارهٔ آنها در محدودهٔ خاکستری قرار دارد، فشار مورد نیاز آبپاش ها با نیروی ثقل تأمین می‌شود و نیز اینکه واحدهای زراعی ۳۰۴ و ۳۱۹ بعد از اجرای طرح زیر پوشش شبکه آبیاری قرار نگرفته‌اند.

در شبکهٔ آبیاری بیله وار تحویل آب به مزارع به‌صورت گردشی است. شرکت بهره‌بردار بر اساس شمارهٔ مزارع، دو گروه برای آبیاری ایجاد کرده است: مزارع دارای شمارهٔ زوج با هم و مزارع دارای شمارهٔ فرد همزمان آبیاری می‌شوند. شرکت بهره‌بردار با در نظر گرفتن دور آبیاری ۱۰ روز، حجم آب مورد نیاز را محاسبه و مدت زمان تحویل آب به مزارع را بر اساس دبی ایستگاه‌های پمپاژ و ظرفیت آبگیرهای ثقلی تعیین می‌کند (در هر ماه ۳ بار آبیاری در نظر گرفته می‌شود، شروع تحویل آب نیز از ۲۰ فروردین است). برای مثال، در دههٔ اول خرداد ماه، مزارع فرد ۵ روز با استفاده از دو پمپ و سپس مزارع زوج، ۵ روز بعد، هر دو به‌صورت پیوسته آبیاری می‌شوند.



شکل ۱- کانال اصلی BLMC شبکهٔ آبیاری بیله‌وار و موقعیت مزارع آن

در این تحقیق به‌منظور تهیهٔ برنامهٔ بهره‌برداری از کانال BLMC، ۲۴ بلوک آبیاری در نظر گرفته شد که هر بلوک دارای حداکثر دو مزرعه است. با در نظر گرفتن دور آبیاری ثابت و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، برای هر مزرعه تعدادی رایزر انتخاب و پس از آن دبی تحویلی به هر مزرعه تعیین شد. مدت زمان آبیاری هر مزرعه نیز با استفاده از حجم آب مورد نیاز و دبی تحویلی محاسبه گردید. مدت زمان آبیاری باید مضربی از گام زمانی باشد که شرکت بهره‌بردار تعیین کرده است، تصحیح مدت زمان آبیاری سبب می‌شود حجم آب تحویلی و مورد نیاز متفاوت باشد. دبی تحویلی به مزارع را می‌توان طوری تعیین کرد که اختلاف بین حجم آب تحویلی و آب مورد نیاز حداقل باشد که در این حالت عملکرد هیدرولیکی شبکه حداکثر است.

الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک

یکی از روش‌های هوشمند در مسائل بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک است. این الگوریتم مبتنی بر تکرار است و اصول اولیهٔ آن از علم ژنتیک اقتباس شده و با تقلید از فرایندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی توسعه‌یافته است. الگوریتم ژنتیک با استفاده از قوانین موجود در علم ژنتیک مانند انتخاب، تلاقی و جهش از یک نسل (جواب های ممکن مسأله) به تولید فرزندان با خصوصیت بهتر (جواب‌های نزدیکتر به هدف مسأله) می‌پردازد. در فرایند تکامل طبیعی، یک جامعه اولیه از موجودات وجود دارد که زوج های آن به‌صورت تصادفی با یکدیگر تلاقی و با ترکیب کرموزوم ها تولیدمثل می‌کنند و نسل بعدی را به‌وجود می‌آورند. با توجه به اصل بقای بهترین، نسل‌های بعدی شایستگی بالاتری (نزدیکتر بودن به هدف) خواهند داشت. در الگوریتم ژنتیک هر یک از جواب های ممکن مسأله با رشته‌های عددی در سیستم دودویی یا سیستم‌های دیگر رمزگذاری می‌شود که هر یک از آنها یک کروموزوم نامیده می شود. در سیستم دودویی، هر کروموزم شامل تعدادی ژن صفر و یک است که بیان‌کنندهٔ مقادیر متغیرهای تصمیم‌گیری مسأله است. تعداد ژن‌هایی که برای کدگذاری متغیرهای تصمیم در نظر گرفته می‌شود بستگی دارد به دقت لازم برای محاسبهٔ آنها و محدودهٔ انتخاب متغیرها (Goldberg, 1989).

در این تحقیق، تعداد رایزرهای هر مزرعه متغیر تصمیم است و تعداد ژن‌ها برای رایزرهای هر مزرعه ثابت و برابر هشت در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ نمونه‌ای از یک کرموزوم مورد استفاده در تحقیق حاضر آورده شده است؛ در این کروموزوم، متغیرها به‌صورت سری قرار گرفته و از ۳۸۴ ژن تشکیل شده است.

جدول ۱- نمونه‌ای از کروموزوم مورد استفاده در بهره‌برداری از شبکهٔ بیله‌وار

هشت ژن اول	هشت ژن دوم	.....	هشت ژن چهل و هفتم	هشت ژن چهل و هشتم
۰ ۰ ۱ ۰ ۰ ۰ ۰ ۱ ۰ ۱	۱ ۱ ۱ ۱ ۰ ۰ ۰ ۱		۱ ۱ ۱ ۰ ۱ ۱ ۱ ۰	۰ ۱ ۱ ۰ ۱ ۰ ۰ ۱
تعداد رایزرهای مزرعهٔ ۳۰۱	تعداد رایزرهای مزرعهٔ ۳۰۲	.....	تعداد رایزرهای مزرعهٔ ۳۴۷	تعداد رایزرهای واحد B4

بعد از چیدمان متغیرهای تصمیم، جمعیتی از کروموزوم ها به‌عنوان جمعیت اولیه در نظر گرفته می‌شوند و به‌صورت تصادفی ایجاد می‌گردند. کروموزوم‌ها در محدودهٔ مسأله کدگشایی خواهند شد و کارایی و عملکرد برازش افراد عضو جمعیت با استفاده از تابع هدف تعیین می‌گردد. بنابراین، هر عضوی از جمعیت یک مقدار برازش در تابع هدف دارد. عضوهایی که به‌ازای آنها، تابع هدف نسبت به بقیه بیشتر شود، احتمال انتخابشان برای تولید جمعیت جدید و نسل آینده بیشتر خواهد بود. به‌منظور دستیابی به جواب بهینهٔ مطلق، تعدادی عملگر روی جمعیت اولیه اعمال می‌شود که مهم‌ترین آنها، انتخاب، تلاقی، جهش و نخبه‌گرایی است. در مرحلهٔ انتخاب، تعدادی جفت کروموزوم انتخاب و با هم ترکیب می‌شوند و نسل آینده را ایجاد می‌کنند. احتمال انتخاب هر عضو برای تولید نسل بعدی بستگی به میزان برازش آن عضو در تابع هدف دارد. انتخاب باید به گونه‌ای باشد که هر نسل جدید نسبت به نسل قبلی‌اش تطابق میانگین بهتری داشته باشد. عملگر تلاقی اصلی‌ترین عملگر الگوریتم ژنتیک است که برای تولید کروموزوم ها یا اعضای جدید به‌کار می رود. تلاقی با تعویض ژن‌ها بین دو کروموزوم انجام می‌گیرد و هر یک از کروموزوم ها خصوصیاتی از خود به فرزندان انتقال می‌دهد. عملگر تلاقی روی کلیه کروموزوهای انتخابی اعمال نمی‌شود و برای انجام این عملگر یک احتمال بین ۰/۴ تا ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود (Goldberg, 1989). علاوه بر عملگر انتخاب و تلاقی، برای دستیابی به بهینهٔ کلی از عملگر جهش نیز استفاده می‌شود. در این عملگر هر ژن در هر کروموزوم در فضای انتخاب با توجه به احتمال جهش بررسی می‌شود و در صورت کم بودن احتمال مقدار آن ژن از احتمال جهش، دچار جهش خواهد شد. به کمک این عملگر می‌توان انتظار داشت، کروموزوم‌های خوبی که در مراحل انتخاب و یا تلاقی حذف شده‌اند، دوباره احیا شوند. بهترین عضو هر نسل در الگوریتم ژنتیک بی‌آنکه تغییری در آن ایجاد شود، به نسل بعد منتقل می‌گردد که این پدیده را نخبه‌گرایی می‌گویند.

یادآوری می‌شود که در این پژوهش در هر نسل تنها یک فرد که بیشترین برازندگی را در بین افراد همان نسل داشت به‌عنوان نخبه انتخاب و بدون تغییر به نسل بعدی منتقل شد. بعد از تولید نسل جدید، اگر نتایج مسأله به یکی از شرایط توقف الگوریتم برسد اجرای آن پایان می‌یابد.

متغیرهای تصمیم، تابع هدف و قیدهای مورد استفاده در بهینه‌سازی برنامهٔ بهره‌برداری

هدف از تهیهٔ برنامهٔ تحویل و توزیع آب در شبکهٔ آبیاری، تعیین سه متغیر است: مقدار دبی تحویلی آب به مزارع، مدت زمان تحویل آب، و دور آبیاری. در این تحقیق، دور آبیاری در سراسر فصل زراعی ۱۰ روز در نظر گرفته شده است؛ مدت زمان تحویل آب به هر مزرعه نیز از تقسیم حجم آب مورد نیاز بر دبی تحویلی قابل محاسبه است. بنابراین تنها متغیر تصمیم‌گیری، دبی تحویلی به هر مزرعه یا تعداد رایزرهای هر مزرعه است. ترتیب چیدمان مزارع به گونه‌ای است که هر بلوک شامل حداکثر دو مزرعه است (بلوک آبیاری به مجموعه آبگیرهایی اطلاق می‌شود که از شروع تا پایان برنامهٔ تحویل آب به‌صورت پیوسته آبیاری می‌شوند). در جدول ۲، شمارهٔ مزارع تعدادی از بلوک‌های آبیاری آورده شده است.

جدول ۲- شماره بلوک‌ها و مزارع آنها برای شبکه آبیاری بیله‌وار

شمارهٔ بلوک آبیاری	۱		۲		....	۲۳		۲۴
شمارهٔ مزارع	۳۰۱	۳۰۲	۳۰۳	۳۰۴	....	۳۴۵	۳۴۶	۳۴۷ B4

یادآوری می‌شود که زمان شروع آبیاری تمام بلوک‌ها یکسان، اما زمان پایان آبیاری هر بلوک متفاوت است. برای مقایسهٔ انواع برنامه‌های تحویل آب و دستیابی به بهترین گزینه، از تابع هدف استفاده می‌شود. در این تحقیق، تابع هدف حداقل کردن اختلاف حجم آب تحویلی و آب مورد نیاز مزارع است که مطابق رابطهٔ ۱ ارائه می‌شود:

$$\text{Minimize}: OF = \sum_{i=1}^{i=n} \left| V_d - V_r \right|_i \qquad (۱)$$

که در آن،

OF = تابع هدف؛ n = تعداد مزارع؛ V_d = حجم آب تحویلی به هر مزرعه؛ و V_r = حجم آب مورد نیاز که بر اساس نیاز آبی گیاه کشت شده و مساحت هر مزرعه محاسبه می‌شود. در بهینه سازی، علاوه بر متغیرهای تصمیم و تابع هدف، قیدهایی نیز وجود دارند که بر جواب بهینه تاثیر می‌گذارند، در این پژوهش قیدها شامل موارد زیرند:

الف- قید دبی قابل انتقال کانال اصلی: مجموع دبی ورودی به مزراعی که همزمان آبیاری می شوند نباید بیشتر از ظرفیت نهایی هر قسمت کانال توزیع‌کننده باشد. این قید به‌صورت رابطه ۲ ارائه می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{i=m} Q_{d(i)} \le Q_c \qquad (۲)$$

که در آن،

$Q_{d(i)}$ = مقدار دبی تحویلی به مزرعه iام؛ Q_c = دبی طراحی کانال اصلی؛ و m = تعداد مزارعی که همزمان آبیاری می‌شوند. گفتنی است که دبی طراحی کانال اصلی در ابتدا ۳/۴۴ متر مکعب بر ثانیه است.

ب- قید مدت زمان بهره‌برداری: مجموع مدت زمان تحویل آب به انشعاب‌های واقع در هر بلوک نباید از دور آبیاری بیشتر باشد. این قید به‌صورت رابطهٔ ۳ بیان می‌شود:

$$T_{B(i)} \le T_{du} \qquad (۳)$$

که در آن،

$T_{B(i)}$ = مدت زمان تکمیل آبیاری بلوک iام؛ و T_{du} = دور آبیاری برای واحدهای زراعی.

ج- قید تراز سطح آب: عمق آب در هر مرحله از برنامهٔ آبیاری باید کمتر از عمق طراحی کانال باشد وگرنه آب به بیرون از کانال سرازیر می‌شود و به کانال و مزارع خسارات می‌زند. این قید به‌صورت رابطهٔ ۴ بیان می‌شود:

$$y_{(j)} \le H_{(j)} \qquad (۴)$$

که در آن،

$H_{(j)}$ = عمق طراحی کانال در نقطه jام؛ و $y_{(j)}$ = عمق آب پیش‌بینی شده در نقطه مورد نظر.

مدل هیدرودینامیک FLDWAV

با توجه به اینکه ارتفاع تعدادی از تنظیم‌کننده‌ها بعد از طراحی شبکه افزایش یافته است، ممکن است تراز سطح آب برای برخی از دبی‌های بیش از عمق طراحی کانال شود و آب به بیرون سرازیر گردد. یکی از قیدها در بهینه‌سازی برنامه آبیاری در شبکه آن است که عمق آب در هر بازه نباید از عمق طراحی کانال بیشتر باشد.

بنابراین، برای محاسبهٔ پروفیل سطح آب در کانال نیاز است که از یک مدل هیدرودینامیک استفاده شود. در این تحقیق از مدل FLDWAV برای شبیه‌سازی جریان استفاده شده است. از دلایل استفاده از این مدل عددی، دقت مناسب آن در شبیه‌سازی جریان در شبکهٔ آبیاری، در دسترس بودن و باز بودن کدهای برنامه است که می‌توان به زبان برنامه‌نویسی فرترن در آن زیربرنامه‌هایی اضافه کرد. این مدل را سرویس هواشناسی ملی آمریکا جهت شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در مجاری طبیعی و شبکهٔ کانال‌ها توسعه داده است. ایدهٔ تدوین این مدل از دههٔ ۱۹۷۰ با تدوین مدل DAMBRK (که عمدتا به‌منظور مدلسازی شکست سد توسعه یافته) و مدل DWOPER (که کاربرد گسترده‌ای برای شبیه‌سازی خصوصیات فیزیکی رودخانه و شبیه‌سازی شبکهٔ کانال‌ها دارد) آغاز گردید. این مدل از یک برنامهٔ اصلی و ۱۱۸ زیربرنامه تشکیل شده است و معادلات حاکم بر جریان در این مدل معادلات سنت و نانت هستند. مدل FLDWAV با استفاده از روش تفاضل محدود ضمنی چهار نقطه‌ای که آمین[1] ارائه است، معادلات سنت و نانت را به‌صورت عددی حل می‌کند (Fread ,1998). مقیم‌زاده و همکاران (Moghimzadeh *et al.*, 2012) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، دقت این مدل برای را شبیه‌سازی جریان در کانال‌های آبیاری مناسب ارزیابی کردند.

مراحل بهینه‌سازی برنامهٔ تحویل و توزیع آب در شبکهٔ آبیاری بیله‌وار

برنامهٔ مربوط به الگوریتم ژنتیک با استفاده از زبان برنامه‌نویسی فرترن تهیه و به‌عنوان یک زیربرنامه به مدل هیدرودینامیک FLDWAV اضافه شد. برنامهٔ الگوریتم ژنتیک دارای زیربرنامه‌های انتخاب، تلاقی، جهش، نخبه‌گرایی، تابع هدف و تابع جریمه است. بعد از مشخص شدن متغیرهای تصمیم، تابع هدف و قیدها مراحل زیر برای تهیهٔ برنامه بهره‌برداری از شبکه آبیاری بیله‌وار اجرا شد:

مرحلهٔ اول، محاسبهٔ حجم آب مورد نیاز هر مزرعه: با استفاده از الگوی کشت، مساحت زیر پوشش و راندمان آبیاری، حجم آب مورد نیاز هر مزرعه محاسبه می‌شود.

مرحلهٔ دوم، تعیین دور آبیاری: بر اساس نوع محصول، شرایط اقلیمی، خاک منطقه و نحوهٔ بهره‌برداری، دور آبیاری تعیین می‌شود. با توجه به تجربهٔ شرکت بهره‌بردار، دور آبیاری برای منطقه ۱۰ روز مناسب بوده است.

مرحلهٔ سوم، چیدمان بلوک های آبیاری و مزارع: تعداد بلوک‌های آبیاری، تعداد مزارع هر بلوک و نوبت آبیاری هر مزرعه را باید کاربر تعیین کند. شرکت بهره‌بردار ۲۴ بلوک آبیاری در نظر گرفته است. برای مثال بلوک ۱ شامل آبگیرهای ۳۰۱ و ۳۰۲، بلوک ۲ شامل آبگیر ۳۰۳، بلوک ۳ شامل آبگیر ۳۰۵ و ۳۰۶ و بلوک ۴ شامل آبگیر ۳۰۷ و ۳۰۸ است. با توجه به موقعیت مزارع در بلوک، ابتدا مزارعی آبیاری می شوند که در جایگاه اول قرار دارند و پس از اتمام این مزارع، مزارعی آبیاری خواهند شد که در جایگاه دوم قرار دارند. یادآوری می‌شود که واحدهای زراعی ۳۰۴ و ۳۱۹ در مرحلهٔ اجرای شبکهٔ آبیاری از طرح حذف شده‌اند.

مرحلهٔ چهارم، تولید جمعیت اولیه: در این تحقیق، متغیرهای تصمیم که تعداد رایزرهای هر مزرعه است، به‌صورت باینری (رشته‌ای از اعداد تصادفی صفر و یک) کدگذاری شدند. بدین‌منظور، برای تعداد رایزرهای هر مزرعه ۸ ژن در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه ۴۸ مزرعه وجود دارد بنابراین تعداد کل ژن‌های یک کروموزوم که به‌صورت سری پشت سر هم قرار دارد، ۳۸۴ است و برای هر ژن، اعداد تصادفی صفر یا یک تولید شد. یادآوری می‌شود که ۸ ژن اول مربوط است به تعداد رایزرهای آبگیر ۳۰۱، ۸ ژن دوم مربوط است به آبگیر ۳۰۲ و به‌همین ترتیب برای آبگیرهای دیگر. هر کروموزوم که یک فرد جامعه در نظر گرفته می‌شود در برگیرندهٔ یک سری اعداد تصادفی برای تعداد رایزهای هر مزرعه است و باید به

1- Amien

تعداد افراد جامعه، کروموزوم تهیه شود.

مرحلهٔ پنجم، تعیین دبی مزارع: برای هر کروموزوم (فرد جامعه) کدهای صفر و یک که در مرحلهٔ قبل ایجاد شده است، بازگردانده و تعداد رایزرها برای هر مزرعه تعیین گردید. با در نظر گرفتن دبی هر رایزر و داشتن تعداد رایزرهای هر مزرعه، دبی برنامه‌ریزی شده برای هر مزرعه محاسبه می شود. همچنین، برای کل افراد جامعه مقدار دبی تحویلی هر مزرعه تعیین می‌شود.

مرحلهٔ ششم، محاسبهٔ مدت زمان آبیاری هر مزرعه: مدت زمان آبیاری هر مزرعه، Tr، با استفاده از حجم آب مورد نیاز و دبی برنامه‌ریزی شده، مطابق رابطه ۵، محاسبه می‌شود:

$$T_r = \frac{V_r}{Q_d} \qquad (۵)$$

این مدت زمان باید مضربی از گام زمانی تعیین شده توسط شرکت بهره‌بردار باشد. تصحیح مدت زمان آبیاری هر مزرعه سبب می‌شود حجم آب تحویلی و حجم آب مورد نیاز متفاوت باشند. برای مثال، اگر گام زمانی برای روشن و یا خاموش شدن پمپ‌ها ۲۴ ساعته در نظر گرفته شود و مدت زمان آبیاری محاسبه شده با رابطهٔ فوق ۴۲ ساعت باشد، باید مدت زمان آبیاری به ۴۸ ساعت اصلاح شود.

مرحلهٔ هفتم، تعیین حجم آب تحویلی به مزارع: با استفاده از مدت زمان آبیاری تصحیح شده برای هر مزرعه، Td، و نیز دبی برنامه‌ریزی شده، حجم آب تحویلی به مزارع مطابق رابطهٔ ۶ محاسبه می‌شود:

$$V_d = Q_d \times T_d \qquad (۶)$$

مرحلهٔ هشتم، محاسبهٔ تابع هدف و برازندگی: با توجه به محاسبهٔ حجم آب تحویلی و مورد نیاز، مقدار تابع هدف برای هر کروموزوم محاسبه و برازندگی تمام افراد جامعه نیز تعیین می‌شود.

مرحلهٔ نهم، تعیین مدت زمان تکمیل آبیاری هر بلوک: با توجه به نحوهٔ چیدمان مزارع در بلوک‌ها، مدت زمان تکمیل آبیاری هر بلوک مطابق رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود:

$$T_{B(i)} = \sum_{j=1}^{j=nk} T_{d(j)} \qquad (۷)$$

که در آن،

nk = تعداد مزارع موجود در هر بلوک. با توجه به اینکه ۲۴ بلوک آبیاری وجود دارد، حداکثر مدت زمان آبیاری بلوک‌ها، مدت زمان تکمیل آبیاری شبکه در نظر گرفته می‌شود. هر کروموزومی که قید مدت زمان بهره‌برداری را رعایت نکند، جریمه می‌شود. تابع جریمهٔ مورد استفاده به‌صورت رابطهٔ ۸ است:

$$\phi(x) = F(x) + R\left(\mathrm{Max}\left[0, G_i(x)\right]\right) \qquad (۸)$$

که در آن،

$F(x)$ و $\phi(x)$ = تابع هدف به ترتیب قبل و بعد از اعمال جریمهٔ مربوط به کرموزم x؛ $G_i(x)$ = مقدار تخطی از قید iام و R = ضریب جریمه که با استفاده از آزمون و خطا محاسبه می‌شود.

مرحلهٔ دهم، محاسبهٔ هیدروگراف دبی ورودی کانال: از مجموع دبی‌های مزارعی که همزمان در حال آبیاری هستند، دبی کانال اصلی در هر زمان تعیین و بیشترین مقدار آن به‌عنوان حداکثر دبی عبوری از کانال برای هر کروموزوم محاسبه می‌شود. حداکثر دبی عبوری از کانال نباید از دبی طراحی کانال بیشتر باشد، قید مربوط اگر رعایت نشود تابع هدف جریمه می‌شود.

مرحلهٔ یازدهم، تعیین پروفیل سطح آب: بعد از تعیین دبی هر مزرعه و هیدروگراف دبی ورودی به کانال، داده‌ها به مدل هیدرودینامیک FLDWAV منتقل و برنامه اجرا

می‌شود. مشخصات هیدرولیکی از قبیل عمق آب در هر نقطه به زیربرنامه الگوریتم ژنتیک منتقل می‌شود، عمق آب اگر بیش از عمق طراحی کانال باشد، تابع هدف جریمه می‌شود.

مرحله دوازدهم، نخبه‌گرایی: از بین همهٔ افراد جامعه، کروموزومی که دارای بیشترین فاکتور شایستگی است، بدون تغییر به نسل آینده منتقل می‌شود. (منظور این است که برای ارتقای جوامع بعدی و روند افزایشی فاکتور شایستگی فردی که دارای بیشترین فاکتور شایستگی است، در جوامع بعدی حفظ گردد).

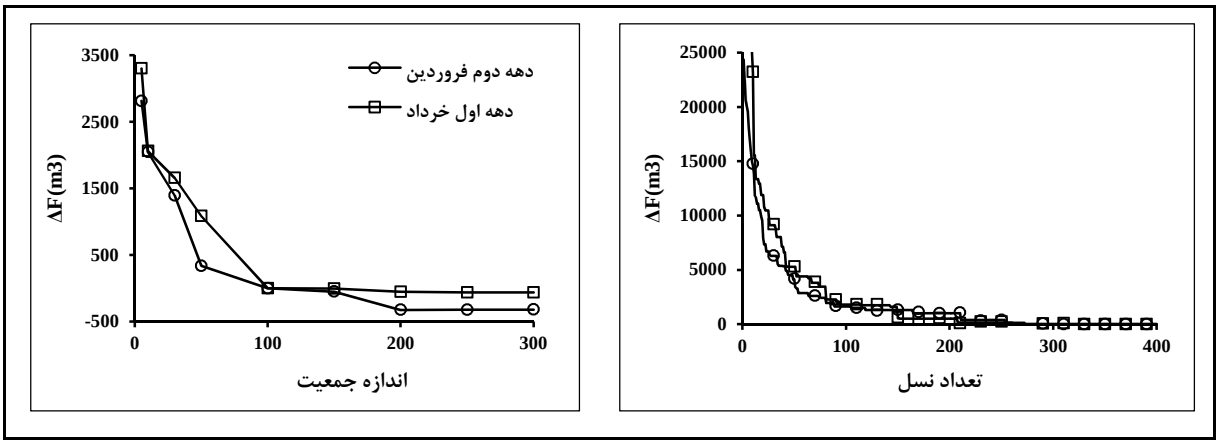
مرحلهٔ دوازدهم، جایگزینی: جمعیت جدید تولید شده جایگزین جمعیت اولیه می شود و این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا به جواب بهینه برسد.

نتایج و بحث

انتخاب مقادیر مناسب متغیرهای الگوریتم ژنتیک

برنامهٔ تحویل و توزیع آب در شبکهٔ آبیاری بیله‌وار از دههٔ دوم فروردین تا دههٔ اول خرداد برای کشت پاییزه اجرا می‌شود. حجم آب مورد نیاز شبکه در دههٔ دوم فروردین حداقل و براساس روش پنمن- مانتیث- فائو برابر ۴۶۶۹۳۲ مترمکعب و در دههٔ اول خرداد حداکثر و برابر ۱۳۹۴۰۰۸ مترمکعب برای ۳۲۴۳ هکتار است.

متغیرهای ورودی مربوط به الگوریتم ژنتیک شامل تعداد نسل (تکرار)، اندازهٔ جمعیت، احتمال تلاقی و جهش است. در هر مسألهٔ بهینه‌سازی باید مقدار این متغیرهای ورودی با استفاده از روش تحلیل حساسیت تعیین شود. بدین منظور، در شروع تحلیل حساسیت، تعداد نسل (تکرار) برابر ۴۰۰، اندازهٔ جمعیت برابر ۱۰۰، احتمال تلاقی ۸۰ درصد، و احتمال جهش ۲ درصد در نظر گرفته شد و مدل تهیه شده برای برنامهٔ آبیاری مربوط به دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد اجرا و مقدار تابع هدف اولیه به‌ترتیب ۳۱۱۳۶ و ۱۶۲۸۳ مترمکعب محاسبه شد. با تغییر دادن پارامترهای ورودی در محدودهٔ قابل قبول و محاسبهٔ اختلاف تابع هدف با مقادیر تابع هدف اولیه، ΔOF، تاثیر ضرایب عملگرهای ژنتیکی بر تابع هدف بررسی شد. در شکل ۲، برای برنامهٔ آبیاری مربوط به دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد، تأثیر تعداد نسل و اندازهٔ جمعیت بر تابع هدف آورده شده است.

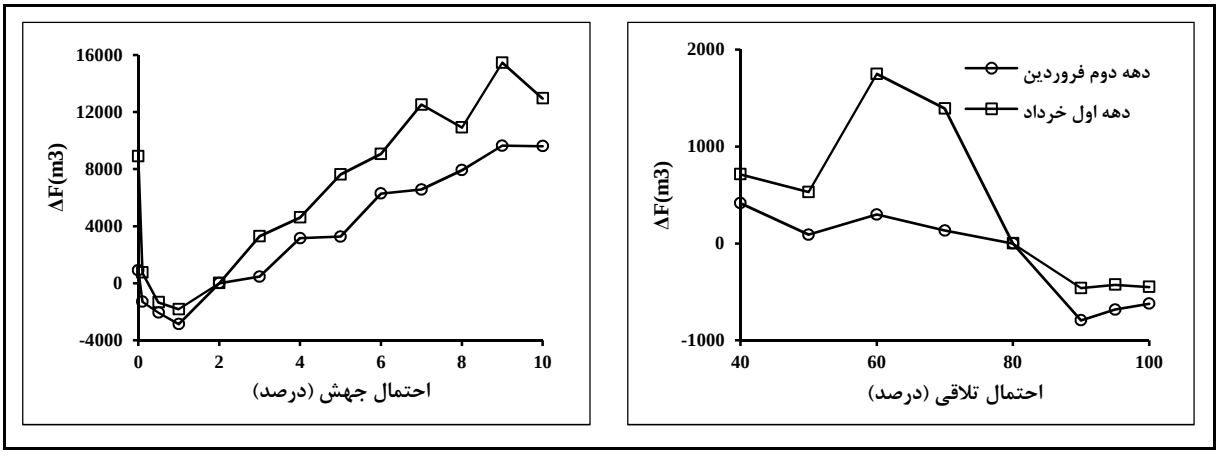


شکل ۲- تاثیر تعداد نسل و اندازهٔ جمعیت بر تابع هدف برای دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد

با توجه به اینکه هدف از تهیهٔ برنامهٔ بهینه، حداقل کردن اختلاف حجم آب تحویلی به مورد نیاز است، بنابراین مناسب‌تر خواهد بود اگر تعداد نسل، اندازهٔ جمعیت، احتمال تلاقی و احتمال جهش طوری انتخاب شود که تابع هدف مربوط به آن از تابع هدف اولیه کمتر باشد. دیده می‌شود که با افزایش تعداد نسل و اندازهٔ

جمعیت، اختلاف تابع هدف با مقدار اولیه آن ثابت می‌شود یعنی برای تعداد نسل ۴۰۰، احتمال تلاقی ۸۰ درصد و احتمال جهش ۲ درصد، اندازه جمعیت بیش از ۲۰۰ تأثیری بر مقدار تابع هدف ندارد و اختلاف تابع هدف با مقدار اولیه آن ثابت و برابر ۵۵- مترمکعب در دهۀ اول خرداد و ۳۲۰- مترمکعب برای دهۀ دوم فروردین است. همچنین برای تعداد نسل بیش از ۲۵۰، تابع هدف مستقل از تعداد نسل می‌شود.

احتمال جهش و تلاقی مناسب به‌ترتیب در محدودۀ صفر تا ۱۰ درصد و ۴۰ تا ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد و با ثابت نگه‌داشتن سایر ضریب‌های عملگرهای ژنتیکی، تأثیر احتمال جهش و تلاقی بر تابع هدف ارزیابی گردید. در شکل ۳ برای هر دو برنامۀ آبیاری تأثیر احتمال جهش و تلاقی بر تابع هدف آورده شده است.

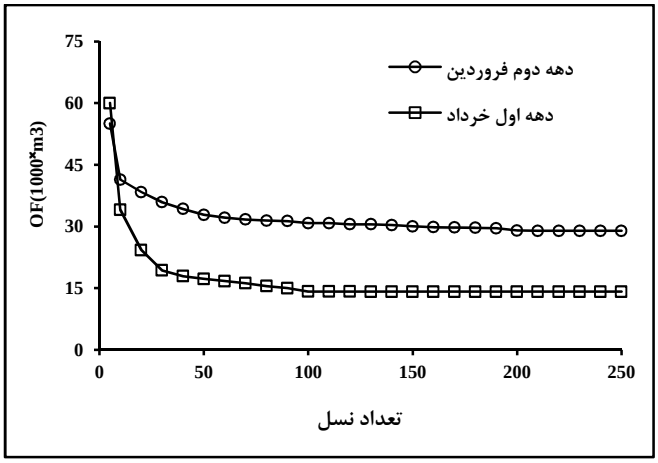


شکل ۳- تأثیر احتمال تلاقی و جهش بر تابع هدف برای دهۀ دوم فروردین و دهۀ اول خرداد

در اینجا می‌بینیم اگر تعداد نسل و اندازۀ جمعیت به‌ترتیب ۴۰۰، ۱۰۰ و احتمال جهش ۲ درصد در نظر گرفته شود، برای احتمال تلاقی ۹۰ درصد، اختلاف تابع هدف با مقدار تابع هدف اولیه برای دهۀ دوم فروردین و دهۀ اول خرداد به‌ترتیب ۷۹۰- و ۴۶۰- مترمکعب است و در واقع کمترین مقدار تابع هدف را دارد. همچنین، احتمال جهش ۱ درصد نسبت به احتمال‌های دیگر از نظر مقدار تابع هدف دارای جواب بهتری است. بنابراین، مقادیر مناسب عملگرهای مختلف الگوریتم ژنتیک برای بهره‌برداری بهینه از شبکۀ آبیاری بیله‌وار برای تعداد نسل و اندازۀ جمعیت به‌ترتیب ۲۵۰، ۲۰۰ و برای احتمال تلاقی و احتمال جهش به‌ترتیب ۹۰ و ۱ درصد انتخاب گردید.

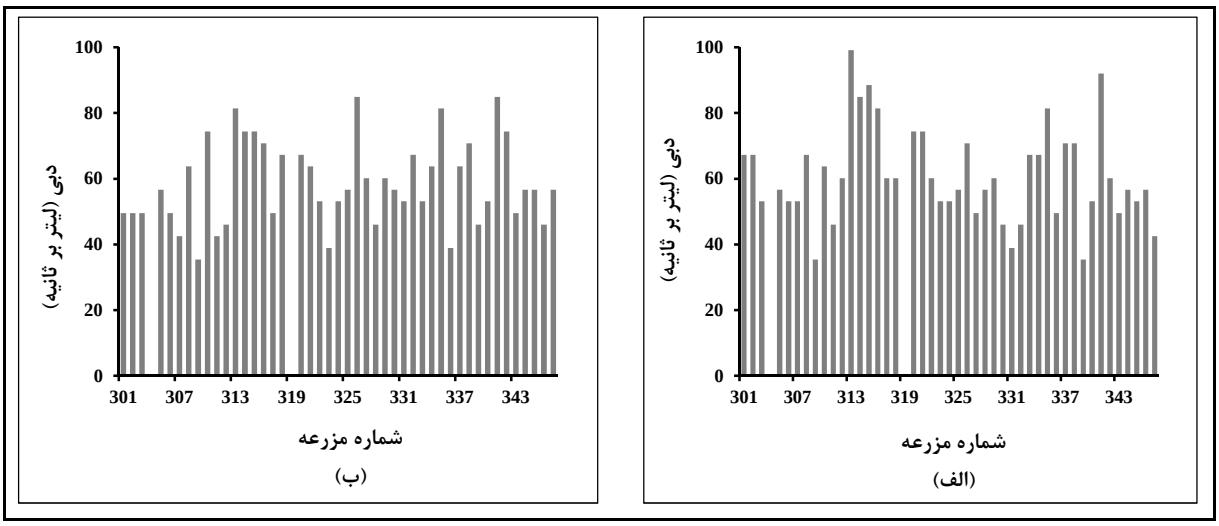
برنامۀ بهره‌برداری بهینه از شبکۀ آبیاری بیله‌وار

بعد از تعیین پارامترهای ژنتیکی مناسب، مدل بهینه‌ساز مجددا برای برنامه آبیاری مربوط به دهۀ دوم فروردین و دهۀ اول خرداد اجرا و مقدار تابع هدف تعیین شد. در شکل ۴ برای دهه‌های مزبور اختلاف حجم آب تحویلی و مورد نیاز آورده شده است.



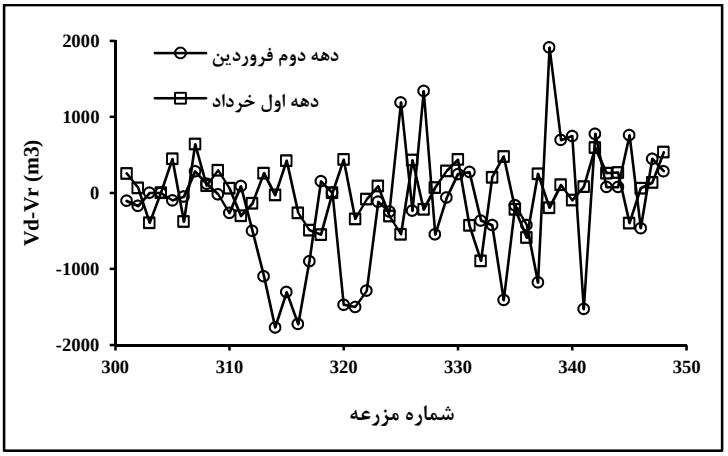
شکل ٤- اختلاف حجم آب تحویلی و مورد نیاز شبکهٔ آبیاری بیله‌وار برای دو برنامهٔ آبیاری

همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، در حالتی‌که تغییرات دبی ورودی کانال و روشن و خاموش شدن پمپ مزارع هر ۲۴ ساعت یک بار اتفاق افتد، اختلاف حجم آب تحویلی و مورد نیاز کل مزارع برای دهۀ دوم فروردین و دهۀ اول خرداد به‌ترتیب ۲۸۹۱۰ و ۱۴۱۳۰ مترمکعب است. در ایده‌آل‌ترین حالت باید مقدار تابع هدف صفر باشد که در عمل ناممکن است. برای بهترین تابع هدف مقدار دبی مزارع واحد عمرانی B3 در شکل ۵ آورده شده است. یادآوری می‌شود که دبی واحد متمرکز B4 در برنامهٔ آبیاری مربوط به دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد به‌ترتیب ۸۲۴/۸۲ و ۸۴۲/۵۲ لیتر بر ثانیه محاسبه شده است.



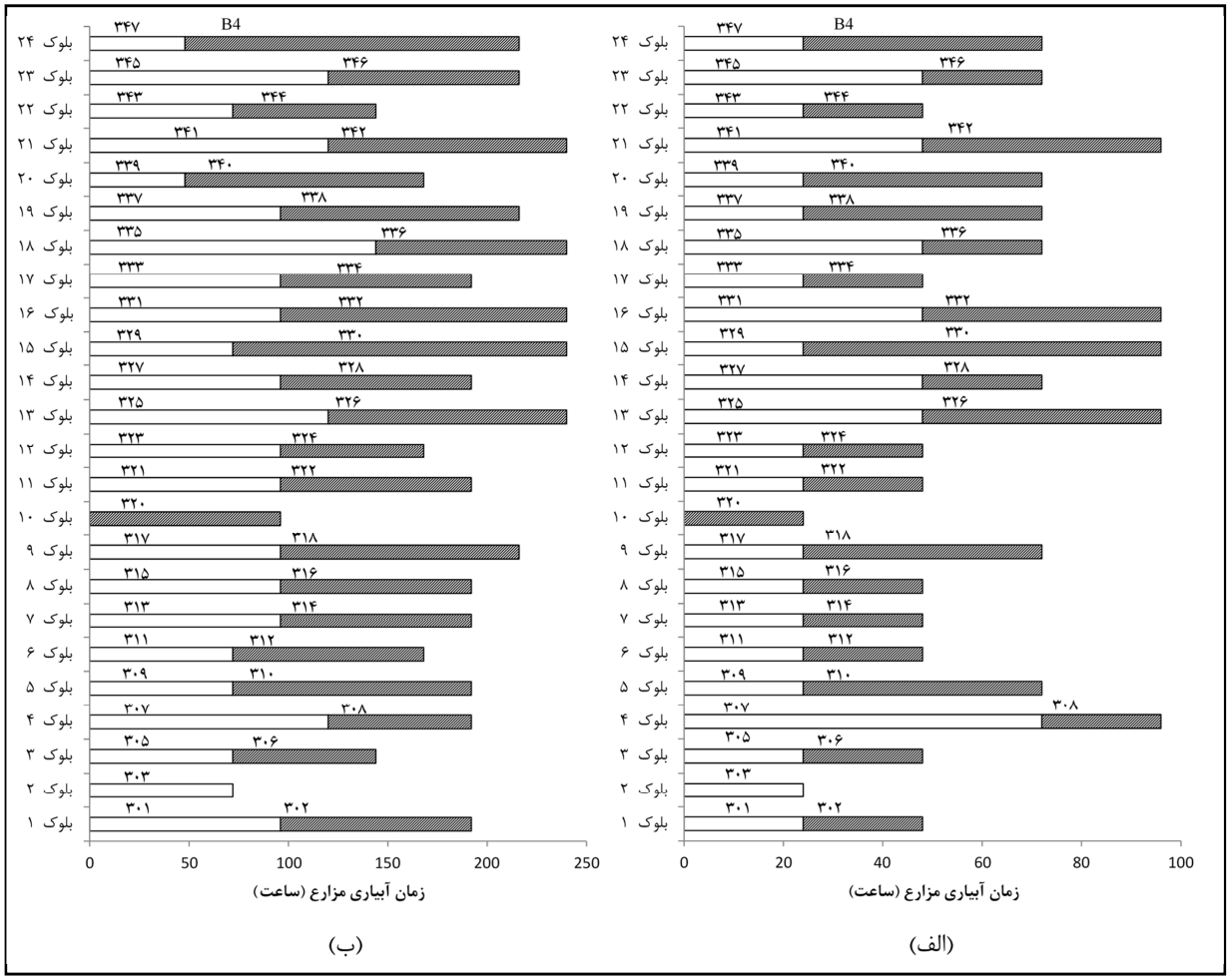
شکل ۵- دبی برنامه‌ریزی شدهٔ مزارع شبکهٔ بیله‌وار برای: الف) دههٔ دوم فروردین و ب) دههٔ اول خرداد

اختلاف حجم آب برنامه‌ریزی شده و مورد نیاز برای مزارع واحد عمرانی B3 مطابق شکل ۶ ارائه می‌شود. همچنین اختلاف حجم آب برنامه‌ریزی شده و مورد نیاز واحد عمرانی B4 برای دههٔ دوم فروردین برابر ۲۸۵ و برای دههٔ اول خرداد برابر ۵۳۵ مترمکعب محاسبه شده است.



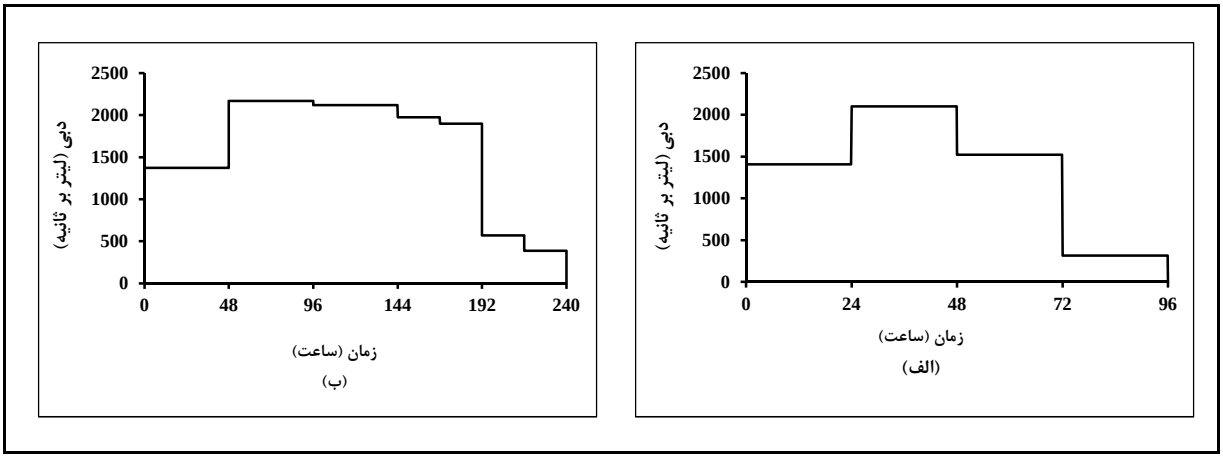
شکل ٦- اختلاف حجم آب مورد نیاز و برنامه‌ریزی شدهٔ مزارع شبکهٔ بیله‌وار برای دو برنامهٔ آبیاری

همچنین با اجرای مدل، برنامهٔ زمان‌بندی تحویل آب به مزارع محاسبه و برای دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد مطابق شکل ۷ ارائه می‌شود. یادآوری می‌شود که با توجه به تعداد مزارع، ۲۴ بلوک در نظر گرفته شد که در هر بلوک حداکثر دو مزرعه قرار دارد.



شکل ۷- برنامهٔ زمان‌بندی تحویل آب به مزارع برای: الف) دههٔ دوم فروردین و ب) دههٔ اول خرداد

اگر تعداد بلوک‌های شبکهٔ آبیاری مساوی یک در نظر گرفته شود، این امر به معنای آن است که همهٔ مزارع در یک بلوک قرار دارند و باید در امتداد یکدیگر آبیاری شوند. در این حالت، دبی عبوری از کانال اصلی کم و مدت زمان آبیاری زیاد است و از دور آبیاری نیز بیشتر می شود و مطلوب نیست. همچنین اگر تعداد بلوک‌ها مساوی تعداد مزارع باشد، هر مزرعه در یک بلوک قرار خواهد گرفت که بدان معنی است که تمام انشعاب‌ها همزمان آبگیری خواهند شد. در این حالت، دبی عبوری از کانال زیاد است و از دبی طراحی کانال بیشتر می‌شود. با تعیین مزارعی که همزمان آبیاری می‌شوند می توان هیدروگراف دبی ورودی به کانال اصلی را تعیین کرد و منحنی بهره‌برداری دریچهٔ خروجی سد را به بهره‌بردار ارائه داد. در شکل ۸ هیدروگراف دبی ورودی به کانال اصلی برای دو برنامهٔ آبیاری آورده شده است.



شکل ۸- هیدروگراف دبی ورودی به کانال آبیاری BLMC برای برنامهٔ آبیاری مربوط به: الف) دههٔ دوم فروردین و ب) دههٔ اول خرداد

مدت زمان آبیاری برای دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد به‌ترتیب ۹۶ و ۲۴۰ ساعت است که از دور آبیاری (۲۴۰ ساعت) بیشتر نیست. تعداد تنظیمات دریچهٔ ورودی به شبکه نیز در دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد به‌ترتیب ۴ و ۷ مرتبه است.

مقایسهٔ برنامهٔ آبیاری بهینه با برنامهٔ ارائه شده توسط شرکت بهره‌بردار

برنامهٔ آبیاری برنامه‌ریزی شدهٔ مربوط به دههٔ اول خرداد سال ۹۴ از شرکت آب منطقه‌ای تهیه شد. در این برنامه، دور آبیاری ۱۰ روزه است و ۵ روز اول مزارع فرد و ۵ روز بعدی مزارع زوج آبیاری می‌شوند. مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) برای ارزیابی عملکرد روش‌های بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری شاخص‌های کفایت، P_A ، راندمان، P_F و برابری توزیع، P_E، را مطابق روابط ۹ تا ۱۱ ارائه دادند. گفتنی است که مقدار ایده‌آل این شاخص‌ها به‌ترتیب ۱، ۱ و صفر است.

$$P_A = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}(P_a)_i \ , \ P_a = \begin{cases} \frac{V_d}{V_r} & V_r > V_d \\ 1 & V_r \le V_d \end{cases} \qquad (۹)$$

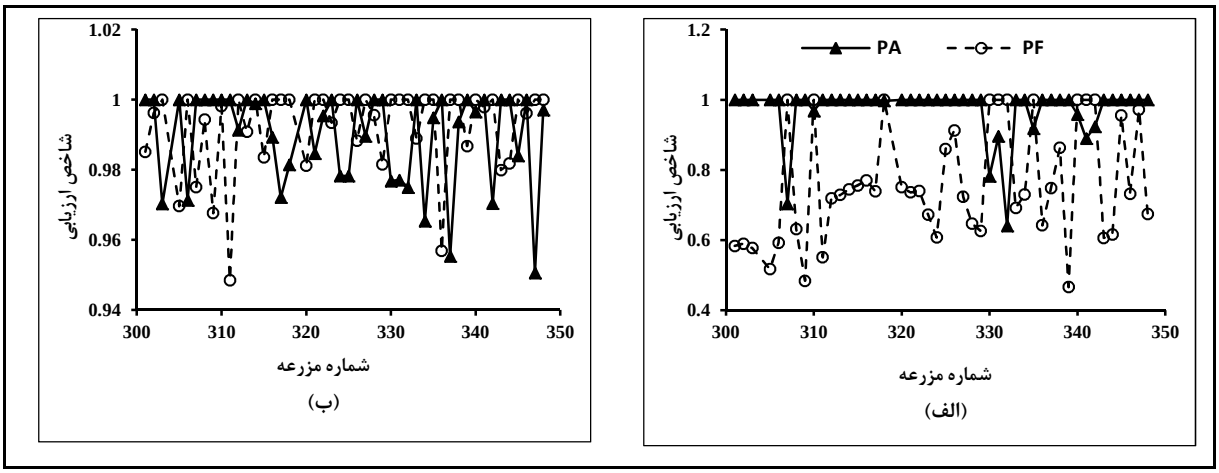
$$P_F = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}(P_f)_i \ , \ P_f = \begin{cases} \frac{V_r}{V_d} & V_d > V_r \\ 1 & V_d \le V_r \end{cases} \qquad (۱۰)$$

$$P_E = CV_R\left(\frac{V_d}{V_r}\right) \qquad (۱۱)$$

در روابط فوق،

Vr = حجم آب مورد نیاز؛ Vd = حجم آب تحویلی به مزارع؛ Pa = شاخص کفایت هر مزرعه؛ Pf = شاخص راندمان هر مزرعه؛ و $CV_R(Vd/Vr)$ = ضریب تغییرات نسبت حجم آب تحویلی به مورد نیاز.

در شکل ۱۰ شاخص کفایت و راندمان توزیع برای برنامهٔ ارائه شده توسط شرکت بهره بردار و مدل توسعه یافته با الگوریتم ژنتیک در برنامهٔ آبیاری دههٔ اول خرداد آورده شده است.



شکل ۱۰- شاخص کفایت و راندمان توزیع برای برنامهٔ آبیاری ارائه شده:
الف) شرکت بهره‌بردار و ب) برنامهٔ بهینه

شاخص کفایت، راندمان و عدالت توزیع در کل شبکه برای برنامهٔ آبیاری ارائه شده توسط شرکت بهره‌بردار در خرداد ۹۴ به‌ترتیب ۰/۹۷، ۰/۷۶ و ۰/۰۷۶ است و همین شاخص‌های ارزیابی عملکرد هیدرولیکی برای برنامهٔ تهیه شده توسط الگوریتم ژنتیک به‌ترتیب ۰/۹۸۵، ۰/۹۹ و ۰/۰۱ است. دیده می شود که برنامهٔ تهیه شده برای آبیاری شبکهٔ بیله وار توسط الگوریتم ژنتیک دارای شاخص های عملکرد هیدرولیکی بهتری است. در برنامهٔ آبیاری ارائه شده توسط شرکت بهره بردار، شاخص کفایت مناسب و راندمان توزیع کم است که دلیل آن حجم بالای آب رهاسازی شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی برنامهٔ تحویل و توزیع آب در شبکه های آبیاری با زبان برنامه‌نویسی فرترن تهیه و به‌عنوان زیربرنامه به مدل هیدرودینامیک FLDWAV اضافه شد. مدل بهینه‌ساز برای شبکهٔ آبیاری بیله‌وار اجرا و برنامهٔ آبیاری بهینه برای دههٔ دوم فروردین و دههٔ اول خرداد ارائه شد. شاخص‌های کفایت، راندمان و برابری توزیع که به‌منظور ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه استفاده می‌شود، برای برنامهٔ آبیاری بهینه و همچنین برنامه ارائه شده توسط شرکت بهره‌بردار محاسبه شد. بر اساس مجموعه نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نتایج زیر قابل استنتاج می‌باشد:

- مدل تهیه شده برای برنامه‌ریزی مسائل تحویل و توزیع آب در کانال‌های آبیاری سودمند بوده و به کمک آن می‌توان شاخص‌های عملکرد هیدرولیکی شبکه را افزایش داد.
- انتخاب مقادیر مناسب متغیرهای الگوریتم ژنتیک (اندازه جمعیت، تعداد نسل، احتمال تلاقی و جهش) در مسئله بهینه‌سازی برنامه توزیع آب ضروری است. انتخاب اندازه جمعیت و تعداد نسل زیاد باعث دقیق شدن جواب‌ها می‌شود و در مقابل به هزینه و محاسبات بیشتری

نیـــاز اســـت. بنـــابراین بـــرای حصـــول جـــواب‌هـــای مناسب و جلوگیری از طولانی شدن محاسبات، باید مقادیر مناسب آن‌ها با استفاده از روش تحلیل حساسـیت تعیـین شود.

- بررسی عملکـرد هیـدرولیکی برنامـه اجـرا شـده توسـط شرکت بهره‌بردار نشان می‌دهد راندمان توزیع آب در برنامه اجرا شده به‌دلیل حجم بالای آب رهاسازی شده نسبت بـه برنامه آبیاری بهینه پایین‌تر است.

- با توجه به اینکـه هیـدروگراف ورودی بـه کانـال توسـط مدل محاسبه می‌شود، می‌توان حداکثر دبی محاسبه شـده را به‌عنوان دبی طراحی برای کانال‌های در حال احـداث در نظر گرفت و بدین طریق هزینه احداث را کاهش داد.

مراجع

Davidson, J. W. and Goulter, I. C. 1995. Evolution program for the design of rectilinear branched distribution systems. J. Comput. Civil Eng. 9(2): 112-121.

Fread, D. L. 1998. NWS FLDWAV model: Theoretical description hydrologic research laboratory. Office of Hydrology National Weather Service (NWS). NOAA.

Goldberg, D. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc. Boston, MA, USA.

Kakooei, S. and Emadi, A. R. 2013. Application of ACS algorithm in optimal water distribution (case study: MC canal of Alborz irrigation network). J. Water Soil Conserv. 20(2): 179-194. (in Persian)

Kouchakzadeh, S., Monem, M. J. and Kasbdouz, Sh. 1999. Determination of the optimal water distribution policy in an irrigation network (case study: Qurichay network). J. Agric. Sci. 30(2): 369-378. (in Persian)

Mathur, Y. P., Sharma, G. and Pawde, A. W. 2009. Optimal operation scheduling of irrigation canals using genetic algorithm. Int. J. Recent Trend. Eng. 1(6): 11-15.

Moghimzadeh, H., Kouchakzadeh, S. and Parvareshrizi, A. 2012. Experimental accommodation of FLDWAV hydrodynamic model for application in irrigation and drainage networks. J. Water Soil 26(1): 20-32. (in Persian)

Molden, D. J. and Gates, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery system. J. Irrig. Drain. Eng. 116(6): 804-823.

Monem, M. J. and Namdarian, R. 2005. Application of simulated annealing (SA) techniques of optimal water distribution in irrigation canals. J. Irrig. Drain. 54(1): 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. 4(1): 73-82. (in Persian)

Monem, M. J. and Shuurmans, S. W. 1992. Performance of canal delivery strategies and control system. CEMAGREF IIMI International Workshop on the Application of Mathematical Modeling for the Improvement of Canal Operation. Montpellier. France.

Monem, M. J., Najafi, M. R. and Khoshnavaz, S. 2007. Optimal water scheduling in irrigation networks using genetic algorithm. Iran Water Resour. Res. 3(1): 100-110. (in Persian)

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.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.17/No.67/2017/P:1-16

Optimal Water Scheduling in Bilavar Irrigation Network Using Genetic Algorithm

M. Omrani and M. M. Heidari*

* Corresponding Author: Associate Professor, Water Engineering Deptartment, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: mm.heidari@razi.ac.ir
Received: 27 June 2016, Accepted: 10 December 2016

Proper operation of irrigation networks because of population growth and limited water resources is essential. The poor operational performance of irrigation systems is partly as a result of improper distribution of water to the tertiary units and branches. In this study, the genetic algorithm has used in order to determine the optimal schedule of water distribution in BLMC channel of Bilavar network, located in Kermanshah Province. The optimal schedule of water distribution was presented in the form of single purpose, including minimizing the difference between the delivery and required amount of water for each farm. Initially, the genetic algorithm parameters and operators impact on the objective function were studied using sensitivity analysis. Suitable values for number of generations, population size, crossover and mutation probability for optimizing water distribution was determined to be 250, 200, 90% and 1%, respectively. In case of every 24 hours on and off water pump, differences between delivered and needed volume of water for all farms in Bilavar network, during first 10 days of April and first week of May, were 28910 and 14130 cubic meters, respectively. In this study, some hydraulic performance indices for irrigation programs presented by operator and program prepared by genetic algorithm were calculated. Adequacy, efficiency and Equity Index in the entire network for irrigation programs offered by the operator company were 0.97, 0.76 and 0.076 and for program prepared by the genetic algorithm, 0.985, 0.99 and 0.01 respectively. Result indicatethat the program prepared by the genetic algorithm has better hydraulic performance parameters.

Keywords: Bilavar Irrigation Network, FLDWAV Model, Genetic Algorithm, Optimal Water Scheduling