نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد10، فروردین - اردیبهشت 1395، ص. 23-12

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 10, Apr.-May. 2016, p. 12-23

بهینه‌سازی تخصیص و برنامه‌ریزی تحویل آب در شبکه‌های آبیاری

امین کانونی[1] و محمدجواد منعم[2*]

تاریخ دریافت: 1394/11/11 تاریخ پذیرش: 1394/2/15

چکیده

مطالعه حاضر تخصیص و توزیع بهینه آب در بخش‌های مختلف شبکه‌های آبیاری یعنی در سطح واحدهای زراعی و در سطح کانال‌های توزیع را مد نظر قرار می‌دهد که هدف آن بیشینه کردن سودمندی شبکه است. برای این منظور سه زیرمدل برای تخصیص بهینه آب بین محصولات مختلف، توزیع بهینه آب در طی دوره رشد هر محصول و تحویل بهینه آب بین انشعابات کانال‌ها تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های تهیه شده بر روی کانال توزیع K منشعب از کانال A از شبکه آبیاری مغان به‌کار گرفته شد و با هدف بیشینه نمودن سود کل، تخصیص آب بین محصولات مختلف، توزیع آن در طول دوره رشد هر یک از آن‌ها و عوامل تحویل آب برای این کانال به‌صورت بهینه تعیین گردید. سه سناریوی مختلف مقدار آب، شامل شرایط نرمال، 25 و 50 درصد کمبود آب در فرآیند مدل‌سازی مورد توجه قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که علی‌رغم کاهش سود کل در سناریوهای 25 و 50 درصد کمبود آب نسبت به شرایط نرمال، بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب به‌میزان 24 و 40 درصد افزایش یافته است. دبی حداکثر ورودی به کانال توزیع در سناریوی بدون کمبود آب 640 لیتر بر ثانیه و در دو سناریوی دیگر به‌ترتیب 590 و 360 لیتر بر ثانیه بوده است که نشان می‌دهد 8 و 44 درصد دبی کم‌تری نسبت به شرایط نرمال، وارد کانال شده و بنابراین موجب کاهش تلفات نشت و تبخیر از کانال می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تحویل آب، بهینه‌سازی، تخصیص، شبکه‌های آبیاری

مقدمه

عدم توجه به توزیع مناسب آب در شبکه‌های آبیاری باعث پائین آمدن سودمندی آن‌ها شده است. برای اینکه یک شبکه آبیاری عملکرد صحیحی داشته باشد، بایستی علاوه بر کاهش تلفات انتقال و توزیع آب در کانال‌ها، تخصیص و توزیع آب به واحدهای زراعی متناسب با نیازهای آبی باشد. درصورتیکه توزیع آب در سطح واحدهای زراعی متناسب با آب مورد نیاز آن‌ها نباشد ممکن است علاوه بر کاهش تولید بر اثر کمبود آب، در قسمتی از اراضی، آبیاری بیش از حد و در قسمتی دیگر نارضایتی دریافت‌کنندگان را به دنبال داشته باشد و به عدم رعایت عدالت در توزیع آب منجر شود. از سوی دیگر به‌دلیل ضعف روش‌های سنتی و تجربی در تحویل و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری، بخش عمده‌ای از این شبکه‌ها از عملکرد مطلوبی برخوردار نمی‌باشند . با توجه به این مشکلات و هم‌چنین با توجه به محدود بودن منابع آب، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب درکانال‌های توزیع شبکه‌های آبیاری ضروری می‌باشد. در روش‌های بهینه تحویل و توزیع آب، هر یک از عوامل تحویل آب (دبی، مدت و تناوب) با توجه به موجودی منابع آب، پتانسیل و توانایی مسئولین بهره‌برداری و مصرف‌کنندگان و ظرفیت و محدودیت‌های فیزیکی کانال‌های توزیع و سازه‌های وابسته تعیین می‌گردد. سابقه مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد علاوه بر برنامه‌ریزی بهینه تخصیص آب در سطح واحدهای زراعی، برنامه-ریزی توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری، بر مبنای دو حالت تقاضای ثابت و تقاضای متغیر متمرکز بوده است. در حالت اول، تحویل و توزیع آب در شبکه با فرض ثابت بودن تقاضا و بدون اطلاع از نیاز آبی واحدهای زراعی تحت پوشش، و تنها بر اساس درخواست مصرف‌کنندگان انجام می‌گیرد. در صورتی‌که در حالت دوم نوع گیاه، شرایط هواشناسی و رطوبت خاک به عنوان عوامل اثرگذار در نیاز آبی واحدهای زراعی مدنظر قرار گرفته و عوامل تحویل آب با توجه به نیازهای واقعی مبتنی بر شرایط موجود تعیین می‌شوند.

سانانتارا و رامیرز تخصیص بهینه فصلی آب آبیاری را بین چند محصول و همچنین برنامه‌ریزی آبیاری درون فصلی را به صورت بهینه برای هر یک از محصولات بر اساس روش SDP و با نگرش تجزیه دو مرحله‌ای مورد بررسی قرار دادند. در مرحله اول تخصیص بهینه آب آبیاری و مساحت تحت کشت برای هر کدام از محصولات

1- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس و استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی
2- دانشیار، گروه مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس
(*-نویسنده مسئول: Email:monem_mj@modares.ac.ir)

با استفاده از روش برنامه‌ریزی دینامیکی قطعی[1] (DDP) و با هدف حداکثر نمودن سود کل محصولات انجام گرفت و در مرحله دوم با استفاده از آب تخصیص یافته مرحله اول به هر کدام از محصولات، برنامه‌ریزی آبیاری درون‌فصلی با استفاده از الگوریتم SDP به‌صورت بهینه به‌دست آمد. در مدل پیشنهادی رفتار رطوبت خاک به‌صورت دینامیک و بارندگی هم به‌صورت متغیری تصادفی مد نظر قرار گرفته است (Sunantara and Ramirez., 1997).

مدل بهینه‌سازی دیگری به روش برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) با در نظرگرفتن معادله بیلان آب خاک جهت تخصیص آب بین محصولات مختلف و در مراحل مختلف رشد مورد مطالعه قرار گرفته است (Ghahramanand Sepaskhah., 2004). مدل تهیه شده برای دو حالت تک‌محصولی و چندمحصولی تحت دو زیرمدل با هدف حداکثر کردن سود توسعه یافت. در زیرمدل اول تخصیص بین محصولات مختلف با داشتن اطلاعاتی از حجم مخزن، جریان ورودی به مخزن و بارندگی اتفاق افتاده در منطقه و با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی مدل گردید و سپس در زیرمدل دوم با استفاده از روش SDP، تخصیص درون‌فصلی آب برای هر محصول انجام شد.

ناقش‌کومار و همکاران به‌منظور تخصیص آب به گیاهان مختلف از یک سد مخزنی تک منظوره، مطالعه‌ای را انجام دادند. در این مطالعه اطلاعاتی از قبیل جریان ورودی به مخزن، میزان بارندگی در طول فصل، میزان رطوبت موجود در خاک در هر واحد زراعی، خصوصیات خاکشناسی منطقه، ویژگی‌های زراعی گیاهان از جمله ضرائب حساسیت به آب با هدف حداکثر نمودن عملکرد نسبی گیاهان کل تحت کشت سد مخزنی، وارد مدل‌سازی شده و میزان آب قابل تخصیص به هر گیاه و در مراحل رشد آن‌ها به‌صورت بهینه به‌دست آمد (Nagesh Kumar., 2006).

مقدسی و همکاران در مطالعه دیگری بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط خشکسالی را در شبکه آبیاری زاینده‌رود اصفهان مورد مطالعه قرار دادند. مراحل مختلف رشد گیاهان و حساسیت آن‌ها به تنش آبی در مدل‌سازی تخصیص آب لحاظ گردید و سه زیرمدل جهت تخصیص بهینه آب در مراحل مختلف رشد هر گیاه، بین گیاهان مختلف و بین زیر شبکه‌های آبیاری تهیه شد. نهایتاً نتایج روش بهینه‌سازی با نتایج روش متداول تخصیص آب در منطقه که بر اساس اعمال یکسان کمبود آب استوار بود مورد مقایسه قرار گرفت و نشان داده شد که با اعمال روش بهینه‌سازی 42 درصد درآمد بیش‌تری عاید کشاورزان می‌گردد (Moghaddasi et al., 2010).

مطالعه دیگری که توسط براون و همکاران (Brown et al., 2010) به‌منظور برنامه‌ریزی بهینه آب آبیاری در سطح مزرعه تحت شرایط کمبود آب صورت گرفت بر اساس تصمیم‌گیری در خصوص زمان و مقدار آب آبیاری محصول استوار بود. ایشان از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی آبیاری موسوم به " برنامه‌ریزی آبیاری کانتربری[2]" (CIS) استفاده نمودند که از یک مدل گیاهی که تحت شرایط تنش جوابگو باشد بهره می‌جست. لذا با بهره‌گرفتن از روش بهینه‌سازی SA و مدل‌های دقیق گیاهی، مقدار و زمان آبیاری در سطح مزرعه را بهینه نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل‌های ساده گیاهی همچون مدل FAO33 در بهینه‌سازی سود در شرایط واقعی مناسب نمی‌باشند. هم‌چنین روش SDP که در اغلب مطالعات گذشته مورد توجه قرار گرفته است نمی‌تواند در آبیاری‌های با دوره برگشت طولانی (چندین روز) و در خشکسالی‌ها جوابگو باشد.

برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب در کانال‌های آبیاری با فرض تقاضای ثابت، اولین بار توسط سوریاوانشی و ردی(Suryavanshi and Reddy., 1986) برای روش تحویل گردشی آب در یک کانال توزیع، فرمول‌بندی و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی صفر و یک[3]، برنامه تحویل و توزیع بهینه آب بین انشعابات مختلف کانال توزیع ارائه شد، سپس ژی و همکاران (Zhi et al., 1995) فرم اصلاح شده مدل فوق‌الذکر را پیشنهاد کردند. در مدل پیشنهادی از مفهوم لوله-های جریان[4] جهت تحویل آب به انشعابات واقع در کانال توزیع استفاده به‌عمل آمد. هم‌چنین به‌منظور یافتن بازه زمانی بهینه برای آبگیری هر کدام از انشعابات در طول یک دور آبیاری، تحقیق مشابه دیگری در بهره‌برداری بهینه از انشعابات یک کانال توزیع با هدف کاهش اختلاف ظرفیت موردنیاز و ظرفیت واقعی کانال و با استفاده از مفهوم بلوک‌های زمانی انجام گردید (Reddy et al., 1999). با استفاده از مفهوم لوله‌های جریان توسعه داده شده توسط سوریاوانشی و ردی (Suryavanshi and Reddy., 1986)، مطالعه دیگری توسط انور و کلارک (Anwar and Clarke., 2001) به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری در کانال توزیع با یک تابع دو هدفه انجام گرفت. تابع هدف اول پیداکردن حداقل تعداد لوله‌های جریان بوده به‌طوریکه آب موردنیاز هر آبگیر در مدت مشخص را تأمین نماید و تابع هدف دوم پیداکردن ترتیب و زمان شروع آبیاری هر آبگیر بوده به شرطی که مجموع اختلاف مابین زمان شروع موردنظر و زمان شروع برنامه‌ریزی شده حداقل گردد. بدین ترتیب با اختصاص ضرایب وزنی به اهداف، مسئله برنامه‌ریزی با استفاده از روش صفر و یک حل گردید.

تقریباً از اوایل قرن 21 استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی[5] در بهینه‌سازی توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری مورد توجه محققین قرار گرفت. مطالعات بر روی روش‌های مختلف تحویل و توزیع آب (گردشی، برمبنای تقاضا و توافقی) و با بهره‌گیری از

1- Deterministic Dynamic Programming

2- Canterbury Irrigation Scheduling
3- Zero-One programming
4- Tube Flow
5- Meta Heuristic Algorithm

الگوریتم‌های مختلف ادامه یافت. در ابتدا روش ژنتیک (GA) مورد آزمون قرار گرفت که می‌توان به مطالعات نیکسون و همکاران (Nixon et al., 2001) و واردلا و بکتیکول(Wardlaw and Bhaktikul., 2004) اشاره نمود. سپس تحقیقات دیگری جهت بررسی کارآیی روش‌های دیگر فراکاوشی انجام گرفت که از آن جمله مطالعات صورت گرفته توسط منعم و نامداریان (Monem and Namdariyan., 2005)، متیور و همکاران (Mathur et al., 2009)، منعم و همکاران (1386)، منعم و نوری (1389) در استفاده از روش-های فراکاوشی از جمله روش ژنتیک، تابکاری فلزات (SA) و هوش جمعی ذرات (PSO) در بیهنه‌سازی توزیع و تحویل آب در کانال اشاره نمود. به‌عنوان نمونه‌ای از آخرین کارهای صورت گرفته می‌توان به مطالعات منعم و نامداریان (Monem and Namdariyan., 2005) اشاره نمود. ایشان با استفاده از روش بهینه‌سازی تابکاری فلزات و با هدف حداقل کردن ظرفیت کانال توزیع و تعداد عملیات بهره‌برداری دریچه‌ها، مدلی پیشنهاد و دبی، زمان تحویل آب و ترتیب تحویل آب به انشعابات را به‌عنوان متغیرهای تصمیم تعیین نمودند. سپس نتایج به‌دست آمده از این روش با نتایج حاصل از مطالعات ژی و همکاران (1995) مورد مقایسه قرار گرفت و کارائی آن نشان داده شد.

در خصوص تعیین بهینه عوامل تحویل آب و استفاده از روش-های بهینه‌سازی، مطالعه‌ای با در نظر گرفتن تغییرات تقاضا در انشعابات کانال توزیع و با لحاظ نمودن نیازهای متغیر آب آبیاری انجام و برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب با استفاده از روش ژنتیک بهینه‌سازی گردید (Wardlaw and Bhaktikul., 2004). در این تحقیق به‌منظور حفظ برابری در تحویل آب به انشعابات مختلف، از معادله بیلان آب خاک استفاده شده و با هدف حداقل کردن ظرفیت کانال توزیع و حداقل کردن تفاوت مابین ظرفیت کانال اصلی و ظرفیت مجموع انشعابات در هرگام زمانی، برنامه عملیات بهره‌برداری از آبگیرها در هر گام زمانی به‌دست آمد. در همین راستا به‌منظور بهبود برنامه‌ریزی تحویل آب در منطقه آبیاری Middle Rio Grande یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری[1]، تهیه شده و عملکرد مدل تهیه شده به مدت سه سال مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل تهیه شده با درنظر گرفتن رطوبت خاک، نوع و مساحت محصولات کشت شده و خصوصیات خاک منطقه، نیاز آبی مورد تقاضا را محاسبه و سپس با هدف حداقل‌سازی میزان دبی جریان اختصاصی به منطقه از محل تأمین آب، برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب به کانال‌های توزیع آب در شبکه آبیاری مورد نظر با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی انجام گرفت (Oad et al., 2009).

مرور سوابق نشان می‌دهد که در تحقیقات گذشته در تخصیص بهینه آب در شبکه‌های آبیاری که سیستم پیوسته‌ای از کانال‌های انتقال، کانال‌های توزیع و اراضی زراعی می‌باشد هیچگونه ارتباطی بین آن‌ها وجود نداشته و همه مطالعات به صورت مجزا به مسئله تخصیص و توزیع آب پرداخته است. وقتی تخصیص آب در سطح مزرعه مد نظر بوده، بهینه‌سازی تخصیص آب بین گیاهان مختلف و توزیع بهینه آن در طول دوره رشد هر محصول با فرض یک مقدار معین آب در دسترس، انجام شده و هنگامی که مسئله بهینه‌سازی در سطح کانال‌های توزیع شبکه مورد توجه بوده، عملیات بهره‌برداری کانال‌های توزیع با فرض یک مقدار معین نیاز آبی گیاهان تعیین گشته است. با توجه به اینکه یک شبکه آبیاری شامل همه موارد فوق می‌باشد بنابراین باید در بهینه‌سازی تخصیص و توزیع آب، هر دو سطح مزرعه و کانال‌های توزیع آب با هم و به‌صورت توام در نظر گرفته شود که در مطالعه حاضر این موضوع مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تئوری و ساختار مدل

فرآیند مدل‌سازی در این پژوهش به صورت مرحله به مرحله و با بهره‌گیری از سه زیرمدل تخصیص آب بین محصولات، توزیع آب در دوره‌های رشد هر محصول و تحویل آب بین انشعابات کانال توزیع صورت می‌گیرد (تشریح زیرمدل‌ها در ادامه ارایه خواهد شد). بدین-ترتیب ابتدا با توجه به منابع آب موجود، تخصیص بین محصولات زراعی مختلف طوری صورت می‌گیرد که سود کل سیستم حداکثر شود. سپس با توجه به مقدار آب اختصاص یافته به هر محصول، توزیع آن در طول دوره رشد هر محصول به نحوی انجام می‌گیرد که عملکرد محصول حداکثر گردد. در ادامه با توجه به مقدار آب تخصیص یافته به هر مرحله از رشد هر محصول، حجم آب موردنیاز اراضی تحت پوشش هر انشعاب به‌دست می‌آید. با معلوم شدن حجم آب مورد نیاز هر انشعاب در هر گام زمانی، عوامل تحویل و توزیع آب در بین انشعابات مختلف طوری برنامه‌ریزی می‌گردد تا اهداف مختلفی همچون حداقل‌سازی دبی ورودی به کانال توزیع، حداقل کردن زمان موردنیاز برای تکمیل برنامه آبیاری، حداقل کردن تفاوت بین حجم موردنیاز و حجم تحویلی تأمین شود. بهینه‌سازی تخصیص آب بین گیاهان مختلف توسط زیرمدل اول انجام و خروجی آن به-عنوان حجم آب تخصیص یافته به هر محصول، به زیرمدل دوم وارد می‌شود. توزیع آب در دوره‌های رشد هر محصول با استفاده از زیرمدل دوم صورت گرفته و خروجی آن نیز به‌عنوان ورودی زیرمدل سوم (مدل توزیع و تحویل آب در کانال) مدنظر قرار می‌گیرد. بدین ترتیب ضمن اینکه تخصیص آب به محصولات مختلف به‌صورت بهینه انجام می‌شود و توزیع همین آب اختصاص یافته در طول دوره رشد هر محصول بهینه می‌شود، تحویل و توزیع آب بین انشعابات مختلف

1- Decision Support System

کانال توزیع نیز به‌صورت بهینه انجام می‌گیرد تا در نهایت بتوان ضمن دستیابی به حداکثر سود، حداکثر کفایت و حداقل تلفات آب به دست آید. در ادامه مدل‌سازی تخصیص و توزیع آب در سطح واحدهای زراعی و در سطح کانال توزیع در قالب سه زیرمدل بهینه-سازی تشریح می‌شود.

مدل‌سازی تخصیص وتوزیع آب در واحدهای زراعی

الف) بهینه‌سازی تخصیص برون فصلی آب (زیرمدل اول)

این زیرمدل کل آب موجود در ابتدای فصل زراعی را به‌صورت بهینه بین محصولات مختلف طوری تخصیص می‌دهد که سود حاصل بیشینه گردد. متغیرهای تصمیم در آن میزان آب اختصاص یافته به هر محصول بوده و تابع هدف نیز به‌صورت رابطه 1 می‌باشد.

$$MAX \ : \quad R = \sum_{c=1}^{Nc} A_c \left[f_c(H_c)\ Y_{mc}\ P_c - C_c \right] \tag{1}$$

$$\sum_{t=1}^{T} IR(t) \le TAW \tag{2}$$

که در آن $f_C(H_C)$ تابع بیان‌کننده رابطه بین عملکرد نسبی و آب تخصیص یافته بوده و با استفاده از رابطه 2 به ازاء مقادیر مختلف آب، محاسبه و به صورت یک معادله درجه دو قابل استخراج است، Ymc عملکرد حداکثر محصولc، A_C سطح زیرکشت محصولc، Nc تعداد کل محصولات، Pc درآمد محصول c، Cc هزینه تولید محصولc، TAW کل آب موجود، IR(t) عمق آب تخصیصی به هر گام زمانی (میلی‌متر) و Tکل گام‌های زمانی می‌باشد.

ب) بهینه‌سازی درون فصلی آب (زیرمدل دوم)

در این زیر مدل، حجم مشخصی از آب طوری در دوره‌های رشد هر گیاه توزیع می‌گردد تا عملکرد کل محصول در انتهای دوره رشد بیشینه گردد. تابع هدف و محدودیت‌های مساله به صورت روابط 3 تا 6 بیان می‌شود.

$$MAX \ : \quad \frac{Ya}{Ym} = 1 - \sum_{s=1}^{n} Ky_s \left(1 - \frac{ETa}{ETm}\right)_s \tag{3}$$

Subject to:

$$PWP \ \le SM\ (t) \le FC \tag{4}$$

$$DP(t) \ge (1 - Ea)\, IR(t) \tag{5}$$

$$ETa\,(t) \le \frac{(SM\,(t) - PWP)\,Root\,(t) + RA(t) + IR(t) - DP\,(t)}{(1-p)(FC - PWP)\,Root\,(t)}\, ETm\,(t) \tag{6}$$

در روابط فوق:ETa/ETm نسبت تبخیر و تعرق واقعی به پتانسیل گیاه، Ky ضریب حساسیت گیاه به تنش آب، Ya/Ymعملکرد نسبی، SM(t) رطوبت خاک در گام زمانی t (متر در متر)، Root(t) عمق توسعه ریشه در گام زمانی t (میلی‌متر)، IR(t) عمق آب تخصیصی به هر گام زمانی (میلی‌متر)، RA(t) میزان بارندگی در مدت زمان t در منطقه (میلی‌متر، DP(t) نفوذ عمقی در گام زمانی (میلی‌متر) ، FC رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، PWP رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، Ea راندمان کاربرد آب آبیاری، p کمبود مجاز رطوبتی، n تعداد مراحل رشد و s شماره مربوط به مرحله رشد هر محصول می‌باشد.

مدل‌سازی توزیع و تحویل بهینه آب در کانال توزیع (زیرمدل سوم)

در این بخش عوامل تحویل آب در یک کانال توزیع یعنی دبی، مدت و تناوب تحویل آب به هر انشعاب تعیین می‌گردند. لذا با انتخاب تعداد بلوک معین و دسته‌بندی انشعابات در داخل هر بلوک، نوبت-بندی تحویل آب به هر یک از انشعابات در هر بلوک و دبی تحویلی به آن‌ها به‌نحوی تعیین می‌شود تا اهداف مورد نظر از جمله دبی جریان یافته در کانال، اختلاف حجم مورد نیاز و تحویلی به هر انشعاب حداقل گردد و حداکثر زمان برای تکمیل آبیاری حاصل شود. تابع هدف در این زیرمدل به صورت رابطه 7 می‌باشد:

$$Min \ : \quad F = Q_m + T_m + \Delta V \tag{7}$$

که در آن: F تابع هدف، Q_m مقدار حداکثر مجموع دبی انشعاباتی که همزمان آبگیری می‌کنند، T_m مقدار حداکثر اختلاف دور آبیاری از زمان بهره‌برداری از انشعابات در یک بلوک، ΔV مجموع قدر مطلق اختلاف حجم مورد نیاز و تحویلی به هر انشعاب می‌باشد. دبی تحویلی به هر انشعاب، بلوک‌بندی انشعابات و توزیع آن‌ها در بلوک‌ها، زمان‌بندی تحویل آب به هر انشعاب، میزان و زمان بازشدگی دریچه سراب کانال توزیع به‌عنوان متغیرهای تصمیم مساله بوده و جریمه-هایی نیز به صورت روابط 8 تا 10 در مدل‌سازی در نظر گرفته می-شود:

جریمه مربوط به قید ظرفیت کانال: مجموع جریان ورودی به انشعاباتی که همزمان آبگیری می‌کنند باید از ظرفیت کانال توزیع کم‌تر باشد. حال چنانچه در فرآیند بهینه‌سازی این شرط برقرار نشود تابع جریمه‌ای به‌صورت رابطه 8 به تابع هدف اضافه می‌شود.

$$PenQ \ = \max \left\{ Q_{msi} / Q_0 \ , \ 0 \right\} \tag{8}$$

که در آن: Q_0 ظرفیت طراحی کانال، Q_{msi} مجموع دبی انشعاباتی که همزمان آبگیری می‌کنند و PenQ تابع جریمه مربوط به قید ظرفیت کانال می‌باشد.

جریمه مربوط به قید مدت زمان تکمیل آبیاری: انشعاباتی که در یک بلوک قرار می‌گیرند به‌صورت متوالی آبگیری می‌کنند، لذا مجموع زمان آبگیری انشعابات داخل هر بلوک نباید از دور آبیاری بیش‌تر باشد. چنانچه در فرآیند بهینه‌سازی این شرط برقرار نشود تابع جریمه‌ای به‌صورت رابطه 9 به تابع هدف اضافه می-شود.

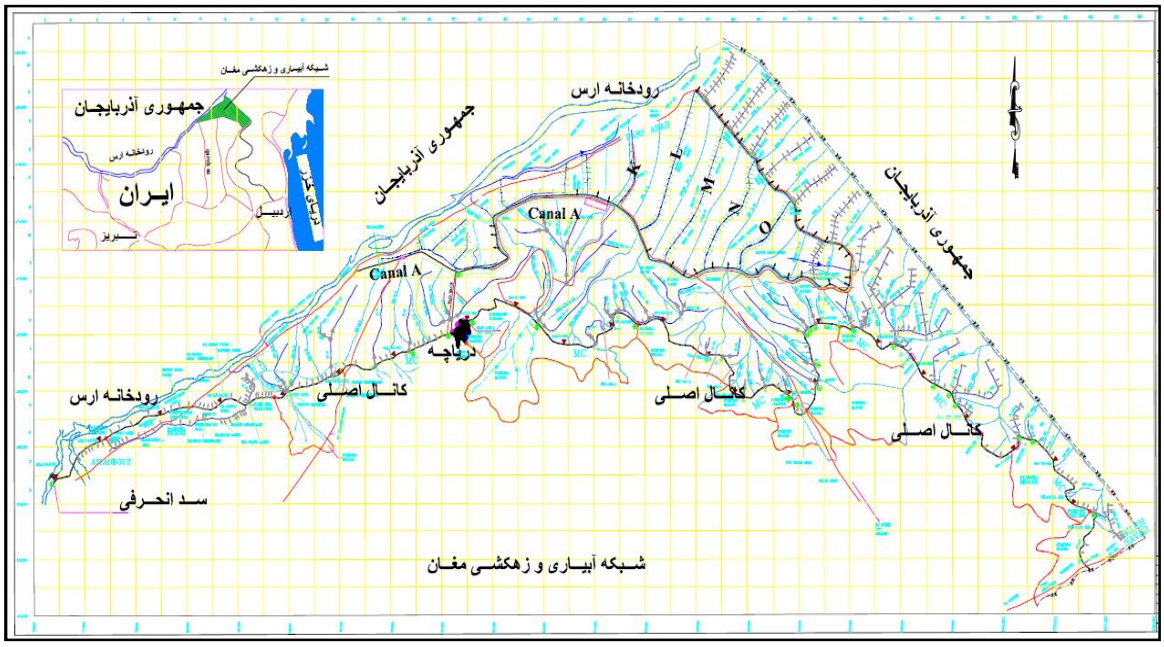
$$PenT = \max\{T_{sbt} / f , 0\} \quad (9)$$

که در آن: T_{sbt} مجموع زمان آبگیری انشعابات واقع در هر بلوک، PenT تابع جریمه مربوط به قید زمان تکمیل آبیاری و f دور آبیاری می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اجزاء تابع هدف، دارای واحد یکسانی نیستند لذا برای استفاده صحیح از آن‌ها، با تقسیم هر جزء به مقدار بیشینه آن، مقدار نرمال شده در تابع هدف قرار داده می‌شوند. هم‌چنین تابع هدف فوق یک تابع سه هدفه می‌باشد که به‌صورت مجموع وزنی همگن نوشته شده است.

در مدل‌سازی تخصیص آب در طول فصل رشد هر گیاه (زیر مدل دوم) به‌دلیل ماهیت خطی مدل، از روش بهینه‌سازی (LP) و برای مدل‌سازی تخصیص آب بین گیاهان مختلف (زیر مدل اول) از روش بهینه‌سازی غیرخطی (NLP) استفاده شده و در محیط نرم‌افزار LINGO مدل‌های تهیه شده اجرا گردید. هم‌چنین علی‌رغم خطی بودن زیرمدل سوم، به‌دلیل پیچیده بودن فرآیند مدل‌سازی در آن و وجود انواع متغیرهای پیوسته و عدد صحیح، از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی آن استفاده گردید.

معرفی منطقه مورد مطالعه و اطلاعات موردنیاز

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق قسمتی از اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی مغان می‌باشد. این دشت در حد فاصل طول‌های ´25-47° و ´25-48° شرقی و عرض‌های ´25-39° و ´42-39° شمالی قرار دارد. شبکه آبیاری و زهکشی مغان با آبگیری از سد انحرافی میل و مغان واقع بر رودخانه ارس حدود 72 هزار هکتار از اراضی دشت مغان را تحت پوشش قرار می‌دهد. آب انحرافی از این سد توسط کانال اصلی شبکه به طول 35 کیلومتر و ظرفیت حداکثر 80 مترمکعب در ثانیه وارد دریاچه مصنوعی واقع در شهرک شهید غفاری می‌گردد. این کانال مجدداً از دیواره شمالی دریاچه ادامه یافته و پس از طی مسافتی بالغ بر 78 کیلومتر در جنوب شهرستان بابک و بیله‌سوار از طریق کانال دنباله به رودخانه بالهارود تخلیه می‌گردد. بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی مغان از طریق 4 ناحیه آبیاری اصلاندوز، شهرک، پارس‌آباد و بیله‌سوار صورت می‌گیرد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش در منطقه آبیاری پارس‌آباد قرار دارد. این منطقه آبیاری توسط کانال Aکه از دریاچه مصنوعی و پس از تخلیه نیروگاه موجود و در محل سه‌پل، آبگیری می‌کند حدود 21840 هکتار اراضی خالص کشاورزی را شامل می‌شود. کانال K با ظرفیت حداکثر 1/8 مترمکعب بر ثانیه و سطح تحت پوشش 1083/6 هکتار که از کانال A منشعب می‌شود و دارای 16 انشعاب می‌باشد در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت (شکل 1). خاک اراضی شبکه در محدوده مورد مطالعه دارای بافت متوسط با FC= 0/3 و PWP= 0/15 (حجمی) بوده و گیاهان عمده مورد کشت کانال K در سال زراعی90-89، گندم، کلزا، و ذرت‌دانه‌ای بوده است. از آمار ایستگاه هواشناسی پارس‌آباد مغان جهت تهیه اطلاعات هواشناسی موردنیاز تحقیق استفاده به عمل آمد.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول 1- متوسط عملکرد، طول دوره رشد و ضرایب حساسیت به تنش آبی (Ky) گیاهان مختلف

محصول	ضرایب حساسیت و طول دوره رشد (روز) در مراحل رشد				متوسط عملکرد (تن در هکتار)
	رشد رویشی	گل‌دهی	شکل‌گیری عملکرد	رسیدن	
گندم	150*(0/2)	20 (0/6)**	40 (0/5)	20 (0/001)	4/35
کلزا	150*(0/2)	30 (0/6)	30 (0/5)	20 (0/001)	3/05
ذرت دانه‌ای	60 (0/4)	20 (1/5)	40 (0/5)	20 (0/2)	7

*: به مدت دو ماه در طول ماههای آذر و دی خواب زمستانه در منطقه اتفاق می‌افتد. **: اعداد داخل پرانتز ضرایب حساسیت و اعداد خارج از آن طول دوره رشد (روز) را نشان می‌دهد.

جدول 2- تقویم کشت و هزینه و درآمد محصولات مختلف بر اساس آمار سال 90-89

محصول	حداکثر عملکرد (تن در هکتار)	عمق کاشت (سانتی‌متر)	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	هزینه تولید در هکتار(هزار ریال)	فروش واحد(ریال در کیلوگرم)
گندم	6	5	دهه دوم آبان	دهه آخر خرداد	7000	3600
کلزا	4	5	دهه اول آبان	دهه دوم خرداد	9000	6500
ذرت دانه-ای	9	5	دهه دوم اردیبهشت	دهه آخر شهریور	14000	5000

به‌منظور انجام مدل‌سازی داده‌های مربوط به محصولات عمده، از جمله عملکرد حداکثر و متوسط، عمق کاشت، عمق حداکثر توسعه ریشه، تاریخ کاشت و برداشت و نرخ واحد فروش محصولات، از اطلاعات منطقه‌ای و گزارشات سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل استخراج گردید. هم‌چنین پارامترهای گیاهی از قبیل ضرایب حساسیت به تنش آب و جزء رطوبت بحرانی از مقادیر پیشنهادی توسط دورنبوس و کسام (Doorenbos and Kessam., 1979) انتخاب گردید. در جدول شماره 1 متوسط عملکرد، طول دوره رشد و ضرایب حساسیت به تنش آب و هم‌چنین در جدول شماره 2 تقویم کشت و هزینه و درآمد محصولات مختلف ارائه شده است.

نتایج و بحث

نتایج تخصیص و توزیع بهینه آب در سطح واحدهای زراعی

به‌منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف آب موجود در تخصیص بین محصولات و توزیع آن در طول فصل رشد آن‌ها، سه سناریوی آب موجود یعنی: الف) سناریوی بدون کمبود آب (شرایط نرمال) ب) سناریوی 25 درصد کمبود آب نسبت به شرایط نرمال و ج) سناریوی 50 درصد کمبود آب نسبت به شرایط نرمال، تدوین گردید. سپس به ازاء مقادیر مختلف آب موجود، مقادیر بهینه عمق آب آبیاری در دوره-های درون‌فصلی برای محصولات مختلف محاسبه و با توجه به زیرمدل دوم عملکرد بهینه آن‌ها محاسبه شد. در ادامه با توجه به مقادیر مختلف آب در دسترس و عملکرد متناظر آن‌ها تابع تولید محصولات به‌دست آمد که نتایج آن به‌صورت نمودار نشان‌دهنده تابع عملکرد نسبی برای تک تک محصولات در شکل شماره 2 نشان داده شده است.

با محاسبه تابع عملکرد نسبی محصولات و به ازای مقادیر مختلف آب موجود در سناریوهای مختلف، تخصیص بهینه آب بین گیاهان با استفاده از زیر مدل اول انجام شد. گیاهان تحت کشت، مساحت و مقادیر آب بهینه تخصیص یافته به هر یک از آن‌ها در هر سناریو در جدول شماره 3 ارائه شده است. پس از اینکه آب بهینه تخصیص یافته به هر محصول در هر یک از سناریوها به‌دست آمد با بهره‌گیری از زیرمدل دوم، توزیع آب در طول فصل رشد هر گیاه و در دوره‌های ده روزه بهینه شد. در شکل شماره 3 نمونه‌ای از توزیع درون‌فصلی آب در سناریوهای مختلف آب ارائه شده است.

تأثیرسناریوهای کمبود آب بر بهره‌وری مصرف آب

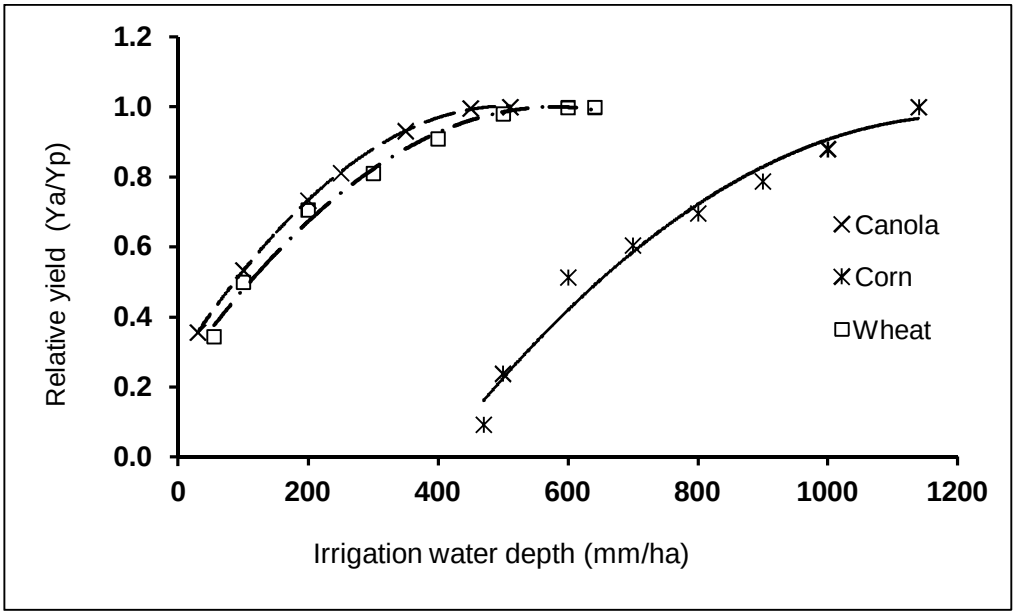
تأثیر کمبود آب بر سود کل و بهره‌وری مصرف آب که برای هر سناریو به‌دست آمده در جدول 4 نشان داده شده است. با وجود اینکه سود کل در سناریوی کمبود 25 و 50 درصد، به میزان 7 و 30 درصد کم‌تر از سناریوی بدون کمبود آب بوده است ولی بهره‌وری مصرف آب به میزان 24 و 40 درصد افزایش یافته است.

نتایج توزیع وتحویل بهینه آب درسطح کانال

آب بهینه تخصیص یافته به هر گیاه و توزیع آن در دوره‌های درون‌فصلی که با استفاده از زیرمدل‌های اول و دوم به‌دست آمد جهت

محاسبه آب مورد تقاضای هر انشعاب واقع بر کانال توزیع K بـه کـار برده می‌شود.

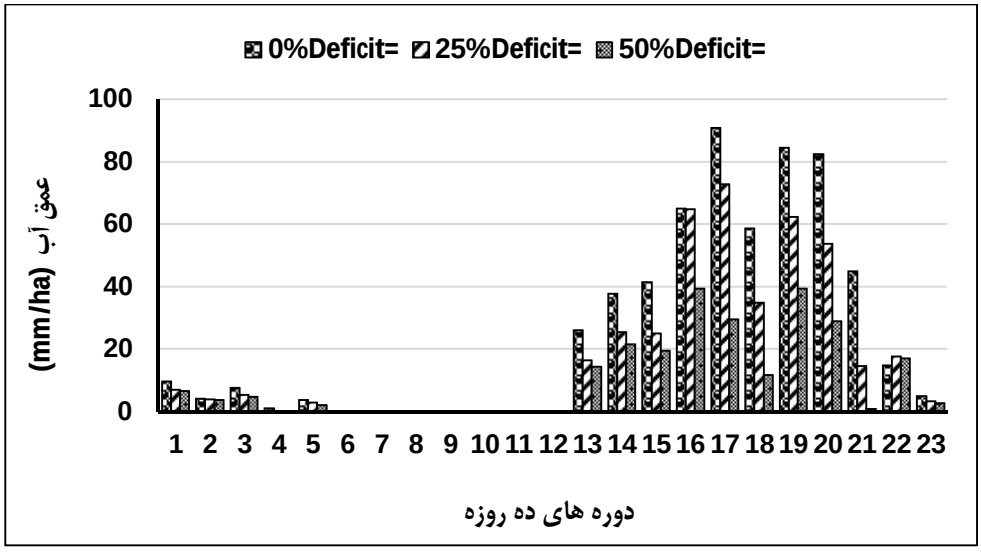
برای این منظور، ابتدا یک دوره زمانی مشترک برای همه گیاهان که از اول اسفند شروع و تا آخر آذرماه سال بعد در دوره‌هـای ده روزه ادامه می‌یابد انتخاب گردیـد کـه جمعـاً 30 گـام زمـانی بـوده اسـت.



شکل2- توابع عملکرد نسبی محصولات

جدول3- عمق بهینه آب تخصیص یافته به محصولات در شرایط مختلف آب موجود (میلی‌متر)

نوع محصول	مساحت(هکتار)	درصد محدودیت آب		
		0	25	50
گندم	560	580	412	244
کلزا	280	508	397	284
ذرت دانه‌ای	50	1140	1092	967



شکل 3- توزیع عمق بهینه آب در دوره‌های رشد گندم در شرایط مختلف کمبود آب

جدول4- مقادیر بهره‌وری مصرف آب تحت سناریوهای مختلف کمبود آب

درصد محدودیت آب	حجم کل آب تخصیصی (میلیون مترمکعب)	سود کل قابل حصول		بهره‌وری مصرف آب	
		مقدار (میلیارد ریال)	درصد تغییرات نسبت به حالت نرمال	مقدار (ریال بر مترمکعب)	درصد تغییرات نسبت به حالت نرمال
0	5/24	14/4	0	2753	0
25	3/93	13/4	-7	3403	+24
50	2/62	10/1	-30	3861	+40

سپس با توجه به مساحت تحت کشت هر محصول و عمق آب بهینه توزیع شده در دوره‌های درون‌فصلی آن، حجم آب اختصاص یافته به هر محصول در هر گام زمانی محاسبه گردید. در مرحله بعد، آب مورد تقاضای هر انشعاب در گام‌های زمانی مختلف با استفاده از حجم تخصیص یافته به هر گیاه و مساحت تحت کشت آن به‌دست آمد. با معلوم شدن آب مورد تقاضای هر انشعاب و مشخصات فیزیکی کانال توزیع از جمله ابعاد و ظرفیت کانال، نوع و ظرفیت آبگیرهای واقع بر روی آن و ... مدل‌سازی توزیع و تحویل آب در کانال با بهره‌گیری از زیرمدل سوم و با استفاده از الگوریتم ژنتیک در هر گام زمانی انجام شد. در الگوریتم ژنتیک برای تولید جمعیت اولیه، رشته‌ای به‌طول دو برابر تعداد انشعاب (کروموزومی با 32 ژن) تشکیل و سپس دبی هر انشعاب و شماره بلوک آن به صورت تصادفی در سلول‌های رشته قرار می‌گیرد. دبی هر انشعاب عددی پیوسته در محدوده مجاز آن یعنی بین حداقل و حداکثر دبی دریچه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود و بدنبال آن شماره بلوک هر انشعاب که عددی صحیح بوده و مابین عدد یک و تعداد بلوک انتخاب شده می‌باشد قرار می‌گیرد. اختصاص شماره بلوک به هر انشعاب طوری صورت می‌گیرد که بلوکی بدون انشعاب باقی نماند. با این فرضیات، تمام اعضاء جمعیت تعیین و در طی فرایند بهینه‌سازی، جواب‌های بهینه در هر گام زمانی محاسبه می‌شوند. مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک در این زیرمدل با تحلیل حساسیت بر روی آن‌ها به‌صورت جدول شماره 5 انتخاب شده و سپس مدل تهیه شده برای هر گام زمانی به‌صورت جداگانه اجرا و عوامل تحویل آب در کانال به‌عنوان متغیرهای تصمیم تعیین شدند.

به‌عنوان نمونه‌ای از نتایج، عوامل تحویل آب در کانال همچون دبی و زمانبندی تحویل آب به هر انشعاب برای گام زمانی هفتم (دهه اول اردیبهشت ماه) و سناریوی 25 درصد کمبود آب در جدول شماره 6 ارائه شده است. در این جدول دبی و مدت زمان تحویل آب به هر انشعاب و همچنین زمانبندی تحویل آب به انشعابات مشخص می‌باشد. زمان انتهای عملیات بهره‌برداری نیز 232 ساعت از ابتدای شروع عملیات بهره‌برداری می‌باشد که انشعاب‌های 2 ، 4 و 9 آخرین انشعابات در حال آبگیری می‌باشند. مدت کل عملیات بهره‌برداری از دور ده روزه کم‌تر است که نشان از ارضای قید مربوطه در مدل می‌باشد.

جدول5- پارامترهای مدل در الگوریتم ژنتیک

بعد جامعه	احتمال جهش	احتمال تزویج	تعداد تکرارنسل
200	0/09	0/8	1000

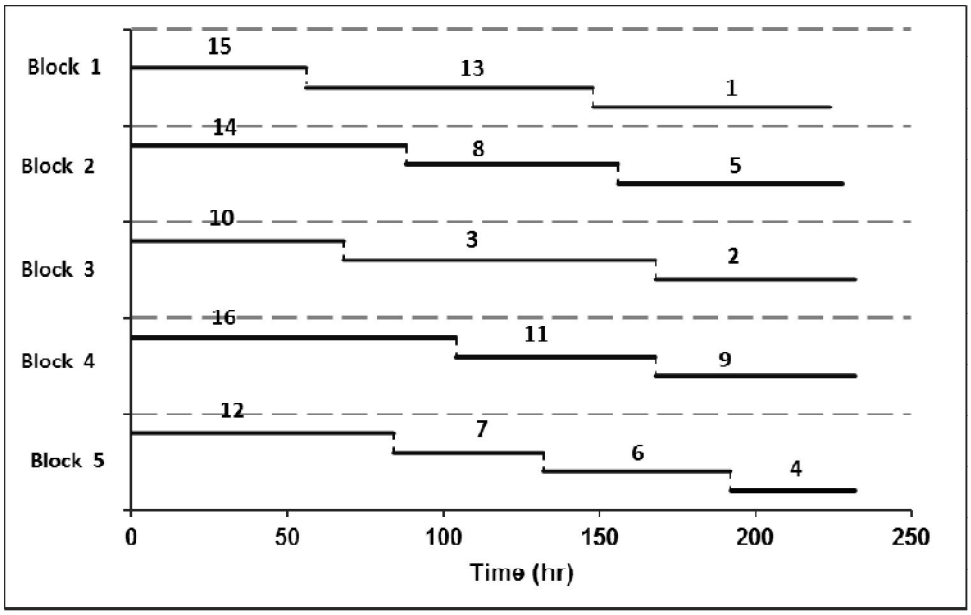
بلوک‌بندی انشعابات از دیگر عوامل تحویل آب بشمار می‌رود که طی آن انشعابات در داخل تعداد بلوک مشخصی گروه‌بندی می‌شوند. انتخاب تعداد بلوک بیشتر منجر به افزایش دبی ورودی به کانال و کاهش مدت زمان تکمیل برنامه آبیاری می‌شود و هر چه تعداد بلوک کم‌تری انتخاب شود میزان دبی ورودی و یا ظرفیت کانال کاهش یافته و در عوض مدت زمان تکمیل برنامه آبیاری طولانی‌تر خواهد بود. بنابراین حداقل تعداد بلوک لازم جهت گروه‌بندی انشعابات طوری تعیین می‌شود که مدت زمان تکمیل برنامه آبیاری بیش‌تر از دور آبیاری نباشد. این کار، با آزمون و خطا و در طی تکرار فرآیند اجرای مدل امکان‌پذیر خواهد بود. با این توضیح، بلوک‌بندی انشعابات برای گام زمانی هفتم انجام گردید که نتایج آن به‌صورت شکل شماره 4 می‌باشد.

انشعابات در پنج بلوک مختلف توزیع شده و آن‌هایی که به طور متوالی آبگیری می‌کنند در یک بلوک قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال انشعابات 16 ، 11 و 9 به‌صورت متوالی در بلوک شماره 4 مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند یعنی اینکه پس از اتمام آبگیری انشعاب 16 ، انشعاب شماره 11 و سپس شماره 9 مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. هم‌چنین انشعابات 15، 14، 10، 16 و 12 به‌طور همزمان شروع به آبگیری می‌کنند. در عملیات بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری در برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب در شبکه‌ها، نحوه آبگیری کانال‌های توزیع از کانال درجه یک اهمیت بالائی دارد. این موضوع که با ترسیم هیدروگراف جریان ورودی عینیت می‌یابد در شکل شماره 5 برای کانال K ارائه شده است.

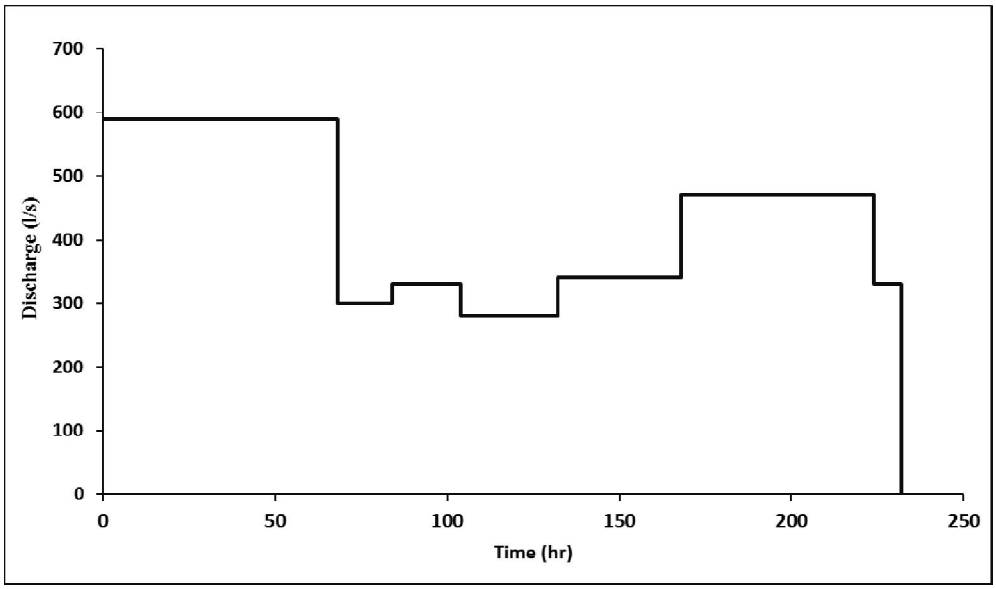
جدول 6- دبی و زمان‌بندی تحویل آب به انشعابات کانال توزیع Kدر گام زمانی هفتم

شماره انشعاب	حداکثر دبی (لیتر بر ثانیه)	دبی بهینه (لیتر بر ثانیه)	مدت زمان آبگیری (ساعت)	زمان شروع (از ساعت)	زمان پایان (تا ساعت)
1	60	60	76	148	224
2	120	120	64	168	232
3	60	50	100	68	168
4	120	120	40	192	232
5	90	80	72	156	228
6	120	120	60	132	192
7	60	60	48	84	132
8	60	60	68	88	156
9	90	90	64	168	232
10	480	350	68	0	68
11	60	50	64	104	168
12	60	40	84	0	84
13	90	60	92	56	148
14	60	50	88	0	88
15	60	50	56	0	56
16	120	100	104	0	104

هیدروگراف جریان ورودی به کانال نشان می‌دهد که حداکثر دبی جریان ورودی به کانال 590 لیتر در ثانیه و مدت کل زمان تحویل آب به انشعابات 232 ساعت بوده است. این نمودار تعداد تنظیمات آبگیر سراب کانال توزیع را در طول دوره آبیاری نشان می‌دهد. در طول این مدت، آبگیر اصلی ورودی به کانال توزیع Kکه از کانال درجه یک A آب را دریافت می‌کند جمعاً هفت بار توسط مسئول بهره‌برداری شبکه تنظیم می‌شود. زمان‌بندی این تنظیمات نیز به‌عنوان برنامه عملیات بهره‌برداری، مشخص شده و به همراه اطلاعات دیگر در اختیار مسئول بهره‌برداری شبکه قرار می‌گیرد.



شکل 4- بلوک‌بندی انشعابات در سناریوی 25 درصد کمبود آب



شکل 5- هیدروگراف جریان ورودی به کانال در سناریوی 25 درصد کمبود آب

نتایج برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب که برای سناریوی 25 درصد کمبود آب و در گام زمانی هفتم ارائه شد برای تمام دوره‌های ده روزه در طول یک سال به‌صورت جداگانه اجرا و نتایج مشابه آن استخراج گردید. هم‌چنین برای دیگر سناریوهای آب موجود، این فرایند تکرار شد که خلاصه‌ای از آن‌ها در جدول شماره 7 ارائه شده است. با کاهش آب موجود اولیه، میزان دبی کم‌تری وارد کانال خواهد شد. این روند در شرایط کمبود شدید منابع آب (سناریوی 50 درصد کمبود) محسوس‌تر بوده است. کاهش تعداد بلوک از 7 عدد به 3 عدد این موضوع را تایید می‌کند. با انتخاب تعداد بلوک کم‌تر علاوه بر کاهش دبی کانال، حداکثر استفاده از دور آبیاری بعمل می‌آید. بر اساس نتایج به‌دست آمده، دبی حداکثر ورودی به کانال در سناریوی بدون کمبود آب640 لیتر بر ثانیه و در دو سناریوی دیگر به ترتیب 590 و360 لیتر بر ثانیه بوده است که 8 و 44 درصد دبی کم‌تری نسبت به شرایط بدون کمبود، وارد کانال می‌شود. مدت زمان تکمیل برنامه آبیاری در سناریوهای مختلف، نشان‌دهنده حداکثر استفاده از دور آبیاری بوده و میزان صرفه‌جویی در زمان را در طول دوره نشان می‌دهد. تفاوت حجم آب موردنیاز هر انشعاب با حجم تحویلی به آن، که نشان‌دهنده میزان کفایت تحویل آب در کانال می‌باشد به‌طور جداگانه برای هر سناریو محاسبه و در جدول فوق‌الذکر ارائه شده است. این تفاوت، مجموع تفاوت‌های آب موردنیاز و تحویلی به تک تک انشعابات بوده است. بیش‌ترین میزان انحراف از تحویل آب موردنیاز، در سناریوی کمبود 50 درصد با تحویل 7/1 درصد بیش‌تر از حجم مورد نیاز و کم‌ترین آن در سناریوی بدون کمبود با تحویل4/2 درصد بیش‌تر از حجم مورد نیاز اتفاق افتاده است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور تخصیص و توزیع بهینه آب در بخش-های مختلف شبکه‌های آبیاری سه زیرمدل مختلف تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. با تلفیق نتایج و خروجی مدل‌ها با یکدیگر، تخصیص بهینه مطابق با شرایط واقعی و نیاز آبی شبکه صورت پذیرفت. یعنی ضمن تخصیص بهینه آب موجود بین گیاهان، خصوصیات و محدودیت‌های فیزیکی شبکه نیز مد نظر قرار گرفت. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به ظرفیت حداکثر طراحی کانال، ظرفیت سازه‌های آبگیر، دور آبیاری و . . . اشاره نمود. هدف از توزیع و تحویل بهینه آب در سطح کانال توزیع، ارائه برنامه بهره‌برداری آبگیرها درکانال‌های توزیع شبکه بود که در قالب برنامه زمان‌بندی تحویل آب به انشعابات، بلوک‌بندی و میزان تنظیم دریچه‌ها بر اساس دبی تحویلی ارائه گردید.

جدول7- مقایسه سناریوهای مختلف کمبود آب در گام زمانی هفتم

درصد محدودیت آب	حجم آب تخصیص یافته (هزار مترمکعب)	حداکثر دبی کانال (لیتر بر ثانیه)	مدت زمان تکمیل تحویل آب (ساعت)	تفاوت حجم موردنیاز و تحویلی (درصد)	تعداد بلوک
0	479/9	640	236	+4/2	7
25	363/5	590	232	+4/5	5
50	199/4	360	220	+7/1	3

هیدروگراف جریان ورودی به کانال توزیع که تنظیمات سازه آبگیر ابتدای کانال و زمان‌بندی این تنظیمات را ارائه می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان برنامه عملیاتی در اختیار مسئول بهره‌برداری قرار گیرد تهیه شد. مدل‌های تهیه شده بر روی کانال توزیع K منشعب از کانال A از شبکه آبیاری مغان به‌کار گرفته شد و عوامل تحویل آب برای این کانال تعیین گردید و در ضمن، تخصیص آب بین محصولات مختلف و توزیع آن در طول دوره رشد هر یک از آن‌ها به‌صورت بهینه و با هدف حداکثرسازی سود انجام گرفت. سه سناریوی مختلف آب موجود در فرآیند مدل‌سازی مورد توجه قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با وجود اینکه سود کل در سناریوی کمبود 25 و 50 درصد، به میزان 7 و 30 درصد کم‌تر از سناریوی بدون کمبود آب بوده ولی بهره‌وری مصرف آب به میزان 24 و 40 درصد افزایش یافته است. دبی حداکثر ورودی به کانال در سناریوی بدون کمبود آب 640 لیتر بر ثانیه و در دو سناریوی دیگر به‌ترتیب 590 و 360 لیتر بر ثانیه بوده است که 8 و 44 درصد دبی کم‌تری نسبت به شرایط بدون کمبود، وارد کانال خواهد شد. مدت زمان تکمیل برنامه آبیاری در سناریوهای مختلف، نشان‌دهنده حداکثر استفاده از دور آبیاری بوده است. هم‌چنین تفاوت حجم آب موردنیاز هر انشعاب با حجم تحویلی به آن، که نشان‌دهنده میزان کفایت تحویل آب در کانال می‌باشد به طور جداگانه برای هر سناریو محاسبه شده است. بیش‌ترین میزان انحراف از تحویل آب موردنیاز، در سناریوی کمبود 50 درصد و کم‌ترین آن در سناریوی بدون کمبود اتفاق افتاده است.

منابع

منعم،م.ج و نوری،م.ع. 1389. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSOدر توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران. 1 .4 :73-82.

منعم،م.ج.، نجفی،م.ر و خوشنواز،ص.1386. برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب در کانال‌های آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات منابع آب ایران.3. 1: 100-110.

Anwar,A.A and Clarke,D. 2001.Irrigation scheduling using mixed-integer linear programming.Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE.127.2: 63-69.

Brown,P.D., Cochrane,T.a and Krom,T.D. 2010. Optimal on-farm irrigation scheduling with a seasonal water limit using simulated annealing. Agricultural Water Management. 97: 892-900.

Doorenbos,J and Kassam,A.H. 1979. Yield response to water. FAO irrigation and drainage paper.No. 33. Rome. Italy.

Ghahraman,B and Sepaskhah,A.R. 2004. Linear and non-linear optimization models for allocation of a limited water supply. Irrigation and Drainage 53: 39-54.

Mathur,Y.P., Sharma,G and Pawde,A.W. 2009. Optimal operation scheduling of irrigation canals using genetic algorithm. International Journal of Recent Trends in Engineering. 1.6: 11-15.

Moghaddasi,M., Morid,S., Araghinejad,S. and Agha Alikhani,M. 2010. Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduce agricultural drought losses: The 1999 drought in the ZayandehRud irrigation system (IRAN). Irrigation and Drainage. 59.4: 377-387.

Monem,M.J and Namdariyan,R. 2005.Application of Simulated Annealing (SA) Techniques for Optimal Water Distribution in Irrigation Canals.Irrigation and Drainage. 54: 365-373.

Nagesh Kumar,D., SrinivasaRaju,K and Ashok,B. 2006.Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using genetic algorithms. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 132.2: 123-129.

Nixon,J.B., Dandy,G.C and Simpson,A.R. 2001.A genetic algorithm for optimizing off-farm irrigation scheduling.Journal of Hydroinformatics. 3.1: 11-22.

Oad,R., Garcia, L., Kinzli, K.D., Patterson,D and Shafike,N. 2009. Decision support systems for efficient irrigation in the Middle Rio Grande Valley.Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 135.2: 177-185.

Reddy,J.M., Wilamowski,B and Sharmasarkar,F.C. 1999.Optimal scheduling of irrigation for lateral canals.ICID Journal. 48.3: 1-12.

Sunantara,J.D and Ramirez,J.A. 1997.Optimal stochastic multicrop seasonal and intraseasonal irrigation control.Journal of Water Resources Planning and Management. 123.1: 39-48.

Suryavanshi,A.R and Reddy,J.M. 1986. Optimal operation schedule of irrigation distribution systems.Agricultural Water Management. 11: 23-30:105-116.

Wardlaw,R and Bhaktikul,K. 2004.Application of genetic algorithm for irigation water asceduling.Irrigation and Drainage. 53: 397-414.

Zhi,W., Reddy,J.M and Feyan,J. 1995. Improved 0-1 programming model for optimal flow scheduling in irrigation canals.Journal of irrigation and drainage system. 9: 105-116.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 10, Apr.-May. 2016, p. 12-23

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد10، فروردین - اردیبهشت 1395، ص. 23-12

Allocation and Water Delivery Scheduling Optimization in Irrigation Networks

Kanooni[1] and M.J. Monem[2*]

Recived: Jan.31, 2015 Accepted: Mar.5, 2016

Abstract

This paper shows an optimal water allocation and delivery model at two levels of irrigation networks, namely farm level and canal level, for maximizing of the net benefit. For this purpose, three sub-models were developed to optimization of water allocation among different crops, water distribution during each crop growth stage, and water delivery scheduling between canal outlets. The model was performed on the K canal of Moghan irrigation network. With purpose of maximizing the net benefit, optimal water allocated among different crops, distribution of water during each crop growth stages, and water delivery factors at canal level were determined based on optimization procedures. Three water content scenarios were considered in the procedure: normal condition, 25 and 50 percent water deficit conditions. The results showed that the net return was reduced at 25 and 50 percent water deficit scenario, but the water productivity was increased 24% and 40% respectively for the other scenarios. The inflow to the distributary canal was 640 l/s, 590 l/s and 360 l/s in the scenarios, respectively. This indicates that the discharge of canal can be decreased in the deficit scenarios up to 8% and 44% less than normal scenario. Therefore it can reduce canal evaporation and seepage loses.

Keywords: Allocation, Water delivery Scheduling, Optimization, Irrigation

1-Ph. D. Graduate, Tarbiat Modares University, and Assistant. Proffesor. University of MohagheghArdabili
2-Associate. Proffesor. Tarbiat Modares Unversity
(*-Corresponding Author, Email: monem_mj@modares.ac.ir)