نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳ / شماره ۳/ ۱۳۹۸
Archive of SID
10.22092/jwra.2019.126914.678

تأثیر بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب سطحی در کاهش برداشت آب زیرزمینی در شبکه آبیاری رودشت

کاظم کامرانی، عباس روزبهانی[۱]* و سید مهدی هاشمی شاهدانی

کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
kazemkamrani@ut.ac.ir
دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
roozbahany@ut.ac.ir
استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
mehdi.hashemy@ut.ac.ir

چکیده

این پژوهش به بررسی تأثیر مدرن سازی شبکه تحویل و توزیع آب سطحی در کاهش برداشت از آب زیرزمینی پرداخته است. برای این منظور، علاوه بر شبیه‌سازی وضعیت موجود بهره‌برداری از کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت در استان اصفهان، دو روش شامل بهره‌برداری دستی بهبود یافته و روش کنترل خودکار پیش‌بین توسعه داده شد و بهبود مدیریت تحویل و توزیع آب در کانال بررسی گردید. روش‌های مذکور تحت دو سناریوی بهره‌برداری، شامل دبی ورودی به کانال در شرایط نرمال و کم‌آبی، شبیه‌سازی شد. بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب در کانال با استفاده از شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب ارزیابی شد. در ادامه تحقیق، میزان آب سطحی جایگزین شده با آب زیرزمینی، به‌واسطه بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب در کانال اصلی توسط نقشه‌های مکانی شاخص کفایت و تحلیل آنها محاسبه گردید. نتایج به دست آمده در سناریوی شرایط نرمال حاکی از بهبود شاخص کفایت تحویل و توزیع آب به میزان ۵٪و ۳۲٪ و بهبود شاخص پایداری تحویل و توزیع آب در کانال اصلی به میزان ۷٪ و ۲۱٪ به ترتیب برای روش‌های دستی بهبود یافته و کنترل خودکار بود. همچنین، میزان بهبود مذکور در این سناریو سبب ۳٪ و ۲۵٪ کاهش برداشت از آبخوان به‌ترتیب برای روش دستی بهبود یافته و خودکار شد. در سناریوی کم‌آبی نیز شاخص کفایت ۲٪ و ۱۳٪ و شاخص پایداری ۱۱٪ و ۲۵٪ بهبود را به ترتیب برای روش‌های دستی بهبود یافته و کنترل خودکار نشان داد. این بهبود، اثربخشی یک درصدی برای روش دستی بهبودیافته و اثربخشی نه درصدی برای روش خودکار در سناریوی کم‌آبی در کاهش برداشت از آبخوان را در پی داشت. همچنین، با توجه به نقشه‌های مکانی شاخص کفایت، روش کنترل خودکار، مخصوصا در حالت کم آبی با توزیع یکنواخت آب بین آبگیرها قادر است که آب را به مراتب عادلانه تر بین کشاورزان تقسیم کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص کفایت ، شاخص پایداری، بهره‌برداری‌دستی، سامانه کنترل خودکار

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران.
*- دریافت: تیر ۱۳۹۸ و پذیرش: مهر ۱۳۹۸

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بر اساس گزارش مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI[1]) ایران تا سال ۲۰۵۰ باید ۱۱۲ درصد به منابع آبی خود بیفزاید. در غیر این صورت، برای تأمین بخش عمده‌ای از نیازهای غذا و آبی خود دچار مشکلات عدیده ای می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹٤) با توجه به این نکته که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد، به‌دست آوردن منابع آب جدید غیرمحتمل به نظر می‌رسد. از جنبه دیگر، فشار بیشتر بر منابع آب زیرزمینی، سبب تشدید برداشت آب، باعث خسارت‌های جبران‌ناپذیر زیست محیطی همچون کاهش کیفیت آب آبخوان و نشست زمین خواهد شد؛ بنابراین، در چنین وضعیتی، بهترین و مؤثرترین راه‌حل، استفاده بهینه و مطلوب‌تر از منابع آب، به خصوص منابع آب سطحی کشور است.

آب سطحی تامین شده برای کشاورزی از دو طریق قابل مدیریت می‌باشد: مدیریت آب در مزرعه و مدیریت تحویل و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری. در زمینه مدیریت آب در مزرعه، فعالیت‌های بسیاری صورت گرفته است که از جمله می‌توان به ارزیابی سناریوهای توسعه سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم برای دشت ورامین اشاره کرد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۳). ولی متأسفانه، با وجود به‌کارگیری رویکردهای جدید در مدیریت آب درون مزرعه‌ای، به دلیل بهره‌برداری سنتی از کانال‌های آبیاری، عملاً کاهشی در مقدار آب تحویلی به مزارع رخ نداده است. از سوی دیگر، بهبود بهره‌وری آب کشاورزی نیازمند آن است که علاوه بر به‌روزرسانی مدیریت آب کشاورزی در محدوده مزرعه (با به‌کارگیری سامانه‌های مدرن آبیاری)، مدیریت بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری (شامل برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب کشاورزی) نیز ارتقا یافته و هماهنگی بین این دو بخش برقرار گردد.

اجرای موفق روش‌های بهبود عملکرد در سامانه‌های تحویل و توزیع آب کشاورزی مستلزم ارزیابی دقیق میزان پتانسیل بهبود عملکرد هر جزء و همچنین آشنایی درست و مناسب از اجزای یک شبکه آبیاری می‌باشد. در شبکه‌های آبیاری، کانال‌های درجه یک و دو وظیفه انتقال آب تا سر مزارع و کانال‌های درجه سه و چهار نقش توزیع آب بین مزارع را بر عهده دارند. شایان ذکر است که بخش قابل توجهی از تلفات در سامانه‌های اصلی تحویل و توزیع آب کشاورزی، شامل نشت از کانال‌های روباز انتقال آب با پوشش خاکی و نیز پوشش بتنی مشکل‌دار، تلفات مربوط به بهره‌برداری نادرست از سازه‌های کنترل و تنظیم و نیز سازه‌های آبگیر می‌باشد. از این‌رو، معرفی روش‌های مدیریتی جهت کاهش تلفات در سامانه‌های تحویل و توزیع در شبکه‌های آبیاری باید در راستای کاهش نشت در مسیر سامانه‌های انتقال و توزیع در شبکه‌های آبیاری و همچنین بهبود روش‌های بهره‌برداری از سازه‌های کنترل و آبگیر باشد. با در نظر گرفتن مطالب ذکر شده، برای حصول بهره‌وری مطلوب از آب، اطلاع از میزان توانایی روش بهره‌برداری از شبکه آبیاری در تحویل و توزیع کافی و مناسب آب کشاورزی بین آبگیرها در کانال‌ها مورد نیاز می‌باشد (برخورداری و همکاران، ۱۳۹٦).

یکی از شاخص‌هایی که میزان توانایی روش بهره‌برداری از شبکه در تحویل و توزیع کافی و مناسب آب آبیاری بین آبگیرها را در سیستم‌های آبیاری تحلیل و بررسی می‌کند، راندمان انتقال و توزیع آب می‌باشد. باید توجه داشت که اصولاً تلفات آب در مراحل مختلف انتقال، توزیع و پخش آب در سطح مزرعه صورت می‌گیرد که ماهیت وقوع و نحوه مدیریت هر یک متفاوت است. پژوهش‌های انجام شده برای تحلیل و بررسی راندمان انتقال، تحویل و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری کل کشور حاکی از آن است که راندمان کل آبیاری بین ۳٦ تا ٤٦ درصد به ترتیب با در نظر گرفتن ٦٥ درصد برای راندمان انتقال و توزیع در شبکه‌های سنتی و ۸۲/۵ درصد در شبکه های مدرن متغیر بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی منابع تحقیقاتی موجود نشان می‌دهد که مقادیر

[1]International Water Management Institute

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری شده راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری مدرن سایر کشورها متفاوت از مقدار متناظر در ایران است به‌نحوی‌که در مناطق کشاورزی مدیترانه (اسپانیا) برابر با ٤٦/٨ درصد (سرا و همکاران، ٢٠١٦)، در شبکه مدرن انتقال و توزیع آلتوس[1] واقع در اکلاهاما آمریکا برابر با ٦٥ درصد (بی نام، ٢٠٠٥)، در کانال آبیاری مولا[2] در هندوستان برابر با ٧٥ درصد (رای و همکاران، ٢٠١١) و در شبکه‌های آبیاری مدرن ساخته شده توسط فائو (FAO) در اتیوپی برابر با ٧٤ درصد گزارش شده است (آگید و همکاران، ٢٠١٦). با در نظر گرفتن نتایج حاصل از پژوهش‌های ذکر شده، نتیجه می‌شود که مقادیر راندمان انتقال و توزیع انتخاب شده در مطالعات، طراحی‌ها و پروژه‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در ایران (٨٢/٥ درصد)، بیشتر از مقادیر متناظر آن با سایر کشورها (مطابق پژوهش‌ها ذکر شده در بالا برابر ٤٦/٨ درصد در اسپانیا، ٦٥ درصد در آمریکا، ٧٥ درصد در هندوستان و ٧٤ درصد در اتیوپی) در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است که بررسی مطالعات و همچنین استانداردهای طراحی ارایه شده در ایران حاکی از آن است که راندمان مذکور صرفا برپایه فرضیات بوده و گزارشی مستندی از اندازه‌گیری راندمان انتقال و توزیع شبکه‌های آبیاری در ایران ارایه نشده است؛ بنابراین این موضوع سبب شده است که سهم تلفات بهره‌برداری سامانه‌های انتقال و توزیع آب در شبکه های آبیاری ایران، از کل تلفات آب در این شبکه‌ها همواره مقدار ناچیزی در نظر گرفته شود.

ناکارآمدی شبکه‌های تحویل و توزیع آب کشاورزی موجب شده است که اکثر اراضی زراعی که باید تحت پوشش آب سطحی باشند، به‌دلیل عدم کفایت در توزیع منابع آب سطحی و ناپایداری در تحویل آب، به طور چشم‌گیری وابسته به منابع آب زیرزمینی شده‌اند (حسینی و همکاران، ١٣٩٧). برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های کشور سبب شده است که از مجموع ٦٠٩ آبخوان کشور،٢٢٧ آبخوان در وضعیت بحرانی و نیمه بحرانی قرار دارند که برداشت از آنها باید حداقل شود (کریمی و همکاران، ٢٠١٢). در این ارتباط دلایل متعدد و نیز راهکارهای متفاوتی در قالب طرح تعادل بخشی آبخوان‌های کشور در وزارت نیرو در حال انجام می‌باشد. یکی از دلایل تاثیرگذار در این مورد عبارت است از ناکارآمدی شبکه‌های تحویل و توزیع آب کشاورزی که سبب شده اکثر مساحت زراعی که باید تحت پوشش آب سطحی باشند، به‌دلیل عدم‌کفایت در توزیع منابع آب سطحی و ناپایداری در تحویل آب، به‌طور چشم‌گیری وابسته به منابع آب زیرزمینی شوند (حسینی و همکاران، ١٣٩٧). بطور مثال می توان به آبخوان قزوین اشاره کرد که ناکارآمدی مدیریت بهره برداری شبکه آبیاری قزوین سبب شده است که در طول ١٥ سال راندمان شبکه از ٥٥ درصد در طرح اولیه به ٣٥ درصد در حال حاضر کاهش پیدا کند (واعظ تهرانی و همکاران، ١٣٨٩) که این امر علت حفر ١٠٢ حلقه چاه توسط شرکت بهره برداری از شبکه آبیاری به منظور تامین میزان کمبود آب در کانال آبیاری در میان دست و پایین دست شبکه شده است. (قربانی و همکاران ١٣٩٨).

با در نظر گرفتن توضیحات فوق، بهبود بهره-برداری از سامانه‌های انتقال، توزیع و تحویل آب در منابع با آب سطحی ضروری است تا ضمن کاهش تلفات بهره-برداری در آنها، وابستگی کشاورزان واقع در این محدوده‌ها به آب زیرزمینی نیز کاهش یابد. برای حصول این هدف، لازم است تا روش‌های بهره‌برداری تحویل و توزیع آب در کانال‌های آبیاری به‌روزرسانی شده و ارتقا یابند. با توسعه و پیشرفت علم کنترل و ورود سیستم‌های کنترلی به صنعت، امکان به‌کارگیری این روش‌ها در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری نیز فراهم شده است که در زیر به چند نمونه از تجربه‌های موفق در این زمینه اشاره می‌شود.

حسینی و همکاران در سال ١٣٩٧ در تحقیقی، به ارزیابی اثربخشی بهبود بهره‌برداری از منابع آب سطحی در کاهش برداشت آب از آبخوان دشت قزوین پرداخته‌اند. در این پژوهش، سامانه کنترل غیرمتمرکز تناسبی- انتگرالی و

[1] Altus

[2] Mula

www.SID.ir

Archive of SID

سامانه کنترل خودکار متمرکز پیش‌بین، به‌منظور بهبود بهره-برداری از منابع آب سطحی طراحی و برای کانال اصلی شبکه آبیاری قزوین مورد آزمون قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که میزان بهبود شاخص کفایت تحویل و توزیع آب با ارتقاء بهره‌برداری به سامانه‌های کنترل خودکار غیرمتمرکز برابر ۱۳ درصد و برای سامانه کنترل خودکار متمرکز برابر ۲۸ درصد به‌دست آمد. شمسایی و فرقانی (۱۳۹۰) در تحقیقی، بهره‌برداری تلفیقی در مناطق خشکی که فقط دارای منبع آب سطحی انتقالی بوده و فاقد دیگر منابع آب سطحی بودند را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، ابتدا آب زیرزمینی منطقه توسط مدل Modflow-Pmwin شبیه‌سازی شد و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی در تدوین مدل بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک استفاده گردید و گزینه‌های مختلف در جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب بررسی شد. نتایج نشان داد که با انتقال مقادیری آب سطحی (حداکثر ۵۰ میلیون متر مکعب در سال)، تأمین آب ۱۰۰ درصد در تمامی ماه‌ها، همراه با کاهش افتی در حدود دو متر در سطح آب زیرزمینی، در طول پنج سال می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد که چنانچه سالانه ٤٠ درصد به حجم آب سطحی انتقالی افزوده شود، علاوه بر تأمین آب در کلیه ماه‌ها، کاهش سالانه سطح آب در آبخوان منطقه به صفر می‌رسد. حسین زاده و همکاران در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی، روش تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM[1]) برای ایجاد یک چارچوب تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری برای ارزیابی، رتبه‌بندی و انتخاب سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب و سازه‌های آبگیر برای کانال‌های آبیاری را ارائه دادند. در پژوهش صورت گرفته، مسائلی همچون بهبود شاخص‌های بهره‌برداری، محاسبه کاهش برداشت آب زیرزمینی و یا بهبود فرآیند برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب مورد توجه بوده است.

هدف اصلی پژوهش پیش رو، برآورد میزان کاهش برداشت آب زیرزمینی در محدوده شبکه آبیاری رودشت در استان اصفهان، به‌واسطه بهبود مدیریت تحویل و توزیع آب سطحی می‌باشد. این شبکه به دلیل عدم تحویل و توزیع مناسب آب و بهره‌برداری از ٦٢٥ چاه در داخل محدوده شبکه و ناکارآمدی سیستم تحویل و توزیع آب، به عنوان نمونه مطالعاتی این تحقیق انتخاب شد. برای تحقق هدف تحقیق، دو روش بهره‌برداری- دستی و کاملاً هوشمند- توسعه داده شد. شبیه‌سازی فرآیند تحویل و توزیع آب با استفاده از مدل‌های توسعه داده شده صورت گرفت و بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب در این شبکه از نقطه نظر کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب انجام گردید. در نهایت، میزان کاهش برداشت آب زیرزمینی در هر کدام از روش‌های بهره‌برداری توسعه داده شده، در مقایسه با وضع موجود، بر اساس تحلیل مکانی شاخص کفایت تحویل و توزیع آب به‌دست آمد.

نوآوری تحقیق حال حاضر عبارت است از تحلیل مکانی شاخص کفایت تحویل آب در کانال های اصلی و درجه دو شبکه آبیاری رودشت، به نحوی که خروجی این تحلیل در قالب یک نقشه هم کفایت توزیع و تحویل آب در شبکه آبیاری ارایه شده است. نقشه مذکوربه-عنوان مبنای دقیقی برای محاسبه میزان کاهش دقیق برداشت آب برای هر چاه واقع در محدوده شبکه آبیاری در نظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری رودشت در حوضه زاینده‌رود اصفهان واقع شده است این محدوده، با میانگین بارش سالانه ۱۲۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۳ تا ۳۰ درجه سلسیوس، از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک دسته‌بندی می‌شود. این شبکه حدود ٤٥٠٠٠ هکتار زمین کشاورزی را تحت پوشش خود قرار می‌دهد. رودشت، آخرین دشتی است که از رودخانه زاینده‌رود آبگیری می‌کند؛ بنابراین، همه نوسانات رودخانه در طول مسیر ۳۵۰ کیلومتری بر شبکه آبیاری رودشت تأثیر می‌گذارند. این

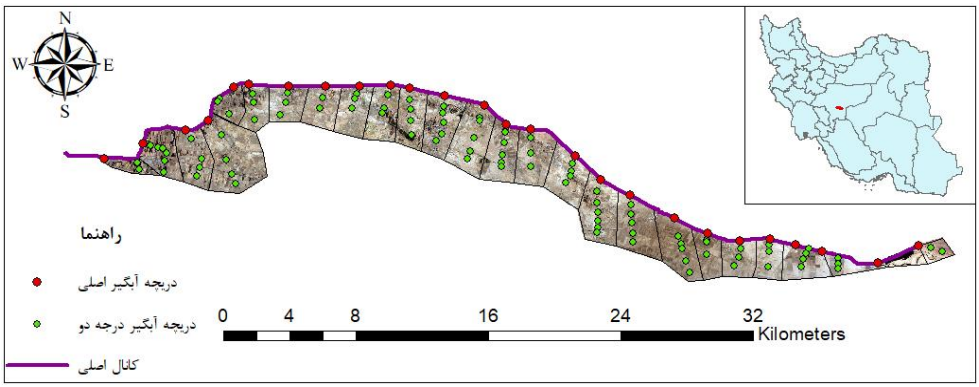
[1] Multi Attribute Decision Making

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر به صورت نوسانات مداوم دبی ورودی به شبکه و در نتیجه اختلال در کارکرد شبکه بروز می‌کند. در اثر این اختلال، گاه دبی کافی به دریچه‌های انتهایی شبکه نمی‌رسد وگاه دریچه‌های انتهایی با آب مازاد بر سهمیه هر دریچه روبه‌رو می‌شوند که اگر مورد بهره‌برداری قرار نگیرد هرز می‌رود.

در این تحقیق، کانال اصلی شاخه چپ شبکه رودشت شمالی با سطح زیر کشت در حدود ۱۵۰۰۰ هکتار به عنوان کانال مورد مطالعه در نظر گرفته شد. شکل ۱، شمایی از کانال مورد مطالعه و آبگیرهای اصلی (روی کانال اصلی) و آبگیرهای فرعی واقع در کانال‌های درجه دو این شبکه را به تصویر کشانده است. توزیع آب کشاورزی در این شبکه بر اساس برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب توسط مدیر شبکه، روزانه بر پایهٔ مقدار معینی از دبی ورودی به شبکه صورت می‌گیرد. اطلاعات ژئومتری و بهره‌برداری کانال اصلی که در فرآیند شبیه‌سازی هیدرولیکی وضعیت بهره‌برداری موجود این کانال مورد استفاده قرار گرفته، در جدول ۱ ارایه شده است. شایان ذکر است که شبیه‌سازی مذکور توسط مدل هیدوردینامیک ICSS توسعه داده شده برای کانال اصلی آبیاری رودشت انجام شد. جزئیات مرتبط با توسعه، صحت‌سنجی و واسنجی مدل مذکور در (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷) ارایه شده است.



شکل ۱- شمایی از کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت

جدول ۱- اطلاعات ژئومتری و هیدرولیکی کانال اصلی شبکه رودشت

مشخصات فیزیکی	مقدار	واحد
شیب کف	۰/۰۰۰۳	m/m
ضریب مانینگ	۰/۰۱۷	-
شیب جانبی	۱/۵	m/m
عرض کف	۲ تا ۴	m
عمق کانال	۱/۲ تا ۲/۵	m

همچنین جهت تحلیل و ارزیابی میزان کاهش برداشت آب زیرزمینی، به واسطه ارتقاء روش‌های بهره-برداری از دو روش، بهره‌برداری دستی توسط اپراتورهای شبکه و روش کاملا هوشمند با بهره‌گیری از سیستم‌های کنترل خودکار متمرکز، توسعه داده شد. شبیه‌سازی فرآیند تحویل و توزیع آب با استفاده از مدل‌های توسعه داده شده مذکور انجام شد و بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب در شبکه رودشت اصفهان از نقطه نظر کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب انجام گردید. شبکه رودشت اصفهان به دلیل عدم تحویل و توزیع مناسب آب و بهره برداری از ۶۲۵ چاه در داخل محدوده شبکه و ناکارآمدی سیستم تحویل و توزیع آب، به عنوان نمونه مطالعاتی این تحقیق انتخاب شد. انتخاب روش بهره‌برداری بهبود یافته دستی از آن جهت مورد توجه قرار گرفته است که به دلایلی چون

www.SID.ir

Archive of SID

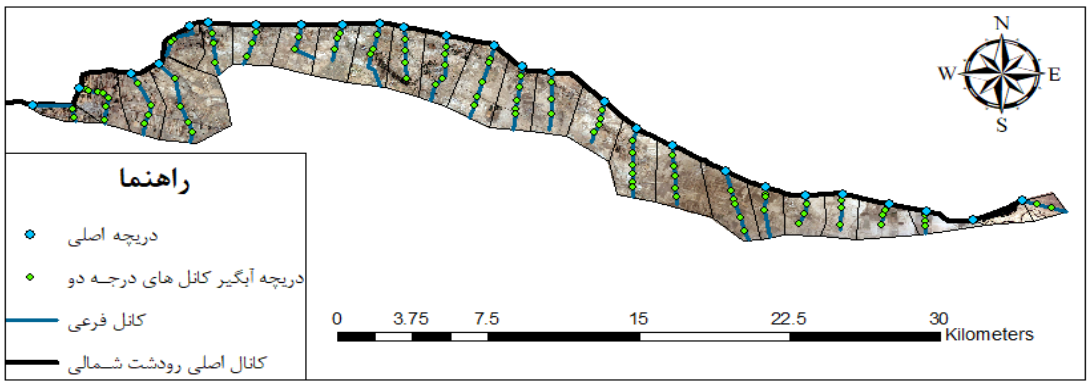
کمبود بودجه، مشکلات فرهنگی و... در همه شبکه ها امکان پیاده‌سازی سامانه های کنترل خودکار وجود ندارد. از سوی دیگر انتخاب سامانه کنترل خودکار متمرکز با هدف برآورد حداکثر میزان بهبود تحویل و توزیع آب در کانال-های آبیاری انجام شد در نهایت میزان کاهش برداشت آب زیرزمینی در هر کدام از روش‌های بهره‌برداری توسعه داده شده در مقایسه با وضع موجود، بر اساس تحلیل مکانی شاخص کفایت تحویل و توزیع آب بدست آمد.

شبیه‌سازی بهره‌برداری وضع موجود کانال آبیاری

ارزیابی وضعیت موجود بهره‌برداری از کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت بر اساس اطلاعات بهره‌برداری اندازه‌گیری شده توسط شرکت بهره‌برداری این شبکه برای سال آبی ۹۵-۱۳۹٤ صورت پذیرفته است. همچنین، جهت تحلیل مدرنیزاسیون شبکه مدل ریاضی بهره‌برداری از این کانال، با هدف بررسی کارایی روش‌های بهره‌برداری پیشنهاد شده در این تحقیق، شامل روش بهره‌برداری دستی بهبود یافته[1] و روش کنترل خودکار مرکزی پیش‌بین (MPC[2]). در بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب توسعه داده شده است. نوع دریچه، حقابه و میزان برداشت اندازه‌گیری شده دریچه‌های آبگیر واقع در طول کانال اصلی رودشت مطابق جدول ۲ می‌باشد؛ که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است.

جدول ۲- شرایط هیدرولیکی جریان در طول کانال اصلی (شرکت آب منطقه ای اصفهان، ۱۳۹۵)

شماره آبگیر	نام دریچه آبگیر	نوع دریچه آبگیر	دبی حقابه دریچه آبگیر (cms)	دبی برداشتی متوسط (cms)	شماره آبگیر	نام دریچه آبگیر	نوع دریچه آبگیر	دبی حقابه دریچه آبگیر (cms)	دبی برداشتی متوسط (cms)
۱	POR	L2	–	۰/۰۵۵	۱۴	CL7	XX2	۰/۰۶	۰/۰۳۳
۲	POL	L2	–	۰/۰۲۱	۱۵	PL7	XX2	–	۰/۰۱۲
۳	CL1	XX2	۰/۰۴	۰/۰۱۵	۱۶	CL8	L2	۰/۰۲	۰/۰۱۲
۴	CL2	XX2	۰/۱۴۲	۰/۰۷۹	۱۷	PL8	XX2	–	۰/۰۱۲
۵	PL2	XX2	–	۰/۰۷۳	۱۸	CL9	L2	۰/۰۹	۰/۰۵۸
۶	CL3	XX2	۰/۰۰۹	۰/۰۲۱	۱۹	PL9	XX2	–	۰/۰۵۸
۷	PL3	XX2	۰/۰۸	۰/۰۴۹	۲۰	CL10	L2	۰/۰۹	۰/۰۵۸
۸	CL4	XX2	۰/۰۸	۰/۰۵۵	۲۱	CL11	L2	۰/۲۵	۰/۱۷۵
۹	PL9	XX2	–	۰/۰۱	۲۲	PL11	XX2	_	۰/۰۶
۱۰	CL5	XX2	۰/۰۲	۰/۰۲۱	۲۳	CL12	XX2	۰/۱	۰/۰۶
۱۱	PL5	XX2	–	۰/۰۲۱	۲۴	CL13	L2	۰/۲	۰/۱۷۵
۱۲	CL6	L2	۰/۱۴	۰/۰۲۴	۲۵	PL13	XX2	–	۰/۰۶۱
۱۳	PL6	XX2	۰/۰۹	۰/۰۳۳	۲۶	CL14	XX2	۰/۲	۰/۱۲۲



شکل ۲- نمای از موقعیت کانال های و آبگیر ها

[1] Improved Manual Operation

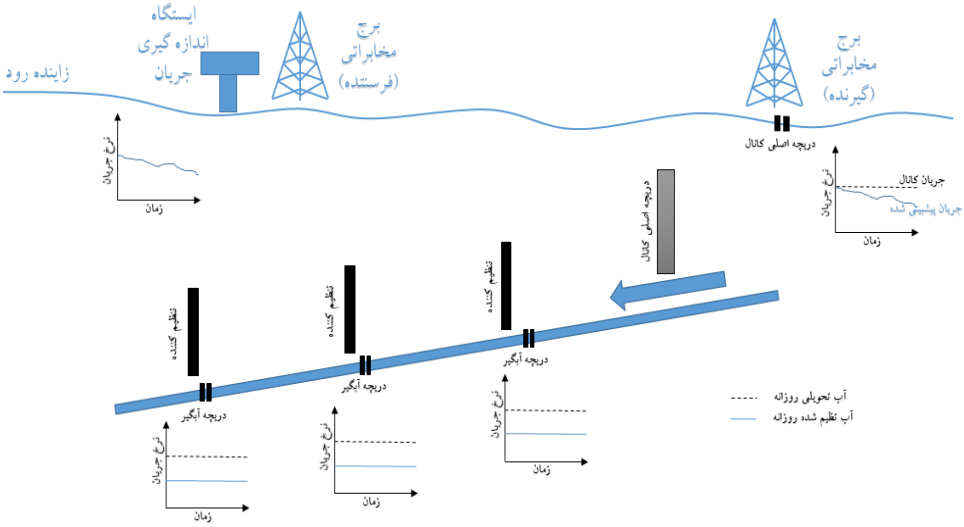
[2] Model Predictive Control Automatic System

www.SID.ir

Archive of SID

روش بهره‌برداری دستی بهبود یافته

دلیل انتخاب روش بهره‌برداری دستی بهبود یافته، امکان پیاده‌سازی آسان این روش توسط تیم بهره‌برداری و عدم امکان سرمایه‌گذاری در شبکه جهت زیرساخت لازم برای روش‌های اتوماسیون خودکارسازی می‌باشد. این روش، بر اساس امکان استفاده از نوسانات پیش‌بینی شده ورودی به کانال می‌باشد. فرض اساسی در این روش آن است که نوسانات رخ داده در ورودی به شبکه، قابل شناسایی، تشخیص و اندازه‌گیری در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه که در بالادست شبکه واقع شده‌اند، می‌باشد. در ادامه، تغییرات لازم در تنظیم سازه‌های آبگیر کانال مورد مطالعه جهت برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب بر اساس نوسانات شناسایی شده محاسبه می‌گردد. شکل ۳، شمایی از این روش را به تصویر کشانده که اندازه نوسانات و دبی تغییر یافته، از طریق یک سیستم تله‌متری در اختیار مدیر شبکه و تیم بهره‌برداری قرار می‌گیرد.



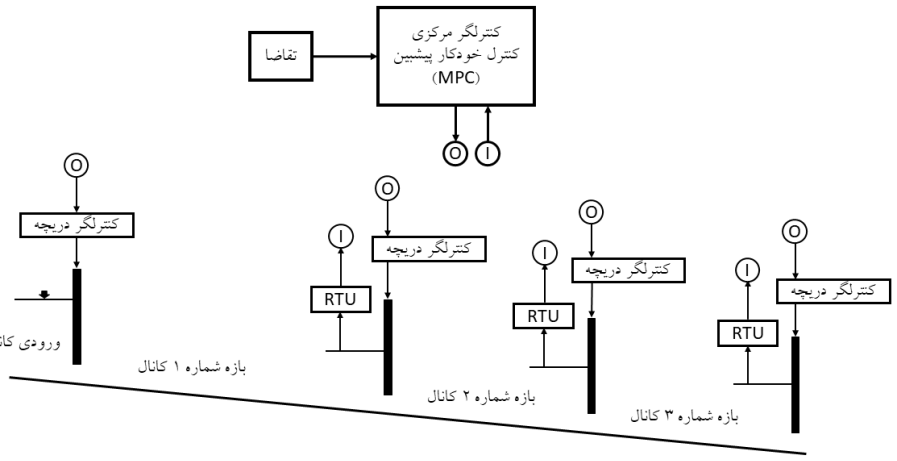
شکل ۳- شمایی از روش بهره‌برداری دستی توسعه یافته

سامانه کنترل خودکار متمرکز پیش‌بین

انتخاب این روش به دلیل بررسی توانایی سامانه کنترل خودکار در بهبود بهره‌برداری از کانال آبیاری و نیز مقایسه میزان تأثیرگذاری بهره‌گیری از این روش با روش دستی بهبود یافته در بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب می‌باشد. این روش، یک سامانه‌ی کنترل خودکار است که در طراحی آن، از یک روش بهینه‌سازی برای محاسبه متغیر خروجی کنترل‌گر (رقوم سطح آب در بازه‌های کانال آبیاری) استفاده می‌شود. وظیفه کنترل‌گر، رساندن سطح آب پائین‌دست هر بازه کانال اصلی رودشت به سطح آب هدف، با تنظیم سازه کنترل سطح آب واقع شده در بالادست هر بازه کانال می‌باشد. کنترل‌گر پیش‌بین، با بهره‌گیری از امکان پیش‌بینی وضعیت هیدرولیک جریان در یک افق زمانی مشخص، با استفاده از مدل ریاضی ساده شده هیدرولیک جریان کانال تحت کنترل (موسوم به مدل داخلی سیستم کنترل)، اقدام به محاسبه میزان تنظیمات سازه‌های کنترل سطح آب می‌نماید (ون اورلوپ، ۲۰۰٦a). در شکل ٤، شمای کلی مدل کنترل‌گر MPC در یک سیستم آبی قابل مشاهده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- شمای کلی سامانه‌ی کنترل MPC (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷)

همان طور که در شکل ٤ مشخص شده، روش کنترل پیش‌بین، روشی است که در طراحی آن، علاوه بر کنترل پسخور و پیش‌خور، از یک روش بهینه‌سازی برای محاسبه متغیر خروجی کنترل‌گر استفاده می‌شود. استفاده از فرآیند بهینه‌سازی در کنترل‌گر سبب خواهد شد تا محدودیت‌های سیستم آب تحت کنترل در فرآیند کنترل سطح آب لحاظ گردد و مجموعه‌ای از اهداف مختلف در کنترل در نظر گرفته شود.

کنترل‌گر MPC با استفاده از پیش‌بینی تأثیر اغتشاشات ناشی از تغییرات برداشت آب از سیستم در یک افق زمانی آینده و نیز لحاظ نمودن محدودیت‌های فیزیکی و سازه‌ای سیستم کانال در فرآیند بهینه‌سازی، قادر خواهد بود با سرعت و دقت بیشتری تراز سطح آب در بازه‌های کانال را در محدوده مجاز نگه دارد. این مدل، شامل اجزای داخلی، تابع هدف، محدودیت‌ها، بهینه‌سازی و افق کاهشی می‌باشد.

در کنترل سیستم آب به روش MPC از مدل‌های فضای حالت جهت بیان مدل داخلی استفاده می‌شود. مدل فضای حالت استفاده شده در سیستم کانال آبیاری را می توان در حالت کلی به فرم معادله (۱) بیان نمود (ون اورلوپ، ۲۰۰٦b):

$$x(k+1)=A(k)*X(k)+B_u*u(k)+B_d*d(k) \quad (۱)$$

در این معادله:

X وضعیت جریان در کانال (اغلب سطح آب در نقاط هدف) را نشان می‌دهد، u اقدام کنترلی محاسبه شده به‌وسیله کنترل‌گر (میزان تغییر وضعیت سازه تنظیم)، d نوسانات پیش‌بینی شده و k نیز شاخص گام زمانی است. پارامترهای A، B_u و B_d ضرایب معادله هستند که به ترتیب عبارتند از: ماتریس سیستم، ماتریس ضرایب کنترل و ماتریس ضرایب نوسانات. چگونگی فرمول‌بندی این رابطه بستگی به نوع مدل داخلی انتخاب شده برای سیستم دارد.

تابع هدف نیز اهدافی را که کنترل‌گر سعی در رسیدن به آنها دارد فرمول‌بندی می‌کند. تابع هدف شامل مجموعه‌ای از اهداف فرعی است که ممکن است از لحاظ ماهیتی مخالف هم باشند. به‌عنوان مثال، حداقل نمودن حرکت سازه‌های تنظیم در مقابل کنترل درست سطح آب در بازه‌های کانال نمونه‌ای از این اهداف فرعی متضاد هستند و به صورت عمومی به صورت معادله (۲) فرمول‌بندی می‌شود:

$$MinJ = X^T * Q * X + U^T * R * U \quad (۲)$$

در این معادله:

X ماتریس وضعیت سیستم، Q ماتریس وزن نسبی برای متغیرهای سیستم، U ماتریس مقادیر کنترل و R ماتریس متغیرهای کنترل‌گر می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف بهره‌برداری

شاخص کفایت تحویل آب

بر اساس تعریف ارائه شده (مولدن و گیت، ۱۹۹۰)، شاخص کفایت تحویل آب عبارت است از:

$$P_a = \frac{1}{T}\sum_T\left(\frac{1}{R}\sum_R\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right)\right) \quad (۳)$$

که در آن:

P_a شاخص کفایت برای کل سیستم، T دوره زمانی در نظر گرفته شده برای ارزیابی عملکرد، R پارامتر مکانی (تعداد کل آبگیرهای اندازه‌گیری شده)، Q_D دبی تحویلی و Q_R دبی رد نیاز است.

براساس استاندارد ارائه شده توسط (مولدن و گیت، ۱۹۹۰) ارزیابی مطلوبیت بهره‌برداری شاخص کفایت با استفاده از مفاهیم کیفی خوب، مناسب و ضعیف انجام می‌گیرد. به‌طوری که اگر شاخص کفایت تحویل آب عددی بین ۱ تا ۰/۹ باشد، مطلوبیت بهره‌برداری خوب و اگر این شاخص بین ۰/۸ تا ۰/۸۹ باشد، مطلوبیت بهره‌برداری مناسب و اگر شاخص کمتر از ۰/۸ باشد مطلوبیت بهره‌برداری ضعیف است. بعد از محاسبه شاخص کفایت و پایداری ۲۶ دریچه آبگیر روی کانال اصلی برای سه حالت: ۱) وضع موجود، ۲) بهبود دستی شبکه و ۳) سامانه کنترل خودکار متمرکز پیش‌بین (MPC)، شاخص کفایت دریچه-های آبگیر درجه دو نیز با فرض راندمان انتقال و توزیع ۶۵ درصد برای شبکه های سنتی (رودشت یک شبکه سنتی می‌باشد) محاسبه شده است. سپس، با داشتن شاخص کفایت در محل دریچه‌های آبگیر اصلی و فرعی درجه دو، بررسی مکانی این شاخص توسط نرم‌افزار GIS انجام شد.

شاخص پایداری تحویل آب

بر اساس تعریف ارائه شده توسط (مولدن و گیت، ۱۹۹۰)، شاخص پایداری تحویل آب عبارت است از:

$$P_D = \frac{1}{R}\sum_R CV_T\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right) \quad (۴)$$

که در آن:

P_D شاخص کفایت برای کل سیستم، T دوره زمانی در نظر گرفته شده برای ارزیابی عملکرد، R پارامتر مکانی (تعداد کل آبگیرهای اندازه‌گیری شده)، Q_D دبی تحویلی، Q_R دبی مورد نیاز و CV_T ضریب تغییرات می‌باشد.

براساس استاندارد ارائه شده توسط (مولدن و گیت، ۱۹۹۰)، ارزیابی مطلوبیت بهره‌برداری شاخص پایداری نیز با استفاده از مفاهیم کیفی خوب، مناسب و ضعیف انجام می‌گیرد. به‌طوری که اگر شاخص پایداری تحویل آب عددی بین صفر تا ۰/۱ باشد، مطلوبیت بهره-برداری خوب و اگر این شاخص بین ۰/۱۱ تا ۰/۲ باشد، مطلوبیت بهره‌برداری مناسب و اگر شاخص بیشتر از ۰/۲ باشد مطلوبیت بهره‌برداری ضعیف است.

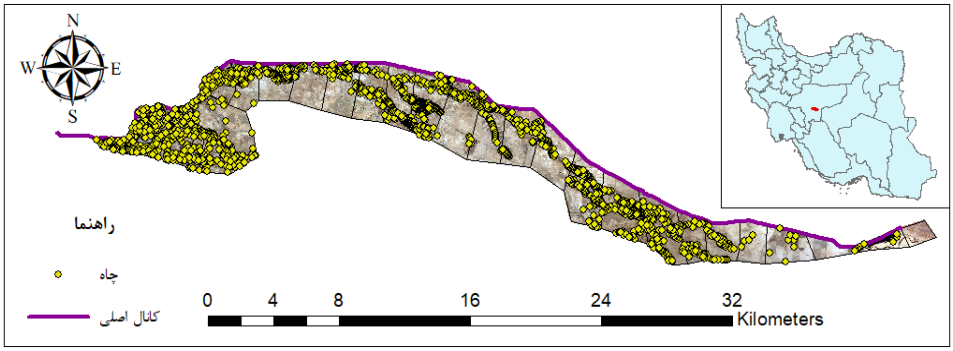
تعیین میزان اثربخشی آب سطحی در کاهش برداشت آب زیرزمینی

همان‌طور که پیشتر ذکر شد، هدف اصلی این تحقیق بررسی میزان تأثیرگذاری بهبود تحویل و توزیع آب کشاورزی که از منابع آب سطحی تأمین شده است، بر کاهش برداشت از آب زیرزمینی در محدوده شبکه آبیاری است. بر این اساس، سطح تأثیر بهبود توزیع و تحویل آب به تفکیک دو روش بهره‌برداری توسعه یافته و سامانه کنترل خودکار مشخص شده و میزان کاهش برداشت آب زیرزمینی در سطح مذکور محاسبه شد. میزان کاهش برداشت از آبخوان تابع مستقیمی از میزان بهبود کفایت و پایداری تحویل آب در نواحی زراعی تحت کشت شبکه آبیاری رودشت است. شکل ۵، میزان پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری موجود در محدوده شبکه را به تصویر کشانده است. لازم به ذکر است که با توجه به اطلاعات اخذ شده از شرکت مدیریت منابع آب ایران تمامی چاه‌های مورد بررسی در این پژوهش مجاز بوده و دارای پروانه هستند. برای محاسبه کاهش برداشت از آبخوان، در ابتدا پراکندگی مکانی شاخص کفایت تحویل آب به آبگیرهای واحد زراعی درجه یک و درجه دو، با لحاظ نمودن شاخص پایداری تحویل آب برای هر دو روش بهره‌برداری مشخص

www.SID.ir

Archive of SID

گردیده است. سپس نقشه مکانی شاخص کفایت توسط نرم افزار GIS[1] ترسیم گردیده است و با توجه به نقشه پراکندگی چاه‌ها و همچنین توجه به میزان بهبود شاخص کفایت نسبت به وضع موجود، دو لایه پراکندگی چاه‌ها و نقشه میزان بهبود شاخص کفایت برای هر روش بهره‌برداری به منظور محاسبه میزان کاهش برداشت آب زیرزمینی برای چاه‌های واقع شده در هر محدوده زراعی درجه سه تطبیق داده شده است. به صورتی که میزان کاهش برداشت از منابع زیرزمینی برابر با میزان بهبود کفایت آب تحویل به آبگیرها بوده است.



شکل ۵- پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری موجود در شبکه آبیاری رودشت

روش‌های تحویل و توزیع آب کشاورزی که در این پژوهش به آن‌ها پرداخته شده است تحت دو سناریو مورد آزمون قرار گرفته‌اند. سناریوی اول به بررسی وضعیت موجود بهره‌برداری از کانال اصلی در شرایط بهره‌برداری نرمال می‌پردازد. منظور از بهره‌برداری نرمال زمانی است که کانال اصلی آبیاری تنها وظیفه انتقال آب به کانال‌های درجه دو را بدون هیچ محدودیتی بر میزان آب ورودی به کانال اصلی به عهده دارد. در این سناریو، میزان متوسط آب ورودی به شبکه با توجه به جدول ۲، ٤/۲۷ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است. در سناریوی دوم، به بررسی وضعیت بهره‌برداری از کانال اصلی در شرایط کمبود آب پرداخته شده است. در این سناریو، آب ورودی به شبکه با کاهش در حدود ۷۱ درصدی (به طور میانگین)، ۱/۲۲ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که اطلاعات مرتبط با سناریوی بهره برداری بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده شرکت بهره برداری شبکه آبیاری در فصل زراعی بهار و تابستان سال ۹۵-۱۳۹٤ می باشد که از شرکت آب منطقه ای اصفهان اخذ شده است. در این بخش هیچ گونه فرضیه‌ای در نظر گرفته نشده است؛ و در نهایت نتایج حاصل از به‌کارگیری دو روش دستی توسعه یافته و سامانه کنترل خودکار MPC، به‌منظور بهبود فرآیند تحویل و توزیع آب در کانال اصلی آبیاری، تحت سناریوی‌های بهره‌برداری اول (نرمال) و دوم (کم‌آبی) ارائه شده است؛ و در بخش نتایج و بحث، میزان توانایی هر کدام از روش‌های مذکور در کاهش برداشت آب زیرزمینی در محدوده شبکه آبیاری بررسی و تحلیل شده است.

نتایج و بحث

مطابق سناریوی اول بهره‌برداری، تحلیل و بررسی روش‌های تحویل و توزیع آب کشاورزی در بهبود وضعیت کنونی بهره‌برداری کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت در شرایط نرمال و بدون در نظر گرفتن تأثیر کم‌آبی در آب ورودی به شبکه صورت گرفته است. شبیه‌سازی بهره-برداری از کانال اصلی به‌طور جداگانه برای هر کدام از روش‌های بهره‌برداری معرفی شده در این تحقیق، انجام شده است.

[1] -Geographic Information System

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب

شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب، معرفی شده برای هر کدام از روش‌های بهره‌برداری و به تفکیک هر کدام از آبگیرها محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول، روش‌های بهره‌برداری، عبارتند از بهره‌برداری از کانال تحت مطالعه در شرایط موجود، روش دستی بهبود یافته و روش سامانه کنترل خودکار MPC.

جدول ۳- نتایج شاخص کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب در شرایط نرمال بهره‌برداری در کانال رودشت

شماره آبگیر	شاخص کفایت (٪)			شاخص پایداری (٪)			شماره آبگیر	شاخص کفایت (٪)			شاخص پایداری (٪)		
	روش بهره‌برداری			روش بهره‌برداری				روش بهره‌برداری			روش بهره‌برداری		
	موجود	دستی بهبود یافته	خودکار	موجود	دستی بهبود یافته	خودکار		موجود	دستی بهبود یافته	خودکار	موجود	دستی بهبود یافته	خودکار
۱	۶۸	۷۴	۹۵	۲۵/۵	۱۸/۱	۵/۵	۱۴	۱۰۰	۱۰۰	۹۵	۳۱/۸	۲۰/۸	۷/۸
۲	۵۷	۶۱	۹۷	۲۵/۷	۲۱/۵	۵/۳	۱۵	۴۹	۵۳	۹۳	۳۲/۷	۱۷/۵	۷/۲
۳	۴۸	۵۱	۹۱	۲۷/۱	۲۱/۵	۵/۹	۱۶	۴۸	۵۲	۸۷	۳۲/۸	۱۸/۱	۶/۵
۴	۶۷	۷۲	۱۰۰	۲۷	۱۶/۸	۷/۳۳	۱۷	۳۸	۴۱	۹۰	۳۳	۱۸/۲	۷/۲
۵	۵۷	۶۲	۹۷	۲۷/۳	۲۲	۸	۱۸	۶۴	۶۸	۹۵	۳۰/۵	۱۹	۵/۵
۶	۶۴	۶۹	۹۷	۲۸/۲	۲۲/۳	۸	۱۹	۳۸	۴۲	۹۲	۳۲	۱۹	۶/۷
۷	۷۱	۷۶	۹۷	۲۷/۲	۲۰/۵	۸	۲۰	۸۳	۹۰	۹۴	۳۲/۲	۱۹/۲	۹
۸	۹۵	۱۰۰	۹۹	۲۴/۸	۱۹/۲	۷	۲۱	۷۶	۸۳	۹۷	۳۱	۲۰/۵	۶/۹
۹	۴۸	۵۲	۹۹	۳۱/۵	۲۲	۷/۲	۲۲	۳۸	۴۱	۹۵	۳۱/۲	۲۳/۵	۷/۲
۱۰	۹۵	۱۰۰	۸۸	۲۶/۲	۲۱/۱	۶/۸	۲۳	۱۴	۱۶	۹۸	۳۲	۲۱/۴	۷/۵
۱۱	۵۶	۶۰	۹۳	۳۰	۲۱	۶/۵	۲۴	۸۷	۹۵	۱۰۰	۳۳/۵	۲۱	۸/۱
۱۲	۹۹	۱۰۰	۹۸	۳۰/۸	۲۱	۶/۱	۲۵	۴۶	۵۰	۹۸	۳۳/۴	۲۰/۵	۸
۱۳	۴۲	۴۶	۹۷	۳۲	۲۰/۲	۵/۲	۲۶	۶۹	۷۵	۹۹	۳۱/۸	۱۹	۷/۹

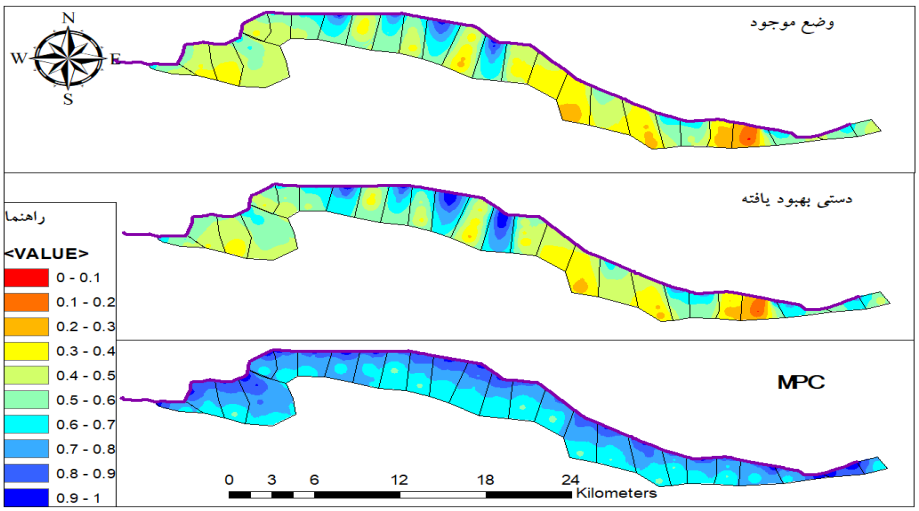
همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، در روش بهره‌برداری موجود، میزان تغییرات شاخص کفایت در محدوده ۰/۱٤ تا ۱ قرار گرفته است. با توجه به اینکه ارزیابی فرآیند تحویل و توزیع آب به هر کدام از آبگیرها نیازمند بررسی پایداری تحویل آب در طول زمان آبگیری می‌باشد، لذا مقادیر شاخص پایداری تحویل آب نیز به تناسب روش‌های مختلف محاسبه و نتایج در این جدول ارائه شده است. محدوده تغییرات شاخص پایداری تحویل آب در طول کانال اصلی بین ۰/۲٤۸ تا ۰/۳۳۵ بدست آمده است. با در نظر گرفتن نتایج هر دو شاخص می‌توان نتیجه‌گیری نمود که به صورت کلی شرایط بهره‌برداری وضع موجود کانال تحت مطالعه از وضعیت از نقطه نظر تحویل و توزیع آب وضعیت مناسبی ندارد. با به‌کارگیری روش کنترل دستی بهبود یافته، با عنایت به امکان تغییر وضعیت بازشدگی دریچه‌ها پیش از کاهش دبی ورودی به شبکه، میزان شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل آب به ترتیب در محدوده ۰/۱٦-۱ و ۰/۱٦۸-۰/۲۳۵ به‌دست آمده است. در مجموع، با بهبود روش بهره‌برداری از کانال اصلی با روش دستی بهبود یافته به‌طور متوسط میزان کفایت و پایداری تحویل آب به آبگیرهای واقع در کانال اصلی در حدود پنج و هفت درصد بهبود وضعیت داشته است. نتایج حاکی از آن است که با ارتقاء سامانه بهره‌برداری دستی به

www.SID.ir

Archive of SID

سامانه کنترل خودکار، با بهره‌گیری از کنترل‌گر مرکزی MPC، بهبود قابل توجهی در فرآیند تحویل و توزیع آب در کانال آبیاری رودشت صورت می‌گیرد. به‌طوری که شاخص‌های کفایت تحویل آب در محدوده ۰/۸۷ تا ۱ و شاخص پایداری تحویل آب در محدوده ۰/۰۵۲ تا ۰/۰۹ قرار گرفته است.

به‌منظور درک بهتر نتایج حاصل از شبیه‌سازی بهره‌برداری از کانال آبیاری رودشت، نتایج به‌دست آمده شاخص کفایت با استفاده از نرم‌افزار GIS به صورت مکانی ترسیم شدند. با عنایت به‌این موضوع که دامنه مطالعات این تحقیق کانال اصلی آبیاری شبکه رودشت بوده، لذا به‌منظور تهیه نقشه‌های پراکندگی مکانی شاخص کفایت، مقادیر تلفات تحویل و توزیع آب در کانال‌های درجه دو براساس مقادیر گزارش شده شرکت بهره‌برداری در نظر گرفته شد. بر این اساس، تحلیل مکانی شاخص کفایت در کل محدوده زراعی امکان‌پذیر شده که در شکل ٦ ارائه شده است. مطابق شکل ۵، با وجود تأمین دبی کافی در ورودی شبکه آبیاری، وضعیت تحویل کافی آب در طول کانال اصلی و بالتبع آن در کانال‌های فرعی مربوطه، نامطلوب نبوده که همین امر دلیل گرایش کشاورزان این منطقه به منابع آب زیرزمینی در تأمین آب کشاورزی خود بوده است.



شکل ۶- نقشه مکانی شاخص کفایت تحویل و توزیع آب تحت سناریوی بهره‌برداری نرمال

به‌کارگیری روش بهره‌برداری توسعه داده شده سبب بهبود اندکی در فرآیند تحویل آب کافی در بالادست شبکه شده و مناطق زراعی پایین‌دست منفعتی از این ارتقاء سامانه را نبرده‌اند. این در حالی است که خودکارسازی مدیریت بهره‌برداری کانال اصلی نه تنها سبب توزیع کافی آب در بالادست و پایین‌دست کانال اصلی شده، بلکه این تأثیر به وضوح در تحویل و توزیع آب در داخل واحدهای زراعی درجه ۲ نیز دیده می‌شود.

بر اساس سناریوی دوم بهره‌برداری یعنی کاهش ۷۱ درصدی آب در ورودی به شبکه، تحلیل و بررسی روش‌های تحویل و توزیع آب کشاورزی در بهبود وضعیت کنونی بهره‌برداری از کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت در شرایط کم‌آبی و با در نظر گرفتن تأثیر کاهش آب ورودی به شبکه صورت گرفته است. شبیه‌سازی بهره‌برداری از کانال اصلی به‌طور جداگانه برای هر کدام از روش‌های بهره‌برداری معرفی شده در این تحقیق، انجام شده است.

نتایج شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب در شرایط کم‌آبی

شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب معرفی شده برای هر کدام از روش‌های بهره‌برداری و

www.SID.ir

Archive of SID

به تفکیک هر کدام از آبگیرها، با درنظر گرفتن شرایط کم-آبی، نیز مطابق جدول ۵ به دست آمده است. در این جدول، روش‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل بهره‌برداری از کانال تحت مطالعه در شرایط موجود، روش دستی بهبود یافته و روش سامانه کنترل خودکار MPC می‌باشد. همان-طور که در جدول ۵ مشخص است، در روش بهره‌برداری موجود، میزان تغییرات شاخص کفایت در شریط کم‌آبی در محدوده صفر تا ۰/۴۳ قرار گرفته است. با توجه به آنکه ارزیابی فرآیند تحویل و توزیع آب به هر کدام از آبگیرها نیازمند بررسی پایداری تحویل آب در طول زمان آبگیری می‌باشد، لذا مقادیر شاخص پایداری تحویل آب نیز به تناسب روش‌های مختلف محاسبه و نتایج در این جدول ارائه شده است. محدوده تغییرات شاخص پایداری تحویل آب در طول کانال اصلی بین ۰/۲۷ تا ۰/۳۸ به‌دست آمده است. با به‌کارگیری روش کنترل دستی بهبود یافته، با توجه به امکان تغییر وضعیت بازشدگی دریچه‌ها پیش از کاهش دبی ورودی به شبکه، میزان شاخص های کفایت و پایداری تحویل آب به ترتیب در محدوده ۰-۰/۴۶ و ۰/۲۱۵-۰/۲۷۲ به‌دست آمده است. در مجموع، با بهبود روش بهره‌برداری از کانال اصلی با روش دستی بهبود یافته، به‌طور متوسط میزان کفایت و پایداری تحویل آب به آبگیرهای واقع در کانال اصلی در حدود دو و نه درصد بهبود وضعیت داشته است. نتایج حاکی از آن است که با ارتقاء سامانه بهره‌برداری دستی به سامانه کنترل خودکار، با بهره‌گیری از کنترل‌گر مرکزی MPC، بهبود قابل توجهی در فرآیند تحویل و توزیع آب در کانال آبیاری رودشت صورت می‌گیرد. به-طوری که شاخص‌های کفایت تحویل آب در محدوده ۰/۳۴ تا ۰/۳۶ و شاخص پایداری تحویل آب در محدوده ۰/۰۶۸ تا ۰/۰۹۵ قرار گرفته است که این نتایج بهبودی در حدود ۱۱ و ۲۵ درصد را به ترتیب برای شاخص کفایت و پایداری در این سناریو نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که جهت محاسبه شاخص پایداری تحویل آب، دبی هدف تحویل آب برابر مقدار حقابه هر آبگیر منهای درصد کاهش جریان ورودی (در هر گام زمانی) در نظر گرفته شد تا توانائی روش های مختلف در تحویل پایدار آب قابل مقایسه گردد.

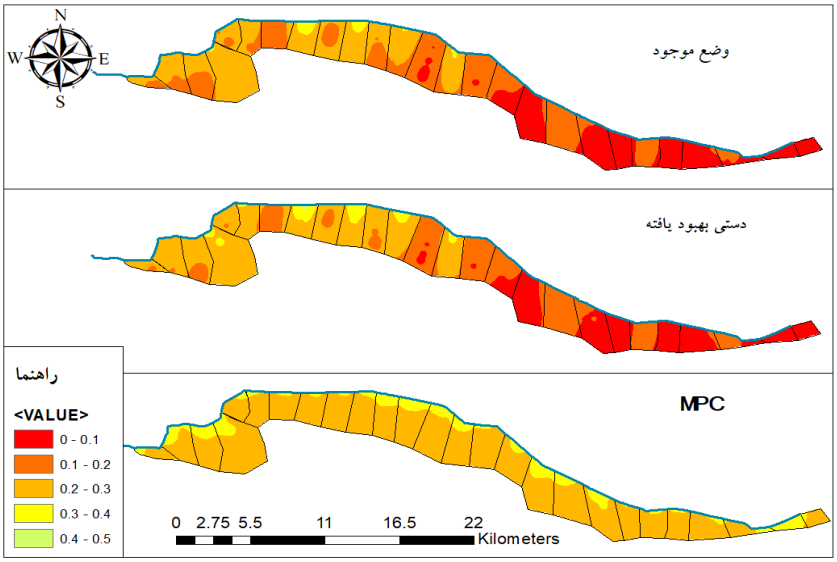
جدول ۵- نتایج شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل و توزیع آب در شرایط کم‌آبی بهره‌برداری در کانال رودشت

شماره آبگیر	شاخص کفایت (٪)			شاخص پایداری (٪)			شماره آبگیر	شاخص کفایت (٪)			شاخص پایداری (٪)		
	روش بهره‌برداری			روش بهره‌برداری				روش بهره‌برداری			روش بهره‌برداری		
	موجود	دستی بهبود یافته	خودکار	موجود	دستی بهبود یافته	خودکار		موجود	دستی بهبود یافته	خودکار	موجود	دستی بهبود یافته	خودکار
۱	۲۳	۲۶	۳۵	۳۵	۲۱/۵	۷/۱	۱۴	۳۲	۳۴	۳۵	۳۶	۲۵	۹/۵
۲	۲۸	۳۰	۳۵	۳۱	۲۲	۶/۹	۱۵	۱۳	۱۴	۳۴	۲۹	۲۴/۴	۹/۲
۳	۲۳	۲۵	۳۵	۳۸	۲۳	۷/۲	۱۶	۱۳	۱۴	۳۴	۳۵	۲۵/۱	۸/۹
۴	۳۳	۳۵	۳۵	۲۹	۲۲	۶/۸	۱۷	۷	۸	۳۵	۳۶	۲۳	۸/۸
۵	۲۶	۲۸	۳۴	۳۴	۲۲	۷/۸	۱۸	۱۷	۱۸	۳۵	۳۵/۵	۲۲/۸	۸/۱
۶	۳۱	۳۳	۳۵	۲۷	۲۱/۵	۷/۱	۱۹	۱۰	۱۱	۳۵	۳۶/۱	۲۳/۱	۸/۶
۷	۱۹	۲۰	۳۵	۲۸	۲۷	۷/۵	۲۰	۰	۰	۳۴	۳۶/۴	۲۳/۲	۹/۱
۸	۴۳	۴۶	۳۴	۲۸	۲۶	۷/۸	۲۱	۱۸	۱۹	۳۵	۳۱/۵	۲۳	۹/۲
۹	۲۱	۲۳	۳۴	۳۱	۲۷/۲	۷/۸	۲۲	۷	۸	۳۶	۳۲/۸	۲۴	۹/۲
۱۰	۴۰	۴۴	۳۵	۳۵	۲۷/۱	۸/۱	۲۳	۳	۳	۳۵	۳۵	۲۳	۹/۵
۱۱	۲۵	۲۶	۳۵	۳۶	۲۵/۳	۹	۲۴	۱۸	۱۹	۳۵	۳۱	۲۲	۹/۵
۱۲	۳۰	۳۳	۳۶	۳۴	۲۶	۹/۵	۲۵	۹	۹	۳۵	۳۱	۲۴/۱	۹/۵
۱۳	۱۱	۱۸	۳۴	۳۶	۲۶	۹	۲۶	۱۳	۱۳	۳۵	۳۱	۲۵	۹/۱

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به‌این نکته که محدوده مطالعاتی این پژوهش کانال اصلی آبیاری شبکه رودشت می‌باشد، بنابراین به‌منظور تهیه نقشه‌های پراکندگی مکانی شاخص کفایت، مقادیر تلفات تحویل و توزیع آب در کانال‌های درجه دو براساس مقادیر گزارش شده شرکت بهره‌برداری منظور گردید. بر این اساس، تحلیل مکانی شاخص کفایت در محدوده شبکه آبیاری امکان‌پذیر شده است که در شکل ۷ ارائه گردیده است.



شکل ۷- نقشه مکانی شاخص کفایت در وضعیت کم‌آبی

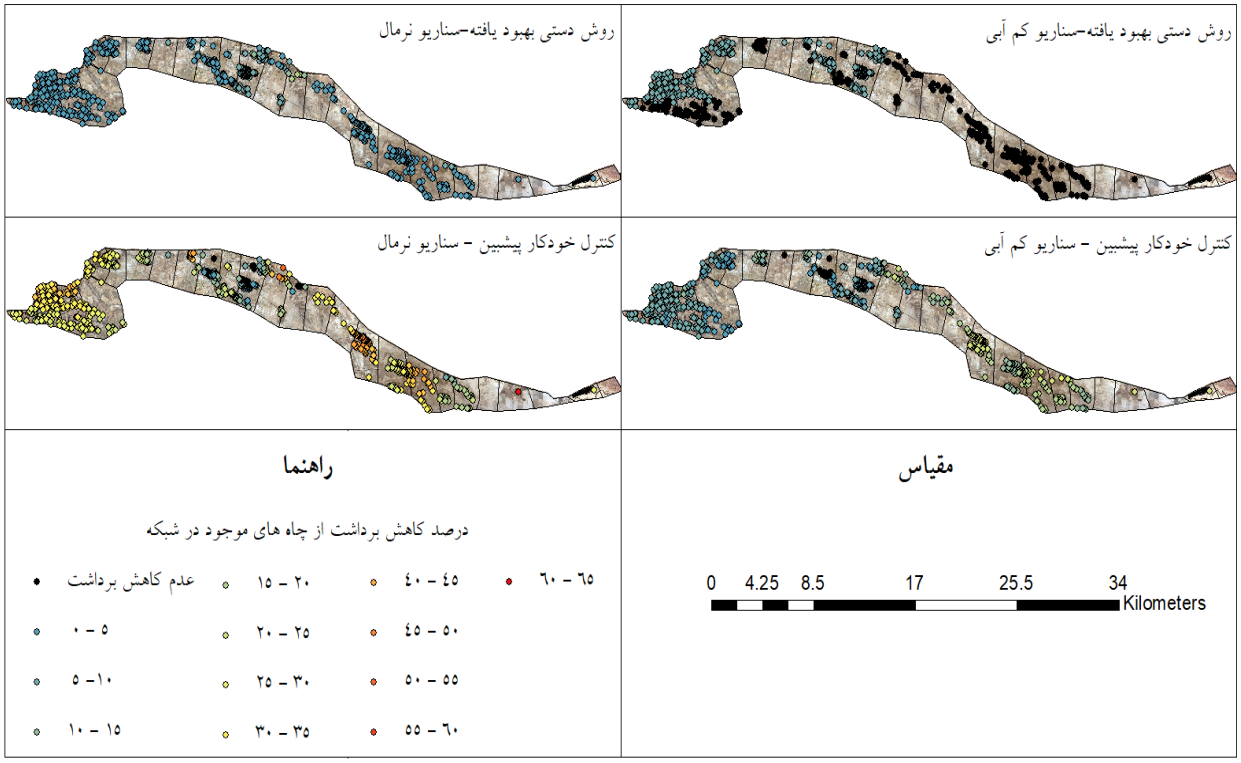
با توجه به شرایط خشکسالی، تأمین آب به صورت کافی امکان‌پذیر نیست و نکته حائز اهمیت در این وضعیت توزیع یکنواخت و عادلانه آب می‌تواند رضایت-مندی عمومی را افزایش دهد و ناهنجاری‌های اجتماعی ناشی از کمبود آب را کاهش دهد. بر اساس شکل ٦، با بهبود روش بهره‌برداری به روش دستی بهبود یافته، همچنان کانال آبیاری قادر به رساندن آب به مناطق پایین‌دست شبکه نمی‌باشد؛ اما با ارتقاء روش بهره‌برداری به روش کنترل‌گر مرکزی MPC، عملکرد شبکه به صورت چشمگیری بهبود پیدا می‌کند و پایین‌دست شبکه نیز همانند بالادست آب دریافت می‌کند و آب موجود بین تمامی آبگیرها به صورت یکنواخت و عادلانه توزیع می‌گردد. به عبارت دیگر به کارگیری سیستم‌های کنترل خودکار سبب کاهش تلفات ناشی از تحویل و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری می‌شود این مقدار تلفات کاهش داده شده می‌تواند به عنوان منبع جدید آب برای پایین دست مورد استفاده قرار بگیرد؛ که این امر سبب بهبود شرایط تحویل و توزیع حتی برای انتهای شبکه می‌گردد.

اثرگذاری ارتقاء مدیریت بهره‌برداری از کانال اصلی آبیاری در کاهش برداشت از آب زیرزمینی تحت دو سناریو

با در نظر گرفتن میزان بهبود شاخص کفایت به ازای روش های مختلف بهره‌برداری تحت دو سناریوی نرمال و کم‌آبی و تطبیق دو نقشه مکانی بهبود شاخص کفایت نسبت به وضع موجود و نقشه بهره‌برداری از چاه‌ها، چاه‌هایی که با بهبود عملکرد شبکه آبرسانی سطحی می-توانند کاهش برداشت داشته باشند به شرح شکل ۸ می-باشند. لازم به ذکر است که بر اساس جدیدترین اطلاعات آب برداشتی از آبخوان منطقه مورد مطالعه که در جریان انجام این پژوهش جمع‌آوری شده، مجموع آب برداشتی از آبخوان در یک دوره ۵۳ روزه آبیاری از تعداد ٦٢٥ چاه موجود در شبکه در حدود هشت میلیون متر مکعب بوده است که با در نظر گرفتن نتایج حاصل در سناریوی نرمال میزان ۰/۳ میلیون متر مکعب آب سطحی در صورت ارتقاء سیستم تحویل و توزیع به روش دستی بهبود یافته با آب زیرزمینی جایگزین می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- درصد کاهش برداشت از چاه‌های موجود در شبکه

این رقم برای روش MPC، دو میلیون متر مکعب بوده است. به بیان ساده تر، این بهبودیافتگی باعث پمپاژ کمتر ۳ و ۲۵ درصدی از آب زیرزمینی به ترتیب به ازای استفاده از روش‌های دستی بهبود یافته و روش MPC برای تحویل آب سطحی می‌شود. در سناریوی کم‌آبی نیز با بهبود وضعیت بهره‌برداری از سیستم توسط روش دستی بهبود یافته، میزان ۰/۱ میلیون متر مکعب با آب زیرزمینی جایگزین می‌گردد که اثربخشی یک درصدی در کاهش برداشت از آبخوان را در پی دارد. این در حالی است که با ارتقاء سیستم به روش MPC، بهبود نه درصدی، معادل ۰/۷ میلیون متر مکعب آب، در کاهش برداشت از آب زیرزمینی حاصل می‌گردد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی میزان تأثیرگذاری بهبود و ارتقاء بهره‌برداری روش‌های تحویل و توزیع آب در کانال اصلی آبیاری رودشت اصفهان برای کاهش برداشت آب زیرزمینی، اقدام به معرفی گزینه‌های خودکارسازی مانند روش دستی و روش کنترل خودکار پیش‌بین (MPC) در کانال اصلی آبیاری نموده است. مطابق اسناد بالادستی آب کشور، تحویل آب کافی، کنترل شده و دقیق به آب‌بران در شبکه‌های آبیاری مدرن و سنتی کشور یکی از مهم‌ترین اقدامات ضروری در شبکه‌های آبیاری تلقی می‌شود. بر این اساس، نیاز به پیاده‌سازی فناوری‌های نوین مدیریت آب کشاورزی بیشتر از همیشه احساس می‌شود. تقریباً در اکثر شبکه‌های آبیاری کشورمان، سامانه‌های تنظیم سطح آب، حتی در شرایط معمول بهره‌برداری، نتوانسته‌اند مانع اختلال فرآیند آبگیری شوند. از این‌رو، توزیع ناکافی و ناپایدار آب بین کشاورزان مشکلات حادی را به‌وجود آورده است. عدم رضایت کشاورزان از توزیع و تحویل کافی و مناسب آب در شبکه مورد مطالعه این تحقیق (شبکه رودشت) سبب شده تا اقدام به برداشت‌های مجاز و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی نمایند تا عدم مطلوبیت کفایت در توزیع آب را جبران نمایند.

بر اساس نتایج این پژوهش، با مدرنیزاسیون شبکه، روش کنترل خودکار پیشبین (MPC) قادر است تا

www.SID.ir

Archive of SID

با جایگزین کردن دو میلیون متر مکعب آب سطحی با آب زیرزمینی در سناریو نرمال و ۰/۷ میلیون مترمکعب در سناریو کم آبی (دوره ۵۳ روزه آبیاری) از افت بی‌رویه آبخوان در منطقه جلوگیری کند، این در حالی است که این رقم به ازای استفاده از روش بهبود یافته دستی برای مدیریت شبکه در سناریو نرمال فقط ۰/۳ میلیون متر مکعب و ۰/۱ میلیون مترمکعب در سناریو کم آبی بوده است که تأثیر به سزای در کاهش برداشت از آبخوان ندارد، همچنین درصد کاهش برداشت از آب زیر زمینی در سناریو نرمال و کم آبی به ازای استفاده از روش MPC، به ترتیب ۲۵ و ۹ بوده است که در مقایسه با کاهش برداشت سه و یک درصدی روش دستی بهبود یافته به ازای دو سناریو نرمال و کم‌آبی، عملکرد بسیار مطلوب‌تری داشته است. از طرفی با توجه به نقشه های مکانی شاخص کفایت روش کنترل خودکار، مخصوصا در حالت کم آبی با توزیع یکنواخت آب بین آبگیرها قادر است که آب را به مراتب عادلانه تر بین کشاورزان تقسیم کند؛ و در نهایت می‌توان به این مهم اشاره کرد که اجرای روش کنترل خودکار مرکزی (MPC) برای مدیریت شبکه رودشت علاوه بر توزیع کافی، یکنواخت و عادلانه آب که هدف اصلی شبکه‌های آبرسانی می‌باشد قادر است با جایگزین کردن آب صرفه‌جویی شده ناشی از مدیریت مطلوب‌تر شبکه با آب زیرزمینی به بهبود وضعیت آبخوان منطقه نیز کمک کند.

فهرست منابع

۱. برخورداری س، هاشمی شاهدانی م و باقرزاده خلخالی ا، ۱۳۹٦. ارزیابی بهبود راندمان انتقال و توزیع آب کشاورزی در کانال‌های اصلی آبیاری با بهره‌گیری از راهکارهای پوشش‌دار کردن و اتوماسیون. پنجمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

۲. حسینی جلفان م و هاشمی شاهدانی س م، ۱۳۹۷. ارزیابی اثربخشی بهبود بهره‌برداری از منابع آب سطحی در کاهش برداشت آب از آبخوان (مطالعه موردی: شبکه آبیاری قزوین). نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ١٤، شماره چهارم، صفحه ١٤٦-١٣٢.

۳. شرکت آب منطقه ای اصفهان، ۱۳۹۵. گزارش نهایی تشریح و ارزیابی وضع موجود و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت

٤. شمسایی ا، فرقانی ع، ۱۳۹۰. بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در مناطق خشک. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ٣٦-٢٦.

۵. عباسی ف، سهراب ف و عباسی ن، ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. نشریه تحقیقات سازه های آبیاری و زهکشی، دوره۱۷، شماره ٦٧، صفحه ۱۲۸-۱۱۳

٦. عباسی ف، سهراب ف و عباسی ن، ۱۳۹٤. گزارش فنی:راندمان های آبیاری و تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران، وزارت جهاد کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۷. علیزاده ح ع، لیاقت ع و سهرابی ت، ۱۳۹۳. ارزیابی سناریوهای توسعه سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل سازی پویای سیستم. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۳، شماره چهارم، صفحه ۱۵-۱

۸. قربانی ا، ۱۳۹۸. کاربرد دینامیک سیستم‌ها در پیوند آب، انرژی و غذا در مدیریت شبکه‌های آبیاری از دیدگاه بهره‌وری و شاخص‌های تحویل آب (مطالعه موردی شبکه آبیاری قزوین)، کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

www.SID.ir

Archive of SID

۹. واعظ تهرانی م، منعم م ج و باقری ع، ۱۳۸۹. توسعه یک مدل نوسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستمها – مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس

۱۰. هاشمی س م، ارجلو م، صادقی س، ادیب‌مجد ا، ۱۳۹۷. مقایسه عملکرد مدل نیرپیک با سامانه توزیع تناسبی (لت) در فرآیند تحویل و توزیع آب در نوسانات دبی ورودی. نشریه تحقیقات سازه‌های آبیاری و زهکشی، دوره۱۹، شماره ۷۰، صفحه ۱٦-۱

11. Agide Z, Haileslassie A, Sally H, Erkossa T, Schmitter P, Langan S, et al, 2016. Analysis of water delivery performance of smallholder irrigation schemes in Ethiopia: Diversity and lessons across schemes, typologies and reaches.
12. Anonymous, 2005. Appraisal Report, Water Supply Augmentation, W.C. Asutin Project, Oklahoma
13. Hosseinzade Z, Pagsuyoin S, Ponnambalam K, Monem MJ, 2017. Decision making in irrigation networks: Selecting appropriate canal structures using multi-attribute decision analysis. Science of the Total Environment 601-602:177-185.
14. Karimi P, Qureshi AS, Bahramloo R, Molden D, 2012. Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. Journal of Agricultural water management 108:52-60
15. Molden, David J., and Timothy K. Gates, 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. Journal of irrigation and drainage engineering 116.6: 804-823.
16. Ray, Isha, 2011. Farm-level incentives for irrigation efficiency: some lessons from an Indian canal. Journal of Contemporary Water Research and Education 121.1: 10.
17. Serra P, Salvati L, Queralt E, Pin C, Gonzalez O, Pons X, 2016. Estimating Water Consumption and Irrigation Requirements in a Long-Established Mediterranean Rural Community by Remote Sensing and Field Data. Irrigation and Drainage. 65(5):578-88
18. Overloop, V P. J, 2006a, 'Drainage control in water management of polders in the Netherlands', Irrigation and Drainage Systems, 20, 99-109.
19. Van Overloop, P. J, 2006b. Model predictive control on open water systems (IOS Press).

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Improvement in Surface Water Delivery and Distribution Processes on Reduction of Groundwater Overexploitation in Rudasht Irrigation Network

K. Kamrani, A. Roozbahani [1,*] and S. M. Hashemy Shahedany

MSc. of Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran.
kazemkamrani@ut.ac.ir
Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran. **roozbahany@ut.ac.ir**
Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran. **mehdi.hashemy@ut.ac.ir**

Abstract

This study investigated the impact of improving surface water delivery and distribution systems on reducing groundwater abstraction. For this purpose, the current operational management of the Rudasht irrigation network, located in Isfahan province, was modeled and evaluated. Then, impact of two methods as the modernization alternatives, including an improved manual operation and an automatic control system by using the Model Predictive Control (MPC), was investigated. Operation of the canal system was simulated under two operating scenarios, demonstrating the operational status under the normal and water shortages conditions. Improvement of water supply and distribution process in the canal was evaluated using adequacy and dependability indicators of water distribution. In the next step, the amount of surface water replaced by groundwater was calculated by improving the process of water distribution in the main canal based on spatial analysis of the adequacy index. The results obtained from the operational simulation in the normal condition scenario showed improvement of the adequacy index by 5% and 32% and the dependability index by 7% and 21%, respectively, for the improved manual method and MPC. Moreover, the improvement in this scenario resulted in 3% and 25% reduction in the aquifer extraction, respectively, for the modernization alternatives. Operational simulation results under the water shortage scenario revealed 2% and 13% higher adequacy index, and 11% and 25% improvement in the dependability index by employing the improved manual and MPC approaches, respectively. This improvement resulted in 1% effectiveness for the improved manual method and 9% effectiveness for the MPC method in reducing aquifer abstraction under water shortage scenario. According to the spatial maps of the adequacy index obtained for the MPC method, this method can achieve more uniform and fair water delivery to farmers, especially under water shortage conditions.

Keywords: Adequacy Index, Dependability Index, Manual Operation, MPC

[1]- Corresponding author: Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran.
*- Received: July 2019, and Accepted: October 2019

www.SID.ir