Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره پنجم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

طراحی سامانه کنترل خودکار به‌منظور توزیع عادلانه آب در شرایط کم‌آبی و نوسانات جریان ورودی، مطالعه موردی شبکه آبیاری رودشت

مهدی یلتقیان‌خیابانی[۱] و *سید مهدی هاشمی‌شاهدانی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران،

[۲]استادیار سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۳

چکیده

سابقه و هدف: شرایط غیرمعمول بهره‌برداری کانال‌های آبیاری به سبب تشدید خشکسالی‌های پی‌درپی در اکثر شبکه‌های کشور عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری کشور در توزیع عادلانه آب بین مصرف‌کنندگان را سبب شده است. در این شرایط بهره‌گیری از راهبردهای نوین در بهبود فرآیند بهره‌برداری مورد توجه قرار گرفته که اجرای آن نیازمند وجود سامانه کنترل خودکار در کانال می‌باشد و اصولاً با شیوه‌های بهره‌برداری مرسوم اکثر شبکه‌های کشورمان انجام‌پذیر نیست.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، سامانه کنترل خودکار مرکزی پیش‌بین جهت بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری طراحی شد. همچنین شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال با استفاده از مدل ساده شده انتگرالی- تاخیری در محیط نرم‌افزار متلب انجام گرفت. با تعریف متغیر جدید تفاوت خطای سطح آب بین بازه‌های کانال آبیاری، استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب به‌عنوان بخش نرم‌افزاری سامانه بهره‌برداری به کنترل‌گر پیش‌بین اضافه شد. کانال مورد مطالعه در این پژوهش، کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت است که با دو مشکل عمده نوسانات ورودی و کم‌آبی مواجه می‌باشد. بر این اساس سناریوهای بهره‌برداری مختلفی با استفاده از اطلاعات واقعی بهره‌برداری کانال انتخاب شد و سامانه کنترل خودکار در شرایط مختلف بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور سنجش کارایی استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب در توزیع عادلانه آب بین آبگیرهای واقع در کانال اصلی، بهره‌برداری کانال با و بدون بهره‌گیری از استراتژی بهره‌برداری مذکور بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج پژوهش بیانگر عملکرد مطلوب سامانه کنترل خودکار در مدیریت بهره‌برداری کانال آبیاری تحت نوسانات ملایم و شدید بود به‌نحوی‌که میزان شاخص عدالت محاسبه شده به‌ترتیب ۱/۲۱ و ٤/۳۳ درصد برای دو سناریوی مذکور به‌دست آمد. با افزودن سناریوی کم‌آبی، ضرورت به‌کارگیری استراتژی «بهره‌برداری تفاوت خطای

* مسئول مکاتبه: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

سطح آب» توسط کنترل‌گر پیش‌بین مشخص شد، زیرا با مقادیر به‌دست آمده ۱۵/۲۲ و ۲۲/۵ درصدی شاخص عدالت دیگر کنترل‌گر به‌تنهایی قادر به پیاده‌سازی توزیع عادلانه به‌نحو مطلوب نبوده است. همچنین نتایج نشان داد به‌کارگیری استراتژی مذکور به‌ترتیب سبب بهبود ۱۳ و ۱۷ درصدی شاخص عدالت توزیع آب در سناریوهای نوسان ملایم و نوسانات شدید شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط وخیم بهره‌برداری، به‌کارگیری استراتژی‌های بهره‌برداری به‌منظور ارتقا عملکرد سامانه‌های کنترل ضروری است. مزیت عمده بهره‌گیری از استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آن است که بدون هیچ‌گونه نیاز به صرف هزینه اضافی جهت تغییر در زیرساخت سامانه کنترل خودکار، میزان مطلوبیت عدالت توزیع آب قابل بهبود است. راهبرد اختلاف خطای رقوم سطح آب به‌عنوان یک روش سیستماتیک در توزیع عادلانه آب بین آب بران در طول کانال اصلی، می‌تواند در بهبود عملکرد سامانه‌های کنترل خودکار نقش قابل‌توجهی را در شرایط کم‌آبی ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: عدالت توزیع، کانال آبیاری، مدرن‌سازی، مدیریت بهره‌برداری

مقدمه

با توجه به وضعیت خشکسالی و کم‌آبی‌های متوالی در ایران به‌نظر می‌رسد ارتقا مدیریت مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهکارها در استفاده بهینه از منابع محدود آب کشورمان تلقی شود. مطالعات و بررسی‌ها بیانگر آن است که مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی کشور عملکرد ضعیفی در استفاده بهینه از آب داشته است. به‌طوری‌که پژوهش جامعی که از کل شبکه‌های آبیاری کشور انجام گرفت بیانگر آن است که راندمان کل آبیاری در این شبکه‌ها بین ۱۵ تا ۳٦ درصد در نوسان است (۱). روش‌های بهره‌برداری سنتی، به‌دلیل عدم وجود زیرساخت مناسب برای پیاده‌سازی راهبردهای نوین بهره‌برداری (که عموماً منطبق با نیازهای متغیر زمانی و مکانی آب در شبکه‌های آبیاری هستند) عملکرد دور از انتظاری را در تحویل آب کافی و عادلانه در سطح شبکه دارا می‌باشند. بنابراین اجرای طرح‌های نوسازی و خودکارسازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری با بهره‌گیری از روش‌های هوشمند مدیریتی، لازم و ضروری است. همچنین لازم است در کنار این طرح‌های مدرن‌سازی،استفاده از استراتژی‌های مدرن بهره‌برداری، به عنوان بخش نرم‌افزاری سامانه‌های بهره‌برداری، به‌کار گرفته شود تا تأثیر طرح‌های مذکور به‌صورت کامل مشخص گردد. بهره‌گیری از استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری به سبب ملزومات خاص خود نیازمند وجود سامانه کنترل خودکار در کانال می‌باشند و با شیوه‌های بهره‌برداری سنتی (دستی یا سازه‌های هیدرومکانیکال) انجام‌پذیر نیست. توزیع آب در شرایط کم‌آبی (که میزان آب ورودی از سراب کم‌تر از میزان کل تقاضا در کانال است) منجر به تغییر وضعیت بهره‌برداری معمول کانال شده و آب تحویلی هم از لحاظ کفایت و هم عدالت توزیع آب عملکرد خوبی ندارد. بنابراین تحقق توزیع عادلانه آب موجود بین تمامی مصرف-کنندگان در طول کانال مستلزم به استفاده از ابزار کنترلی توانائی است که با نگرش کنترل سراسری و هم‌زمان همه سازه‌های تنظیم عمل نماید تا بتوان هر گونه کمبود آب در شبکه آبیاری را به یک میزان بین همه آبگیرهای بالادست تا پایین‌دست اعمال نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

بهره‌گیری مؤثر روش‌های کنترل (شامل روش‌های کنترل کلاسیک و مدرن) با هدف بهبود بهره‌برداری کانال‌های آبیاری به وفور در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مختلف در سراسر دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است. به سبب تعدد روش‌های متداول مهندسی کنترل، مالاتر (۱۹۹۸) اقدام به دسته‌بندی مختلف روش‌های مذکور نمود (٦)، که با گذشت تقریباً دو دهه از این مطالعه روش‌های جدیدتری در هر دو دسته روش‌های کنترل کلاسک و مدرن و با اهداف متنوع بهره‌برداری کانال‌های آبیاری مورد بررسی قرار گرفتند. اما نکته قابل‌توجه آن است که روش‌های کنترل مدرن (شامل روش‌های کنترل بهینه، تطبیقی و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی) به سبب ماهیت چندهدفه بودنشان، کارایی بهتری در خودکارسازی کانال‌های آبیاری و زهکشی نسبت به روش‌های کنترل کلاسیک پسخور و پیش‌خور دارد (۱۳). در میان الگوریتم‌های کنترل مدرن، کنترل پیش‌بین توجه پژوهشگران را بیش‌تر از سایر روش‌ها به خود جلب کرده است. قابلیت حل مسائل کنترل چندمتغیره، در نظر گرفتن محدودیت‌های محرک‌های سیستم، امکان بهره‌برداری نزدیک‌تر به محدودیت‌های فیزیکی و به‌روزرسانی سریع این روش کنترلی از دلایل اصلی مقبولیت زیاد این روش است (۱۳). فان اورلوپ و همکاران (۲۰۰٦) از کنترل‌گر پیش‌بین جهت کنترل کانال‌های بزرگ زهکشی هلند استفاده نمودند. هدف از این پژوهش جلوگیری از تخریب اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی مجاور این زهکش‌ها در زمان‌های بارش سنگین معرفی شده است (۱۲). فیلیبرتو و همکاران (۲۰۱٤) یک طرح کنترل سلسله‌مراتبی برای کانال‌های بزرگ مقیاس ارائه دادند. هر گروه از بازه‌های کانال، به‌طور مستقل از طریق یک مدل کنترل پیش‌بین غیرمتمرکز که وضعیت جریان در یک بازه را مدیریت می‌کند، کنترل می‌شود. عملکرد طرح پیشنهادی بر روی مدل کانال آبیاری دز، مورد ارزیابی قرار گرفت (۳).

با بهره‌گیری از روش‌های محاسبات نرم و با استفاده از الگوریتم RL[1]، مدل ریاضی هوشمند بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری با کنترل رقوم سطح آب در کانال توسعه داده شد. توانایی مدل مذکور تحت سناریوهای مختلف افزایش و کاهش جریان ورودی آزموده شد. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که با ارتقا بهره‌برداری دستی به هوشمند، حداکثر مقادیر خطای مطلق و مقدار تجمعی خطای مطلق به‌ترتیب ۳/۰۷٪ و ۱۵/۰۲٪ به‌دست آمده و الگوریتم توسعه داده شده یک سیستم کنترل قابل‌اعتماد در بهره‌برداری کانال آبیاری تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری خواهد بود (۱۰).

شاهدانی و همکاران (۲۰۱٦) با هدف بهبود کفایت تحویل آب به آبگیرهای واقع در کانال اصلی آبیاری تحت نوسانات شدید جریان ورودی، راهبرد بهره‌برداری ذخیره درون مسیری (بدون اعمال تغییرات در وضعیت ژئومتری کانال و سازه‌های آبگیر) را مورد بررسی قرار دادند. راهبرد مذکور در طیف وسیعی از سناریوهای بهره‌برداری شامل شرایط نوسانات نرمال، بهره‌برداری تحت نوسانات جریان غیرقابل پیش‌بینی و قابل پیش‌بینی آزموده شد. نتایج نشان داد که آب ذخیره‌شده در کانال به‌طور مؤثر نوسانات را در بهره‌برداری کانال تحت سناریوی پیش‌بینی‌کننده نوسانات کنترل می‌کند. در مقایسه با بهره‌برداری معمولی کانال، شاخص‌های ارزیابی عملکرد محاسبه شده، بهبود تقریباً ۲۱٪ برای حداکثر خطای مطلق و افزایش ۱۲٪ برای مقدار تجمعی خطای مطلق را نشان داد (۹).

کلمنز (۲۰۱۲)، راهبرد بهره‌برداری تفاوت خطای رقوم سطح آب را جهت بهبود بهره‌برداری سامانه‌های

1- Reinforcement Learning

www.SID.ir

Archive of SID

کنترل خودکار کانال اصلی آبیاری معرفی نمود. در این روش متغیر تحت کنترل عبارت از تفاوت خطای رقوم سطح آب در دو بازه مجاور است. در این حالت کنترل‌گر سعی در توزیع یکسان خطای ایجاد شده در رقوم سطح آب بین بازه‌های مجاور می‌نماید (۲). مطالعه موردی، راهبرد مذکور برای کانال اصلی آریزونا در آمریکا مورد آزمون قرار گرفت. مشکل موجود در بهره‌برداری این کانال به این صورت است که آب ورودی به این کانال تنها در بازه‌های زمانی خاصی قابل تغییر بوده و در اغلب موارد ورودی کانال ثابت خواهد بود. بنابراین هدف ذخیره‌سازی آب مازاد در بازه‌های کانال معرفی شد تا در مواقع افزایش مصرف بتوان از آب ذخیره شده استفاده نمود. نتایج پژوهش بیانگر بهبود بهره‌برداری کانال با استفاده از راهبرد مذکور در مقایسه با روش بهره‌برداری مرسوم است (٤).

بررسی منابع حاضر بیانگر ضرورت ارتقا سامانه‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری از روش‌های بهره‌برداری ناکارآمد موجود به روش‌های مؤثر در تامین اهداف بهره‌برداری است. بیش از ۳۰ سال است که به‌کارگیری انواع روش‌های کنترل خودکار به‌منظور کاهش تلفات بهره‌برداری در بخش کشاورزی فاریاب و نیز ارتقا کیفی خدمات‌رسانی به کشاورزان مورد بررسی قرار گرفته و توسعه داده شده است. هدف‌گذاری‌ها در بخش کشاورزی آبی دنیا به‌سمت و سوی اهداف مدرنی از جمله افزایش انعطاف‌پذیری توزیع آب با حداقل‌سازی هم‌زمان تلفات اتقال و توزیع آب، کاهش ناهنجاری‌های اجتماهی با تحقق توزیع عادلانه آب در شبکه، پیاده‌سازی بازارهای محلی آب، توزیع آب بر اساس رویکرد اقتصادی در شرایط فاقد بازار آب، پیاده‌سازی حسابداری آب در بخش کشاورزی آبی، به‌عنوان دغدغه‌های اخیر مدیران و تصمیم‌گیران مطرح شده است. به‌منظور تحقق یک یا تلفیق اهداف مدرن مذکور در بهره‌برداری روزانه یک شبکه‌های آبیاری، لازم است تا این اهداف در قالب استراتژی‌های مشخص فرموله شده و با تلفیق با سامانه کنترل خودکار، امکان تحقق هرچه بیش‌تر آن‌ها را فراهم آورد. امکان اجرای هر استراتژی بهره‌برداری توسط سامانه‌های کنترل خودکار وجود دارد، به‌شرطی که بتوان رابطه ریاضی مشخصی بین بین متغیرهای حالت (که بیانگر وضعیت هیدرولیکی جریان در بازه‌های کانال هستند) با متغیرهای کنترل‌شونده (مانند رقوم سطح آب یا دبی عبوری که سامانه کنترل خودکار کنترل می‌نماید) ایجاد گردد. در پژوهش حاضر، سامانه کنترل خودکار با استفاده از کنترل‌گر پیش‌بین و با هدف توزیع عادلانه آب در شرایط کم‌آبی برای بهره‌برداری کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت طراحی گردید. برای این منظور استراتژی بهره‌برداری «تفاوت خطای رقوم سطح آب» به‌عنوان راهبرد بهره‌برداری در نظر گرفته شد تا با اضافه نمودن متغیر سیستم جدیدی، کنترل‌گر پیش‌بین طراحی شده را به هدف توزیع عادلانه آب در شرایط کم‌آبی سوق دهد. برای تحقق این مهم، در گام اول کنترل‌گر سراسری پیش‌بین برای این کانال مورد مطالعه طراحی شد و عملکرد آن در شرایط نرمال و کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفت. در گام دوم، با در نظر گرفتن راهبرد تفاوت خطای سطح آب به‌عنوان استراتژی بهره‌برداری این پژوهش، کنترل‌گر پیش‌بین باز طراحی گردید. سپس در گام آخر عملکرد کنترل‌گر ارتقا یافته برای شرایط بهره‌برداری غیرمعمول کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهره‌برداری غیرمعمول، شامل بهره‌برداری در شرایط کم‌آبی با نوسانات ورودی و بدون نوسانات، در قالب دو سناریوی بهره‌برداری تعریف شده و عملکرد سامانه کنترل در برقراری توزیع عادلانه آب تحت دو سناریوی مذکور بررسی شد. نوآوری این پژوهش عبارت از به‌کارگیری راهبرد تفاوت خطای سطح آب همراه با سامانه کنترل خودکار

www.SID.ir

Archive of SID

مرکزی در بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری متأثر از نوسانات ورودی می‌باشد. در واقع راهبرد بهره‌برداری توسعه داده شده در این پژوهش بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری شبکه آبیاری رودشت را به‌نحوی کنترل می‌نماید تا هدف توزیع عادلانه آب در طول کانال اصلی آبیاری محقق گردد.

مواد و روش‌ها

کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت شمالی: رودشت آخرین شبکه آبیاری است که از زاینده‌رود آبگیری می‌کند. بنابراین همه نوسانات رودخانه در طول مسیر رودخانه بر روی شبکه آبیاری رودشت تأثیر می‌گذارند. این تأثیر به‌صورت نوسانات مداوم دبی ورودی به شبکه و در نتیجه اختلال در کارکرد شبکه بروز می‌کند. بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از دفتر بهره‌برداری شبکه رودشت، در سال‌های اخیر به‌دلیل خشکسالی‌های پدید آمده، به‌دلیل عرضه کم‌آب و نیاز شدید به مصرف، تصمیم بر آن بوده است که کل آبدهی رودخانه (در پایین‌دست رودخانه) به شبکه رودشت وارد و توزیع شود. در این پژوهش کانال اصلی شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت به‌عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده است. این بخش از کانال دارای شیب ملایم و شامل ١٤ سازه آب‌بند (سازه تنظیم‌کننده سطح آب) می‌باشد که بر این اساس کانال مورد مطالعه به ١٣ بازه تقسیم می‌شود. در این کانال تنظیم تراز سطح آب در کانال به‌طور معمول برای هر زوج آبگیر (دریچه‌های نیرپیک) توسط یک سازه تنظیم (سرریز نوک اردکی) انجام می‌شود. شرایط فیزیکی و هیدرولیکی آبگیرهای واقع شده در طول کانال اصلی چپ شاخه شمالی در جدول ١ نشان داده شده است. در این جدول آبگیرهای موجود در طول کانال، دبی حقابه و مقادیر متوسط دبی تحویلی به هر کدام از آبگیرها نشان داده شده است.

جدول ١- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی آبگیرهای واقع شده در کانال اصلی (مرجع: دفتر بهره‌برداری شبکه).

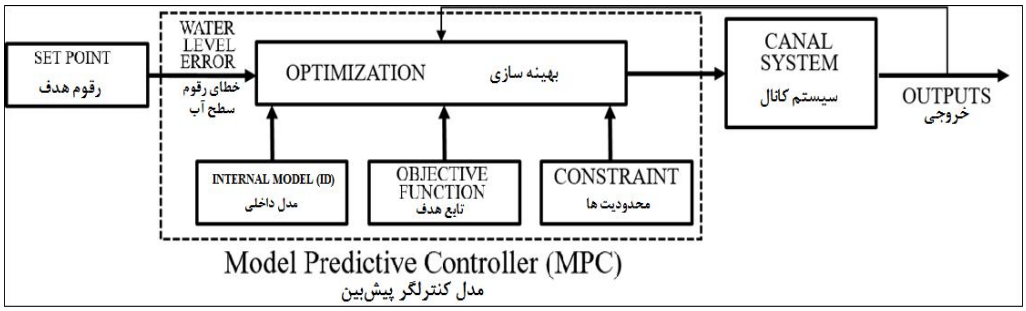
Table 1. Physical and hydraulic specifications of sluices.

شماره آبگیر Off-take Number	دریچه آبگیر Off-take	نوع آبگیر Type of Off-take	دبی مورد نقاضا Demanded Discharge (m^3/s)	شماره آبگیر Off-take Number	دریچه آبگیر Off-take	نوع آبگیر Type of Off-take	دبی مورد نقاضا Demanded Discharge (m^3/s)
1	P0R	L2	0.055	14	CL7	XX2	0.033
2	P0L	L2	0.021	15	PL7	XX2	0.012
3	CL1	XX2	0.015	16	CL8	L2	0.012
4	CL2	XX2	0.079	17	PL8	XX2	0.012
5	PL2	XX2	0.073	18	CL9	L2	0.058
6	CL3	XX2	0.021	19	PL9	XX2	0.058
7	PL3	XX2	0.049	20	CL10	L2	0.058
8	CL4	XX2	0.055	21	CL11	L2	0.175
9	PL4	XX2	0.01	22	PL11	XX2	0.06
10	CL5	XX2	0.021	23	CL12	XX2	0.06
11	PL5	XX2	0.021	24	CL13	L2	0.175
12	CL6	L2	0.024	25	PL13	XX2	0.061
13	PL6	XX2	0.033	26	CL14	XX2	0.112

www.SID.ir

Archive of SID

سامانه کنترل خودکار متمرکز پیش‌بین [1](MPC): پیش‌بین یک سامانه کنترلی است که در تکنیک طراحی آن علاوه بر روش کنترل پسخور وپیشخور، یک روش بهینه‌سازی برای محاسبه متغیر خروجی کنترل‌گر در (رقوم سطح آب) استفاده می‌شود.این کنترل‌گر با استفاده از پیش‌بینی تأثیر اغتشاشات ناشی از تغییرات برداشت آب از کانال 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. شکل ۱ نمودار مدل کنترل MPC در یک سیستم آبی تحت کنترل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شمای کلی از سامانه کنترل MPC.

Figure 1. Schematic of the control system (MPC).

مدل‌سازی جریان آب در کانال آبیاری: شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال آبیاری توسط مدل داخلی صورت می‌گیرد. این مدل برای محاسبه متغیر کنترل شونده در فرآیند محاسبات حلقه باز کنترل‌گر در طول گام‌های زمانی افق پیش‌بینی استفاده می‌شود. قابلیت مدل‌های ریاضی متفاوت توسط پژوهشگران مختلف جهت استفاده در طراحی کنترل‌گرها در پژوهش‌های گوناگونی (۸ و ۱٤) با یکدیگر مقایسه شده و محدودیت‌ها، نقاط ضعف و قوت آن‌ها مشخص شده است. در پروژه‌های پژوهشی و عملی خودکارسازی در کانال‌های آبیاری در اکثر موارد به سبب راحتی محاسبات و تامین دقت مورد نیاز از مدل انتگرالی- تاخیری[2] (ID) استفاده شده است (۲، ٤، ۸ و ۱٤). در این پژوهش نیز از مدل مذکور جهت مدل‌سازی جریان در هر بازه کانال آبیاری به‌عنوان مدل داخلی کنترل‌گر پیش‌بین به‌کار برده شده که دو مشخصه اصلی هر بازه عبارت از زمان تاخیر (τ **Error! Bookmark not defined.**) و سطح ذخیره (A_s) (**Error! Bookmark not defined.**) می‌باشد. در بخش یکنواخت فرض می‌گردد که امواج فقط به‌سمت پایین‌دست منتقل می‌شوند. هر تغییری در سازه بالادست منجر به تولید یک موج می‌شود که این بخش از کانال فقط به‌عنوان گذار برای عبور این موج عمل می‌کند. سرعت موج در یک بازه از کانال با عمق نرمال، به سرعت موج سینماتیک نزدیک است (۱۲). زمان تاخیر ناشی از حرکت موج ایجاد شده در بالادست کانال به بخش منحنی برگشت آب رسیده و موجب تغییر تراز سطح آب می‌گردد. تنها پارامتر که در بخش جریان یکنواخت برای تشریح جریان تعریف می‌شود زمان تاخیر است. معادله حاکم بر این بخش به‌صورت رابطه ۱ بیان شده است:

1- Model Predictive Control
2- Integrator Delay (ID) Model

www.SID.ir

Archive of SID

$$q_{canal}(t) = q_{in}(t-\tau) \qquad (۱)$$

که در آن، q_{in} عبارت از دبی ورودی به بخش یکنواخت جریان، q_{canal} دبی ورودی به بخش ذخیره، t زمان و τ برابر زمان تاخیر می‌باشد. بخش تحت‌تأثیر از منحنی برگشت آب، همانند یک مخزن عمل کرده و بخش انتگرالی مدل را شامل می‌شود. تغییرات مساحت سطح آب در ترازهای مختلف مخزن بر اساس دبی‌های ورودی و خروجی از بازه کانال به‌صورت رابطه ۲ قابل بیان است (۱۲):

$$A_s \cdot \frac{dh(t)}{dt} = q_{canal}(t) - q_{out}(t) \qquad (۲)$$

که در آن A_s مساحت **Error! Bookmark not defined.** سطح ذخیره در بخش منحنی برگشت آب، h عمق آب و q_{out} دبی خروجی از بخش منحنی برگشت آب می‌باشد. بر اساس مدل انتگرالی- تاخیری تغییرات رقوم سطح آب در انتهای بازه کانال در هر گام زمانی تابع زمان تاخیر حرکت آب در بخش جریان یکنواخت می‌باشد. بنابراین، با فرض زمان تاخیر حرکت آب در طول بازه برابر k_d، رقوم سطح آب در طول k_d گام زمانی متأثر از دبی ورودی می‌باشد. بر این اساس، علاوه بر خطای رقوم سطح آب در انتهای پایین‌دست بازه کانال، دبی‌های ورودی به کانال از $Q_{hg}(k-k_d)$ تا گام زمانی حال حاضر ($Q_{hg}(k)$) نیز به‌عنوان متغیرهای وضعیت سیستم لحاظ می‌شوند. بر این اساس می‌توان ماتریس‌های وضعیت، متغیر کنترل‌شونده و اغتشاش را برای بازه اول کانال مورد مطالعه، به فرم فضای حالت به‌صورت رابطه ۳ نوشت:

$$x(k+1) = A(k).x(k) + B_u.u(k) + B_d.d(k)$$

$$\begin{bmatrix} Q_{hg}(k+1) \\ Q_{hg}(k) \\ . \\ . \\ Q_{hg}(k-k_d) \\ e_1(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{T_c}{A_s} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_{hg}(k) \\ Q_{hg}(k-1) \\ . \\ . \\ Q_{hg}(k-k_d) \\ e_1(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ . \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \left[\Delta Q_{hg}(k)\right] + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ . \\ . \\ 0 \\ -\frac{T_c}{A_s} \end{bmatrix} \cdot \left[Q_{off-take1}(k)\right] \qquad (۳)$$

با توجه به آن‌که هدف اصلی این پژوهش توزیع عادلانه آب است، بنابراین مطابق استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب، متغیر وضعیت جدیدی باید به رابطه ۳ اضافه گردد که متمرکز بر تقسیم خطای سطح آب محاسبه شده در همه بازه‌ها باشد. بنابراین متغیر D به‌صورت رابطه ٤ تعریف می‌شود:

$$D_j = e_j - \frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n-1} e_i\right) \qquad (٤)$$

که این متغیر از تفاوت خطای هر بازه کانال (j) از میانگین خطای تمام بازه‌ها حاصل می‌شود. با اضافه نمودن متغیر D ماتریس‌های وضعیت جدید (برای بازه اول کانال مورد مطالعه) از رابطه ۵ حاصل می‌شود:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\begin{bmatrix} Q_{hg}(k+1) \\ Q_{hg}(k) \\ Q_{hg}(k-1) \\ . \\ . \\ e_1(k+1) \\ D_1(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & \frac{T_c}{A_s} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} Q_{hg}(k) \\ Q_{hg}(k-1) \\ Q_{hg}(k-2) \\ . \\ . \\ e_1(k) \\ D(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ . \\ . \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} . \left[\Delta Q_{hg}(k)\right] + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ . \\ . \\ 0 \\ -\frac{T_c}{A_s} \end{bmatrix} . \left[Q_{off-take1}(k)\right] \qquad (۵)$$

سامانه خودکار بهره‌برداری یک کانال آبیاری پیوسته تلاش می‌کند وضعیت متغیرهای وضعیت سیستم، شامل خطای رقوم سطح آب (e) و تفاوت خطای رقوم سطح آب (D)، را در تمام بازه‌های کانال حداقل نماید. این مهم با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی درجه دوم و مطابق تابع هدف ارایه شده در رابطه ٦ انجام می‌گیرد (۱۱):

$$\min j = X^T.Q.X + U^T.R.U \qquad (٦)$$

که در آن، J تابع هدف بوده و باید حداقل شود، X متغیرهای حالت، U اعمال کنترلی، Q ماتریس وزن برای متغیرهای حالت و R ماتریس وزن برای اعمال کنترلی می‌باشند. محدودیت‌ها در یک سیستم آبی (شامل کانال آبیاری) عبارت از محدودیت‌های بهره‌برداری و فیزیکی هستند. دسته اول محدودیت‌های مذکور به ملاحظات، اهداف و شیوه بهره‌برداری کانال آبیاری مرتبط می‌شود. به‌عنوان مثال زمانی که از سامانه کنترل خودکار آفلاین به‌عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم برای بهبود بهره‌برداری دستی شبکه استفاده می‌گردد، تعداد تیم‌های بهره‌برداری و نظارت که در یک زمان می‌توانند در محدوده شبکه فعالیت نمایند به‌عنوان محدودیت اصلی بهره‌برداری معرفی شده است (۵ و ۸). تعداد مرتبه تغییر وضعیت سازه‌های تنظیم سطح آب در هر دقیقه، که رابطه مستقیمی با پیدایش امواج رزونانسی در کانال‌های کم‌شیب و عمیق دارد، به‌عنوان یکی از محدودیت‌های رایج بهره‌برداری تلقی می‌گردد (۱۱). در سوی مقابل، حداکثر ظرفیت یک پمپاژ تحت کنترل و یا حداکثر مانور (میزان بازشدگی) یک دریچه تنظیم سطح آب یا دریچه آبگیر محدودیت فیزیکی تلقی می‌گردد (۱۲). الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده در کنترل‌گر MPC می‌تواند ناحیه حل مسأله را با اعمال این محدودیت‌ها محدودتر کند. نیاز است با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی تابع هدف در افق پیش‌بینی و با در نظر گرفتن محدودیت‌های سامانه تحت کنترل حداقل شود. روش‌های مختلفی جهت حل بهینه‌سازی‌سازی برنامه‌ریزی درجه دوم معرفی شده و قابل استفاده است. الگوریتم‌های مختلفی جهت حل مسائل برنامه‌ریزی درجه دوم در (۱۲) معرفی شده و مقایسه‌ای بین الگوریتم‌های مذکور بر مبنای سرعت محاسبه، پایداری، توانمندی و عملکرد کنترل‌گر ارایه شده است. بر اساس نتایج ارایه شده در پژوهش مذکور، دو الگوریتم ASM[1] و IPA[2] به‌عنوان الگوریتم‌های قابل اعتمادی که مسأله بهینه‌سازی را کامل حل می‌کنند، معرفی شده است. تنها تفاوت این دو روش در سرعت محاسبات می‌باشد به‌نحوی‌که در روش اول مرتبه سرعت محاسبات، به‌صورت تابعی از توان سوم

1- The Active Set Method
2- Interior Point Algorithms

www.SID.ir

Archive of SID

افق پیش‌بینی در کنترل‌گر پیش‌بین است و برای روش دوم تابعی از توان اول آن خواهد بود (۱۲). برای سامانه بزرگ کانال اصلی با چندین بازه، افق پیش‌بینی نسبتاً طولانی است. افق پیش‌بینی در این سامانه‌ها، حداقل برابر بزرگ‌ترین زمان تاخیر بازه‌های کانال و یا مجموع زمان‌های تاخیر در همه بازه‌های کانال است. از طرف دیگر گام زمانی کنترلی (در ارتباط با کنترل سازه‌های تنظیم سطح آب) نمی‌تواند خیلی طولانی‌مدت انتخاب شود زیرا که دینامیک‌های امواج و تغییرات سریع اغتشاشات سطح آب باید در نظر گرفته شود. این ترکیب افق‌های زمانی پیش‌بینی طولانی‌مدت و گام‌های زمانی کنترلی کوتاه، نیازمند افق پیش‌بینی طولانی‌مدت می‌باشد. به همین دلیل الگوریتم دوم برای حل مسائل بهینه‌سازی کاربردهای MPC در این پژوهش استفاده شده است.

گزینه‌های بهره‌برداری مورد آزمون: اولین گزینه بهره‌برداری این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد کنترل‌گر پیش‌بین طراحی شده در این پژوهش در نظر گرفته شد. برای این منظور توانایی کنترل‌گر تحت شرایط نرمال بهره‌برداری و بدون هیچ‌گونه نوسان در ورودی جریان برابر با دبی ۲/۷۸ مترمکعب بر ثانیه و مقادیر دبی درخواستی آبگیرها مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شد. جهت بررسی دقیق توانایی سامانه کنترل خودکار طراحی شده در دو حالت بهره‌گیری از استراتژی بهره‌برداری و بدون لحاظ نمودن استراتژی مذکور، سناریوهای نوسانی با شدت نوسانات ملایم و شدید جهت شبیه‌سازی وضعیت بهره‌برداری کانال مورد مطالعه استفاده شده است. بر این اساس، دو سناریوی بهره‌برداری با نوسانات نرمال (که به‌طور معمول کانال مورد مطالعه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد) و نوسانات شدید (که با فرکانس وقوع کم‌تری در منطقه رخ می‌دهد) در نظر گرفته شد. در سناریوی بهره‌برداری اول کل نیاز کانال برابر با دبی ۲/۷۸ مترمکعب بر ثانیه، لحاظ گردید که الگوی نوسان ورودی به کانال (بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از دفتر بهره‌برداری شبکه آبیاری رودشت) مطابق شکل ۲ با حداکثر مقدار کاهش جریان ۳۸٪ به مقدار ۱/۷ مترمکعب بر ثانیه تنزل پیدا کرده است. همچنین مطابق همین شکل، در سناریوی شدید نوسانات ورودی، مقدار دبی ورودی به کانال به‌میزان ۷۵٪ کاهش داشته است.

علاوه بر سناریوهای مذکور، سناریوی کم‌آبی نیز به‌منظور بررسی سامانه کنترل خودکار با بهره‌گیری از سناریوی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب در شرایط حاد بهره‌برداری کانال آبیاری رودشت در نظر گرفته شد. سناریوی کم‌آبی بر اساس سوابق بهره‌برداری کانال مذکور (اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان) به‌میزان ۳۰ درصد کاهش دبی ورودی در نظر گرفته شد. بر این اساس میزان بازشدگی دریچه‌های آبگیر بدون تغییر در نظر گرفته شده و آب ورودی به شبکه در نیمی از زمان بهره‌برداری به‌میزان ۳۰ درصد کاهش داده شد و به‌میزان ۱/۹۵ مترمکعب بر ثانیه تقلیل یافت.

ارزیابی عملکرد سامانه کنترل خودکار: به‌دلیل بررسی عملکرد سامانه کنترل خودکار طراحی شده این پژوهش در بهبود بهره‌برداری کانال از دیدگاه عدالت در تحویل آب، از شاخص عدالت توزیع آب مطابق رابطه ۷ استفاده گردید (۷):

$$P_{EM} = \frac{1}{T}\sum_{T} CV_R\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right) \qquad (۷)$$

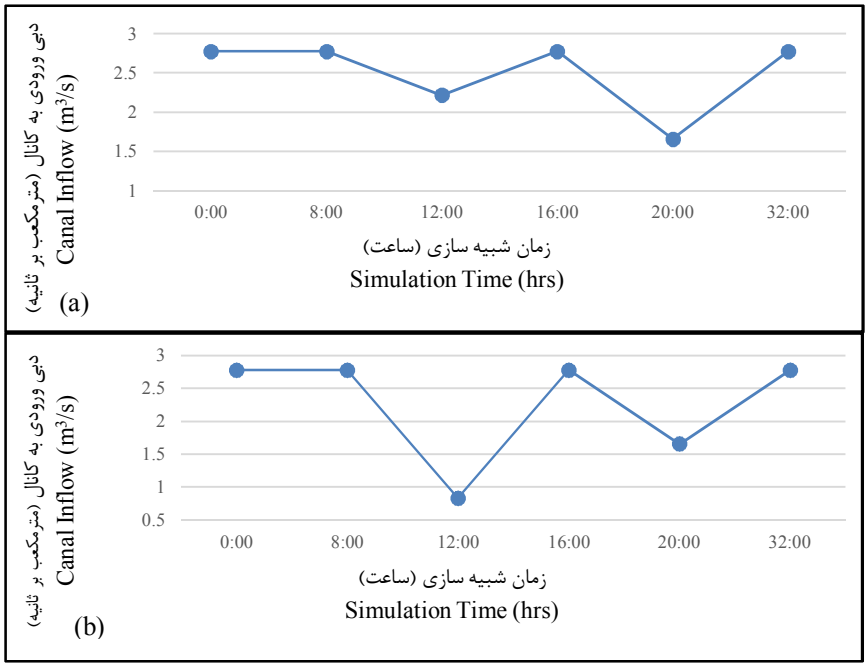
که در آن، P_{EM} [1] شاخص عدالت در تحویل، Q_D میزان دبی تحویلی به یک آب‌گیر در هر گام زمانی شبیه‌سازی است. Q_R میزان دبی تقاضا شده که برای آب‌گیر است که در برنامه زمانی تحویل آب مشخص

1- Performance Indicator for Equity Measure

www.SID.ir

Archive of SID

شده است. CV_R ضریب تغییرات مکانی آب‌گیرها نسبت دبی‌ها در طول کانال است. مقدار شاخص صفر تا ۱۰ درصد عملکرد خوب، مقدار ۱۱ تا ۲۵ درصد عملکرد متوسط و بالاتر از ۲۵ درصد، عملکرد ضعیف این شاخص را نشان می‌دهد (۷). همچنین به‌منظور اطمینان از عملکرد صحیح کنترل‌گر پیش‌بین طراحی شده در این پژوهش از دو شاخص ارزیابی عملکرد حداکثر خطای مطلق و خطای مطلق تجمعی استفاده شد که جزییات روابط آن در ۷ ارایه شده است.



شکل ۲- سناریوی بهره‌برداری کانال تحت الف) نوسانات نرمال جریان ورودی، ب) نوسانات شدید جریان ورودی.

Figure 2. Canal operational scenario under a) Normal inflow fluctuations b) Severe inflow fluctuations.

نتایج و بحث

هدف اصلی این پژوهش، بررسی توانایی استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب در بهبود عملکرد بهره‌برداری سامانه کنترل خودکار سراسری پیش‌بین از نقطه نظر توزیع عادلانه آب در شرایط کم‌آبی می‌باشد. بر این اساس در گام اول میزان اثرگذاری کنترل‌گر پیش‌بین بر تحویل و توزیع عادلانه آب بین آبگیرهای واقع شده در کانال اصلی رودشت مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه تأثیر استراتژی بهره‌برداری مذکور در بهبود عملکرد سامانه مذکور ارزیابی شد.

ارزیابی عملکرد کنترل‌گر پیش‌بین طراحی‌شده: همان‌طور که پیش‌تر نیز مطرح شد، دو شاخص ارزیابی عملکرد حداکثر خطای مطلق و خطای مطلق به‌منظور ارزیابی عملکرد سامانه کنترل پیش‌بین مورد استفاده قرار گرفتند. برای این منظور میزان دبی تحویلی به آبگیرهای واقع در طول کانال رودشت مطابق جدول ۱ و میزان دبی ورودی به کانال اصلی برابر مقدار ثابت ۲/۷۸ مترمکعب بر ثانیه در طول شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. مقادیر محاسبه شده دو شاخص مذکور، بیانگر آن است که کنترل‌گر پیش‌بین عملکرد رضایت‌بخشی در کنترل سطح آب در انتهای تمام بازه‌های کانال مورد مطالعه داشته، به‌نحوی‌که شاخص حداکثر خطای مطلق از ۱ درصد تجاوز نکرده است. همچنین مقدار شاخص محاسبه شده خطای مطلق تجمعی نیز بسیار اندک و کم‌تر از ۱

www.SID.ir

Archive of SID

درصد به‌دست آمد. دو شاخص مذکور تأییدکننده عملکرد مطلوب کنترل‌گر پیش‌بین طراحی‌شده در این پژوهش هستند. با اطمینان از عملکرد مطلوب کنترل‌گر طراحی شده در این پژوهش، به بررسی عملکرد استراتژی تفاوت خطای سطح آب در توزیع عادلانه آب در شرایط غیرمعمول بهره‌برداری، که ناشی از شرایط کم‌آبی در شبکه است، پرداخته شده است. لازم به توضیح است که ارزیابی عملکرد استراتژی بهره‌برداری با استفاده از شاخص عدالت توزیع آب انجام شد.

ارزیابی عملکرد کنترل‌گر در پیاده‌سازی توزیع عادلانه آب در شرایط نوسانات نرمال دبی ورودی: مقادیر شاخص‌های محاسبه شده عدالت توزیع آب برای دو حالت با و بدون استفاده از استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب محاسبه شده است. مطابق نتایج مذکور، مقدار شاخص عدالت تحت سناریوی نوسانات ملایم بدون بهره‌گیری از استراتژی مذکور برابر ۱/۲۱ درصد به‌دست آمده است. بر اساس تقسیم‌بندی ارایه‌شده برای این شاخص، میزان عدالت توزیع آب در محدوده عملکرد خوب جای می‌گیرد. نتیجه به‌دست آمده بیانگر عملکرد مطلوب کنترل‌گر پیش‌بین در توزیع عادلانه آب در شرایط نوسان نرمال دبی ورودی می‌باشد. مقدار ۰/۵ درصدی شاخص محاسبه شده عدالت توزیع آب پس از به‌کارگیری استراتژی بهره‌برداری مذکور نیز گواه همین مطلب است.

در ادامه توانایی استراتژی بهره‌برداری تحت سناریوی کم‌آبی (با کاهش ۳۰ درصدی جریان آب ورودی به کانال) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در این مرحله بیانگر تأثیرگذاری سناریوی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب در روند توزیع عادلانه آب در کانال اصلی آبیاری است. مطابق نتایج به‌دست آمده، میزان شاخص عدالت توزیع آب برای حالت بهره‌برداری بدون در نظر گرفتن استراتژی بهره‌برداری حدود ۱۵ درصد به‌دست آمده است، در حالی‌که با ارتقا سامانه کنترل خودکار پیش‌بین (با در نظر گرفتن استراتژی بهره‌برداری)، مقدار شاخص عدالت در حدود ۲ درصد به‌دست آمده است. شایان ذکر است که همین میزان عدالت (۱۵ درصد) در مقایسه با توانایی سامانه‌های کنترل خودکار کلاسیک، روش‌های کنترل دستی و سازه‌های هیدرومکانیکال نتیجه بسیار مطلوبی به حساب می‌آید. با این‌حال باید توجه داشت زمانی‌که بهره‌برداری کانال اصلی با بهره‌گیری از سامانه‌های کنترل خودکار انجام می‌گیرد، باید سعی شود بالاترین سطح ممکن مطلوبیت را در بهره‌برداری کانال آبیاری فراهم نمود. به‌عنوان مثال بر اساس نتیجه به‌دست آمده در این بخش، استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح قادر است بدون هیچ‌گونه هزینه اضافی جهت تغییر در زیرساخت بهره‌برداری شبکه، میزان مطلوبیت عدالت توزیع آب را به‌میزان قابل‌توجه ۱۳ درصد بهبود بخشد.

ارزیابی عملکرد کنترل‌گر در پیاده‌سازی توزیع عادلانه آب در شرایط نوسانات شدید دبی ورودی: مطابق نتایج، مقدار شاخص عدالت تحت سناریوی نوسانات شدید برابر ٤/۳۳ درصد به‌دست آمده که بیانگر عملکرد خوب و مطلوب کنترل‌گر پیش‌بین در توزیع عادلانه آب تحت سناریوی شدید نوسانات ورودی است. این در حالی است که با اعمال سناریوی کم‌آبی، کنترل‌گر پیش‌بین به تنهایی قادر به تامین عدالت توزیع نمی‌باشد. مطابق نتایج به‌دست آمده، مقدار شاخص عدالت توزیع آب برای حالت بهره‌برداری بدون در نظر گرفتن استراتژی بهره‌برداری برابر با ۲۲/۵ درصد به‌دست آمده است. بنابراین با وجود عملکرد متوسط کنترل‌گر پیش‌بین در توزیع عادلانه آب در زمان نوسانات شدید، با ظهور کم‌آبی از کارایی این سامانه کاسته شده و عملکرد سامانه در توزیع عادلانه آب به سطح ضعیف نزدیک شده است. به‌کارگیری استراتژی بهره‌برداری اختلاف خطای

www.SID.ir

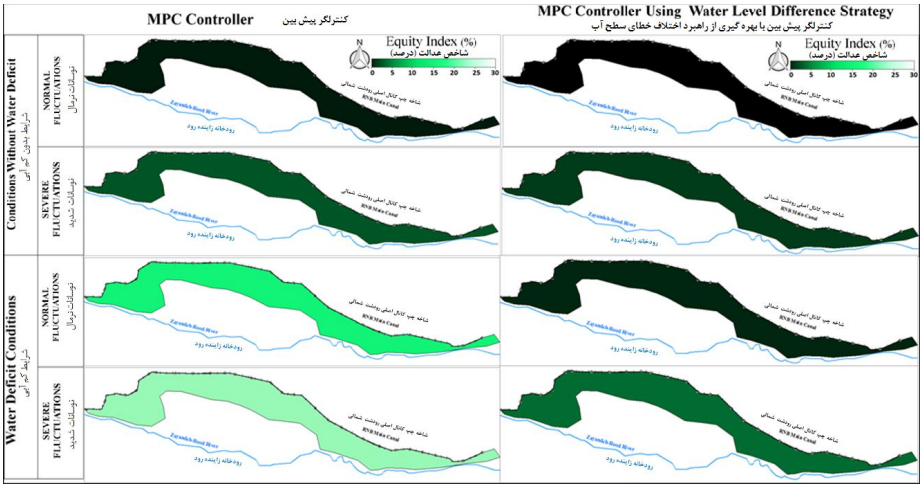
Archive of SID

سطح آب سبب بهبود چشمگیر عدالت توزیع آب شده است. با ارتقا سامانه کنترل خودکار پیش‌بین به استراتژی بهره‌برداری، مقدار شاخص عدالت ٤/١ درصد به‌دست آمده است. نتایج به‌دست آمده شاخص عدالت توزیع در شکل ۳ ارایه شده است. جهت تسهیل در مقایسه مقادیر شاخص عدالت محاسبه شده برای همه سناریوهای بهره‌برداری مختلف این پژوهش، نتایج در قالب جدول ۲ ارایه شده، همچنین به‌صورت تصویری در شکل ۳ نیز ارایه شده است.

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده شاخص عدالت تحویل آب در سناریوهای بهره‌برداری.

Table 2. Equity water distribution index results in operational scenarios.

سناریوی بهره‌برداری Operational scenarios		کنترل‌گر و استراتژی بهره‌برداری Controller and operational strategy	شاخص عدالت Equity indicator
سناریوی نوسانات نرمال Normal inflow fluctuations scenario	بدون کم‌آبی without water shortages	کنترل‌گر پیش‌بین با استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller with WLD operational strategy	1.21
		کنترل‌گر پیش‌بین بدون استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller without WLD operational strategy	0.5
	کم‌آبی (۳۰ درصد) Water shortage (30%)	کنترل‌گر پیش‌بین با استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller with WLD operational strategy	15
		کنترل‌گر پیش‌بین بدون استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller without WLD operational strategy	2
سناریوی نوسانات شدید Harsh inflow fluctuations scenario	بدون کم‌آبی without water shortages	کنترل‌گر پیش‌بین با استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller with WLD operational strategy	4.33
		کنترل‌گر پیش‌بین بدون استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller without WLD operational strategy	1.21
	کم‌آبی (۳۰ درصد) Water shortage (30%)	کنترل‌گر پیش‌بین با استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller with WLD operational strategy	4.1
		کنترل‌گر پیش‌بین بدون استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب MPC controller without WLD operational strategy	22.5



شکل ۳- نتایج محاسبه شده شاخص عدالت توزیع آب برای سناریوهای بهره‌برداری در نظر گرفته شده در این پژوهش.

Figure 3. The calculated equity indicator for the different operational scenarios of this study.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

کمبود منابع لازم جهت تامین آب مورد نیاز بسیاری از شبکه‌های آبیاری کشور سبب شده تا بهره‌گیری از راهبردهای نوین و تأثیرگذار در بهبود فرآیند بهره‌برداری بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. در این راستا، این پژوهش به بررسی توانایی سامانه بهره‌برداری کنترل خودکار در تحویل و توزیع عادلانه آب در شرایط بهره‌برداری در شرایط نامتعارف (غیرمعمول) پرداخت. در این راستا کارایی استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب به‌منظور بهبود توزیع عادلانه آب بین ۲۶ آبگیر واقع در کانال اصلی در شبکه آبیاری رودشت مورد مطالعه قرار گرفت. این پژوهش تلاش نمود توانایی سامانه کنترل خودکار را در شرایط وخیم بهره‌برداری مورد بررسی قرار دهد تا علاوه بر نشان دادن میزان توانایی این سامانه در کنترل شرایط سخت بهره‌برداری، ضرورت به‌کارگیری استراتژی‌های بهره‌برداری را به‌منظور ارتقا عملکرد سامانه‌های کنترل نشان دهد. جمع‌بندی نتایج حاصل از این پژوهش به‌صورت موارد ذیل ارایه می‌گردد:

- نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی با استفاده از سامانه کنترل خودکار بیانگر عملکرد مطلوب کنترل‌گر پیش‌بین در توزیع عادلانه آب در شرایط نوسان نرمال دبی ورودی می‌باشد. به‌عبارت دیگر، کنترل‌گر به‌تنهایی و با اتکا به ماهیت سراسری بودن تنظیم هم‌زمان سازه‌های کنترل در همه بازه‌ها، با درجه بالایی از مطلوبیت فرآیند توزیع عادلانه را انجام داده است.
- با ظهور نوسانات شدید در بهره‌برداری روزانه کانال اصلی آبیاری، کنترل‌گر پیش‌بین به تنهایی قادر به تامین عدالت در توزیع آب در کانال اصلی نبوده و به‌کارگیری استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای سطح آب زمانی اکیداً توصیه می‌گردد. گواه این ادعا، مقدار شاخص محاسبه شده عدالت توزیع آب در حالت نوسانات شدید است که در حدود ۲۳ درصد به‌دست آمده است. با ارتقا سامانه کنترل خودکار پیش‌بین با در نظر گرفتن استراتژی بهره‌برداری مذکور، مقدار شاخص عدالت در حدود ۱۷ درصد بهبود عملکرد بهره‌برداری از نقطه‌نظر توزیع عادلانه آب را به‌همراه داشته است.
- نکته دارای اهمیت این است که استراتژی‌های بهره‌برداری قادر هستند بدون هیچ‌گونه نیاز به صرف هزینه اضافی جهت تغییر در زیرساخت سامانه کنترل خودکار، میزان مطلوبیت بهره‌برداری را بهبود بخشد. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که راهبرد اختلاف خطای رقوم سطح آب به‌عنوان یک روش سیستماتیک این قابلیت را دارد که به سامانه کنترل خودکار اضافه شود. ارتقا سامانه بهره‌برداری با بهره‌گیری از این استراتژی سبب تحقق هرچه بیش‌تر هدف توزیع عادلانه آب بین آب‌بران در طول کانال اصلی، در شرایط کم‌آبی شده است.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان در قالب پروژه تحقیقاتی شماره ۹۶/۱۲۸ صورت پذیرفته است. نویسندگان مقاله تشکر خود را از این شرکت اعلام می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Abbasi, F., Sohrab, F., and Abbasi, N. 2016. Evaluation of Irrigation Efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research. 17: 67. 113-120. (In Persian)
2. Clemmens, A.J. 2012. Water-Level Difference Controller for Main Canals. J. Irrig. Drain. Engin. 138: 1. 1-8.
3. Fele, F., Maestre, J.M., Hashemy, S.M., de la Peña, D.M., and Camacho, E.F. 2014. Coalitional model predictive control of an irrigation canal. J. Process Control. 24: 4. 314-325.
4. Guan, G., Clemmens, A.J., Kacerek, T.F., and Wahlin, B.T. 2012. Applying Water-Level Difference Control to Central Arizona Project. J. Irrig. Drain. Engin. 137: 747-753.
5. Maestre, J.M., Negenborn, R.R., eds., 2014. Distributed model predictive control made easy (Vol. 69). Dordrecht, Netherlands: Springer.
6. Malaterre, P.O., Rogers, D.C., and Schuurmans, J. 1998. Classification of canal control algorithms. J. Irrig. Drain. Engin. 124: 1. 3-10.
7. Molden, D., and Gates, T. 1990. Performance Measures for Evaluation of Irrigation Water Delivery Systems. J. Irrig. Drain. Engin. 116: 804-823.
8. Shahdany, M., and Roozbahani, A. 2015. Selecting an appropriate operational method for main irrigation canals within multicriteria decision-making methods. J. Irrig. Drain. Engin. 142: 4. 401-415.
9. Shahdany, S.H., Majd, E.A., Firoozfar, A., and Maestre, J.M. 2016. Improving Operation of a Main Irrigation Canal Suffering from Inflow Fluctuation within a Centralized Model Predictive Control System: Case study of Roodasht Canal, Iran. J. Irrig. Drain. Engin. 142: 11. 05016007.
10. Shahverdi, K., and Monem, M.J. 2015. Application of reinforcement learning algorithm for automation of canal structures. Irrigation and drainage, 64: 1. 77-84.
11. van Overloop, P.J., Horváth, K., and Aydin, B.E. 2014. Model predictive control based on an integrator resonance model applied to an open water channel. Control Engineering Practice, 27: 54-60.
12. Van Overloop, P.J. 2006. Drainage control in water management of polders in the Netherlands. Irrigation and Drainage Systems. 20: 99-109.
13. Van Overloop, P.J., Clemmens, A.J., Strand, R.J., Wagemaker, R.M.J., and Bautista, E. 2010. Real-Time Implementation of Model Predictive Control on Maricopa-Stanfield Irrigation and Drainage District's WM Canal. J. Irrig. Drain. Engin. 136: 11. 747-56.
14. Xu, M., van Overloop, P.J., and Giesen, N.C. 2011. On the study of control effectiveness and computational efficiency of reduced Saint-Venant model in model predictive control of open channel flow. Advances in Water Resources. 34: 2. 282-90.
15. Zafra-Cabeza, A., Maestre, J.M., Ridao, M.A., Camacho, E.F., and Sánchez, L. 2011. A hierarchical distributed model predictive control to irrigation canals. J. Process Control. 14: 21. 787-793.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(5), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

Design of automatic control system to equitable water distribution under water shortages and inflow fluctuation operational conditions, Case study of Roodasht irrigation district

M. Yaltaghian Khiabani[1] and *S.M. Hashemy Shahdany[2]

[1]M.Sc. Student of Water Structure, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran,
[2]Assistant Prof. of Water Structure, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran

Received: 01.26.2018; Accepted: 08.25.2018

Abstract

Background and Objectives: Unconventional operational conditions within main irrigation canals, due to intensifying following drought conditions, has resulted to poor performances of the irrigation districts in water distribution between the water holders from the equity perspectives. Accordingly, have convinced the managers to employ the modern operational strategies. However, hiring these smart operational strategies need automatic control systems and getting the advantages of the approach is quite impossible by using the conventional operational methods.

Materials and Methods: An automatic control system, using Model Predictive Control, is designed and tested in the present study. Also, simulation of the hydraulic conditions of the irrigation canal is accomplished by a simplified mathematical model of Integrator-Delay (ID) model in Matlab. Moreover, the operational strategy of different error gets employed by the MPC controller by defining a new state variable of the "Difference Error". The Roodasht main irrigation canal is selected as the case study of the research, due to special hydraulic conditions of this canal, including consequent water shortages periods as well as inflow fluctuation at the canal head-gate. Accordingly, a wide range of operational scenarios is chosen based on the practical operational information. Then, the performance of the designed MPC controller with and without employing the operational strategy is evaluated by the equity indicator within the operational conditions.

Results: The obtained results indicate that execution of the MPC controller is reasonable enough to handle both of the regular and severe inflow fluctuations. The equity performance indicator shows that MPC controller distributes irrigation water almost equitably under the frequent and severe inflow fluctuations so that the corresponding values obtained 1.21 and 4.33 percent respectively. However, the results reveal that equitable water distribution has not achieved when water shortages scenario has appeared. During the water shortages, MPC could not be able to meet the equity objective. So, the water level difference operational strategy is required to be employed by the MPC controller. According to the results, significant improvement equal to 13 and 17 percent has been achieved in equity index after upgrading the MPC controller with the strategy.

* Corresponding Author; Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

www.SID.ir

Conclusion: This study reveals the necessity of employing the operational strategy to improve the performance of the controller within the severe operational conditions. The main advantages upon upgrading the control systems with the operational policy, including the procedure used in this study, has not imposed and extra charges to the control system. Therefore, getting the advantages of the strategies is highly suggested to implement reasonable performances of the system. The developed plan for this study is recommended for the operation of those irrigation districts suffering from water scarcity. The strategy is capable of reasonably water distribution in a systematic manner between the off-takes locating along the canal.

Keywords: Equitable distribution, Irrigation canal, Modernization, Operational management

www.SID.ir