بهره‌گیری از سامانه کنترل خودکار متمرکز به منظور بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی تحت نوسانات شدید جریان ورودی؛ مطالعه موردی کانال اصلی شبکه رودشت

سید مهدی هاشمی شاهدانی[۱]، سونیا صادقی[۲]، اسماعیل ادیب مجد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲

چکیده

عملکرد ضعیف کانال‌های آبیاری از یک طرف و تاثیر آن در کاهش بهره‌وری آب کشاورزی از طرف دیگر ضرورت ارائه روش‌های موثر در بهره‌برداری بهینه از کانال‌های آبیاری را ایجاب نموده است. در این تحقیق، بهره‌گیری از سامانه اتوماسیون به منظور بهبود وضعیت حال حاضر بهره‌برداری کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت که با مشکل نوسانات شدید جریان ورودی روبه‌رو است، مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور سامانه کنترل خودکار سراسری پیش‌بین برای مدل ریاضی کانال مورد مطالعه طراحی گردید. مدل ریاضی بهره‌برداری حال حاضر کانال و نیز مدل ریاضی سامانه اتوماسیون طراحی شده تحت سناریوهای بهره‌برداری جریان ورودی با الگوی نوسانی زیاد مورد آزمون قرار گرفت. با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد میزان بهبود فرآیند بهره‌برداری کانال اصلی قبل و بعد از به‌کارگیری اتوماسیون بررسی گردید. نتایج نشان داد بر اساس شاخص های ارزیابی عملکرد MAE (حداکثر خطای مطلق) و IAE (خطای مطلق تجعی) محاسبه شده، بهره‌گیری از استراتژی مذکور باعث بهبود بهره‌برداری کانال اصلی بوده است. ، به طوری که مقدار حداکثر این شاخص‌ها قبل از به کارگیری سامانه اتوماسیون به‌ترتیب از مقادیر ۲۱/۴۹ و ۱۲/۶۳ درصد به ۵/۳۲ و ۳/۲۱ درصد بهبود یافته است. نتایج این تحقیق حاکی از آن هستند که استفاده از فن‌آوری اتوماسیون، که بدون هر گونه تغییر در شرایط فیزیکی کانال قابل پیاده‌سازی است، یک گزینه مطمئن و قابل اعتماد در پروژه‌های بهسازی و مدرن‌سازی کانال آبیاری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اتوماسیون کانال اصلی آبیاری، بهره‌برداری کانال اصلی، نوسانات ورودی، روش کنترل پیش‌بین، دریچه نیرپیک، شبکه آبیاری رودشت.

[۱] - استادیار، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، mehdi.hashemy@ut.ac.ir (مسئول مکاتبه)
[۲] - دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس_ کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، استاد مدعو گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاداسلامی واحد بابل، ۰۹۱۱۴۴۵۳۵۲۴، Sonia_6812@yahoo.com
[۳] - کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ۰۹۱۳۳۱۸۱۵۶۷، e.adib.m@gmail.com

مقدمه

با رشد جمعیت و توسعه فزاینده نواحی اقتصادی در اطراف شهرها، علاوه بر مصارف مستقیم آب، مصارف غیرمستقیم و از جمله بخش کشاورزی اهمیت بسیار زیادی نسبت به گذشته به خود گرفته است. کشاورزی وابسته به آبیاری که تقریباً ۴۰ درصد تولید محصولات غذائی را تامین می‌کند، با یک چالش مواجه شده است. از یک طرف نیازهای شرب و صنعت در مقایسه با مصارف کشاورزی در حال توسعه است و از طرف دیگر، برای حفاظت از حیات وحش و تنوع زیستی باید آب کافی در آبراهه و رودخانه ها جریان داشته باشد (Litrico and Fromion, 2009). نیاز روز افزون جوامع بشری به مواد غذایی و به تبع آن تولید محصولات کشاورزی، احداث و توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی را ایجاب نموده است. اما مطالعات انجام شده در محدوده شبکه‌های آبیاری مطلوب نبوده است. عملکرد ضعیف شبکه‌های اصلی آبیاری به دلیل فقدان مدیریت بهره‌برداری مناسب و نیز عواملی نظیر نقص در طراحی و اجرا، عدم اجرای منظم برنامه‌های دوره‌ای بازرسی، نگهداری و تعمیرات، لزوم توجه بیشتر محققان به اصلاح وضع موجود، بهبود عملکرد و ارتقاء بهره‌وری آب در این بخش را می‌طلبد.

در حال حاضر بهره برداری کانال اصلی در اکثر شبکه‌های آبیاری کشورمان با شیوه مرسوم و سنتی بهره‌برداری بالادست انجام می‌گیرد .روش‌های بهره‌برداری سنتی، به دلیل عدم وجود زیرساخت مناسب به‌منظور پیاده‌سازی استراتژی‌های نوین بهره‌برداری منطبق با نیازهای متغیر زمانی و مکانی آب در شبکه‌های آبیاری و تغییرات آب و هوایی در شرایط معمول بهره‌برداری و نیز توزیع عادلانه آب در شرایط کم‌آبی، سطح پائینی از رضایت‌مندی مدیران شبکه و نیز آب‌بران را تامین می‌کند. بنابراین یک بازنگری کلی در شیوه بهره‌برداری سامانه‌های انتقال و توزیع آب کشاورزی لازم و ضروری است. با توجه به نیاز فوری بهبود وضعیت بهره‌برداری حال حاضر شبکه‌های آبیاری، پروژه‌های مدرن‌سازی، بهسازی و نوسازی این سامانه‌ها در اولویت قرار گرفته‌اند. بهره‌گیری از استراتژی‌های جدید بهره‌برداری با حداقل تغییرات در وضعیت فیزیکی و سازه‌ای کانال، می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌کارهای کاربردی و موثر بهبود بهره‌برداری انتقال و توزیع در کانال‌های اصلی انتقال آب مطرح باشد. بنابراین لازم است قبل از هر گونه تغییر در شرایط فیزیکی سازه کانال، سازه‌های انتقال، سازه‌های کنترل و آبگیرهای مستقر در کانال امکان‌سنجی پیاده‌سازی روش‌های مدیریتی و استراتژی‌های نوین بهره‌برداری (شامل روش‌های غیرسازه‌ای بهبود مدیریت بهره‌برداری شبکه) و نیز روش‌های مکمل مورد استفاده در پروژه‌های مدرنیزاسیون (شامل بهره‌گیری از سامانه‌های اتوماسیون برای بهبود شرایط موجود بهره‌برداری کانال‌ها) مورد بررسی قرار گیرد.

از طرفی پیاده‌سازی استراتژی‌های نوین بهره‌برداری به منظور تامین هدف یا اهداف جدید در شبکه‌های آبیاری بدون اعمال مدیریت هوشمند بهره‌برداری امکان‌پذیر نمی‌باشد. و اصولاً با شیوه‌های بهره‌برداری سنتی (دستی یا سازه های هیدرومکانیکال مانند سازه‌های آمیل و آویس که در اکثر شبکه‌های کشورمان استفاده می‌شود) انجام پذیر نیست و در بسیاری از موارد از سایر سامانه‌های کنترل خودکار استفاده می‌شود. خودکارسازی، شامل روش های کنترل موضعی و کنترل سراسری جهت کنترل سطح آب در تمام بازه‌های کانال اصلی، برای تامین بهره‌برداری مطلوب در سطح شبکه می‌باشد.

با پیشرفت علم کنترل و ورود سیستم‌های کنترلی به صنعت، اغلب محققین در زمینه کنترل سیستم‌های آبی به کاربرد کنترل‌کننده‌های کلاسیک از جمله سه الگوریتم تناسبی (P) [۱] ، تناسبی – انتگرالی (PI) [۲] و تناسبی – اتنگرالی – دیفرانسیلی (PID) [۳] روی آوردند. یکی از محدودیت‌های کنترل‌کننده‌های PI و PID، چگونگی تنظیم پارامترهای این روش‌ها می‌باشد.

۱ - Proportional
۲ - Proportional Integral
۳ - Proportional Integral Derivative

جهت حل این مشکل تحقیقات گسترده‌ای انجام گرفته است (Burt et al., 1998). به‌طور کلی، زمانی که تعداد بازه‌های کانال محدود است، کنترل‌گرهای کلاسیک در موارد عملی به خوبی عکس‌العمل نشان می‌دهند. اما از آنجایی که سیستم‌های آبیاری شبکه گسترده‌ای از کانال‌های زیاد و بازه‌های متعدد هستند و دارای یک سیستم پیچیده با اغتشاشات متفاوت می‌باشند، لازم است از الگوریتم‌های کنترل پیشرفته‌تری استفاده شود (Wagemaker, 2005). روش‌های کنترل ابتکاری، کنترل فازی، کنترل بهینه، کنترل تطبیقی، شبکه‌های عصبی، کنترل پیش بین و روش‌های بهینه‌سازی خطی و غیرخطی نمونه‌هائی از روش‌های کنترل مدرن می‌باشد که در تحقیقات خودکارسازی کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Malaterre et al., 1998). روش کنترل پیش بین یکی از این روش‌های کنترل مدرن است که به یک صورت سیستماتیک، کلیه اندازه‌گیری‌ها و پیش بین‌ها را در یک عمل بهینه‌سازی وارد می‌کند تا عمل کنترلی را محاسبه کند. در میان الگوریتم‌های کنترل مدرن، کنترل پیش بین توجه محققان را بیشتر از سایر روش‌ها به خود جلب کرده است. قابلیت حل مسائل کنترل چند متغیره، در نظر گرفتن محدودیت‌های محرک‌های سیستم، امکان بهره‌برداری نزدیک‌تر به محدودیت‌های فیزیکی و به روز رسانی سریع این روش کنترلی از دلایل اصلی مقبولیت زیاد این روش است (Maciejowski, 2000). روش MPC در واقع یک متدولوژی کنترلی است که مجموعه‌ای از کنترل پس‌خورد در اندازه‌گیری سطح آب، کنترل پیش‌خورد در پیش بین اغتشاشات، در یک فرایند تکرار شونده‌ی بهینه‌سازی که محدودیت‌های سازه‌ها را در نظر می‌گیرد می‌باشد (Negenborn et al, 2004). MPC که از آن به کنترل افق کاهشی یا کنترل افق متحرک نیز یاد می‌شود، نتایج رضایت بخشی به خصوص در سیستم‌های خطی در صنایع داشته است. بیش از ۲۲۰۰ کاربرد، در دامنه وسیعی از کاربرد کنترل در صنایع، از صنایع شیمیایی گرفته تا هوا فضا در مراجع برای MPC ذکر شده است (Mayne et al., 2000 ; Lee and cooley , 1996 ; Qin and Badgwell , 1996)

در این تحقیق، به بررسی میزان بهبود فرآیند بهره‌برداری یک کانال اصلی آبیاری که تحت نوسانات شدید جریان ورودی قرار دارد، با بهره‌گیری از سامانه اتوماسیون پرداخته شده است. برای این منظور سامانه کنترل خودکار سراسری پیش‌بین طراحی شده و تحت سناریوهای بهره‌برداری کانال مذکور مورد آزمون قرار گرفت. با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد، میزان بهبود فرآیند بهره‌برداری کانال اصلی قبل و بعد از به‌کارگیری اتوماسیون بررسی گردید. برای این مظور کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت، آخرین شبکه آبیاری واقع شده در دشت زاینده‌رود که با مشکل اساسی نوسانات شدید جریان ورودی روبه‌رو است، به عنوان مورد مطالعاتی این تحقیق انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

سامانه کنترل خودکار پیش‌بین

تاریخچه روش کنترل پیش بین در کانال‌های آبیاری و زهکشی

مالاتر و رودلار در سال ۱۹۹۷برای اولین بار قابلیت روش MPC را در کنترل یک کانال آبیاری شامل دو بازه، با مقایسه با روش کنترل LQC بررسی نمودند. در این تحقیق از مدل فضای حالت خطی بدست آمده از رابطه سنت ونانت گسسته شده جهت تعریف مدل داخلی MPC استفاده گردید. این مدل خطی توسط یکی از ماژول‌های مخصوص بسته نرم‌افزاری[1] SIC (نرم‌افزار توسعه یافته توسط موسسه CEMAGREF فرانسه در سال ۱۹۹۲) با گام‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای و گام‌های مکانی ۵۰ متر در پائین‌دست سازه و ۵۰۰ متر در بالادست سازه ایجاد گردید. وظیفه کنترل‌گر رساندن سطح آب پائین‌دست

1 - Simulation of Irrigation Canal

بازه به سطح آب هدف، با تنظیم سطح آب بالادست و نیز میزان تنظیم شدگی دریچه‌ها بیان شد. نتایج نشان داد که الگوریتم کنترل MPC جهت به‌گارگیری بهره‌برداری آنی (real-time) مناسب بوده و به‌خصوص قابلیت لازم در در برخورد با اغتشاشات ناشناخته از جمله برداشت‌های برنامه‌ریزی نشده از کانال را داشته و توانائی رساندن سریع سطح آب به سطح مطلوب را دارا می‌باشد (Malaterre and Rodellar, 1997). وایگ میگر در سال ۲۰۰۵ برای اولین بار روش MPC را بر روی یک کانال آبیاری واقعی مورد تست قرار داد. تا قبل از آن نتایج MPC تنها بر روی مدل‌های هیدرودینامیک تست شده بود. در این تحقیق از معادله سنت ونانت خطی شده در مدل داخلی استفاده گردید تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود. کانال مورد تست در این تحقیق، کانال فرعی WM آریزونا شامل ۸ بازه می‌باشد. نتایج نشان داد به‌علت آن‌که مدل سنت ونانت خطی‌شده قادر به در نظر گرفتن شرایط مختلف جریان می‌باشد، مسائل هیدرولیکی جریان و از همه مهم‌تر زمان تاخیر اثری بر وضعیت کنترلی سیستم نگذاشته است (Wagemaker, 2005). فان اورلوپ و همکاران در سال ۲۰۰۸ از MPC جهت کنترل سیستم‌های بزرگ زهکشی هلند استفاده نمودند. هدف از این تحقیق جلوگیری از تخریب اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی مجاور این زهکش‌ها در زمان‌های بارش سنگین معرفی شده است. موثرترین مولفه در کنترل سیستم‌های زهکشی در زمان‌های بارش سنگین، خالی نگه‌داشتن حجم ذخیره موجود در زهکش‌ها و مخازن اطراف آن بیان شده است. در این تحقیق سه کنترل پسخورد، ترکیب پسخورد با پیش‌خورد و MPC در این زهکش‌ها مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج حاصل شده بیانگر این حقیقت بود که سیستم‌های کنترل پس‌خورد به جهت عکس‌العمل غیرسریع در مقابل انحراف سطح آب از سطح هدف کارائی کافی جهت استفاده در این موارد را ندارند. با ترکیب کنترل پس‌خورد با پیش‌خورد، به‌دلیل قابلیت پیش‌بینی اغتشاشات توسط کنترل پیش‌خورد، نتایج مطلوب‌تری بدست خواهد آمد. از آن‌جائی که MPC علاوه بر پیش‌بینی اغتشاشات، محدودیت‌های سیستم، که در این تحقیق ظرفیت ایستگاه پمپاژ می‌باشد، را نیز لحاظ نموده است، مطابق انتظارات اولیه نتایج مطلوب‌تری در مقایسه با دو روش دیگر بدست آورده است (Overloop et al., 2008).

اجزای کنترل پیش بین (MPC)

یک سیستم کانال روباز را می‌توان با لحاظ نمودن عوامل محدود کننده، به خصوص محدودیت ظرفیت سازه‌ها و کانالهای انتقال، با بهره‌گیری از روشهای بهینه سازی به طور موثرتری کنترل نمود. شکل ۱ شمای کلی از کنترل یک سیستم آبی بوسیله‌ی MPC را نشان داده می‌دهد. مطابق این شکل، MPC از ۵ جزء اصلی مدل داخلی، تابع هدف، محدودیت‌ها، بهینه سازی و افق کاهشی تشکیل شده است که در ادامه هر جز به تفصیل توضیح داده می‌شود.

مدل داخلی

در سیستم‌های آبی، مدل داخلی برای پیش بینی سطح و جریان آب در یک افق پیش بینی استفاده می شود. مطابق شکل ۱، مدل داخلی با بکارگیری ورودی‌هایش که عبارتند از: اغتشاشات حال و آینده و اقدامات کنترلی حال و آینده، اقدام به تعیین خروجی‌ها که همان وضعیت جریان و تراز سطح آب در زمان حال و آینده می‌باشد، می‌نماید. مانند هر سیستم حقیقی دیگر، سیستم‌های آبی واقعی نیز غیر خطی هستند. به دلایلی مانند: کاهش زمان محاسبات جهت بکارگیری نتایج مدل در سیستم‌های واقعی با گام‌های کنترلی کوتاه (در حد ثانیه)، عدم نیاز سیستم کنترلی به پیش بین‌های خیلی دقیق و ساده‌تر شدن محاسبات می‌بایست معادلات خطی و ساده شود. مدل‌های خطی اگرچه یک مدل ساده شده محسوب می‌شوند، اما به دلیل وجود افق کاهشی در MPC که عمل به روز نمودن دائمی مدل را انجام می‌دهد و دقت مدل ساده شده را حداقل برای چند گام زمانی اولیه حفظ می‌نماید، در بسیاری موارد نتایج قابل

قبولی را ارائه می‌دهند. عمل خطی سازی مدل داخلی در MPC در هر گام زمانی در فرایند غیرخطی متغیرها[1] در طول افق کاهشی انجام می‌گیرد (Camacho and Bordons, 1999). هر گاه تغییرات کوچکی در هیدرولیک جریان وجود داشته باشد، معادلات خطی شده تقریبا مشابه حالت غیر خطی عمل می‌کند. در کنترل سیستم آبی به روش MPC از مدل‌های فضای حالت[2] که امکان فشرده سازی فرمولاسیون چند متغیره مدل‌های خطی را مهیا می‌کنند، جهت بیان مدل داخلی استفاده می‌شود. مدل فضای حالت استفاده شده در سیستم کانال‌ها را می‌توان در حالت کلی به فرم زوج معادله ۱ بیان نمود (Overloop, 2006).

$$x(k+1) = A(k).x(k) + B_u.u(k) + B_d.d(k)$$
$$y(k) = C.x(k) \qquad (۱)$$

در این معادله: x وضعیت جریان در کانال که اغلب سطح آب در نقاط هدف است را نشان می‌دهد. u اقدام کنترلی محاسبه شده بوسیله کنترل‌گر (میزان تغییر جریان)، d اغتشاشات پیش بین شده، y خروجی سیستم آبی مدل شده است که از اندازه گیری های سیستم واقعی استفاده می‌کند و k نیز شاخص گام زمانی است. پارامترهای A ، B_u ، B_d و C ضرائب معادلات هستند که به ترتیب عبارتند از: ماتریس سیستم (نمائی از ضرائب معادلات جریان)، ماتریس ورودی ضرائب کنترل، ماتریس ورودی ضرائب اغتشاشات و ماتریس ضرائب خروجی. وضعیت اولیه $x(k)$ می‌بایست در ابتدای هر گام زمانی کنترلی تخمین زده شود، که یک راه کلی تخمین آن استفاده از یک تخمین زننده‌ی وضعیت است. تخمین زننده‌ی وضعیت با انجام یک سری محاسبات و نیز با بکارگیری وضعیت حال که در گام زمانی قبل محاسبه شده و همچنین وضعیت حال اندازه‌گیری شده از سیستم واقعی، وضعیت اولیه $x(k)$ را بدست می‌آورد. در واقع تخمین زننده‌ی وضعیت، اختلاف بین وضعیت اندازه‌گیری شده و وضعیت محاسباتی را به صورت FB به مدل داخلی باز می گرداند(Mosca, 1995). مدل داخلی تخمین وضعیت آینده را به سیستم باز می‌گرداند.

تابع هدف

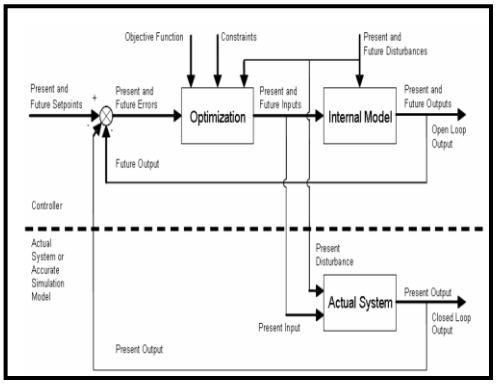
تابع هدف، متشکل از یک سری زیر اهداف متفاوت و مجزاست، که به هر زیر هدف یک وزن نسبی داده می‌شود تا نشان دهنده‌ی اهمیت و الویت آن زیر هدف باشد (Camacho and Bordons, 1999). زیر اهداف سیستم‌های آبی شامل اجزائی از سیستم آبی است که باید طی فرایند بهینه‌سازی به حداقل ممکن برسند و توسط کنترل‌گر کنترل شوند، مانند انحراف سطح آب از سطح آب هدف یا تعداد دفعات تنظیم سازه (Wagemaker, 2005). تامین هرکدام از اهداف می‌تواند سبب اختلال در اهداف دیگر باشد. برای مثال، محدود کردن تغییرات جریان عبوری بی‌شک بر سطح آب اثر گذاشته و آن را از سطح مطلوب دور خواهد کرد. بنابراین یک امتیاز نسبی به هر کدام از این اهداف باید داده شود تا اهمیت نسبی آن‌ها مشخص گردد.

اورلوپ با استفاده از برنامه‌ریزی کوادراتیک (Quadratic Programming) تابع هدف مورد استفاده برای سیستم کانال را به صورت رابطه ۲ تعریف نمود (Overloop, 2006):

$$\min J = X^T.Q.X + U^T.R.U \qquad (۲)$$

که در آن J تابع هدف را نشان می‌دهد که می‌بایست حداقل شود، X متغیرهای حالت، U اعمال کنترلی، Q ماتریس وزن برای متغیرهای حالت و R ماتریس وزن برای اعمال کنترلی می‌باشند.

۱ - Variable trajectories
2 - State space model



شکل (۱): شمای کلی از کنترل MPC در یک سیستم آبی

محدودیت‌ها

محدودیت‌ها ممکن است ماهیت فیزیکی داشته باشند و یا مربوط به یک مشخصه‌ی بهره‌برداری باشند، مثلاً در سیستم‌های آبی، سازه‌ها ظرفیت محدود و معینی دارند و کنترل‌کننده مجاز به نقض این محدودیت‌های فیزیکی نمی‌باشد. همچنین خصوصیات بهره‌برداری نیز به عنوان عوامل محدودکننده در نظر گرفته می‌شوند، مثلا تنظیم سطح آب در محدوده‌ی مجاز اطراف سطح آب هدف. در برخی موارد این محدودیت‌ها هرگز بواسطه‌ی حل مساله نمی‌بایست نقض شود مانند حداکثر ظرفیت پمپ یا حداکثر تغییر بازشدگی دریچه که به این محدودیت‌ها محدودیت سخت[1] گفته می‌شود. محدودیت‌های دیگر که می‌توانند در مواردی نقض شوند محدودیت‌های نرم خوانده می‌شوند. تفاوت بکارگیری آن‌ها در این است که محدودیت‌های سخت در بهینه‌سازی به عنوان یک محدودیت غیر قابل انعطاف بروی مقادیر وضعیت یا ورودی اعمال می‌گردند. در صورتیکه محدودیت‌های نرم به عنوان جریمه برای مقادیر ورودی یا وضعیت، در زمانی که این محدودیت ها نقض شوند به کار می‌رود.

دلیل اینکه محدودیت ها را به دو نوع تقسیم کرده و برای محدودیت‌های نرم امکان نقض قائل شده‌اند این است که یک حل بهینه‌سازی را ممکن سازند. استفاده از تلفیق محدودیت‌های سخت منجر به غیر قابل حل شدن مساله می شود. مثلا در سیستم‌های زهکشی هرگاه ظرفیت معین (محدود) سازه، ظرفیت آبگذری را محدود کند و از طرفی تراز سطح آب نیز می بایست در محدوده‌ی مجاز اطراف سطح هدف قرار گیرد، در این حالت این محدودیت های سخت با یکدیگر تلفیق شده و بهینه سازی قادر نخواهد بود هیچ راه حلی را ارائه کند که همزمان از ظرفیت آبگذری سازه تخطی نکرده و سطح آب را در محدوده‌ی مجاز باقی نگاه دارد، در نتیجه بهینه سازی به یک راه حل نشدنی منتهی خواهد شد.

بهینه‌سازی

بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی عددی انجام گرفته و نتیجه آن عملیات کنترلی در طول افق پیش بینی است که با در نظر گرفتن مقدار محدودیت‌ها بدست می آید. این محدودیت‌ها هستند که تعیین می کنند عمل بهینه سازی‌شدنی امکانپذیر می‌باشد یا نه. عواملی مانند سرعت محاسبه، توانمندی و پایداری تعیین کننده مناسب‌ترین الگوریتم جهت حل مسائل مختلف هستند (Maciejowski, 2000). روش‌های بهینه‌سازی مختلفی برای حل مسایل مختلف MPC معرفی شده‌اند از جمله (Mosca, 1995; Overloop, 2006): The active set method ، Manipulating the constaints، Interior Point algorithms ، Linear Programming ، Multi parametric Quadratic Programing، Newton Raphson MPC . بیشتر این روش‌ها سرعت محاسباتی انجام الگوریتم‌ها را با ساده‌سازی مساله بهینه سازی تسریع می بخشند. این ساده‌سازی‌ها، مساله را به یک حوزه‌ی قطعی سوق می‌دهد که در این حالت دیگر مسائل از قبیل پایداری، توانمندی و عملکرد نمی تواند تضمین گردد. دو روش که مساله بهینه سازی را کامل حل می‌کنند the active set method و Interior Point algoritms در سرعت محاسبات تفاوت دارند. برای یک مدل با یک افق پیش بینی کوتاه، روش اول سریع‌تر است، در صورتی‌که برای همان مدل با یک افق طولانی روش

1 - Hard constraints

دوم سریعتر می‌باشد. برای سیستم کانال‌های روباز، افق پیش بینی نسبتا طولانی است زیرا که در سیستم‌های آبی با زمان تاخیر طولانی مانند کانال‌های آبیاری، افق پیش بینی می بایست حداقل برابر بزرگترین زمان تاخیر بازه‌های کانال باشد تا اثرات تنظیم دریچه‌ها تا دورترین بازه‌های از محل تغییر مشخص شود. برای سامانه‌های تخلیه آب نیز از آنجایی که تخمین عکس‌العمل سطوح آب در اثر اعمال یک عمل کنترلی نیازمند طی شدن ساعت ها یا حتی روزها می‌باشد، مانند کانال آبیاری افق‌های زمانی پیش بینی طولانی لازم می‌باشد. از طرف دیگر گام زمانی کنترلی نمی تواند خیلی طولانی مدت انتخاب شود زیرا که دینامیک‌های امواج و تغییرات سریع اغتشاشات مانند جزر و مد سطح آب باید در نظر گرفته شود. این ترکیب افق‌های زمانی پیش‌بینی طولانی مدت و گام‌های زمانی کنترلی کوتاه، نیازمند افق پیش بینی طولانی مدت می باشد. به همین دلیل الگوریتم Interior Point برای حل مسائل بهینه‌سازی کاربردهای MPC معرفی شده است (Wright, 1997).

افق کاهشی

اصل افق حرکتی یا کاهشی در MPC بکار رفته است. افق کاهشی به این معناست که بهینه سازی در هر گام زمانی کنترلی تکرار می‌شود و تنها عملیات کنترلی محاسبه شده برای گام زمانی حال حاضر اجرا می‌شود. در گام زمانی کنترلی بعدی ابتدا مدل با اندازه‌گیری‌ها و پیش‌بینی‌های جدیدی که حاصل شده‌اند به روز می شود و بعد از آن بهینه‌سازی اجرا می‌شود (Maciejowski, 2000). استفاده از اندازه گیری های اخیر سطح آب، تضمین می نماید که کنترل‌گر MPC مانند سیستم پس‌خورد عمل کند و موجب برگرداندن انحراف اندازه‌گیری شده از سطح آب هدف به صفر می‌شود. استفاده از جدیدترین پیش بینی‌های اغتشاشات مانند رواناب حاصل از بارش، جزر مد سطح آب و یا جداول تحویل آب سبب استفاده از سیگنال‌های پس خورد دقیقی در کنترل‌گر می‌شود. در این راه کنترل‌گر MPC یک نگاه به روز (up-to-date) به آینده در طول افق پیش‌بینی خواهد داشت.

طراحی کنترل‌گر پیش‌بین

با تعریف h_{ref} به‌عنوان عمق هدف و تعریف خطا به فرم رابطه (۳) و جایگذاری آن در معادله (۱) می‌توان رابطه میزان خطا در هر بازه کانال را بر اساس جریان ورودی و جریان‌های خروجی محاسبه نمود. با تبدیل روابط بدست آمده برای تمامی بازه‌ها به فرم مدل ماتریسی فضای حالت، ماتریس‌های X_{64*1}، A_{64*64}، Bu_{64*26} و Bd_{64*13} بدست آمدند. به‌جهت بزرگ بودن ماتریس‌ها، مدل ماتریسی فضای حالت تنها برای بازه اول در رابطه (۴) آورده شده است:

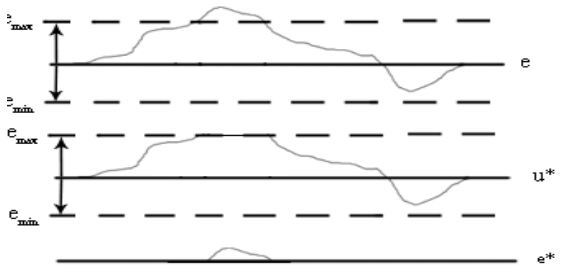
$$e(k) = h(k) - h_{ref} \qquad (۳)$$

$$\begin{bmatrix} Q_{hg}(k+1) \\ Q_{hg}(k) \\ Q_{hg}(k-1) \\ Q_{hg}(k-2) \\ e_1(k+1) \\ e_1^*(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{T_c}{A_s} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{T_c}{A_s} & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_{hg}(k) \\ Q_{hg}(k-1) \\ Q_{hg}(k-2) \\ Q_{hg}(k-3) \\ e_1(k) \\ e_1^*(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \nabla Q_{hg}(k) \\ u^*(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{T_c}{A_s} \\ -\frac{T_c}{A_s} \end{bmatrix} \cdot \left[Q_{off-take1}(k) \right] \qquad (۴)$$

$$u^*(k) \geq h_{\min}(k) - h_{ref},$$
$$u^*(k) \leq h_{\max}(k) - h_{ref},$$

که در این رابطه $Q_{hg}(k)$، $Q_{hg}(k-1)$، $Q_{hg}(k-2)$ و $Q_{hg}(k-3)$ به ترتیب دبی‌های کنترلی رها شده از سازه تنظیم سراب کانال در گام‌های زمانی $k-3$ تا k می باشد. زمان تاخیر بین ورود آب از سراب تا تغییر ایجاد شده رقوم سطح آب در انتهای پائین‌دست اولین بازه کانال مورد مطالعه برابر ۳ گام زمانی می‌باشد. $e_1(k)$ خطای محاسبه شده از رابطه (۴) برای بازه اول کانال و $e_1^*(k)$ متغیر حالت اضافه شده به سیستم است که دربرگیرنده محدودیت نرم ناشی از تجاوز رقوم سطح آب از رقوم حداکثر و حداقل در بازه اول می‌باشد. شکل ۲ رابطه خطای سطح آب (e) را با متغیرهای کمکی u^* و e^* نشان می دهد. $u^*(k)$ مقداری است که از میزان خطای ناشی از انحراف سطح آب از سطح هدف کم می‌شود تا مقدار $e_1^*(k)$ را به وجود آورد. در واقع متغیر $u^*(k)$ تفسیر فیزیکی ندارد و صرفاً یک متغیر فرضی جهت اعمال جریمه بیشتر بر تابع هدف در زمانی که سطح آب از محدوده مجاز بین حداکثر و حداقل رقوم سطح آب تجاوز می‌کند، میباشد. مقدار این متغیر از رابطه (۵) بدست می‌آید (van Overloop et al., 2008a):

$$u^*(k)=\begin{cases} e & h_{\min}(k)-h_{ref}\le e\le h_{\max}(k)-h_{ref} \\ h_{\max}(k)-h_{ref} & e\ge h_{\max}(k)-h_{ref} \\ h_{\min}(k)-h_{ref} & e\le h_{\min}(k)-h_{ref} \end{cases} \quad (۵)$$



شکل (۲): نمودارهای خطا و متغیرهای کنترلی محدودیت نرم شامل a) خطای سطح آب (e) b) نمودار متغیر کمکی (u^*) c) نمودار متغیر کنترلی (e^*)

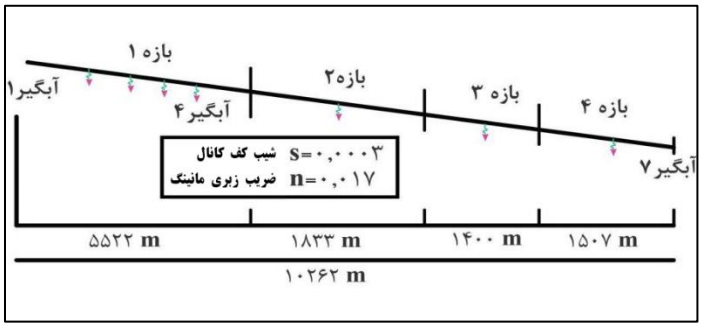
معرفی کانال مورد مطالعه و مشکلات بهره‌برداری مربوطه

منطقه رودشت در شرق و جنوب شرقی اصفهان واقع شده است. این منطقه به دو بخش رودشت شمالی و رودشت جنوبی (یکی در شمال و دیگری در جنوب زاینده رود) تقسیم شده است. شبکه آبیاری این منطقه حدود ۴۵۰۰۰ هکتار از اراضی مربوطه را تحت پوشش قرار می‌دهد. رودشت آخرین دشتی است که از زاینده رود آبگیری می‌کند لذا تحت نوسانات شدید این رودخانه قرار می‌گیرد که نوسانات مداوم و شدید دبی در سراب کانال و در نتیجه عملکرد نامطلوب شبکه را به همراه دارد . در اثر این عملکرد نامطلوب ، آبگیرهای انتهایی شبکه دبی کمتری از دبی مورد نیاز خود دریافت می‌کنند و گاهی هم آبگیرهای انتهایی با آب مازاد بر سهمیه خود روبه‌رو می‌شوند که در اثر عدم بهره‌برداری باعث اتلاف آب می‌شوند.

با توجه به مشکلات مذکور در کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت ، هدف از این تحقیق بررسی میزان بهبود فرآیند بهره‌برداری در این کانال می‌باشد. این بخش از کانال دارای شیب ملایم و سازه تنظیم‌کننده تراز سطح آب از نوع سرریز نوک اردکی و دریچه‌های آبگیری از نوع نیرپیک می‌باشد. جدول ۱مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی و همچنین شرایط جریان در نقاط مختلف مربوط به کانال مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نیمرخ این کانال در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول(۱): مشخصات کانال اصلی چپ شاخه شمالی

مشخصات فیزیکی	مقدار	واحد	شماره آبگیر	نام دریچه آبگیر	نوع دریچه آبگیر	دبی حقابه دریچه آبگیر m^3/s	دبی برداشتی متوسط m^3/s
شیب کف	۰/۰۰۰۳	m/m	۱	P01	XX2	۰/۰۹	۰/۰۸
ضریب مانینگ	۰/۰۱۷	-	۲	P02	XX2	۰/۲	۰/۱۵
شیب جانبی	۱/۵	m/m	۳	P03	XX2	۰/۰۳	۰/۰۳
عرض کف	۴/۲	m	۴	C01	L2	۰/۲	۰/۳
عمق کانال	۲/۵	m	۵	P04	XX2	۰/۰۱	۰/۰۳
			۶	C02	L2	۰/۲	۰/۱۷



شکل (۳): نیمرخ کانال اصلی مورد مطالعه

گزینه‌های بهره برداری مورد آزمون

تعیین گزینه های بهره‌برداری در راستای اهداف در نظر گرفته شده در تحقیق می‌باشد. بر این اساس سامانه کنترل خودکار طراحی شده در این مقاله تحت یک الگوی بهره‌برداری با حداکثر مقدار نوسانات جریان ورودی، ثبت شده توسط دفتر بهره‌برداری کانال مورد مطالعه، آزموده شد. بر اساس این سناریو، که در جدول (۲) نیز نشان داده شده است، محدوده تغییرات جریان ورودی در حدود ۵۰ درصد مقدار اولیه بوده است.

جدول (۲): الگوی بهره‌برداری مورد استفاده در تحقیق

زمان(hr)	میزان دبی ورودی در سراب کانال (m^3/s)
۰ تا ۶	۰/۷
۶ تا ۹	۰/۳۵
۹ تا ۱۲	۰/۷
۱۲ تا ۱۵	۰/۳۵
۱۵ تا ۲۴	۰/۱۷

بر این اساس آزمون سامانه کنترل خودکار پیش‌بین توسط دو سناریو مطابق ذیل انجام گرفت:

سناریوی اول: هدف اصلی در این سناریو بررسی وضعیت موجود بهره‌برداری کانال اصلی در شرایط نوسانات ورودی به کانال اصلی می‌باشد. شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال بر اساس وجود سازه‌های تنظیم سرریزهای نوک اردکی، که در حال حاضر در شبکه وجود دارند، انجام گرفته است.

سناریوی دوم: به‌جهت بررسی کارائی سامانه کنترل‌گر پیش‌بین طراحی شده در این تحقیق در شرایط بهره‌برداری کانال اصلی با نوسانات شدید ورودی این سناریو معرفی گردید. بر خلاف سناریوی قبلی که تنظیم رقوم سطح آب در کانال اصلی بر عهده سرریزهای لبه طولانی بودند، در این سناریو سازه‌های کنترل و تنظیم عبارتند از دریچه‌های کشویی موتوریزه شده که تنظیم باز شدگی آن توسط سامانه کنترل پیش‌بین انجام می‌گیرد.

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

در این تحقیق برای بررسی و ارزیابی عملکرد الگوریتم کنترل طراحی شده، شاخص‌های ارزیابی ارائه شده توسط ASCE مورد استفاده قرار گرفت (Clemmens, 1998) .این شاخص‌ها عبارتند از:

$$MAE = \frac{\max\left(\left|y_t - y_{target}\right|\right)}{y_{target}} \qquad (۶)$$

که در این رابطه y_t تراز سطح آب مشاهده شده (محاسبه شده توسط مدل شبیه سازی جریان) در زمان t و y_{target} تراز سطح آب هدف می باشد.

$$IAE = \frac{\frac{\Delta t}{T}\sum_{t=0}^{T}\left(\left|y_t - y_{target}\right|\right)}{y_{target}} \qquad (۷)$$

که در این رابطه Δt فاصله بین گامهای زمانی اعمال تنظیمات (که در اینجا ۳۰۰ ثانیه است) و T دوره زمانی اجرای آزمون (۲۴ ساعت) می باشد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوی اول

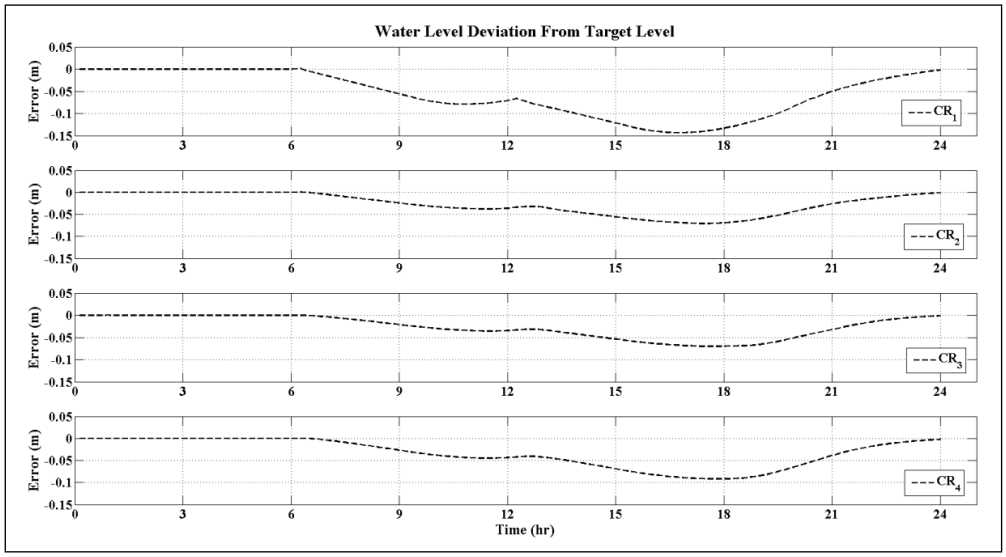
وضعیت هیدرولیک جریان در کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت توسط مدل ریاضی تهیه شده برای این کانال، شبیه‌سازی شد و نتایج در شکل (۴) آورده شده است. شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال تحت سناریو اول و در شرایط افزایش و کاهش دبی ورودی و بدون انجام هرگونه عملیات بهره‌برداری اجرا گردید و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین شاخص‌های ارزیابی مورد نظر برای آن محاسبه گردید.

مطابق سناریوی اول، بهره‌برداری مرسوم کانال مورد مطالعه با استفاده از سرریزهای نوک اردکی که قابلیت تغییر وضعیت را نداشته، انجام شده است. آبگیرهای واقع شده در بازه‌های کانال از نوع آبگیرهای مدول نیرپیک نوع XX2 و L2 بوده‌اند. بر اساس رابطه دبی-اشل تهیه شده شرکت سازنده این مدول‌ها، حداقل میزان انحراف رقوم سطح آب بالادست آبگیرها، یا به عبارت دیگر حداکثر پایین افتادگی سطح آب در کانال اصلی، که قادر باشد ۹۰ درصد دبی درخواستی آبگیرهای مذکور را تامین نماید برای مدول نوع XX2 برابر ۸- سانتی‌متر و برای مدول L2 برابر ۱۳- سانتی‌متر از رقوم هدف می‌باشد.

بر اساس شکل ۴، برای بازه اول (CR1) و بازه آخر (CR4) میزان پایین افتادگی رقوم سطح آب از مقدار مجاز برای تامین آبگیری ۹۰ درصدی تجاوز نموده که بر این اساس آبگیری در دو بازه مذکور با مشکل مواجه شده است. به خصوص شرایط بهره‌برداری برای بازه اول حادتر می‌باشد زیرا حداکثر میزان خطای رقوم سطح آب از رقوم هدف برابر ۱۵- سانتی‌متر بدست آمده است. بر اساس شاخص‌های ارزیابی عملکرد محاسبه شده، مقدار حداکثر این شاخص‌ها

به‌ترتیب برابر ۲۱/۴۹ و ۱۲/۶۳ درصد بدست آمده است.

نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری حال حاضر کانال مورد مطالعه تحت تاثیر نوسانات ورودی حاکی از آن است که بهره‌برداری بدون بهره‌گیری از سامانه‌های کنترل خودکار قادر به کنترل نوسانات ورودی نبوده و الگوی نوسان ورودی عیناً به محل آبگیرها وارد می‌شود. بر این اساس برای چهار آبگیر ابتدایی کانال مورد مطالعه که در بازه اول آن واقع شده است، آبگیری برای ۸ ساعت متوقف می‌شود. به‌طور مشابه، فرآیند آبگیری در آبگیر شماره ۷ واقع در بازه چهارم نیز برای تقریباً یک ساعت قطع شده است.



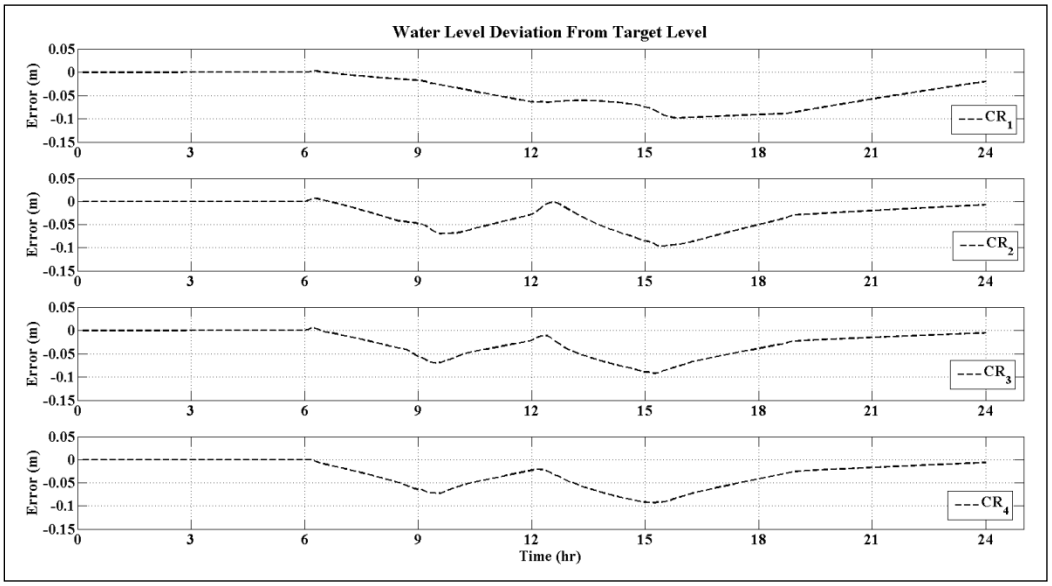
شکل (۴): نتایج سناریوی اول شامل خطای رقوم سطح آب در چهار بازه‌های کانال اصلی در مدت زمان شبیه‌سازی

نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوی دوم

نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی مورد مطالعه را زمانی که کنترل و تنظیم سطح آب در بازه‌های کانال به عهده سامانه کنترل خودکار پیش‌بین طراحی شده در این تحقیق می‌باشد، به تصویر می‌کشاند. بر این اساس به‌جز انحراف تقریباً یک ساعته در بازه اول، رقوم سطح آب تمامی بازه‌های کانال در طول شبیه‌سازی از رقوم حداقل مجاز تخطی نداشته است. روند تغییرات رقوم سطح آب در چهار بازه کانال نشان می‌دهد که کنترلگر پیش‌بین اقدام به حداقل سازی دبی عبوری از سازه تنظیم انتهای بازه اول نموده است به طوریکه پایین‌افتادگی رقوم سطح آب این بازه به حداقل ممکن برسد. دلیل این عکس‌العمل هوشمندانه کنترل‌گر در راستای حداقل‌سازی خطای تحویل آب به چهار آبگیر واقع شده در این بازه، از میان هفت آبگیر در طول کانال مورد مطالعه می‌باشد. کاهش حداکثری دبی عبوری از اولین بازه کانال از ساعت ۶ تا ۹ شبیه‌سازی، سبب کاهش تقریباً ۸ سانتی‌متری رقوم سطح آب سایر بازه‌ها شده است.

کنترل‌گر پیش‌بین طراحی شده در این تحقیق با بهره‌گیری از افق کاهشی دو ساعته خود اقدام به محاسبه شرایط هیدرولیکی آینده سیستم نموده و بر این اساس تنظیمات بهینه حال حاضر سازه‌های کنترل و تنظیم را محاسبه نموده است. با توجه به مقادیر محاسبه شده شاخص‌های ارزیابی عملکرد، حداکثر میزان انحراف رقوم سطح آب از مقدار هدف برابر ۹ سانتی‌متر و حداکثر شاخص‌های ارزیابی عملکرد برابر ۵/۳۲ و ۳/۲۱ درصد بدست آمده است. همچنین نتایج نشان دادند که سه آبگیر ابتدایی برای

زمانی معادل یک ساعت دچار اختلال جزیی آبگیری شده و به هیچ وجه آبگیری در طول شبیه‌سازی متوقف نشده است. بر این اساس سامانه کنترل خودکار پیش‌بین توانسته شرایط بهینه تنظیم سازه‌های آب‌بند اتومات شده را طوری مشخص نماید که اثر نوسانات ورودی در فرآیند آبگیری به حداقل برسد.



شکل (۵): نتایج سناریوی دوم شامل خطای رقوم سطح آب در چهار بازه‌های کانال اصلی در مدت زمان شبیه‌سازی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به بهبود وضعیت حال حاضر بهره‌برداری کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت، که با مشکل نوسانات شدید جریان ورودی روبه‌رو است، پرداخته و استراتژی نوین بهره‌برداری شامل سامانه‌های اتوماسیون به کار گرفته شده است. برای این منظور سامانه کنترل خودکار سراسری پیش‌بین طراحی شده و تحت سناریوهای بهره‌برداری کانال مذکور مورد آزمون قرار گرفت. با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد، میزان بهبود فرآیند بهره‌برداری کانال اصلی قبل و بعد از به‌کارگیری اتوماسیون بررسی گردید.

بهره‌گیری از راهبرد های نوین و تاثیرگذار بهره برداری به سبب ملزومات خاص خود نیازمند وجود سامانه کنترل خودکار در کانال می باشند و اصولاً با شیوه‌های بهره‌برداری سنتی (دستی یا سازه های هیدرومکانیکال مانند سازه‌های آمیل و آویس که در اکثر شبکه‌های کشورمان استفاده می‌شود) انجام پذیر نیست. به عنوان مثال اگر قرار باشد در یک شبکه بازار رقابتی آب پیاده شود، به دلیل تغییر سیستم بهره برداری از یک سیستم معمول با عمق هدف ثابت به یک سیستم با عمق‌های هدف دینامیک، افزایش عمق آب در کانال و در مواردی تشدید نوسانات سطح آب را به همراه خواهد داشت. لذا بهره برداری موثر این شرایط در کانال اصلی آبیاری بدون بهره‌گیری از سامانه کنترل خودکار اصلاً امکان پذیر نمی باشد.

مقایسه مقادیر شاخص‌های ارزیابی در سناریوهای شبیه‌سازی شده، پیش و پس از به‌کار گیری اتوماسیون، حاکی از بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال در صورت استفاده از به کارگیری سامانه کنترل‌گر پیش‌بین بودند. لذا می‌توان نتیجه گرفت در صورت تغییرات شدید دبی در سراب کانال، با بهره‌گیری از استراتژی‌های نوین بهره‌برداری و سامانه‌های کنترل

خودکار ، می‌توان با هزینه و مشکلات فنی و اجرایی کمتر باعث بهبود عملکرد کانال و توزیع عادلانه‌تر آب بین آبگیرها شد. در صورتی که استفاده از استراتژی مذکور سطح بهره‌برداری مورد انتظار بهره‌برداران کانال را فراهم نکرد، بهتر است از روش‌های سازه‌ای با هدف به‌سازی و نوسازی شبکه‌های آبیاری در جهت بهبود عملکرد بهره‌برداری استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

با توجه به اینکه مقاله پیش‌رو با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان در قالب پروژه تحقیقاتی شماره ۹۴/۱۱۷ صورت پذیرفته است، لذا نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی را از شرکت مذکور می‌نمایند.

منابع:

Burt, C. 1998 'Improved Proportional-Integral (PI) Logic for Canal Automation', Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 124 (1), 53-57.

Camacho, E. F. and C. Bordons. 1999. "Model Predictive Control", Springer, England.

Clemmens, A. and J. Replogle. 1989. 'Control of Irrigation Canal Networks', Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 115 (1), 96-110.

Lee J. H. and B. Cooley. 1996. "Recent advaces in model predictive control and other related area", Proc. of the 5th International conference on chemical process control, pp 201-216.

Litrico, X. and V. Fromion. 2009. ' Modeling and Control of Hydrosystems'. Springer, New York.

Malaterre P. O. and J. Rodellar. 1997. "multivariable predictive control of irrigation canals. Design and evaluation on a 2-pool model". Proc, of the RIC 97 Int. Workshop, pp. 230-238.

Malaterre, P. O., D. Rogers and J. Schuurmans. 1998. "Classification of Canal Control Algorithms", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 118(5), pp 852-867.

Maciejowski J. M. 2000. "Predictive Control With Constraints", Pearson Education, England.

Mosca, E. 1995. "Optimal, Predictive, and Adaptive Control", Prentice Hall, USA.

Myne, D. Q., J. B. Rawlings, C. V. Rao and P. O. M. Scokaert. 2000. "Constrained model predictive control : Stability and Optimality", automatic, 26(6), pp 789-814.

Negenborn, R. R., B. De Schutter and J. Hellendoorn. 2004. "Multi-agent model predictive control: A survey", Technical report 04-010, Delft Center for Systems and Control, Delft University of Technology.

Qin, S. J. and T. A. Badgwell. 1996. "An Overviwe of industrial model predictive control technology", Proc. of the 5th International Conference on chemical process control, pp 232-256.

Van Overloop, P. J. 2008. 'Identification of pool characteristics of irrigation canals'.

Van Overloop P. J. 2006. "Model Predictive Control on Open Water Systems", IOS Press, Netherlands.

Wright, S. J. 1997. "Applying New Optimization Algorithms to Model Predictive Control", Chemical Process Control-V, CACHE, AIChE Symposium Series, 316(93), pp 147-155.

Wgemaker, R. 2005. "Model Predictive Control on Irrigation Canals Application of Various Internal Models", Master of Science Thesis, Delft University of Technology.

Application of automatic regulating structures in in order to improving main irrigation canal operational performance suffering from severe inflow fluctuations; Case study of Roodasht main irrigation canal

S. M. Hashemy Shahdany[1], S. Sadeghi[2], E. Adib Majd[3]

Abstract

Application of optimum operational approaches would be effective due to existing poor operational performance of irrigation canals and its direct effect on decreasing agricultural water productivity. In this study, automation system is introduces to improve operational performance of Roodasht main irrigation canal suffering from drastic in fluctuations of water inflow. To this end, a centralized Model Predictive Controller (MPC) is designed to be applied for operation of mathematical model of the test case. Both of the mathematical models, including the existing operation of the canal and the MPC system, are tested by inflow fluctuation scenario. The results of the simulation are evaluated by the operational performance evolution indices. The results indicate that operational level is improved by applying automatic control system since the performance evaluation systems of IAE and MAE are respectively improved from 21.49% and 12.63% to 5.32 and 3.21%. Also, the results approves that automatic systems could be introduced as safe and reliable options for rehabilitation and modernization projects.

Keywords: Automation of main irrigation canal; Operation of main canals; Inflow fluctuations; Model predictive Control; Nyrpic modules.

[1] - Assistant Professor, Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran. (* Corresponding Author) Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir
[2] - M.Sc. Hydraulic structure; Guest Lecturer, Department of civil engineering; Azad University branch of Babol
[3] - M.Sc. Hydraulic structure, Department of irrigation networks operation, Isfahan Regional Water Authority.