Archive of SID

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۸/ شماره ۶۸/سال ۱۳۹۶/ص ۵۰-۳۳

بررسی میزان تأثیر بهره‌گیری از راهکارهای غیرسازه‌ای در بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری تحت نوسان‌های جریان ورودی (مطالعهٔ موردی کانال اصلی شبکهٔ رودشت حوضهٔ زاینده‌رود)

سیدمهدی هاشمی‌شاهدانی[*]، سونیا صادقی و اسماعیل ادیب‌مجد[**]

[*]نگارنده مسئول: گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. تلفن: ۳۶۰۴۰۹۰۶(۰۲۱)، پیام‌نگار: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

[**]به‌ترتیب: استادیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران؛ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس، استاد مدعو گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل؛ و کارشناسی ارشد عمران- سازه‌های هیدرولیکی، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۰

چکیده

بهبود مدیریت بهره‌برداری کانال اصلی شبکه‌های آبیاری به‌منظورتوزیع عادلانهٔ آب کشاورزی در کانال‌های درجه دو ضروری است. در این تحقیق، به راهکارهای صرفاً غیرسازه‌ای به‌منظور بهبود وضعیت کنونی بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری پرداخته شده است که با مشکل نوسان‌های جریان ورودی روبه‌روست. در این‌باره و بر اساس قابلیت عملیاتی شدن در بهره‌برداری کانال اصلی، چهار راهکار به‌ترتیب با تاکید بر شرایط قابل پیش‌بینی نوسان‌های ورودی، شرایط غیر قابل پیش‌بینی، امکان نوبت‌بندی تحویل آب به بالادست و پایین‌دست کانال اصلی و کاهش مدت زمان آبگیری با افزایش ناگهانی دبی ورودی در سراب کانال پیشنهاد شده است. میزان تأثیر هر یک از راهکارهای غیرسازه‌ای گفته شده در بهره‌برداری کانال اصلی، با بهره‌گیری از مدل ریاضی تهیه شده در کانال اصلی شبکهٔ آبیاری رودشت در شبیه‌ساز هیدرودینامیک ICSS، با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد بررسی شد. نتایج بررسی‌ها حاکی از بهبود مؤثرتر بهره‌برداری کانال اصلی با استفاده از راهکارهای سوم و چهارم است به‌طوری‌که با اجرای آنها، حداکثر خطا در دبی تحویلی، کفایت تحویل و عدالت توزیع بین آب‌بران پایین‌دست کانال اصلی و بالادستی‌ها، به‌طور متوسط برای تمام آبگیرهای واقع شده در کانال به‌ترتیب به‌میزان ۲۵، ۱۸ و ۱۷ درصد بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی

بهره‌برداری، دریچهٔ نیرپیک، شبکهٔ آبیاری رودشت، کانال اصلی، نوسان‌های ورودی

مقدمه

با توجه به نیاز فوری بهبود وضعیت بهره‌برداری از سامانه‌های اصلی انتقال و توزیع آب کشاورزی، پروژه‌های مدرن‌سازی، بهسازی و نوسازی این سامانه‌ها، مطابق اسناد بالادستی آب کشور، در اولویت قرار گرفته‌اند. مطالعات نشان داده است که بهره‌گیری از روش‌های سازه‌ای در پروژه‌های مدرن‌سازی و نوسازی شبکه‌های آبیاری مانند مخازن ذخیرهٔ آب در خارج از مسیر کانال یا درون مسیر کانال می‌توانند راهکاری مؤثر در بهبود بهره‌برداری کانال‌های اصلی آبیاری به‌کار گرفته شوند (Eslambolchizadeh, 2006; Guan *et al.*, 2011; Clemmens, 2012; Burt, 2013; Hashemy *et al.*, 2013). با این همه، نباید این نکته فراموش شود که هرگونه تغییر در شرایط فیزیکی کانال‌های آبیاری، شامل

www.SID.ir

Archive of SID

تعویض و نوسازی سازه‌های آب‌بند و آبگیر و احداث مخزن، هزینه‌هایی بالا به‌همراه دارد. علاوه بر آن، با استناد به تحقیقات مذکور، اگرچه بهره‌گیری از راهکارهای سازه‌ای تا حد قابل قبولی مشکل بهره‌برداری در شبکهٔ آبیاری را برطرف می‌سازد، اما معایبی نیز به‌همراه دارد. به‌طور مثال، احداث مخزن در خارج از مسیر کانال مستلزم آن است که در مجاورت کانال آبیاری محدوده‌ای با توپوگرافی مناسب وجود داشته باشد، این محدوده مشکلات حقوقی (از لحاظ مالکیت) نداشته باشد، بافت خاک مناسب باشد، و سرانجام اینکه هزینه‌های طراحی اجرا، نگهداری، تعمیرات دوره‌ای و لایروبی سالیانهٔ مخزن تأمین شده باشد تا حجم ذخیره‌سازی کافی در مخزن به‌دست آید. در مورد مخازن درون مسیری محدودیت‌های ساخت معطوف می‌شود به بازه‌هایی از کانال که آب در آنها ذخیره می‌شود ضمن اینکه هزینه‌های طراحی، پیاده‌سازی و نگهداری سامانهٔ کنترل خودکار مناسب بهره‌برداری مخزن و کانال اصلی نیز باید در نظر گرفته شود.

هدف اصلی پروژه‌های مدرن‌سازی، بهسازی و نوسازی شبکه‌های آبیاری آن است که در مرحلهٔ اول با کمترین تغییر در ساختار شبکهٔ موجود عملکرد آن بهبود داده شود و از این‌رو نخست باید میزان اثرگذاری راهکارهای غیرسازه‌ای در بهبود وضعیت فعلی شبکه مشخص شود تا تصمیم‌گیری صحیح مدیران شبکه‌های آبیاری برای بهره‌گیری از روش‌های سازه‌ای در مراحل بعدی میسر گردد.

مطرح کردن راهکارهای غیرسازه‌ای در این تحقیق، بر اساس تجربهٔ محدود چند سالهٔ پیاده‌سازی پروژه ملی تجهیز کلان تحویل‌ها در کانال‌های اصلی شبکه‌های آبیاری مدرن کشور به ابزارهای اندازه‌گیری الکترونیکی برمی‌گردد. تجربهٔ دو سال ابتدایی طرح مذکور نشان داد که به‌منظور ارائهٔ روشی پایدار در بهبود مدیریت بهره‌برداری کانال‌های اصلی آبیاری کشور، لازم است به مسائل اجتماعی، نسبت به مسائل فنی، اولویت داده شود. بر این اساس، بهره‌گیری از تکنولوژی‌های اندازه‌گیری با کمترین تعداد سنسورهای قابل نصب در کانال‌ها، طراحی محفظه‌های حفاظتی بتنی غیر قابل تخریب برای نگهداری تجهیزات جانبی ابزارهای اندازه‌گیری (شامل دیتالاگر، مودم و باتری)، تغییر اجباری محل مناسب اندازه‌گیری جریان به محل تقاطع کانال یا پل‌ها به‌منظور نصب سنسورهای اندازه‌گیری در زیر پل‌ها برای کاستن از تعداد خرابی‌ها، دستکاری‌ها و سرقت آنها برخی از اقدامات صورت گرفته بود. با توجه به مشکلات گفته شده، لازم است توانایی‌های روش‌های غیرسازه‌ای در شرایط مختلف بهره‌برداری کانال‌های اصلی آبیاری مشخص شود تا روش بهبود بهره‌برداری، اعم از روش سازه‌ای یا غیرسازه‌ای، با آگاهی از توانایی فنی هر روش انتخاب شود.

با توجه به ناهنجاری‌های اجتماعی مشابه در سایر کشورهای توسعه یافته، بهبود روش‌های بهره‌برداری مبتنی بر اپراتور به‌عنوان یکی از گزینه‌های جدی بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال‌های اصلی آبیاری در بین محققان مطرح شده است. در این روش‌ها با افزایش تعداد اپراتورها در طول کانال آبیاری (Hashemy-Shahdany & Roozbahani, 2016)، بهره‌گیری از مدل ریاضی سامانه‌های کنترل خودکار به‌عنوان مدل پشتیبانی تصمیم در بهره‌برداری کانال اصلی (Maestre *et al.*, 2014; Kougel & Findeisen, 2015) یا با به‌کارگیری روش‌های هوشمند هوش محاسباتی در ارتقای برنامهٔ بهره‌برداری سازه‌های تنظیم و آبگیرها (Shahverdi & Monem, 2015) اقدام به بهبود وضعیت بهره‌برداری کانال آبیاری می‌شود. یکی از اقدامات صورت گرفته در این زمینه، معرفی روش نوین بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری، معروف به «موبایل-کنترل»، با تجهیز اپراتور کانال اصلی به گوشی‌های هوشمند تلفن همراه است تا پروسهٔ اندازه‌گیری رقوم سطح آب، ارسال و دریافت اطلاعات به‌صورت لحظه

www.SID.ir

Archive of SID

به لحظه بین اپراتور(ها) و سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برقرار باشد. سیستم مذکور در واقع مدل ریاضی تهیه شدهٔ سامانهٔ بهره‌برداری متمرکز کانال است که اطلاعات ورودی آن شامل رقوم سطح آب اندازه‌گیری شده در یک محل توسط اپراتور و خروجی آن میزان تنظیم سازهٔ کنترل سطح آب در مجاورت اپراتور است. نتایج بهره‌گیری از این روش حاکی از بهبود چشمگیر به‌کارگیری آن، در مقایسه با سامانهٔ کنترل دستی در کانال، بوده است (van Overloop *et al.*, 2014).

در این تحقیق، به‌منظور بهبود وضعیت حال حاضر بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری که با مشکل نوسان‌های جریان ورودی روبه‌رو است، به راهکارهای صرفاً غیرسازه‌ای پرداخته شده است. برای این منظور قابلیت شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی چپ شبکهٔ آبیاری رودشت، با مدل ریاضی کانال اصلی با استفاده از شبیه‌ساز هیدرودینامیک ICSS تهیه شده در این پژوهش، بررسی شد. چهار راهکار غیرسازه‌ای به‌ترتیب با تأکید بر شرایط قابل پیش‌بینی نوسان‌های ورودی، شرایط غیر قابل پیش‌بینی، امکان نوبت‌بندی تحویل آب به بالادست و پایین‌دست کانال اصلی و کاهش مدت زمان آبگیری با افزایش ناگهانی دبی ورودی در سراب کانال، پیشنهاد شدند. این راهکارها به این دلیل از روش‌های تجربی بهره‌برداران کشورمان در شرایط غیر معمول بهره‌برداری کانال‌های اصلی آبیاری الگو برداری شد که پیاده‌سازی آن توسط بهره‌بردار کانال اصلی امکان‌پذیر باشد. میزان تأثیرگذاری هر راهکار با شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی برای چند سناریوی مشخص بهره‌برداری بررسی و مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

معرفی کانال مورد مطالعه و مشکلات بهره‌برداری

شبکهٔ آبیاری رودشت در جنوب شرقی اصفهان واقع شده است و حدود ۴۵۰۰۰ هکتار زمین را تحت پوشش قرار می‌دهد. رودشت آخرین دشتی است که از زاینده‌رود آبگیری می‌کند. بنابراین همهٔ نوسان‌های رودخانه در مسیر ۳۵۰ کیلومتری بر شبکهٔ آبیاری رودشت تاثیر می‌گذارند. این تأثیر به‌صورت نوسان‌های مداوم دبی ورودی به شبکه و در نتیجه اختلال در کارکرد شبکه بروز می‌کند. در اثر این اختلال، گاهی دبی کافی به دریچه‌های آبگیر پایین‌دست کانال اصلی نمی‌رسد گاهی نیز آب مازاد به این دریچه‌ها می‌رسد که اگر از آن بهره‌برداری نشود هرز می‌رود.

بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از دفتر بهره‌برداری شبکهٔ رودشت، در سال‌های اخیر به‌دلیل کم‌آبی رودخانهٔ زاینده‌رود و نیاز شدید به مصرف آب، تصمیم بر آن بوده است که کل آبدهی رودخانه به شبکه رودشت (واقع در پایین‌دست رودخانه) وارد و توزیع شود. این تصمیم‌گیری بدان معنی است که کلیهٔ نوسان‌های آبدهی رودخانه عیناً به شبکه وارد شده و اختلال در کارکرد دریچه‌ها را موجب شده است. یادآوری می‌شود که در این شبکه حدود ۳۰۰ دریچهٔ آبگیر نصب شده است؛ این دریچه‌ها بر پایهٔ مقدار معینی از دبی ورودی به شبکه باز می‌شوند. از این تعداد، ۲۶ آبگیر روی کانال اصلی واقع‌اند که آب را به کانال‌های فرعی درجه دو تحویل می‌دهند. بنابراین چنانچه در دبی ورودی به شبکه تغییرات و نوسانی ایجاد شود باید کلیهٔ دریچه‌ها در شبکه در زمان معین مطابق دبی جدید تغییر کنند که هیچ دستورالعملی برای رسیدن به این هدف وجود نداشته و کشاورزان از توزیع ناعادلانه و نابسامان آب رنج می‌برند.

در این تحقیق، کانال اصلی چپ شبکهٔ آبیاری رودشت به‌عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده است. این بخش از کانال دارای شیب ملایم و شامل ۱۴ سازهٔ آب‌بند (سازهٔ تنظیم‌کنندهٔ سطح آب) است که بر این اساس کانال مورد مطالعه به ۱۳ بازه تقسیم

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. در این کانال، تراز سطح آب در کانال به‌طور معمول برای هر زوج آبگیر(دریچه‌های نیرپیک) با یک سازه (سرریز نوک اردکی) تنظیم می‌شود. شرایط فیزیکی و هیدرولیکی آبگیرهای واقع شده در طول کانال اصلی مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. در این جدول، آبگیرهای موجود در طول کانال، دبی حقابه و مقادیر متوسط دبی تحویلی به هر یک از آبگیرها نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی آبگیرهای واقع شده در کانال اصلی

شمارهٔ آبگیر	نام دریچهٔ آبگیر	نوع دریچهٔ آبگیر	متوسط دبی برداشتی (مترمکعب بر ثانیه)
۱	P0R	L2	۰/۰۵۵
۲	P0L	L2	۰/۰۲۱
۳	CL1	XX2	۰/۰۱۵
۴	CL2	XX2	۰/۰۷۹
۵	PL2	XX2	۰/۰۷۳
۶	CL3	XX2	۰/۰۲۱
۷	PL3	XX2	۰/۰۴۹
۸	CL4	XX2	۰/۰۵۵
۹	PL4	XX2	۰/۰۱
۱۰	CL5	XX2	۰/۰۲۱
۱۱	PL5	XX2	۰/۰۲۱
۱۲	CL6	L2	۰/۰۲۴
۱۳	PL6	XX2	۰/۰۳۳
۱۴	CL7	XX2	۰/۰۳۳
۱۵	PL7	XX2	۰/۰۱۲
۱۶	CL8	L2	۰/۰۱۲
۱۷	PL8	XX2	۰/۰۱۲
۱۸	CL9	L2	۰/۰۵۸
۱۹	PL9	XX2	۰/۰۵۸
۲۰	CL10	L2	۰/۰۵۸
۲۱	CL11	L2	۰/۱۷۵
۲۲	PL11	XX2	۰/۰۶
۲۳	CL12	XX2	۰/۰۶
۲۴	CL13	L2	۰/۱۷۵
۲۵	PL13	XX2	۰/۰۶۱
۲۶	CL14	XX2	۰/۱۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

سناریوی بهره‌برداری کانال اصلی مورد مطالعه

به‌منظور شبیه‌سازی وضعیت هیدرولیکی جریان در کانال و میزان برداشت آبگیرها در زمان نوسان‌های جریان ورودی در سراب کانال، دو سناریوی بهره‌برداری روزانه، نشانگر نوسان‌های ورودی ملایم و نرمال (متوسط)، به‌ترتیب شامل ۲۰ و ۶۰ درصد تغییر دبی ورودی به سراب کانال در نظر گرفته شد. جدول ۲ جزئیات سناریوهای مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۲- میزان دبی ورودی به سراب کانال در سناریوهای بهره‌برداری

سناریوهای بهره‌برداری	زمان تغییر دبی در سراب کانال (ساعت)	میزان دبی ورودی در سراب کانال (مترمکعب بر ثانیه)
سناریوی اول (تغییرات ملایم)	۱ - ۸	۱
	۸ - ۱۶	۰/۸
	۱۶ -۲۴	۱
سناریوی دوم (تغییرات نرمال (متوسط))	۱ - ۸	۱
	۸ - ۱۶	۰/۴
	۱۶ -۲۴	۱

راهکارهای ارائه شده برای بهبود عملکرد کانال

در این قسمت به ارائهٔ راهکارهای پیشنهادی پرداخته شده است؛ این راهکارها در جلسات مشورتی با صاحب‌نظران امر بهره‌برداری کانال‌های آبیاری به‌دست آمد که برای بهبود عملکرد کانال اصلی چپ شبکه آبیاری رودشت بر اساس روش‌های غیرسازه‌ای و تجربیات بهره‌برداران برگزار شده بود.

راهکار اول:

شرایط قابل پیش‌بینی نوسان‌های ورودی

با فرض شرایط قابل پیش‌بینی نوسان‌های جریان در سراب کانال، در این راهکار، بلافاصله بعد از اطلاع از زمان نوسان‌ها، دبی آبگیرها کاهش داده شد و با اتمام نوسان‌ها در این زمان آبگیرهای مدول نیرپیک مجدداً مطابق دبی‌های مورد نیاز اولیه تنظیم گردید و بهره‌برداری ادامه یافت. این راهکار تحت عنوان شرایط قابل پیش‌بینی در نظر گرفته شد.

راهکار دوم:

شرایط غیر قابل پیش‌بینی نوسان‌های ورودی

با فرض آنکه نوسان‌های ورودی به کانال به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی نباشد یا اگر هم پیش‌بینی شود امکان بهره‌برداری در آن زمان وجود نداشته باشد، راهکار دوم برنامه‌ریزی شد. فرق این راهکار با راهکار اول آن است که زمان تغییر ظرفیت آبگیرها تناسبی با زمان وقوع نوسان ندارد و تنها بر اساس ملاحضات دفتر بهره‌برداری شبکه و شخص بهره‌بردار تعیین می‌شود.

راهکار سوم:

زمان‌بندی تحویل آب به آبگیرها

این راهکار با الگوبرداری از روش تجربی مرسوم بهره‌برداری کانال اصلی در زمان کم‌آبی برنامه‌ریزی شده است که در برخی از شبکه‌های کشور (مانند شبکهٔ آبیاری فومنات) به‌کار گرفته می‌شود. در این روش، در نیمی از زمان بهره‌برداری (یا در بخشی از بازهٔ زمانی بهره‌برداری)

www.SID.ir

Archive of SID

تنها آبگیرهای واقع در نیمهٔ بالادست کانال اصلی آب برداشت می‌کنند و آبگیرهای پایین‌دست به‌صورت کامل بسته خواهند بود و به‌طور متوالی آبگیرهای پایین‌دست باز و بالادستی‌ها اجازه برداشت نخواهند داشت. از این رو در این راهکار با مشابه‌سازی شرایط نوسان‌ها در کانال مورد مطالعه زمان‌بندی تحویل آب به آبگیرها مد نظر قرار گرفت.

راهکار چهارم:

افزایش دبی ورودی و کاهش مدت زمان آبگیری

بر اساس تجربهٔ چندین ساله دفتر بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، این راهکار پیشنهاد شد. مطابق این روش، با کاهش مدت زمان آبگیری دبی بیشتری به شبکه وارد می‌شود. دبی ورودی به شبکه با رهاسازی بیشتر آب از محل سد بالادست شبکه افزایش می‌یابد. بر این اساس، میزان دبی ورودی به کانال در محل سراب شبکه دو برابر دبی نرمال شده و به‌طور متناظر زمان بهره‌برداری در کانال به نصف زمان آن در شرایط نرمال تقلیل می‌یابد.

شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری

در این تحقیق، به‌منظورشبیه‌سازی جریان از مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده شد که مانز در سال ۱۹۸۵ تهیه کرد (Manz, 1985). این مدل می‌تواند جریان‌های ماندگار و غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری را با انواع شکل‌های مقطع کانال همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها و امکان بهره‌برداری آنها توام با جریانات گسترده ورودی و خروجی شبیه‌سازی کند. برای اطلاع از جزئیات بیشتر در مورد چگونگی عملکرد، مبانی مدل، روش شبیه‌سازی و نحوهٔ استفاده و کاربردهای گوناگون این مدل ریاضی در شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری به مطالعات مراجعه شود (Monem, 1999; Mohseni-Movahed & Monem, 2003; Monem & Massah, 2003; Ghodosi *et al*., 2005; Shahverdi & Monem, 2012; Shahverdi & Monem, 2015).

مدل ریاضی کانال اصلی آبیاری مورد مطالعه بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از دفتر بهره‌برداری شبکهٔ آبیاری رودشت طراحی شد که شامل نقشهٔ مسیر کانال، مشخصات فیزیکی بازه‌های کانال، محل و ابعاد سازه‌های آب‌بند نوک اردکی، نوع و مکان سازه‌های آبگیر نیرپیک، شرایط هیدرولیکی مرزی بالادست و پایین‌دست در شبیه‌ساز هیدرودینامیک ICSS است. هیدروگراف جریان ورودی نوسانی به‌عنوان شرط مرزی بالادست و داده‌های اندازه‌گیری شده از سرریز انتهایی کانال اصلی به‌عنوان شرط مرزی پایین‌دست در شبیه‌سازی هیدرولیکی کانال به‌کار گرفته شد. مدل بر اساس داده‌های دبی تحویلی به کلیهٔ آبگیرهای کانال رودشت، برای کشت بهارهٔ سال ۱۳۹۴ (از ۲۰ فروردین تا ۱۱ خرداد ۱۳۹۴) واسنجی شد. برای مقایسهٔ مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده، از شاخص‌های زیر استفاده شد (Isapoor *et al*., 2011):

$$RMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(M_i - S_i)^2\right]^{0.5} \times \left(\frac{100}{M}\right) \qquad (۱)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i - \sum_{i=1}^{n} S_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \qquad (۲)$$

که در آن،

S_i، M_i و M به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده، مشاهده شده و میانگین مقادیر مشاهداتی هستند. شاخص ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE) پارامتر آماری است که درصد مجموع اختلافات مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به میانگین مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد. مقدار مطلوب این شاخص برابر صفر است و انطباق مقادیر شبیه‌سازی مدل با مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد. ضریب خطای پس‌ماند (CRM) شاخصی است که خطاهای ثابت توزیع شده در تمام مقادیر شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. مقدار CRM برابر صفر نشان‌دهندهٔ آن است که خطای توزیع شده روی مقادیر شبیه‌سازی در ارتباط با مقادیر مشاهداتی وجود ندارد. واسنجی مدل، با تغییر ضریب دبی سازه‌های تنظیم و بررسی انطباق مقادیر شبیه‌سازی با مقادیر مشاهده‌ای انجام گردید. بدین‌منظور در هر شبیه‌سازی مقادیر دبی عبوری از سازه‌های تنظیم و تراز آب در بالادست آنها استخراج و با مقادیر مشاهداتی مقایسه می‌شد. واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای یک دورهٔ ۵۲ روزه از داده‌های واقعی جمع‌آوری شده ادامه داشت: ۲۶ روز اول برای واسنجی و ۲۶ روز بعدی برای صحت‌سنجی شبیه‌سازی.

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

در این تحقیق به‌جای متغیر خطای سطح آب (که متغیر معمول مورد بررسی در تحقیقات مختلف بهره‌برداری کانال‌های آبیاری است)، از متغیر خطای دبی تحویلی به آبگیرها استفاده شده است. دلیل این امر آن است که از سازه‌های تنظیم‌کنندهٔ ثابت سرریزهای لبه‌طولانی به‌عنوان سازه‌های آب‌بند استفاده شده که قابلیت بهره‌برداری ندارند. با توجه به این واقعیت که دبی برداشتی در آبگیرها تابع رقوم سطح آب در بالادست آبگیر است می‌توان متغیر تحت کنترل در مدل بهره‌برداری را رقوم سطح آب بالادست سازه‌های آب‌بند دانست. اما دغدغهٔ اصلی دستگاه بهره‌بردار میزان دبی تحویلی به آبگیرهاست، و از این رو شاخص‌های ارزیابی عملکرد مورد استفاده در این تحقیق بر اساس مقادیر خطای دبی تحویلی و به‌صورت روابط ۳ تا ۶ در نظر گرفته شده است (Clemmens *et al.*, 1998).

$$Max\ Absolute\ Error\ (MAE) = \frac{\max(|Qd - Qr|)}{Qr} \qquad (۳)$$

که در آن،

Q_r و Q_d به‌ترتیب معرف مقدار آب مورد نیاز و مقدار آب تحویل شده هستند. معیارهای مختلف دیگری نیز برای ارزیابی عملکرد شبکه از نظر تحویل آب به آبگیرها وجود دارد. معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم میزان موفقیت شبکه را در دستیابی به اهداف طراحی و بهره‌برداری بیان می‌کند که با توجه به میزان نیاز آبی و توزیع زمانی آن در آبگیرهای مختلف به‌صورت سه عامل کفایت، راندمان و عدالت تحویل آب معرفی شده‌اند (Molden & Gates, 1990). شاخص‌هایی که مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) برای ارزیابی عملکرد گزینه‌های بهره‌برداری ارائه داده‌اند به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

کفایت تحویل (P_A): شاخصی است که میزان توانایی روش بهره‌برداری را در تحویل آب به میزان درخواست شده در هر آبگیر بیان می‌کند. این شاخص به‌کمک رابطهٔ ۴ قابل محاسبه است.

$$P_A = \frac{1}{T}\sum_T [\frac{1}{R}\sum_R (P_a)]$$
$$P_a = \frac{Q_d}{Q_r} \quad \text{if } Q_d < Q_r \quad \text{Otherwise } P_a = 1 \qquad (۴)$$

که در آن،

Q_r و Q_d به‌ترتیب معرف مقدار آب مورد نیاز (منظور آب درخواستی بر اساس حقابه یا قرارداد در این تحقیق) و مقدار آب تحویل شده در عمل برای انشعاب X در دورهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

زمانی t و نمادهای $\frac{1}{T}\sum$ و $\frac{1}{R}\sum$ به‌ترتیب متوسط زمانی و مکانی هستند.

راندمان تحویل (P_F): شاخصی است برای ارزیابی میزان مازاد آب تحویل داده شده نسبت به آب درخواستی در محل آبگیر که به‌صورت رابطهٔ ۵ بیان می‌شود:

$$P_F = \frac{1}{T}\sum_T [\frac{1}{R}\sum_R (P_f)] \qquad (۵)$$

$$P_f = \frac{Q_r}{Q_d} \quad if \quad Q_r < Q_d \quad Otherwise \; P_f = 1$$

عدالت تحویل (P_E): شاخصی است که میزان تناسب موجود را بین مقادیر تحویلی و مقادیر مورد نیاز آب در انشعابات و دوره‌های زمانی مختلف ارزیابی می‌کند. این شاخص به‌صورت رابطهٔ ۶ بیان می‌شود:

$$P_E = \frac{1}{T}\sum_T C\,V_R(\frac{Q_d}{Q_r}) \qquad (۶)$$

که در آن،

CV_R = ضریب تغییرات مکانی.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی مدل شبیه‌سازی جریان

به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل ایجاد شدهٔ کانال مورد مطالعه، شاخص‌های آماری RMSE و CRM محاسبه شدند.

مقادیر محاسبه شدهٔ CRM و RMSE نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی واسنجی شده و برای شبیه‌سازی سناریوی بهره‌برداری که هدف اصلی این پژوهش است، دقت خوبی دارد. مقدار شاخص CRM برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی تهیه شده به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۳ و ۰/۰۱۵ است. مقادیر کم ضریب خطای پس‌ماند نشان می‌دهد که خطای توزیع شده روی مقادیر شبیه‌سازی در ارتباط با مقادیر مشاهداتی وجود ندارد. مقدار مشابه برای شاخص CRM نیز به‌ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۱/۰۱ برای واسنجی و صحت‌سنجی به‌دست آمده که حاکی است از اینکه مدل با دقت مناسب واسنجی و صحت‌سنجی شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی بدون بهره‌گیری از راهکارها

به‌منظور بررسی میزان بهبود بهره‌برداری کانال اصلی با استفاده از راهکارهای توصیه شدهٔ این تحقیق، در ابتدا بهره‌برداری کانال اصلی برای شرایط جریان ورودی نوسانی و بدون اعمال راهکارهای مذکور شبیه‌سازی شد. برای این منظور از سناریوهای بهره‌برداری تغییرات ملایم و نرمال (متوسط) جریان برای شبیه‌سازی وضعیت هیدرولیک جریان و روند آبگیری آب در کانال اصلی استفاده شد. جدول ۳ شاخص‌های ارزیابی عملکرد محاسبه شده را در طول شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی در این شرایط نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد بدون بهره‌گیری از راهکارهای پیشنهادی

سناریوی تغییرات ملایم					سناریوی تغییرات متوسط (نرمال)				
شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)	شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)
۱	۵/۴	۹۶	۹۹		۱	۹	۹۰	۸۹	
۲	۱۹	۹۲	۹۷		۲	۲۶	۹۰	۸۸	
۳	۲۶	۸۹	۹۷		۳	۳۲	۸۶	۸۷	
۴	۸/۸	۹۳	۱۰۰		۴	۱۵	۹۰	۸۳	
۵	۹	۹۲	۱۰۰		۵	۱۶	۸۸	۸۶	
۶	۱۹	۹۲	۹۸		۶	۲۵	۸۷	۸۷	
۷	۸/۱	۹۵	۹۹		۷	۱۱	۸۶	۸۸	
۸	۷/۲	۹۶	۹۹		۸	۱۱	۸۸	۸۶	
۹	۴۰	۸۷	۹۹		۹	۴۶	۸۰	۸۷	
۱۰	۱۹	۹۰	۹۹		۱۰	۲۶	۸۰	۸۶	
۱۱	۱۴	۹۲	۹۷		۱۱	۱۹	۸۷	۸۲	
۱۲	۲۵	۹۹	۹۲		۱۲	۳۰	۹۰	۸۰	
۱۳	۹	۹۷	۹۸	۳۵	۱۳	۱۵	۹۰	۸۰	۴۳
۱۴	۹	۹۹	۹۸		۱۴	۱۵	۹۰	۸۰	
۱۵	۳۳	۹۹	۸۸		۱۵	۳۹	۹۰	۷۸	
۱۶	۴۱	۱۰۰	۸۸		۱۶	۵۰	۹۰	۷۵	
۱۷	۴۱	۱۰۰	۸۶		۱۷	۵۰	۹۰	۷۰	
۱۸	۱۵	۱۰۰	۹۵		۱۸	۲۰	۹۰	۷۴	
۱۹	۳۱	۱۰۰	۹۳		۱۹	۳۶	۹۰	۷۹	
۲۰	۳۴	۱۰۰	۹۰		۲۰	۳۸	۸۹	۷۸	
۲۱	۱۴	۱۰۰	۹۰		۲۱	۱۷	۹۰	۷۹	
۲۲	۳۰	۱۰۰	۹۰		۲۲	۳۵	۸۸	۷۸	
۲۳	۳۳	۱۰۰	۹۰		۲۳	۳۶	۸۹	۷۶	
۲۴	۱۴	۱۰۰	۹۰		۲۴	۲۰	۹۰	۷۶	
۲۵	۴۲	۱۰۰	۸۶		۲۵	۴۸	۸۸	۷۰	
۲۶	۹۸	۱۰۰	۷۵		۲۶	۱۰۰	۷۵	۴۳	

بر اساس نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی تحت نوسان‌های ورودی و بدون اعمال راهکارهای توصیه شده بهبود عملکرد (جدول ۳)، می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر در دبی سراب، دبی تحویلی به آبگیرها مستقیماً تحت تاثیر قرار گرفته که باعث افزایش شاخص MAE شده است. به‌تبع آن کاهش مطلوبیت شاخص کفایت هر دو سناریو مشهود است به‌طوری‌که در سناریوی تغییرات ملایم کاهش ۲۴ درصد و در سناریوی نرمال (متوسط) کاهش ۴۶ درصد میزان کفایت بین بازه‌های بالادستی و پایین‌دستی رخ داده است. نکته‌ای که باید بدان اشاره شود آن است که آبگیرهای کانال مورد مطالعه همگی از نوع نیرپیک هستند و امکان انتقال مستقیم نوسان‌های رقوم سطح آب در کانال به آبگیر (مشابه آنچه در دریچه‌های کشویی یا سرریزها رخ می‌دهد) وجود ندارد. بنابراین، مقدار شاخص کفایت ۴۶ درصد به معنی آن است که در حدود ۵۴ درصد از زمان شبیه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

آبگیر واقع در بازه انتهای کانال تقریباً آبی دریافت نمی‌کرده است.

شاخص عدالت هم که میزان تناسب موجود بین مقادیر تحویل و مقادیر مورد نیاز آب در آبگیرهای واقع شده در طول کانال اصلی را نشان می‌دهد، مطابق انتظار در سناریوی اول کمتر (مطلوب‌تر) از سناریوی تغییرات نرمال (متوسط) به‌دست آمده است. با تشدید نوسان‌ها، مقدار شاخص عدالت از ۳۵ به ۴۳ درصد افزایش یافته است. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش تغییرات دبی در سراب کانال باعث افزایش آسیب‌پذیری آبگیری در آبگیرهای واقع در پایین‌دست کانال می‌شود. بنابراین، دبی تحویلی به آبگیرهای انتهایی تغییرات بیشتری از خود نشان داده است یعنی با کمتر شدن دبی در سراب کانال، آبگیرهای انتهایی نسبت به آبگیرهای ابتدایی دبی به مراتب کمتری از دبی مورد نیاز خود دریافت می‌کنند به‌گونه‌ای که نتایج سناریوی نرمال (متوسط) نشان داده است که دبی تحویلی به آبگیرهای پایین‌دست کانال برای مدت زمان قابل توجهی به صفر رسیده است.

در ادامه، تأثیر راهکارهای پیشنهادی ارائه شده در جهت بهبود عملکرد کانال از لحاظ تحویل آب به آبگیرها در شرایط تغییرات ملایم و نرمال (متوسط) جریان در سراب کانال بررسی شده است.

نتایج حاصل از اجرای راهکارهای پیشنهادی

راهکارهای پیشنهادی برای هر دو سناریوی بهره‌برداری، اجرا و شبیه‌سازی شد و نتایج به‌دست آمده از آنها با نتایج به‌دست آمده از سناریوی مشابه، اما بدون اجرای راهکارها، مقایسه گردید. در اینجا تنها نتایج شبیه‌سازی راهکارهای چهارگانه در شرایط سناریوی نوسان‌های نرمال (متوسط) جریان ارائه می‌شود.

راهکار اول: در این راهکار، بلافاصله بعد از اطلاع از زمان نوسان‌ها، دبی آبگیرها به نصف مقدار اولیه کاهش داده شد و با اتمام نوسان‌ها، آبگیرها مطابق دبی‌های مورد نیاز اولیه تنظیم گردیدند. جدول ۴ مقادیر شاخص‌های محاسبه شده در راهکار اول را نشان می‌دهد.

جدول ٤- مقادیر شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده در راهکار اول برای سناریوی بهره‌برداری متوسط

شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)	شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)
۱	۳/۶	۹۶	۹۹		۱۴	۹	۹۹	۹۸	
۲	۱۷	۹۰	۹۸		۱۵	۲۰	۹۹	۹۳	
۳	۲۳	۸۷	۹۸		۱۶	۲۹	۱۰۰	۹۲	
۴	۸/۲	۹۲	۱۰۰		۱۷	۲۹	۱۰۰	۹۲	
۵	۸	۹۱	۱۰۰		۱۸	۹	۱۰۰	۹۷	
۶	۱۷	۹۰	۹۸		۱۹	۲۰	۱۰۰	۹۷	
۷	۶	۹۵	۹۹	**۱۷**	۲۰	۲۰	۱۰۰	۹۷	**۱۷**
۸	۳/۶	۹۶	۹۹		۲۱	۶	۱۰۰	۹۶	
۹	۳۷	۸۹	۹۹		۲۲	۱۶	۱۰۰	۹۷	
۱۰	۱۶	۹۳	۹۹		۲۳	۲۱	۱۰۰	۹۷	
۱۱	۱۱	۹۵	۹۷		۲۴	۱۱	۱۰۰	۹۵	
۱۲	۱۴	۹۹	۹۴		۲۵	۱۴	۱۰۰	۹۲	
۱۳	۹	۹۹	۹۸		۲۶	۲۳	۱۰۰	۹۰	

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ بهبود بهره‌برداری کانال اصلی با بهره‌گیری از راهکار اول را در مقایسه با بهره‌برداری بدون استفاده از راهکارها نشان می‌دهد. در این راستا، بهبود شاخص MAE به‌میزان ۷۵ درصد و همچنین بهبود شاخص کفایت به‌میزان ۱۵ درصد در آخرین آبگیر انتهای کانال اصلی مؤید این مطلب است. شاخص عدالت نیز با اجرای این راهکار از ۳۵ به ۱۷ درصد رسیده یعنی ۱۸ درصد کاهش داشته که نشان‌دهندهٔ بهبود قابل توجه این شاخص است. از این رو هنگامی که دبی در سراب کانال به مقدار زیادی کاهش می‌یابد، با کاهش دبی آبگیرها می‌توان از تحویل و توزیع نامطمئن و همچنین توزیع ناعادلانه آب بین آبگیرها جلوگیری کرد.

راهکار دوم: در این راهکار، مدت زمانی پس از شروع نوسان‌ها، دو ساعت بعد از کاهش دبی در سراب کانال، دبی آبگیرها به نصف کاهش داده شد و با اتمام نوسان‌ها آبگیرها مطابق دبی‌های مورد نیاز اولیه تنظیم گردیدند. نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری در قالب شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده برای راهکار دوم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های ارزیابی در محاسبه شده در راهکار دوم برای سناریوی بهره‌برداری متوسط

شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)	شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)
۱	۵/۲	۹۶	۹۹		۱۴	۹	۹۸	۹۸	
۲	۱۷	۹۰	۹۸		۱۵	۲۶	۹۸	۹۰	
۳	۲۴	۸۷	۹۸		۱۶	۳۵	۹۹	۹۰	
۴	۸/۵	۹۲	۹۹		۱۷	۳۴	۹۸	۹۰	
۵	۸	۹۱	۹۹		۱۸	۱۲	۹۹	۹۶	
۶	۱۷	۹۰	۹۷		۱۹	۲۵	۹۸	۹۶	
۷	۶/۸	۹۵	۹۸	**۲۵**	۲۰	۲۵	۹۹	۹۶	**۲۵**
۸	۵/۳	۹۶	۹۸		۲۱	۱۰	۹۸	۹۶	
۹	۳۸	۸۸	۹۸		۲۲	۲۴	۹۹	۹۵	
۱۰	۱۷/۵	۹۲	۹۸		۲۳	۲۵	۹۹	۹۵	
۱۱	۱۲/۵	۹۴	۹۷		۲۴	۱۲	۹۸	۹۵	
۱۲	۱۸	۹۸	۹۳		۲۵	۲۰	۹۹	۹۰	
۱۳	۹	۹۸	۹۸		۲۶	۳۰	۹۸	۸۵	

نتایج پیاده‌سازی این راهکار حاکی از بهبود جزئی مقادیر شاخص‌های ارزیابی در شرایط تغییر دبی در سراب کانال در مقایسه با زمانی است که این راهکار اجرا نمی‌شود. به‌طور مثال، شاخص MAE در آبگیر شمارهٔ ۲۵، از ۴۲ درصد (در شرایط تغییرات دبی در سراب کانال) با اجرای این راهکار به ۲۰ درصد رسیده یعنی به‌میزان ۲۲ درصد کاهش یافته است. این کاهش برای سایر آبگیرها نیز دیده می‌شود که نشان‌دهندهٔ شرایط بهتر بهره‌برداری در کانال است. همچنین با پیاده کردن این راهکار، شاخص عدالت به‌میزان ۱۰ درصد کاهش یافته که نشان می‌دهد وضعیت کانال تا حدی بهبود یافته است. در این روش، کاهش میزان آبگیری برای کاهش اثر نوسان ورودی در مقدار آبگیری پذیرفته شده است اما اثرپذیری این راهکار از راهکار اول کمتر است زیرا تطبیق زمان دقیق تغییر بازشدگی آبگیرها با زمان رخداد نوسان‌های ورودی (به‌سبب کمبود اپراتورها یا مقدور نبودن اندازه‌گیری دقیق زمان رسیدن نوسان‌های به ورودی کانال اصلی) ناممکن است.

www.SID.ir

Archive of SID

راهکار سوم: در این راهکار، در نیمی از مدت‌زمان کاهش دبی در سراب کانال آبگیرهای پایین‌دست و بعد از آن آبگیرهای بالادست آب برداشت می‌کنند. جدول ۶ نتایج مقادیر پارامترهای ارزیابی برای این راهکار را نشان می‌دهد.

جدول ٦- مقادیر شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده در راهکار سوم برای سناریوی بهره‌برداری متوسط

شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)	شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)
۱	۵	۹۵	۱۰۰		۱۴	۹	۹۶	۹۶	
۲	۱۵	۸۹	۱۰۰		۱۵	۱۶	۱۰۰	۹۰	
۳	۱۹	۸۹	۱۰۰		۱۶	۱۶	۱۰۰	۹۰	
۴	۹/۵	۹۴	۱۰۰		۱۷	۱۶	۱۰۰	۹۰	
۵	۷/۵	۹۲	۱۰۰		۱۸	۸/۶	۱۰۰	۹۶	
۶	۱۰	۹۱	۱۰۰		۱۹	۸/۶	۱۰۰	۹۶	
۷	۷/۵	۹۴	۱۰۰	**۲۸**	۲۰	۱۰	۱۰۰	۹۶	**۲۸**
۸	۶/۵	۹۵	۱۰۰		۲۱	۶	۱۰۰	۹۶	
۹	۲۰	۸۹	۱۰۰		۲۲	۹	۱۰۰	۹۵	
۱۰	۱۴	۹۱	۱۰۰		۲۳	۹	۱۰۰	۹۵	
۱۱	۱۴	۹۱	۱۰۰		۲۴	۹	۱۰۰	۹۵	
۱۲	۱۶	۹۸	۹۳		۲۵	۹	۱۰۰	۹۰	
۱۳	۹	۹۶	۹۶		۲۶	۱۰	۱۰۰	۹۲	

با توجه به نتایج به‌دست آمده از راهکار سوم، می‌توان نتیجه گرفت هنگامی که دبی در سراب کانال کاهش می‌یابد، با زمان‌بندی تحویل آب به آبگیرها به دو نوبت برداشت پایین‌دست و پس از آن برداشت بالادست، به‌طور مؤثرتری می‌توان از توزیع ناعادلانهٔ آب بین آبگیرها جلوگیری کرد و بدین‌ترتیب وضعیت بهره‌برداری کانال را بهبود بخشید. اعمال این روش باعث کاهش شاخص MAE و همین‌طور افزایش شاخص راندمان و کفایت تحویل آب به آبگیرها می‌شود که نشان‌دهندهٔ بهبود وضع موجود کانال است. کاهش شاخص MAE با استفاده از این راهکار چشمگیر بوده به‌طوری‌که حداکثر مقدار این شاخص در مقایسه با مقادیر مشابه در راهکارهای اول و دوم به‌ترتیب در حدود ۲۳ درصد و ۲۰ درصد کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر در این راهکار میزان انحراف دبی از دبی مورد نیاز، به اندازه چشمگیری کمتر شده است. از این رو اجرای این راهکار بیشترین تأثیر را بر کاهش خطای دبی تحویلی به آبگیرها داشته که باعث افزایش کفایت تحویل آب به آبگیرها نیز شده است. نکتهٔ قابل توجه در نتایج به‌دست آمده از این اجرای این راهکار آن است که با وجود بهبود چشمگیر شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل آب، شاخص عدالت توزیع، نسبت به دو راهکار قبلی، مطلوبیت کمتری دارد زیرا مقدار شاخص عدالت برای کل زمان شبیه‌سازی محاسبه شده که در این زمان نیمی از آبگیرهای کانال آبی برداشت نمی‌کرده‌اند و نیم دیگر به‌شکلی مطلوب آب برداشت می‌کرده‌اند. اگر همسان‌سازی زمانی انجام گیرد، شاخص عدالت از ۲۸ به ۱۶ درصد کاهش می‌یابد که حاکی از مطلوبیت قابل قبول عدالت توزیع در این راهکار نیز هست.

راهکار چهارم: در راهکار چهارم با کاهش مدت زمان آبگیری، دبی بیشتری به شبکه وارد می‌شود. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان ناشی از پیاده‌سازی راهکار چهارم در جدول ۷ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های ارزیابی محاسبه شده در راهکار چهارم برای سناریوی بهره‌برداری متوسط

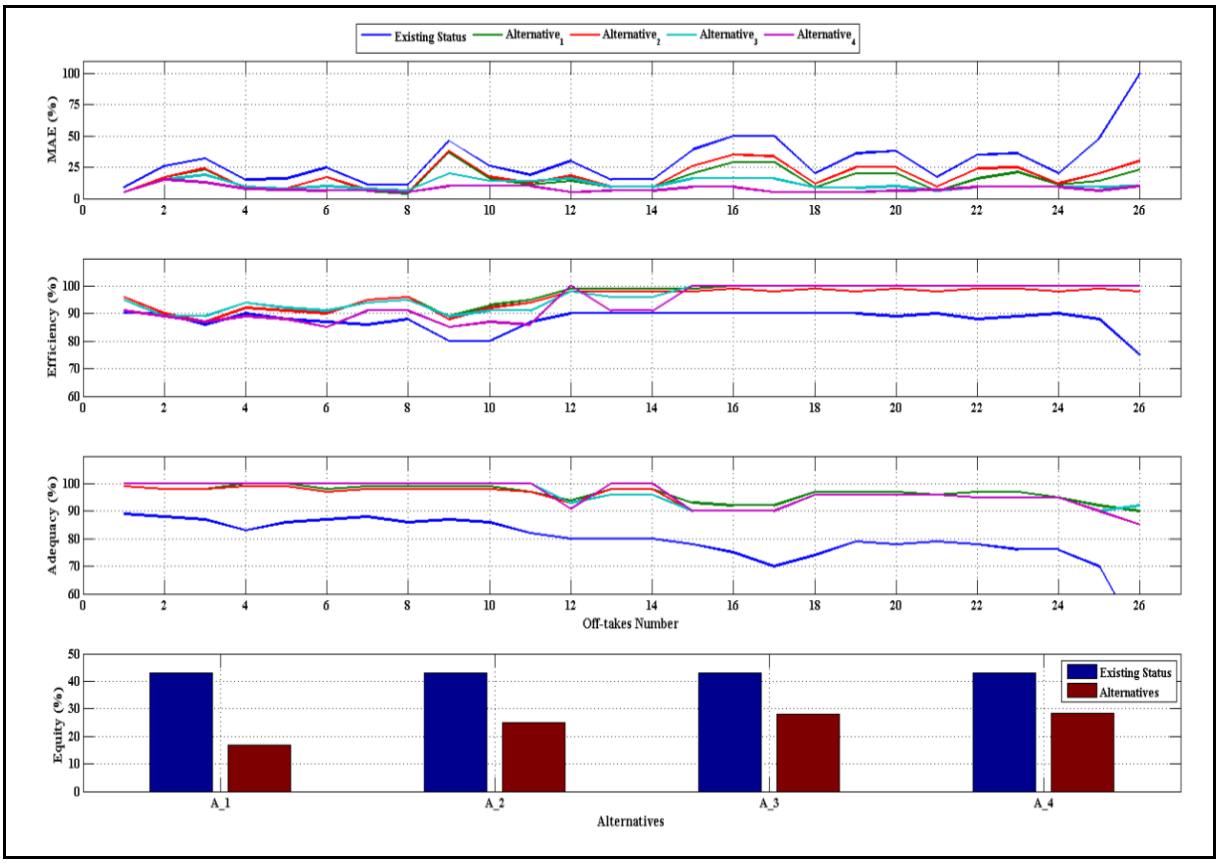
شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)	شمارهٔ آبگیر	MAE (درصد)	راندمان (درصد)	کفایت (درصد)	عدالت (درصد)
۱	۵	۹۱	۱۰۰		۱۴	۶	۹۱	۱۰۰	
۲	۱۵	۸۹	۱۰۰		۱۵	۹	۱۰۰	۹۰	
۳	۱۳	۸۷	۱۰۰		۱۶	۹	۱۰۰	۹۰	
۴	۷/۵	۸۹	۱۰۰		۱۷	۵	۱۰۰	۹۰	
۵	۷	۸۸	۱۰۰		۱۸	۵	۱۰۰	۹۶	
۶	۶	۸۵	۱۰۰		۱۹	۵	۱۰۰	۹۶	
۷	۶	۹۱	۱۰۰	**۲۸/۵**	۲۰	۶	۱۰۰	۹۶	**۲۸/۵**
۸	۵	۹۱	۱۰۰		۲۱	۷	۱۰۰	۹۶	
۹	۱۰	۸۵	۱۰۰		۲۲	۹	۱۰۰	۹۵	
۱۰	۱۰	۸۷	۱۰۰		۲۳	۹	۱۰۰	۹۵	
۱۱	۱۰	۸۶	۱۰۰		۲۴	۹	۱۰۰	۹۵	
۱۲	۵	۱۰۰	۹۱		۲۵	۶	۱۰۰	۹۰	
۱۳	۶	۹۱	۱۰۰		۲۶	۱۰	۱۰۰	۸۵	

با توجه به جدول ۷ و میزان بهبود شاخص‌ها در این راهکار می‌توان نتیجه گرفت هنگامی‌که دبی در سراب کانال کاهش می‌یابد، اگر در همان ابتدا و با همان حجم ثابت آب، مدت‌زمان تحویل آب به آبگیرها کاهش و به‌تبع آن دبی ورودی افزایش یابد، برداشت آب آبگیرها کمتر تحت تأثیر نوسان ورودی قرار می‌گیرد. برای مثال، میزان کفایت تحویل در آبگیر آخر در شرایط تغییر دبی در سراب ۷۵ درصد است که با اجرای راهکار چهارم به ۹۲ درصد رسیده است؛ برای سایر آبگیرها نیز مقدار این شاخص با اجرای راهکار چهارم افزایش یافته که سبب کاهش شاخص عدالت تحویل آب به آبگیرها شده است، این بهبود درشاخص کفایت و عدالت نشان‌دهندهٔ بهبود عملکرد کانال در توزیع عادلانهٔ آب است. مشابه سناریوی قبلی با همسان‌سازی زمان شبیه‌سازی مقدار واقعی شاخص عدالت در حدود ۱۷ درصد به‌دست می‌آید. مجموع نتایج نشان می‌دهد که راهکار چهارم بیشترین تاثیر را بر شاخص کفایت تحویل آب به آبگیرها داشته که بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی را به دنبال دارد. جمع‌بندی تمام نتایج به‌دست آمده در این تحقیق در قالب شکل ۱، مقادیر شاخص‌های ارزیابی عمکرد قبل و بعد از بهره‌گیری از راهکارهای پیشنهاد شده نشان داده شده است.

مطابق شکل ۱، تمامی راهکارهای پیشنهاد شده، نسبت به شرایط موجود بهره‌برداری کانال اصلی چپ شبکه رودشت، عملکرد بهتری دارند. به‌خصوص در مورد شاخص کفایت تحویل آب به آبگیرها بهبود مطلوبی پس از اعمال راهکارهای توصیه شده مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۱، بهبود چشمگیر در شاخص راندمان توزیع آب در آبگیرهای میانی و پایین‌دست شبکه پس از اعمال راهکارهای پیشنهادی مشاهده می‌شود هرچند در مورد آبگیرهای بالادست شبکه بهبود قابل توجهی به‌چشم نمی‌خورد. در مورد شاخص عدالت نیز روندی مشابه با سایر شاخص‌ها دیده می‌شود که در مجموع بهره‌گیری از راهکارهای پیشنهاد شده در این تحقیق به بهبود عدالت توزیع آب بین آبگیرهای بالادست و پایین‌دست شبکه انجامیده است. مطابق شکل ۱، راهکار اول بیشترین تأثیر را در بهبود بهره‌برداری کانال اصلی از خود نشان داده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مقادیر شاخص‌های ارزیابی عمکرد قبل و بعد از بهره‌گیری از راهکارهای پیشنهاد شده

نتیجه‌گیری

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی کارایی و میزان اثربخشی راهکارهای غیرسازه‌ای در بهبود فرآیند بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری در شرایط نوسان‌های جریان ورودی به کانال است. منظور از راهکارهای غیرسازه‌ای راه‌های مدیریتی در بهره برداری سازه‌های آبگیر، سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب به‌صورت جداگانه یا توأمان است. با توجه به نوع ثابت و غیرقابل بهره‌برداری سازه‌های کنترل و تنظیم کانال اصلی این پژوهش، راه‌های غیرسازه‌ای در این مطالعه صرفاً محدود است به مدیریت زمان بهره‌برداری دریچه‌های نیرپیک یا تنظیم میزان دبی ورودی به کانال. عامل اصلی محدودکنندهٔ این تحقیق که بر پیچیدگی‌های تعیین راهکارهای غیرسازه‌ای می‌افزاید، نوع دریچه‌های آبگیری است که از نوع مدول‌های نیرپیک هستند که در مقایسه با دریچه‌های آبگیر کشویی، امکان مانور سازه‌ای را برای بهره‌بردار ناممکن می‌سازد (منظور از امکان مانور سازه‌ای، تغییر در میزان بازشدگی یا گشودگی دریچه‌هاست که در دریچه‌های کشویی بر اساس منحنی‌های دبی- اشل استخراج شده برای شرایط مختلف بهره‌برداری کانال صورت می‌گیرد). با توجه به آنچه گفته شد، اقدامات بهره‌برداری روی سازه‌های آبگیر تنها به باز و بسته کردن آنها در زمان‌های مناسب معطوف شده است.

با توجه به نیاز فوری برای بهبود وضعیت بهره‌برداری کنونی کانال مورد مطالعه، در این تحقیق با الگوبرداری از پروژه‌های مدرن‌سازی، بهسازی و نوسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (با هدف بهبود وضعیت بهره‌برداری کانال‌های آبیاری با اعمال کمترین تغییر در ساختار

www.SID.ir

Archive of SID

موجود کانال‌ها)، چهار راهکار غیرسازه‌ای در نظر گرفته شد: راهکار اول شرایط قابل پیش‌بینی نوسان‌ها، راهکار دوم شرایط غیر قابل پیش‌بینی نوسان‌ها، راهکار سوم زمان‌بندی تحویل آب، و راهکار چهارم افزایش دبی ورودی به کانال، در جهت بهبود عملکرد کانال از لحاظ توزیع و تحویل آب به آبگیرها. برای هر یک از راهکارهای گفته شده، وضعیت بهره‌برداری کانال اصلی برای دو سناریوی بهره‌برداری با نوسان‌های ورودی ملایم و نرمال (متوسط) شبیه‌سازی و میزان تاثیر هر راهکار در بهبود وضعیت بهره‌برداری کانال اصلی ارزیابی شد.

نتایج حاصل از به‌کارگیری این راهکارها در مجموع نشان می‌دهد که در زمان نوسان‌های ملایم و نرمال (متوسط) در جریان ورودی، هر چهار راهکار پیشنهاد شده سبب بهبود مطلوبیت بهره‌برداری کانال شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی با بهره‌گیری از راهکارهای پیشنهادی در شرایط نوسان‌های نرمال (متوسط) نشان می‌دهد که متوسط میزان بهبود شاخص MAE در سناریوی نوسان‌های نرمال ورودی به کانال اصلی برای راهکارهای اول تا چهارم به‌ترتیب ۱۲، ۲۲، ۲۴ و ۲۵ درصد است. روند مشابهی در سایر شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری مشاهده شد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که با تشدید میزان نوسان‌های ورودی در سراب کانال در سناریوی نوسان‌های نرمال، میزان تأثیر راهکارهای سوم و چهارم در بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی بیشتر از میزان تأثیر دو راهکار دیگر است. بر این اساس و نیز با توجه به مزیت عملیاتی شدن راحت‌تر دو راهکار توصیه می‌شود: یکی راهکار سوم (با دو بار بهره‌برداری دریچه‌های نیرپیک در یک روز) و دیگری راهکار چهارم (تنها با کنترل سازه سراب کانال)؛ توصیه برای بهره‌گیری از این دو راهکار در شرایط نوسان‌های متوسط در کانال اصلی است.

به‌نظر می‌رسد با بیشتر شدن نوسان‌ها، بهره‌گیری از راهکارهای غیرسازه‌ای (مطابق موارد توصیه شده این تحقیق) کارایی لازم در بهبود میزان تحویل آب به آبگیرها را ندارد و لزوم بررسی راهکارهای سازه‌ای یا بهره‌گیری از سامانه‌های کنترل خودکار برای تامین مطلوبیت بهره‌برداری کانال اصلی توصیه می‌شود.

قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان که این مقاله در قالب پروژهٔ تحقیقاتی شماره ۹۴/۱۱۷ و با حمایت مالی آن شرکت تهیه شده است، قدردانی می‌شود.

مراجع

Burt, C. M. 2013. The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success? Irrig. Drain. 62(3): 247-254.

Clemmens, A. J., Kacerek, T. F., Grawitz, B. and Schuurmans, W. 1998. Test cases for canal control algorithms. Irrig. Drain. 124(1): 23-30.

Eslambolchizadeh, H. 2006. Evaluation and improvement of reservoir management in operation of irrigation networks (Case study: Moghan network). M. Sc. Thesis. Department of Water Structure Engineering. Tarbiat Modares University. Tehran, Iran. (in Persion)

www.SID.ir

Archive of SID

Ghodosi, H., Monem, M. and Emadi, A. 2005. The use of hydrodynamic models to evaluate the performance of irrigation canals on demand changes. 5th Conference of Hydraulics. Faculty of Engineering. Shahid Bahonar University of Kerman. Iran. (in Persion)

Guan, G., Clemmens, A. J., Kacerek, T. F. and Wahlin, B. T. 2011. Applying water-level difference control to Central Arizona project. J. Irrig. Drain. Eng. 137(12): 747-753.

Hashemy, S. M., Monem, M. J., Maestre, J. M. and Van Overloop, P. J. 2013. Application of an In-Line storage strategy to improve the operational performance of main irrigation canals using Model Predictive Control. J. Irrig. Drain. Eng. 139(8): 1-11.

Hashemy-Shahdany, S. M. and Roozbahani, A. 2016. Selecting an appropriate operational method for main irrigation canals within multicriteria decision-making methods. J. Irrig. Drain. Eng. 142(2): 996-1004.

Isapoor, S., Montazar, A., van Overloop, P. J. and Van De Giesen, N. 2011. Designing and evaluating control systems of the Dez main canal. Irrig. Drain. 60(1): 70-79.

Kougel, M. and Findeisen, R. 2015. Robust output feedback predictive control with self-triggered measurements. 54th IEEE Conference on Decision and Control. Dec. 15-18. Osaka. Japan.

Maestre J. M., van Overloop, P. J., Hashemy, S. M., Sadowska, A. and Camacho, E. F. 2014. Human in the loop model Predictive Control: an irrigation canal case study. 53th IEEE Conference on Decision and Control. Dec. 15-17. Los Angeles. USA.

Manz, D. H. 1985. System analysis of irrigation conveyance system. Ph. D. Thesis. Department of Civil Engineering. University of Alberta. Edmonton, Alberta, Canada.

Mohseni-Movahed, A. and Monem, M. J. 2003. Introducing ICSS-DOM model to evaluate the performance and optimization of irrigation canal. 11th Conference of the National Committee on Irrigationand Drainage. Tehran, Iran. (in Persion)

Molden, D. J. and Gates, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. J. Irrig. Drain. Eng. 116(6): 804-822.

Monem, M. J. 1999. Using a mathematical model to test in real conditions of irrigation canals. Second Hydraulic Conference. Tehran, Iran. (in Persion)

Monem, M. J. and Massah, A. 2003. The Development of mathematical model of the Nyrpik gate. 11th Conference of the National Committee on Irrigation and Drainage. Tehran. Iran. (in Persion)

Shahverdi, K. and Monem, M. J. 2012. Construction and evaluation of the bival automatic control system for irrigation canals in a laboratory flume. Irrig. Drain. 61(2): 201-207.

Shahverdi, K. and Monem, M. J. 2015. Application of reinforcement learning algorithm for automation of canal structures. Irrig. Drain. 64(1): 77-84.

www.SID.ir

Archive of SID

van Overloop, P. J., Maestre, J. M., Hashemy, S. M., Sadowska, A. D., Davids, J. C. and Camacho, E. F. 2014. Human in the loop control of Dez main canal. Proceedings of the Planning, Operation and Automation of Irrigation Delivery Systems. U. S. Committee on Irrigation and Drainage. Phoenix. Arizona. USA.

www.SID.ir

Archive of SID

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.18/No.68/2017/P:33-50

Assessing the Performance of Nonstructural Operational Solutions for Main Irrigation Canal under Inflow Fluctuations (Case Study of Roodasht Main Irrigation Canal Zayanderood Basin)

S. M. Hashemy-Shahdany*, S. Sadeghi and E. Adib-Majd

* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir
Received: 13 May 2016, Accepted: 10 September 2016

Improving management of existing irrigation canals is indispensable in order to save more water. In this study, a set of four nonstructural solutions introduced in order to improve the operational performance of a main irrigation canals suffering from fluctuations of inflow water. To this end the existing operation of the Roodasht main irrigation canal was simulated applying a mathematical model and assessed by the operational performance evolution indices. Then the abovementioned solutions were investigated. The four solutions consist of operation with known disturbances; unknown disturbances; rotational water delivery out of the intakes alongside of the main canal and increasing discharge inflow. The results indicated that operational level were improved by the solutions, for example by employing the third and the forth operational solution, average value of the maximum error in water delivery was decreased by 25% and adequacy of water delivery activity was improved by18% respectively. Also, the results showed that under severe decrease of inflow to the canal, the mentioned solutions improved water delivery and distribution between upstream and downstream 17 percent.

Key Words: Inflow Fluctuations, Main Canal, Nyrpic Modules, Operation, Roodasht Irrigation Canal

www.SID.ir