

ارزیابی عملکرد توزیع آب در کانال اصلی شبکه آبیاری کوثر با کنترل خودکار در جهت بالادست و پایین دست

سامان نیک‌مهر^{۱*}، عاطفه پرورش ریزی^۲ و محمد جواد منعم^۳

چکیده

مدیریت و بهره‌برداری ضعیف در شبکه‌های آبیاری سبب تحویل و توزیع نامناسب آب در کانال‌ها و انشعابات شبکه می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد توزیع آب برای گزینه‌های بهره‌برداری مختلف در کانال اصلی شبکه آبیاری کوثر در استان خوزستان انجام شد. شرایط واقعی بهره‌برداری از کانال به همراه دو سامانه کنترل خودکار شامل کنترل بالادست و کنترل پایین دست با استفاده از مدل هیدرولیکی واسنجی شده، شبیه‌سازی شد. شبیه‌سازی برای دو گزینه بهره‌برداری در طول فصل آبیاری شامل دوره افزایش و کاهش تقاضا انجام شد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی شده، شاخص عدالت توزیع در شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه بیشتر از ۰/۲ و عدالت در توزیع آب در طول کانال اصلی بین تمامی آبگیرها در حد ضعیف و نامناسبی بوده است. کنترل خودکار پایین دست، عملکرد توزیع بهتری نسبت به کنترل خودکار بالادست دارد. همچنین ارزیابی عملکرد گزینه‌های بهره‌برداری نشان داد که در دوره افزایش تقاضا، شاخص‌های بهره‌برداری دارای وضعیت بهتری نسبت به دوره کاهش تقاضا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری تقاضامحور، توزیع آب، شبکه آبیاری کوثر، کنترل خودکار.

ارجاع: نیک‌مهر س. پرورش‌ریزی ع. و منعم م. ج. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد توزیع آب در کانال اصلی شبکه آبیاری کوثر با کنترل خودکار در جهت بالادست و پایین دست. مجله پژوهش آب ایران. ۲۴: ۱۰۹-۱۱۸.

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲- استادیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

* نویسنده مسئول: samannikmehr@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰

مقدمه

عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری و تأثیر آن در کاهش بهره‌وری آب کشاورزی، ارائه روش‌های مؤثر در بهره‌برداری بهینه از این سامانه‌ها را ضروری می‌کند. امکان بهبود عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری با به کار گرفتن مدل‌های هیدرودینامیک، طراحی و اجرای سیستم‌های کنترل ممکن می‌شود. مدل‌های هیدرودینامیک امکان بررسی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری و تحقق تصمیم‌گیری‌های مناسب و دستیابی به عملکرد بهینه شبکه‌های آبیاری را فراهم می‌کنند. در دو دهه اخیر کاربرد مدل‌ها در مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری روند روبه رشدی داشته است. محسنی موحد و منعم (۱۳۸۲)، مدل ICSSDOM را برای ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری استفاده نمودند. در این مدل برای اولین بار از روش بهینه‌سازی SA، که یک روش عددی با ساختار تصادفی هوشمند است، در ترکیب با مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده گردید. شاهرخ‌نیا و جوان (۲۰۰۵) به ارزیابی عملکرد کانال اردیبهشت در شبکه درودزن با استفاده از مدل HECRAS پرداخته و میزان بازشدگی دریچه‌ها با مدل را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که قاعده کنونی توزیع برای سامانه فعلی مناسب نیست. منعم و همکاران (۱۳۸۶)، برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب در کانال‌های آبیاری را با استفاده از الگوریتم ژنتیک در پژوهشی مطالعه و بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل توسعه یافته می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید در مدیریت توزیع آب شبکه‌های آبیاری به کار گرفته شود. منعم و کیاپاشا (۱۳۸۶)، به تهیه و آزمون مدل سیستم کنترل بالادست فازی پرداختند. در این پژوهش از مدل هیدرودینامیک ICSS که توانایی شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در کانال‌های آبیاری را دارد، استفاده شد. مدل ریاضی سیستم کنترل فازی تدوین و تلفیق شد. منتظر و عیسی‌پور (۱۳۸۹)، با مدل هیدرولیکی SOBEK به ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های کنترل و تعیین کنترل‌کننده مناسب در کانال‌های شبکه آبیاری عقیلی پرداختند. نتایج نشان از عملکرد مثبت سامانه‌های کنترلی در مدیریت بهره‌برداری از شبکه آبیاری بودند. منعم و نوری (۱۳۸۹) الگوریتم بهینه‌سازی PSO^۱ (رفتار جمعی اجزاء) برای توزیع و تحویل بهینه آب در کانال‌های آبیاری را استفاده

کردند. نتایج حاصله نشان دهنده توانایی روش PSO در حل مسأله برنامه‌ریزی بهینه توزیع آب، در کانال‌های آبیاری بوده است. منتظر و پاشازاده (۱۳۹۰) به بررسی و ارزیابی عملکرد توزیع آب در کانال اصلی غربی شبکه دز با استفاده از مدل CANALMAN پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آبیگرهای بخش انتهایی کانال وضعیت نامطلوبی دارند. تاریخ و لطیف (۲۰۱۱) مدل هیدرودینامیک SIC^۲ را برای ارزیابی عملکرد یک کانال درجه دوم در سامانه آبیاری کانال سوات^۳ (کالیفرنیا جنوبی) استفاده کردند. سید موسوی (۱۳۹۱) با مدل هیدرودینامیک SOBEK به ارزیابی و طراحی سامانه خودکار روی شبکه آبیاری دوستی پرداخت. وی اثر کنترلرگرها را در توزیع آب در شبکه، مثبت ارزیابی کرد. سید جواد و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی شبکه ورامین با استفاده از حساسیت‌سنجی آبیگرهای نیرپیک برای افزایش راندمان انتقال و توزیع با مدل هیدرودینامیک SOBEK پرداختند. هاشمی و فان اورلوپ (۲۰۱۳) به بررسی سیستم کنترلی غیرمتمرکز روی کانال اصلی دز برای مدیریت در شرایط کم آبی با استفاده از مدل هیدرولیکی SOBEK پرداختند. نتایج نشان داد سیستم کنترلی قادر به توزیع عادلانه آب در شرایط کم آبی است. ابدلمواتی (۲۰۱۴) با مدل SOBEK کانال ابراهیمیا^۴ را در شبکه گیزای^۵ مصر ارزیابی و با آنالیز پارامترهای هیدرولیکی، راه‌کارهای سازه‌ای را برای ارتقای راندمان کانال پیشنهاد کرد. واهین و زیملمن (۲۰۱۴) اثر اتوماسیون و سامانه‌های کنترلی مختلف را بر بخش‌های مختلف شبکه آبیاری تحلیل و ارزیابی کردند. بررسی پیشینه پژوهش بیانگر آن است که مدل‌های هیدرودینامیک ابزار مناسبی برای بررسی جریان و شرایط بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری هستند. در این راستا مدل هیدرودینامیکی SOBEK برای شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در این پژوهش استفاده شده است. این پژوهش با هدف شبیه‌سازی جریان در کانال اصلی شبکه کوثر و تحلیل عملکرد توزیع آب برای شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه و همچنین اجرای دو سامانه کنترل خودکار بالادست و پایین‌دست به ازای دو گزینه بهره‌برداری (دوره کاهش و دوره افزایش تقاضا)، در طول کانال اصلی انجام شد.

2- Simulation of Irrigation Canal

3- Swat

4- Ibrahemia

5- Giza

1- Particle Swarm Optimization

مواد و روش‌ها

شبکه آبیاری و زهکشی کوثر در ۲۰ کیلومتری شمال شهر اهواز است. آب مورد نیاز شبکه از رودخانه کرخه تأمین و با ایستگاه پمپاژ به ظرفیت حداکثر ۱۶/۵ مترمکعب بر ثانیه وارد کانال آبرسان می‌شود. وسعت اراضی خالص تحت پوشش شبکه برابر ۱۲۸۰۰ هکتار است. شبکه اصلی از یک کانال آبرسان به طول ۳/۳ کیلومتر با دبی طراحی ۱۶/۵ مترمکعب بر ثانیه و یک کانال اصلی به طول ۲۰/۳ کیلومتر با دبی طراحی ۱۲/۵ الی ۰/۴۵ متر مکعب بر ثانیه تشکیل شده است. ۱۵ کانال درجه دو به طور مستقیم از کانال اصلی منشعب می‌شوند که در مجموع طول آن‌ها دارای ۹۴/۳ کیلومتر هستند. شبکه اصلی دارای ۸ سازه تنظیم‌کننده شامل ۶ سازه آمیل و ۲ سازه نوک اردکی در کانال اصلی است. مشخصات جانمایی شبکه و جزئیات آن در شکل ۱ ارائه شده است.

برای انجام شبیه‌سازی‌ها و ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های کنترل طراحی شده در این پژوهش، از مدل هیدرودینامیک SOBEK استفاده شد. این مدل در سال ۲۰۰۰ در قالب یک مدل تجاری ارائه شد. در طراحی الگوریتم‌های کنترل از حالت ترکیبی این مدل با مدل کنترل زمان واقعی^۱ استفاده شد (مرکز هیدرولیک دلفت، ۲۰۰۰). در این مدل امکان شبیه‌سازی انواع مختلف سازه‌های موجود در سیستم‌های انتقال و توزیع جریان وجود دارد. همچنین امکان شبیه‌سازی بهره‌برداری‌های دستی، خودکار و اجرای سیستم‌های کنترل مختلف در مدل، پیش‌بینی شده است. شایان ذکر است که مدل SOBEK به صورت نسخه تجاری ارائه می‌شود. در این پژوهش از نسخه تحت لیسانس آن در دانشگاه TU Delft، برای شبیه‌سازی هیدرولیکی و تلفیق با الگوریتم کنترل استفاده شده است. پس از شبیه‌سازی فیزیکی کانال اصلی شبکه آبیاری کوثر، واسنجی و صحت‌سنجی مدل براساس داده‌های واقعی بهره‌برداری جمع‌آوری شده از شبکه در طول آبان ماه ۱۳۹۰ انجام شد. برای این منظور داده‌های ۱۵ روز اول ماه برای واسنجی و داده‌های ۱۵ روز دوم ماه برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. نتایج حاصل از مدل حاضر در جدول ۱ ارائه شده است. از شاخص‌های حداکثر خطا (ME^۳)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE^۳)، ریشه

میانگین مربعات خطا (RMSE^۴) و راندمان شبیه‌سازی (SE^۵) برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل استفاده شده است.

بعد از انجام واسنجی و صحت‌سنجی، مدل برای طراحی الگوریتم‌های کنترل و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف بهره‌برداری به کار گرفته شد.

جدول ۱- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل

شاخص‌های آماری		تراز سطح آب در کانال (متر)
صحت‌سنجی	واسنجی	
ME	۰/۰۴	۰/۰۳
MAE	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۸
RMSE	۰/۰۲۱	۰/۰۱
SE (%)	۹۹/۸	۹۹/۹

شاخص‌های مدیریتی ارزیابی عملکرد

شاخص‌های ارزیابی عملکرد توزیع آب، پارامترهایی هستند که به طور مستقیم به نحوه بهره‌برداری بستگی دارند و قابلیت دستگاه اداره‌کننده بر آن‌ها مؤثر است. در این پژوهش از شاخص‌های مولدن و گیتس (۱۹۹۰) برای بررسی و اولویت‌بندی گزینه‌های تحویل و توزیع آب در شبکه مورد نظر استفاده شده است. پس از اینکه عملکرد قسمت مورد نظر از شبکه براساس گزینه‌های مدیریتی پیشنهادی شبیه‌سازی شد، مقدار شاخص‌های کفایت توزیع، راندمان توزیع، عدالت توزیع و اعتمادپذیری توزیع به شرح زیر محاسبه و تحلیل می‌شوند:

کفایت توزیع آب

کفایت توزیع عبارت است از نسبت مقدار آب تحویل داده شده به مقدار آب مورد نیاز آگیرها. به عبارت دیگر کفایت توزیع شاخصی است که بیان‌کننده میزان توانایی روش بهره‌برداری، در تحویل آب به‌قدر تأمین نیاز است. این شاخص به کمک رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P_A = \frac{1}{F} \sum \left[\frac{1}{R} \sum (P_a) \right] \begin{cases} P_a = Q_d / Q_r & \text{if } Q_r > Q_d \\ P_a = 1 & \text{if } Q_r < Q_d \end{cases} \quad (1)$$

در این معادله P_A کفایت توزیع، P_a تابع عملکرد نقطه‌ای مربوط به کفایت، Q_r و Q_d به‌ترتیب معرف مقدار آب

3- Mean Absolute Error
4- Root Mean Square Error
5- Simulation Efficiency

1- Real Time Control
2- Maximum Absolute Error

تحويل داده شده در عمل (به طور واقعی) و مقدار آب مورد نیاز برای انشعاب X، در دوره زمانی t است.

که در آن P_E ، عدالت توزیع و CV_R نشان‌دهنده ضریب تغییرات مکانی است.

راندمان توزیع آب

اگر رفتار هیدرولیکی جریان، در یک شبکه انتقال و توزیع آب طوری باشد که به یک انشعاب بیش از مقدار لازم آب تحويل داده شود، در این صورت با توجه به میزان این خطا در تحويل آب، راندمان توزیع کم می‌شود. معادله این شاخص به صورت زیر ارائه شده است:

$$P_F = \frac{1}{T} \sum \left[\frac{1}{R} \sum (P_{Fi}) \right] \begin{cases} P_{Fi} = Q_r / Q_d & \text{if } Q_r < Q_d \\ P_{Fi} = 1 & \text{if } Q_r > Q_d \end{cases} \quad (2)$$

در این معادله P_F کفایت توزیع، P_f تابع عملکرد نقطه‌ای مربوط به کفایت است.

عدالت توزیع آب

عدالت توزیع شاخصی است که میزان تناسب موجود را بین مقدار تحويلی و مدار مورد نیاز آب در انشعابات و دوره‌های زمانی مختلف ارزیابی می‌کند. این شاخص که به نام برابری توزیع نیز شناخته می‌شود به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_E = \frac{1}{T} \sum CV_R \left(\frac{Q_d}{Q_r} \right) \quad (3)$$

اعتمادپذیری توزیع آب

برای یک آبگیر منفرد شاخص اعتمادپذیری را می‌توان یکنواختی زمانی در تحويل آب تعریف کرد که در معادله زیر ارائه شده است:

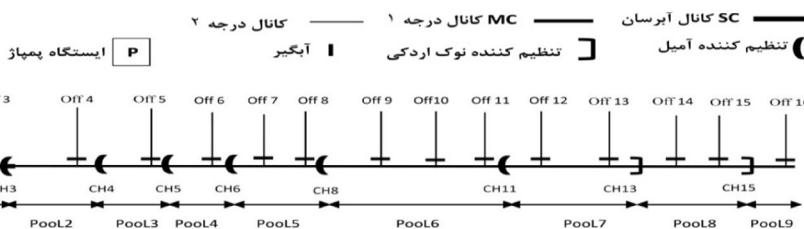
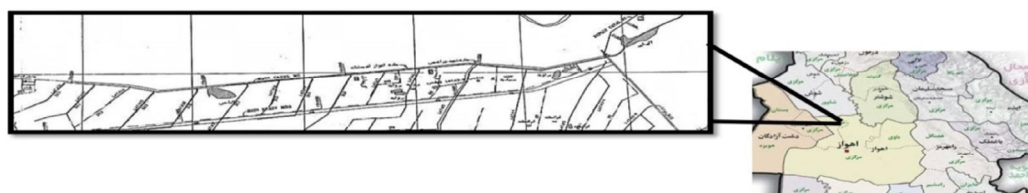
$$P_D = \frac{1}{R} \sum CV_T \left(\frac{Q_d}{Q_r} \right) \quad (4)$$

که در آن P_D ، اعتمادپذیری توزیع و CV_T نشان‌دهنده ضریب تغییرات زمانی است (مولدن و گیتس، ۱۹۹۰). مقادیر استاندارد شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- مقادیر استاندارد شاخص‌های ارزیابی عملکرد

بهره‌برداری (مولدن و گیتس، ۱۹۹۰)

شاخص‌های ارزیابی		کلاس‌های ارزیابی	
خوب	متوسط	ضعیف	
کفایت	۰/۹-۱	۰/۸-۰/۸۹	۰/۸ >
راندمان	۰/۸۵-۱	۰/۷-۰/۸۴	۰/۷ >
عدالت	۰-۰/۱	۰/۱۱-۰/۲۵	۰/۲۵ <
اعتمادپذیری	۰-۰/۱	۰/۱۱-۰/۲	۰/۲ <



شکل ۱- جانمایی شبکه و اجزای مختلف در کانال اصلی به صورت شماتیک

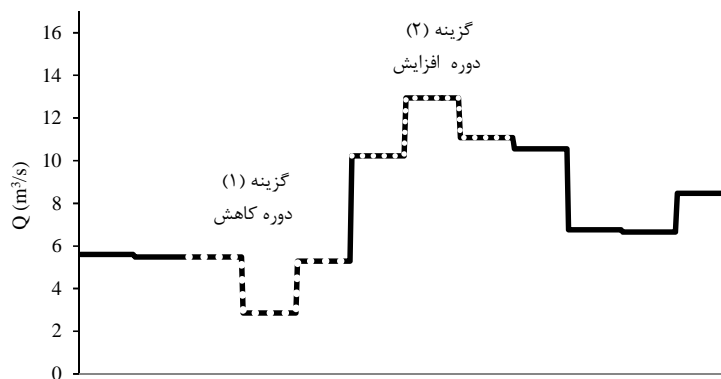
گزینه‌های بهره‌برداری مورد بررسی

برای انتخاب سناریوهای بهره‌برداری در این پژوهش، از نیاز آبی ناخالص شبکه در طول فصل آبیاری استفاده شد. تغییرات نیاز آبی ناخالص در طول فصل آبیاری با توجه به

الگوی کشت شبکه، وسعت اراضی و راندمان آبیاری پیش‌بینی شده برای شبکه محاسبه و در شکل ۲ ارائه شده است. بر اساس تغییرات نیاز آبی شبکه، دو گزینه به عنوان سناریوهای بهره‌برداری از شبکه، انتخاب شدند که

است که شامل جریان با دبی حداکثر است. این گزینه نیز در یک دوره زمانی سه ماهه شامل اسفند، فروردین و اردیبهشت رخ می‌دهد.

گزینه اول مربوط به دوره کاهش تقاضا در شبکه است که در آن دبی جریان به حداقل میزان مورد نیاز می‌رسد. این گزینه در یک دوره زمانی سه ماهه شامل آذر، دی و بهمن رخ دهد. گزینه دوم مربوط به دوره افزایش تقاضا در شبکه



شهریور مرداد تیر خرداد اردیبهشت فروردین اسفند بهمن دی آبان مهر

شکل ۲- تغییرات نیاز آبی ناخالص شبکه کوثر

برای بهبود بخشیدن به اجرای الگوریتم کنترل پایین‌دست، فیلتر دی‌کوپلینگ نیز به روش PI اضافه شد. با کوپل کردن بازه‌ها این اثرات برای انجام اصلاحات به بالادست یا پایین‌دست بازه‌ها منتقل شده و فرآیند تنظیم و کنترل جریان در بازه‌های کانال با سرعت بیشتری انجام می‌شود.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد در گزینه‌های مختلف بهره‌برداری

شاخص کفایت توزیع

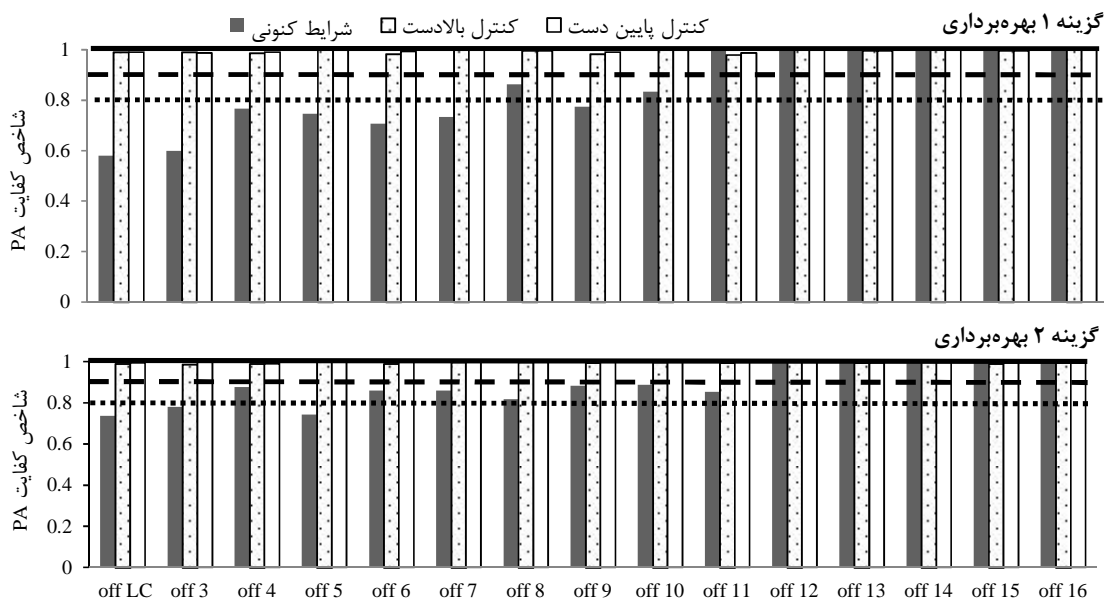
بر اساس شکل ۳، شاخص کفایت توزیع در آبیگرهای بخش بالادست شبکه اصلی برای شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه وضعیت نامطلوب و ضعیفی است و شاخص کفایت برای بیشتر این آبیگرها زیر ۰/۸ هستند. این در حالی است که آبیگرهای بخش پایین‌دست در شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه (بهره‌برداری دستی)، به ازای هر دو گزینه (۱) و (۲) بهره‌برداری، دارای شرایط مطلوب‌تری بوده و شاخص کفایت در آن‌ها برابر ۱ است. همچنین برای آبیگرهای بخش بالادست کانال اصلی، شاخص کفایت در آن‌ها پایین بوده است. تنظیم‌کننده‌های آمیل موجود در کانال اصلی در شرایط کنونی شبکه، توسط شرکت بهره‌بردار ثابت و از حالت خودکار هیدرولیکی

ویژگی‌های سامانه کنترل خودکار

در این پژوهش علاوه بر ارزیابی عملکرد در شرایط بهره‌برداری اثر دو سامانه خودکار کنترل در مدیریت و بهره‌برداری از شبکه ارزیابی شد. الگوریتم‌های کنترل طراحی شده عبارت است از: (۱) کنترل‌کننده موضعی بالادست با روش تناسبی-انتگرالی (PI) پس‌خورد، (۲) کنترل‌کننده موضعی پایین‌دست فاصله‌دار با روش تناسبی-انتگرالی (PI) پس‌خورد + پیش‌خورد و دی‌کوپلینگ. در الگوریتم کنترل بالادست، کنترل براساس متغیر اندازه‌گیری شده برای کنترل تراز آب در بالادست سازه تنظیم، بر سازه اعمال می‌شود. این کنترل‌کننده حالت هوشمند و خودکار سیستم بهره‌برداری فعلی شبکه است. منطق کنترل پس‌خورد به صورت موضعی، برنامه کنترل اصلی را تشکیل داده و برنامه آبیاری از طریق برنامه کنترل فرعی به سیستم کنترل اعمال می‌شود. در کنترل‌کننده پایین‌دست، کنترل براساس متغیر اندازه‌گیری شده برای کنترل تراز آب در پایین‌دست سازه تنظیم و به صورت فاصله‌دار (در انتهای بازه آبیگری)، بر سازه اعمال می‌شود و برنامه آبیاری به طور مستقیم وارد برنامه کنترل اصلی که از نوع پس‌خورد + پیش‌خورد سراسری است، می‌گردد. این سیستم کنترل پیشنهادی، برای ارائه سیستم تقاضا مدار در شبکه کوثر شبیه‌سازی شده است.

نتیجه شاخص کفایت در این بخش از کانال کاهش می‌یابد و مازاد آب وارد آبیگرهای بخش پایین دست می‌شود. شایان ذکر است برای هر دو سامانه کنترل خودکار بالادست و پایین دست، تمام آبیگرها در طول کانال اصلی به ازای هر دو گزینه (۱) و (۲) بهره‌برداری، دارای شرایط مطلوب و خوبی بوده‌اند و شاخص کفایت در آن‌ها بیشتر از ۰/۹ است.

خارج شده‌اند. از طرف دیگر در هر دوره بهره‌برداری (۱) و (۲)، این تنظیم‌کننده‌ها با شرکت بهره‌بردار، برای بیشترین دبی موجود در آن دوره تنظیم شده و در طول دوره ثابت باقی می‌مانند. در نتیجه برای دبی‌های کمتر از دبی بیشینه در هر دو دوره بهره‌برداری، آبیگرهای بخش بالادست شبکه، آب کافی دریافت نمی‌کنند چرا که در این حالت هد مورد نیاز برای آبیگرها تأمین نمی‌شود و در



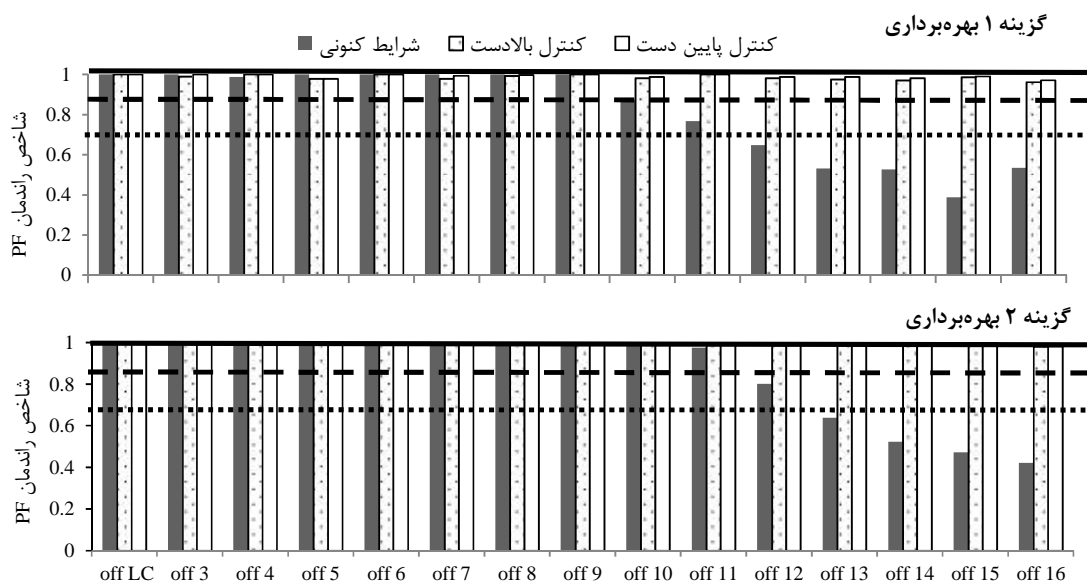
شکل ۳- شاخص کفایت توزیع در طول کانال اصلی

شاخص عدالت توزیع

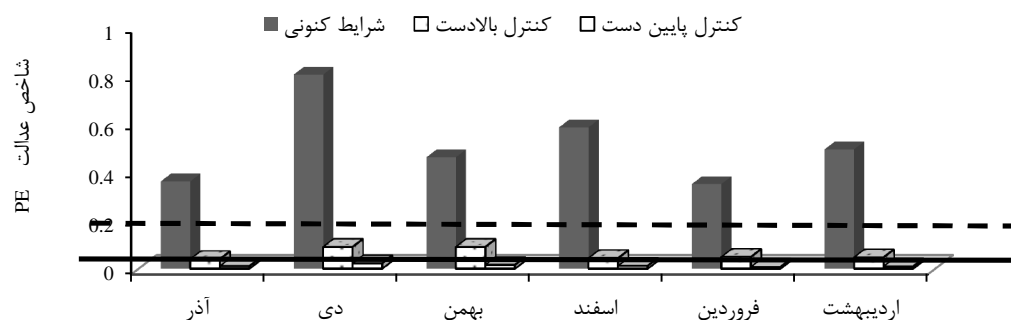
همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، شاخص عدالت توزیع در طول دوران بهره‌برداری کنونی شبکه (بهره‌برداری سنتی) بیشتر از ۰/۲۵ بوده و عدالت در توزیع آب بین آبیگرهای موجود در کانال اصلی، در طول فصل بهره‌برداری در حد ضعیفی بوده است. این امر به دلیل عدم هماهنگی و انعطاف‌پذیری لازم و کافی تنظیم‌کننده‌های اصلی و آبیگرها در برابر تغییرات دبی در طول دوران بهره‌برداری رخ داده است. این در حالی است که برای سامانه‌های کنترل خودکار پایین دست و بالادست، شاخص عدالت در طول دوران بهره‌برداری کمتر از ۰/۱ بوده و عدالت در توزیع آب، در بین تمام آبیگرها مطلوب و قابل قبول بوده است.

شاخص راندمان توزیع

در شرایط بهره‌برداری دستی شبکه، به دلیل وجود تنظیم‌کننده‌های نوک اردکی در بخش انتهایی کانال اصلی، انعطاف‌پذیری لازم در برابر تغییرات دبی در طول دوران وجود ندارد و راندمان توزیع برای آبیگرهای بخش پایین دست کانال اصلی کم است. به طوری که شاخص راندمان توزیع در آن‌ها کمتر از ۰/۷ است (شکل ۴). از طرف دیگر در هر دو سامانه خودکار کنترلی بالادست و پایین دست به دلیل جایگزین کردن سرریزهای نوک اردکی با دریچه کشویی و بالارفتن انعطاف‌پذیری دریچه‌ها در برابر تغییرات دبی، شاخص راندمان توزیع در طول کانال اصلی برای همه آبیگرها در حد مطلوب و بالاتر از ۰/۹ است.



شکل ۴- شاخص راندمان توزیع در طول کانال اصلی به ازای گزینه (۱) و (۲) بهره‌برداری



شکل ۵- شاخص عدالت توزیع در طول دوران بهره‌برداری

ارزیابی کلی عملکرد توزیع آب در شبکه اصلی

مقدار متوسط کل شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه در طول دوران بهره‌برداری در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص کفایت و راندمان توزیع در شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه، در حد متوسطی بوده است. همچنین شاخص عدالت توزیع نیز در هر دو گزینه بهره‌برداری در حد ضعیفی است.

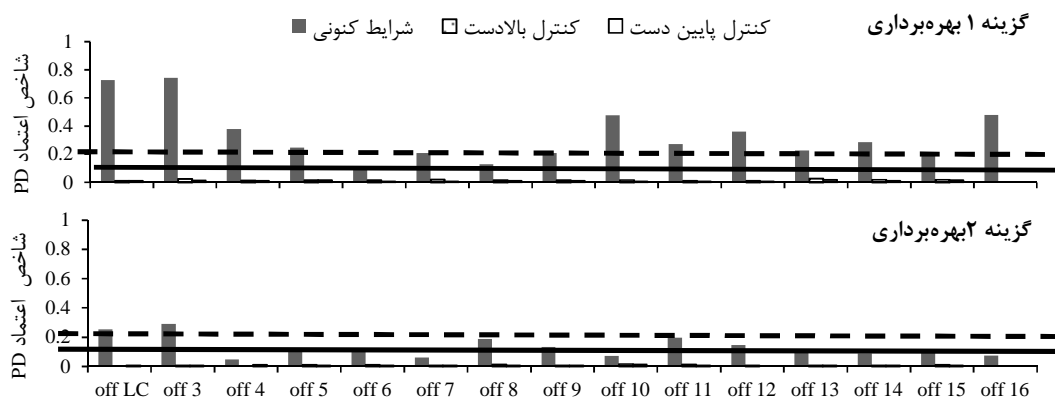
در گزینه (۱) بهره‌برداری، شاخص اعتمادپذیری ضعیف است، در حالیکه در گزینه (۲) بهره‌برداری با افزایش دبی، شاخص اعتمادپذیری کمی بهتر شده و در حد متوسط است. سامانه‌های کنترل خودکار بالادست و پایین‌دست طراحی شده دارای عملکرد بهتری نسبت به شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه، بوده‌اند و هر چهار شاخص، در طول دوران بهره‌برداری در حد مطلوبی بوده‌اند. هر چند

شاخص اعتمادپذیری توزیع

در ارزیابی شاخص اعتمادپذیری توزیع، نتایج نشان دادند که در شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه (بهره‌برداری سنتی)، به ازای بهره‌برداری در دوره کاهش تقاضا، شاخص اعتمادپذیری در طول کانال اصلی به طور تقریبی برای همه آبگیرها بیش از ۰/۲ بوده و در حد ضعیفی است. این درحالی است که به ازای گزینه (۲) بهره‌برداری که دبی‌های بالایی در این دوره در کانال اصلی جریان دارد، شاخص اعتمادپذیری برای بیشتر آبگیرها بین ۰/۱ - ۰/۲ بوده و بیانگر عملکرد متوسط این شاخص است (شکل ۶). در هر دو سامانه کنترل خودکار بالادست و پایین‌دست، شاخص اعتمادپذیری برای همه آبگیرها به ازای هر دو گزینه (۱) و (۲) بهره‌برداری، کمتر از ۰/۱ است و اعتمادپذیری توزیع در کانال اصلی در حد مطلوبی است.

آبگیرهای بخش پایین دست و میانی کانال اصلی، نسبت به سامانه کنترل بالادست، بهتر عمل کرده است. در شکل ۷، تغییرات حجم آب تحویل داده شده به آبگیرها در طول کانال اصلی، در هر دو سامانه‌های کنترلی آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در کنترل پایین دست، حجم آب تحویلی به آبگیرها در طول کانال اصلی دارای تغییرات کمتری نسبت به کنترل بالادست بوده است. سامانه کنترلی پایین دست به دلیل ارتباط کنترلهای سایر بازه‌های آبیاری در طول کانال با یکدیگر، دارای قدرت پاسخگویی بالاتری به تغییرات سطح آب نسبت به زمان است و سبب می‌شود که نیاز آبگیرها در زمان کوتاه‌تر، با کمترین هدررفت و یکنواخت‌تر در طول کانال اصلی تأمین شود.

که سامانه کنترل پایین دست دارای عملکرد نسبی بهتری نسبت به سامانه کنترل بالادست، به ازای هر چهار شاخص توزیع، بوده است. همچنین برای ارزیابی عملکرد کلی شبکه، با استفاده از روش ترکیب خطی، چهار شاخص عملکرد باهم جمع شدند. مقدار شاخص تجمیع شده و کلی در حالت بهینه و ایده‌ال برابر ۱ است. با توجه به نتایج آورده شده در جدول ۳ و شاخص کلی ارزیابی، سناریوی مربوط به کنترل پایین دست از بهترین و شرایط واقعی و کنونی شبکه دارای بدترین عملکرد در هر دو دوره بهره‌برداری، بوده‌اند. در جدول ۴ درصد حجم آب تأمین شده برای سه آبگیر بخش بالادست، میانی و پایین دست کانال اصلی، به ازای هر دو سامانه آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سامانه کنترل پایین دست در تأمین نیاز



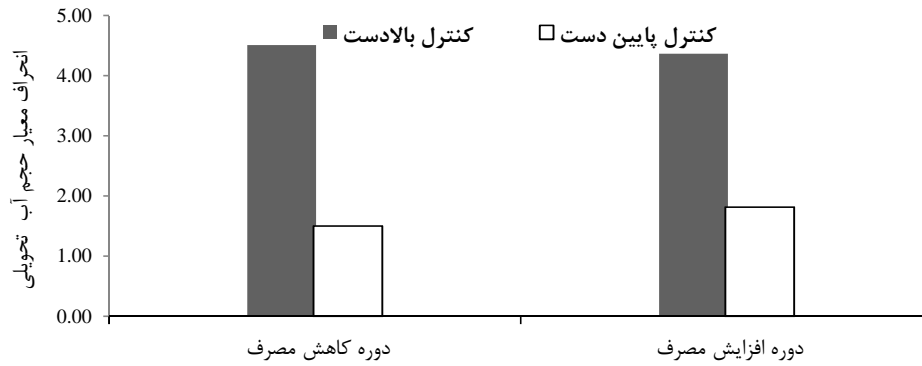
شکل ۶- شاخص اعتمادپذیری در طول کانال اصلی به ازای گزینه (۱) و (۲) بهره‌برداری

جدول ۳- متوسط کل شاخص‌های ارزیابی توزیع در طول دوران بهره‌برداری

شاخص‌های ارزیابی	دوره افزایش مصرف (گزینه ۲ بهره برداری)			دوره کاهش مصرف (گزینه ۱ بهره برداری)		
	کنترل پایین دست	کنترل بالادست	شرایط واقعی و کنونی	کنترل پایین دست	کنترل بالادست	شرایط واقعی و کنونی
(PA) کفایت	۰/۹۹۶	۰/۹۹۴	۰/۸۸۶	۰/۹۹۵	۰/۹۹۴	۰/۸۴۰
(PF) راندمان	۰/۹۹۷	۰/۹۹۵	۰/۸۴۱	۰/۹۹۱	۰/۹۸۶	۰/۸۱۷
(PE) عدالت	۰/۰۰۹	۰/۰۴۶	۰/۴۷۸	۰/۰۱۶	۰/۰۸۰	۰/۵۴۴
(PD) اعتمادپذیری	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۱۳۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۶	۰/۳۳۷
شاخص کلی ارزیابی	۰/۹۸	۰/۸۵۷	۰/۲۱۱	۰/۸۹۳	۰/۴۹۸	۰/۱۸۵

جدول ۴- درصد حجم آب تأمین شده در سه آبگیر ابتدایی، میانی و انتهایی کانال اصلی

	دوره کاهش مصرف			دوره افزایش مصرف		
	آبگیر ۱۵	آبگیر ۸	آبگیر LC	آبگیر LC	آبگیر ۸	آبگیر ۱۵
کنترل بالادست	۸۹/۹	۹۵	۹۸/۹	۹۶	۹۶	۹۹
کنترل پایین دست	۹۹	۹۷/۵	۹۶	۹۷	۹۵/۶	۹۵/۶



شکل ۷- تغییرات حجم آب تحویل داده شده به آبیگرها در طول کانال اصلی

عملکرد نسبی بهتری نسبت به سامانه کنترل بالادست بوده است به طوری که نیاز همه آبیگرهای واقع در طول کانال اصلی را، در مدت زمان کوتاه‌تر و به صورت یکنواخت‌تر تأمین کرده است. در دوره‌های افزایش تقاضا، عملکرد شاخص‌های کیفیت، راندمان، عدالت و اعتمادپذیری توزیع نسبت به دوره کاهش تقاضا که شامل دبی‌های پایین‌تری است، بهتر بوده است.

منابع

۱. سید موسوی س. م. ۱۳۹۱. طراحی و ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی سد دوستی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تهران. ۱۲۰ ص.
۲. محسنی موحد س. و منعم م. ج. ۱۳۸۲. معرفی مدل ICSSDOM برای ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۳. منتظر ع. و پاشازاده ن. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد توزیع آب در شرایط مختلف بهره‌برداری کانال اصلی غرب شبکه آبیاری دز با استفاده از مدل هیدرولیکی CANALMAN. مجله آب و خاک. ۲۵(۳): ۱۲۵-۱۳۹.
۴. منتظر ع. و عیسی‌پور س. ۱۳۸۹. بررسی عملکرد کنترل‌کننده سراسری پایین‌دست PI با منطق ترکیبی پس‌خورد و پیش‌خورد در کانال غربی شبکه آبیاری عقیلی. کنفرانس هیدرولیک ایران. ۷۵-۸۱.

نتیجه‌گیری

در این بررسی از مدل هیدرودینامیکی SOBEK برای ارزیابی عملکرد توزیع آب کانال اصلی شبکه آبیاری کوثر در شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه و همچنین استفاده از سامانه‌های کنترل خودکار بالادست و پایین‌دست به ازای دو گزینه بهره‌برداری، استفاده شد. مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش به صورت زیر هستند:

در شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه، به دلیل تنظیم درجه‌ها به ازای بیشینه دبی در هر دوره بهره‌برداری، شاخص کیفیت در قسمت بالادست شبکه، به ازای هر دو گزینه بهره‌برداری، در حد ضعیفی بوده است. به دلیل وجود سرریز نوک اردکی به عنوان تنظیم‌کننده در بخش انتهایی کانال اصلی و عدم انعطاف‌پذیری لازم این تنظیم‌کننده در برابر تغییرات دبی، شاخص راندمان توزیع در شرایط بهره‌برداری کنونی شبکه در آبیگرهای بخش انتهایی کانال اصلی در حد ضعیفی بوده است. همچنین شاخص‌های عدالت و اعتمادپذیری توزیع به دلیل عدم انعطاف‌پذیری لازم و مناسب تنظیم‌کننده‌های کانال اصلی و آبیگرهای کانال درجه دو در برابر تغییرات دبی، در حد ضعیفی بوده‌اند. شایان ذکر است در گزینه (۲) بهره‌برداری، به دلیل بالاتر بودن دبی عبوری از کانال اصلی، شاخص اعتمادپذیری توزیع بهتر شده و در حد متوسطی بوده است. در هر دو سامانه کنترلی خودکار، به دلیل انعطاف‌پذیری بالای تنظیم‌کننده‌ها و درجه‌های آبیگر در برابر تغییرات و همچنین اثر متقابل بایکدیگر در هر بازه آبیگری، همه شاخص‌های توزیع نسبت به شرایط بهره‌برداری کنونی، در وضعیت بهتر و بسیار مطلوب‌تری قرار داشته‌اند. همچنین سامانه کنترل خودکار پایین‌دست به دلیل انعطاف‌پذیری بالاتر نسبت به تغییرات، دارای

۵. منعم م. ج. نجفی م. ر. و خوشنواز ص. ۱۳۸۶. برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب در کانال‌های آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۳(۱): ۱-۱۱.

۶. منعم م. ج. و کیاپاشا م. ص. ۱۳۸۶. تهیه و آزمون مدل سیستم کنترل بالادست فازی در کانال‌های آبیاری. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

۷. منعم م. ج. و نوری م. ع. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۴(۱): ۷۳-۸۲.

8. Abdelmoaty M. 2014. Improving the hydraulic efficiency of Ibrahemia canal. *Water Science*. 142(27): 57-68.
9. Hashemy M. and Van Overloop P. 2013. Applying decentralized water level difference control for operation of the Dez main canal under water shortage. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 139(1): 1037-1044
10. Molden D. and Gates T. 1990. Performance measures evaluation of irrigation water delivery system. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 116(6): 804-823.
11. Seyed javad M. Mashaal M. and Montazar A. 2013. Evaluation of hydraulic hensitivity indicators for baffle modules (Case Study: Varamin Irrigation and Drainage Network. *Journal of Hydraulic Structure*. 2(1): 33-43.
12. Shahrokhnia M. and Javan M. 2005. Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. *Irrigation and Drainage Systems*. 19(1): 189-206.
13. Tariq J. and Latif M. 2011. Flexibility analysis of irrigation outlet structures using simulation of irrigation canal hydrodynamic model. *Irrig Science*. 29(1): 127-134.
14. Wahlin B. and Zimbelman D. D. 2014. *Canal Automation for Irrigation Systems*. ASCE. No.131, 281 p.
15. WL/Delft Hydraulic. 2000. *Sobek Manualand Technical Refrence*, The Netherlands. 500 p.