



Effect of on time and late operation of canal structures on equitable and sustainable water distribution

Kazem Shahverdi¹ | **Hesam Ghodousi²** | **Farshad Dosti³**

1. Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

E-mail: k.shahverdi@basu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

E-mail: Ghodousi@znu.ac.ir

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

E-mail: farshaddosti@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Jan. 4, 2024

Revised: Feb. 2, 2024

Accepted: Feb. 4, 2024

Published online: May. 2024

Keywords:

E1R1 Canal,

HEC-RAS,

ICSS,

Performance Evaluation.

ABSTRACT

Today, water shortages are a serious problem in most parts of the world. Since Iran is located in a dry and semi-arid climate, the water crisis is one of its most important issue. Therefore, attempts are necessary to improve water efficiency. The main role of irrigation and drainage networks is delivering and distributing irrigation water. Investigations on the performance of water conveyance, distribution, and delivery management in different irrigation networks show that the performance of most irrigation and drainage networks is inadequate. In this research, the effect of on-time and late operation on canal performance was examined using the E1R1 canal of the Dez network. To this end, different scenarios were specified, and the HEC-RAS and ICSS hydrodynamic models were employed to simulate the canal. The results revealed that the performance of the E1R1 canal improves remarkably as the operation is done on time rather than late. In different scenarios, the equity index increased from 0.4, 0.71, 0.32, and 0.78 to 0.07, 0.01, 0.09, and 0.01, respectively, ultimately reaching the desired value of zero. The same results were obtained for other performance indices, including adequacy, efficiency, and dependability. This shows the importance of on-time operation in improving canal performance.

Cite this article: Shahverdi, K., Ghodousi, H., & Dosti, F. (2024). Effect of on time and late operation of canal structures for equitable and sustainable water distribution. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (3), 467-481.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370600.669637>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370600.669637>



اثر بهره‌برداری به‌هنگام و دیر هنگام سازه‌های کانال بر توزیع عادلانه و پایدار آب

کاظم شاهوردی^۱ | حسام قدوسی^۲ | فرشاد دوستی^۳۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: k.shahverdi@basu.ac.ir۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: Ghodousi@znu.ac.ir۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: farshaddosti@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	امروزه کمبود آب یک مشکل جدی در بیشتر نقاط جهان محسوب می‌شود. با توجه به اینکه کشور ایران نیز در اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است مسئله بحران آب یکی از عمده‌ترین مسائل کشور می‌باشد. لذا انجام اقداماتی در راستای ارتقاء بهره‌وری آب، امری ضروری است. شبکه‌های آبیاری و زهکشی، وظیفه اصلی تحویل و توزیع آب آبیاری را بر عهده دارند. بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با عملکرد مدیریت انتقال، توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری مختلف کشور نشان می‌دهد که عملکرد اکثر شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مطلوب نیست. در این پژوهش، جهت ارزیابی عملکرد کانال‌های آبیاری، اثر بهره‌برداری به‌هنگام در مقابل بهره‌برداری دیر هنگام در کانال آبیاری EIR1 از شبکه آبیاری دز در استان خوزستان با تعریف گزینه‌های مختلف بهره‌برداری با استفاده از مدل‌های HEC-RAS و ICSS بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد کانال EIR1 با انجام عملیات بهره‌برداری به‌هنگام نسبت به بهره‌برداری دیر هنگام به میزان قابل توجهی بهبود یافته است. به طوری که مقدار شاخص عدالت از ۰/۴۰، ۰/۷۱، ۰/۳۲ و ۰/۷۸ در گزینه‌های مختلف به ترتیب به ۰/۰۷، ۰/۰۱، ۰/۰۹ و ۰/۰۱ کاهش یافته است و به مقدار مطلوب صفر نزدیکتر شده است. نتایج مشابهی نیز برای سایر شاخص‌های ارزیابی عملکرد مانند کفایت، راندمان و پایداری تحویل حاصل شده است که بیانگر اهمیت بهره‌برداری به‌هنگام در بهبود عملکرد کانال می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵	
تاریخ انتشار: خرداد ۱۴۰۳	
واژه‌های کلیدی:	
ارزیابی عملکرد،	
کانال EIR1	
HEC-RAS	
ICSS	

استناد: شاهوردی، کاظم؛ قدوسی، حسام؛ و دوستی، فرشاد (۱۴۰۲). اثر بهره‌برداری به‌هنگام و دیر هنگام سازه‌های کانال بر توزیع عادلانه و پایدار آب، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۳)، ۴۸۱-۴۶۷. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370600.669637>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370600.669637>

مقدمه

از آنجا که کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است، مسئله بحران آب یکی از عمده‌ترین مسائل کشور می‌باشد. لذا ارتقاء بهره‌وری آب، امری ضروری است که باید مورد توجه جدی قرار گیرد. دستیابی به هدف مذکور به‌جز استفاده بهینه از آب موجود در بخش‌های مختلف به‌خصوص در بخش کشاورزی، به عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب، میسر نخواهد بود. شبکه‌های آبیاری به عنوان یکی از زیرساخت‌های مهم در کشاورزی، وظیفه اصلی تحویل و توزیع آب را بر عهده دارند. بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با عملکرد مدیریت انتقال، توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری مختلف کشور نشان می‌دهد که بیشتر شبکه‌های آبیاری از نظر توزیع آب و راندمان تحویل و همچنین از لحاظ خروجی و تولید محصول، عملکرد قابل قبولی ندارند. بنابراین، بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (کاکوئی و همکاران، ۱۳۹۶).

راه کارهای مختلفی برای ارزیابی عملکرد کانال‌های آبیاری وجود دارد که شامل روش‌های ارزیابی کیفی چارچوبی و استفاده از شاخص‌های محاسبه عملکرد می‌باشد. در روش اول، مقایسه عملکرد واقعی سیستم با آنچه که در ابتدا برنامه‌ریزی شده بود یا مقایسه عملکرد یک سیستم با سیستم موفق مشابه است. هرچند روش‌های کیفی به مطرح کردن تئوری‌های ارزیابی می‌پردازد ولی انتخاب شاخص‌های مبتنی بر آن‌ها، عدم توجه کافی به اهداف و ارائه نکردن یک چارچوب کمی مشخص برای دیدگاه‌های مختلف، مهم‌ترین نارسایی‌های این روش‌ها است. به همین دلیل استفاده از شاخص‌های محاسبه عملکرد روش بهتری می‌باشد. قدم اول در محاسبه مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد، شبیه‌سازی هیدرودینامیکی کانال مورد نظر می‌باشد (زارع و حیاتی، ۱۳۹۶).

مطالعه‌ای با هدف اندازه‌گیری تفاوت بازده نهایی آب در اراضی سنتی و اراضی شبکه آبیاری سفیدرود در استان گیلان انجام گرفته تا اثر ایجاد شبکه آبیاری بر ارزش اقتصادی آب آبیاری ارزیابی شود. به این منظور، با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، قیمت آب به تفکیک نواحی هفت‌گانه آبیاری استان گیلان، شامل چهار ناحیه خارج شبکه و سه ناحیه داخل شبکه سفیدرود برآورد شد. نتایج این بررسی نشان داد که حداکثر ارزش اقتصادی آب به ازای هر متر مکعب، ۳۰۹۶ ریال مربوط به ناحیه آبیاری فومنات داخل شبکه و کمترین ارزش، ۱۵۹۸ ریال به ازای هر متر مکعب مربوط به ناحیه آبیاری بالادست سد سنگر خارج شبکه است. با توجه به وزن سطح زیر کشت هر ناحیه، متوسط بازده نهایی هر متر مکعب آب در نواحی داخل و خارج شبکه به ترتیب ۲۶۲۲ و ۲۲۱۵ ریال بوده است. به عبارتی ایجاد شبکه آبیاری و زهکشی فقط حدود ۴۰۰ ریال به ازای هر متر مکعب آب مصرفی فایده خالص اضافی ایجاد می‌کند. براساس نتایج به دست آمده از این مطالعه تأمین هر واحد آب اضافی، ارزش‌های متفاوتی در نواحی آبیاری استان گیلان ایجاد می‌کند که نشان دهنده لزوم توجه سیاست‌گذاران به الگوی مناسب تخصیص آب است. همچنین پیشنهاد شد که در راستای قانون هدفمندی یارانه‌ها و متناسب با ارزش‌های به دست آمده، در یک برنامه زمانی بلند مدت، تعرفه آب بهای کشاورزی در منطقه افزایش یابد (شاهوردی و تهامی‌پور، ۱۳۹۴). این مطالعه بیانگر ارزش و نقش شبکه آبیاری از نظر اقتصادی و فنی می‌باشد.

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها با مدل‌های هیدرودینامیکی مختلف انجام شده است. یکی از بهترین مدل‌های هیدرودینامیکی در این زمینه، مدل HEC-RAS می‌باشد که قادر است آنالیز جریان‌های ماندگار و غیرماندگار، جریان‌های زیربحرانی و فوق بحرانی را انجام دهد (Daneshfaraz et al. 2019). مومنی و مسعودیان (۱۳۹۷) نیز در مطالعه‌ای تحت عنوان بهبود عملکرد سیستم تحویل آب کانال‌های آبیاری بین مزارع شالیزاری بر اساس شبیه‌سازی جریان در مدل HEC-RAS، به این نتیجه رسیدند که بسیاری از کشاورزان با شرایط موجود بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری مشکلات اساسی دارند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که به دلیل شرایط نامناسب بهره‌برداری و نگهداری از کانال‌های خاکی در سیستم آبیاری فعلی، شاخص‌های کفایت، پایداری و عدالت تحویل به ترتیب برابر با ۰/۳۵، ۰/۹۸ و ۱/۱۸ است که با مقادیر ایده‌آل فاصله زیادی دارند. پس از پوشش بتنی آنها، اجرای آبیگرهای لوله‌ای و استفاده از سرریزهای کنترل جریان، علاوه بر ارتقاء راندمان انتقال، شاخص‌های تحویل نیز افزایش قابل توجهی داشته است به صورتی که شاخص کفایت، پایداری و عدالت به ترتیب به ۰/۹۳، ۰/۱۴ و ۰/۱۸ رسیده است. در پژوهشی نیز از مدل شبکه بیزین هیبرید (HBN: Hybrid Bayesian Network) در توسعه مدل برای شبیه‌سازی توزیع و تحلیل هیدرولیکی آب کشاورزی استفاده شد. نتایج مطالعه، عملکرد مناسب این مدل را نشان داد. در پژوهش مذکور از مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی کانال مورد مطالعه (کانال رودشت) استفاده شد (Kaghazchi et al. 2019).

قدوسی و داداشی (۱۳۹۵) به ارزیابی مدل ICSS، به عنوان یک مدل هیدرودینامیک کاربردی دیگر، برای شبیه‌سازی جریان دو کانال درجه یک و دو از شبکه آبیاری قوریچای پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشانگر عملکرد مناسب مدل ICSS در شبیه‌سازی

عمق و دبی بود. در مطالعه ساوری و همکاران که در سال ۲۰۱۶ انجام شد، دو روش یادگیری سارسای فازی و روش سنتی در بهره‌برداری از کانال عقیلی شرقی مقایسه شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که روش یادگیری سارسای فازی از دقت بالاتری برخوردار است و قادر است در شرایط کم‌آبی، آب را به صورت منصفانه بین مصرف‌کنندگان توزیع کند (Savari et al. 2016). در تحقیق دیگری، دو روش یادگیری سارسای فازی و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها، در برنامه‌ریزی توزیع آب در شرایط کم‌آبی با هم مقایسه شد. نتایج نشان داد که دو روش فوق، برای شرایط نرمال با شاخص‌های بالا و قابل قبول، عملکرد تقریباً یکسانی دارند. با این حال، روش اول در شرایط کمبود آب عملکرد بهتری دارد (Omidzade et al. 2020).

برای به‌دست آوردن مقادیر بهینه ضرایب کنترلر کلاسیک در قطعه‌های یک و دو کانال اصلی از شبکه آبیاری و زهکشی البرز در استان مازندران با طول ۱۲/۶، از روش بهینه‌سازی تکامل تصادفی جوامع استفاده شد. در این مطالعه سیستم‌های کنترل بالادست و پائین‌دست مورد مطالعه قرار گرفت و به ترتیب سطح آب در بالادست و پائین‌دست سازه آب‌بند کنترل شد. مدل‌های کنترلر کلاسیک و تکامل تصادفی جوامع هر دو در محیط ICSS کدنویسی و پیاده‌سازی شد. مدل تهیه‌شده قادر بود سازه‌های کنترل را با دقت مناسب کنترل کند به‌طوری‌که حداکثر خطای عمق از مقدار عمق هدف برابر با ۱۰ سانتیمتر بود که با توجه به مشخصات کانال خطای قابل قبولی است (کاکویی و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیق دیگری، عملکرد کانال اصلی واحد عمرانی شماره یک شبکه آبیاری تجن مورد ارزیابی قرار گرفت (مددی و همکاران، ۱۳۹۳).

مدل اقتصادی ارزیابی آب کشاورزی در مناطق خشک با تلفیق مدل بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری، ICSS، با مدل اقتصادی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت توسعه یافت. نتایج ارزیابی با مدل توسعه‌یافته نشان داد که در وضعیت موجود ۷۱ درصد و ۲۲ درصد آب مورد نیاز کشاورزان به ترتیب در شرایط نرمال و کمبود آب تامین می‌شود. با بکارگیری مدل توسعه‌یافته در تحقیق مذکور، مقدار آب مصرفی کشاورزان ۱۴/۳ درصد کاهش یافت. در این تحقیق نیز، مدل برنامه‌ریزی ریاضی در داخل مدل ICSS که یک مدل متن‌باز است، کدنویسی و پیاده‌سازی شد (Khiabani et al., 2021). توسعه درجه سالونی در محیط ICSS موضوع تحقیق دیگری بود که در آن معادلات هیدرولیکی درجه سالونی در ICSS کدنویسی و پیاده‌سازی شد و در کانال دز مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط مرزی سازه مذکور به‌صورت زیربرنامه به ICSS اضافه شد که در نتیجه آن امکان مدل‌سازی جریان ماندگار و غیرماندگار درجه سالونی فراهم شد. نتایج ارزیابی با استفاده از مدل مذکور نشان داد که حداکثر خطای عمق برابر با شش درصد می‌باشد (Naghaei and Monem 2016). همانطور که مشاهده شد مدل ICSS به عنوان مدل هیدرودینامیکی شبیه‌ساز در تحقیقات مختلفی استفاده شده است که در این مطالعه به برخی از آنها اشاره شده است.

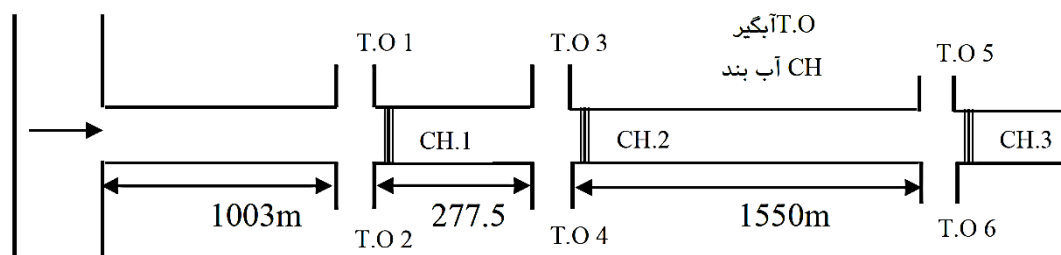
با توجه به اینکه کانال‌های آبیاری در کشور عمدتاً سنتی بوده و توسط میراب بهره‌برداری می‌شوند، تمرکز اصلی بر روی تنظیم صحیح سازه‌ها می‌باشد و زمان صحیح تنظیم سازه‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است که موضوع تحقیق حاضر و از جنبه‌های نوع‌آوری آن است که باید به‌صورت ویژه مدنظر قرار بگیرد. در این راستا، بهره‌برداری به‌هنگام و دیر هنگام مورد توجه قرار گرفت. لازم به ذکر است که منظور از بهره‌برداری به‌هنگام، بهره‌برداری در زمان صحیح است که منجر به هدررفت کمتر آب می‌شود و منظور از بهره‌برداری دیر هنگام، بهره‌برداری با تاخیر می‌باشد که منجر به هدررفت قابل ملاحظه آب می‌شود.

در این تحقیق، اثر زمان بهره‌برداری بر عملکرد کانال E1R1 از شبکه آبیاری دز ارزیابی شد. برای این منظور، سه روش مختلف محاسبه زمان بهره‌برداری ارائه شد و روش بهتر معرفی گردید. همچنین، اثر انجام بهره‌برداری در زمان تعیین شده (بهره‌برداری به‌هنگام)، بررسی شد و با حالت بهره‌برداری دیر هنگام با تعریف گزینه‌های مختلف افزایش دبی (موج مثبت) و کاهش دبی (موج منفی) مقایسه شد. برای این منظور، کانال مذکور در محیط مدل هیدرودینامیکی با استفاده از داده‌های هیدرولیکی و هندسی مدل‌سازی شد.

مواد و روش‌ها

یکی از بزرگترین شبکه‌های آبیاری کشور با حدود ۱۲۵ هزار هکتار سطح زیرکشت خالص، شبکه آبیاری دز است که در شمال خوزستان قرار دارد. این شبکه با آبیاری اراضی زراعی شهرهای دزفول، اندیمشک و شوش در شکوفایی کشاورزی منطقه شمال خوزستان نقشی اساسی داشته است. احداث این شبکه باعث رونق اقتصادی چهار شرکت کشت و صنعت هفت‌تپه، کارون، شهید رجایی، شهید بهشتی و حدود ۱۸ هزار کشاورز نیز شده است. رودخانه دز که از ارتفاعات جنوب غربی اراک، بروجرد، الیگودرز و کوه‌های بلند بختیاری سرچشمه می‌گیرد، منبع تامین آب شبکه دز است. این شبکه دارای سه کانال اصلی سیلی، غرب و شرق می‌باشد که در این تحقیق از کانال E1R1

که یکی از انشعابات کانال اصلی شرقی (E1) می‌باشد به منظور شبیه سازی استفاده شده است. طول این کانال ۲۸۳۰ متر بوده و دارای سه سازه آب‌بند از نوع سرریز مستطیلی و شش سازه آبیگر کشوئی مستطیلی می‌باشد. شیب کانال در سه قسمت مختلف نیز متفاوت می‌باشد. سطح مقطع کانال در تمام طول مسیر دوزنقه‌ای با شیب جانبی ۱/۵ بوده و ظرفیت حداکثر آن در ابتدای کانال برابر با ۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (قدوسی و میرزایی، ۱۳۹۷). طرح شماتیک کانال E1R1 در شکل ۱ و تصویر سازه‌های آب‌بند و آبیگر در شکل ۲ نشان داده شده است (منعم و قدوسی، ۱۳۹۳).



شکل ۱. طرح شماتیک کانال E1R1



شکل ۲. نمایی از کانال E1R1 و سازه‌های آب‌بند و آبیگر موجود در آن

مدل‌های شبیه‌سازی

مدل HEC-RAS

یکی از پرکاربردترین مدل‌های هیدرولیکی مربوط به کانال‌های باز مدل HEC-RAS است که در سال ۱۹۹۷ اولین نسخه آن منتشر شد که در آن زمان قادر به شبیه سازی جریان غیرماندگار نبود. در سال ۲۰۰۱ روندیابی دینامیکی به آن اضافه شد و در آخرین نسخه آن، قابلیت تحلیل فرسایش و کیفیت نیز به آن اضافه شده است. این مدل جریان را در شبکه پیچیده‌ای از آبراهه‌های طبیعی یا مصنوعی شبیه‌سازی می‌کند. پل‌ها، کالورت‌ها، موانع، بندها و یا اصلاح مسیر رودخانه را نیز می‌توان در شبیه‌سازی با HEC-RAS در نظر گرفت. روند اصلی محاسبات در HEC-RAS بر پایه معادله انرژی یک‌بعدی استوار است. معادله مومنتوم زمانی استفاده می‌شود که جریان متغیر سریع باشد. افت‌ها نیز بر اساس معادله مانینگ محاسبه می‌شوند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). در حالت ماندگار با استفاده از روش گام به گام استاندارد، پروفیل سطح آب را با کاربرد معادله انرژی محاسبه می‌کند. شبیه‌سازی جریان غیرماندگار نیز بر اساس حل تفاضل محدود ضمنی معادلات سنت-ونانت انجام می‌شود. روند محاسبات در مدل HEC-RAS بر این اساس است که متغیرهای دبی و زمان، پروفیل سطح آب را برای هر یک از مقاطع محاسبه کرده و با استفاده از آن در هر یک از مقاطع عرضی شیب انرژی عمق، سرعت و سایر پارامترها را محاسبه می‌کند. این محاسبات در گام زمانی بعدی تکرار شده و تا اتمام زمان شبیه‌سازی همین روند تکرار خواهد شد (مرادی نژاد و حسینی، ۱۴۰۰).

در این تحقیق از زیربرنامه غیرماندگار (unsteady flow data) بر انجام محاسبات استفاده شد که در آن شرایط مرزی در ورودی کانال، خروجی کانال و سازه‌ها تعریف می‌شود. همچنین، شرایط اولیه نیز در این زیربرنامه تعریف می‌شود. هیدروگراف جریان به عنوان شرط مرزی ورودی، شیب نرمال به عنوان شرط مرزی خروجی و تغییرات بازشدگی به عنوان شروط مرزی در سازه‌های آب‌بندها و آبیگرها



به مدل معرفی شد. در این حالت، تغییرات بازشدگی سازه‌ها (ارتفاع سرریزها و بازشدگی دریچه‌ها) توسط کاربر انجام می‌گرفت که همان کار میراب در واقعیت است. محاسبه مقدار بازشدگی سازه‌ها نیز با توجه به خصوصیات هندسی و بر اساس شرایط جریان ماندگار به صورت دستی انجام گرفته و در مدل وارد می‌شد. برای تعریف هندسه کانال و سازه‌ها از زیربرنامه داده‌های هندسی (geometry data) استفاده شد. با استفاده از این زیربرنامه، می‌توان مقاطع مختلف کانال را معرفی کرد و سپس جهت افزایش دقت، بین مقاطع مختلف میان‌یابی کرده و تعداد مقاطع کانال را افزایش داد. از ماژول‌های inline structure و lateral structure نیز می‌توان به ترتیب برای تعریف سازه‌های کنترل و آبگیر استفاده کرد. در این ماژول‌ها هندسه سازه‌ها ساخته شده و مقادیر ضریب دبی نیز معرفی می‌شود.

ICSS مدل

در سال ۱۹۸۵ مدل ICSS، برای بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع و انتقال آب آبیاری، شبیه‌سازی یک بعدی هیدرولوژی و هیدرولیک ارائه شد. مدل ICSS می‌تواند شرایط مختلف بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با انواع شکل مقطع کانال، همراه با جریان‌های گسترده ورودی و خروجی و طیف قابل توجهی از سازه‌ها، جریان ماندگار و غیرماندگار را شبیه‌سازی کند. در این مدل براساس الگوی چهارنقطه‌ای وزنی با استفاده از روش تفاضل محدود، معادلات سنت و نانت حل می‌شوند. برای ارزیابی دقت این مدل، در برنامه ارزیابی مدل‌های ریاضی-هیدرولیکی اطلاعات خروجی مدل از سوی کمیته کاری مدل‌های ریاضی جامعه مهندسين عمران کانادا به طور دقیق بررسی شده و نتایج قابل قبولی حاصل شده است. سه فایل اطلاعات ورودی که شامل فایل‌های RCHN، ICSS4.CFG و ICSS4.REP است قبل از انجام شبیه‌سازی باید تکمیل شوند. RCHN از مهم‌ترین فایل‌های ورودی است که در آن اطلاعات فیزیکی و هیدرولیکی مورد نیاز برای شبیه‌سازی تعداد کانال‌ها، تعداد بازه‌ها در هر کانال، گام زمانی برای محاسبات هیدرولیکی، تعداد گره‌های بازه و... وارد می‌شود (Shahverdi 2023). این مدل دارای یک هسته مرکزی است که شرایط مرزی و سازه‌های مختلف با استفاده از زیربرنامه‌هایی با آن تلفیق می‌شوند. با استفاده از اطلاعات هندسی و هیدرولیکی کانال EIR1 شبکه آبیاری دز، مدل‌های هیدرولیکی HEC-RAS و ICSS تهیه شدند. لازم به ذکر است که عمق هدف در بالادست سازه‌های آب‌بند برابر با ۱/۲ متر است. با داشتن داده‌های واقعی عمق، دبی و بازشدگی دریچه‌ها، ضرایب دبی در هر سازه کالیبره شد به‌طوریکه خطای تغییرات سطح آب واقعی با شبیه‌سازی شده در آب‌بندها و خطای تغییرات دبی واقعی با شبیه‌سازی شده در آبگیرها حداقل شود. ذکر این نکته ضروری است که انجام کالیبراسیون ICSS در تحقیقات قبلی انجام شده است (شاهوردی و همکاران، ۱۳۹۴).

گزینه‌های شبیه‌سازی

در شبکه‌های آبیاری به توجه به کاهش یا افزایش نیاز کانال پایین‌دست و آبگیرهای کانال، با گذشت زمان دبی ورودی به کانال تغییر می‌کند. این تغییرات باعث به وجود آمدن امواج مثبت و منفی در کانال می‌شود. وقتی که دبی ورودی به کانال افزایش یابد، موج مثبت پایین‌دست ایجاد می‌شود و موج منفی پایین‌دست زمانی ایجاد می‌شود که دبی ورودی به کانال کاهش یابد. در این پژوهش، شش گزینه مختلف از افزایش و کاهش دبی که باعث ایجاد امواج مثبت و منفی می‌شوند، مورد آزمون قرار گرفت که در جدول ۱ ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است که عمق هدف در کانال مورد مطالعه که همان عمق طراحی کانال است برابر با ۱/۲ متر است و آبگیرهای یک و دو نیز در همه گزینه‌ها بسته می‌باشند. همچنین، جهت مطالعه اثر بهره‌برداری بر روی شاخص‌های ارزیابی، در برخی گزینه‌ها هیچگونه بهره‌برداری صورت نمی‌گیرد.

جدول ۱. گزینه‌های بهره‌برداری.

گزینه	موج	تغییر دبی در ورودی	تغییر دبی در آبگیر ۳	تغییر دبی در آبگیر ۴	تغییر دبی در آبگیر ۵	تغییر دبی در آبگیر ۶
۱	مثبت	۱/۲→۱/۰	.	.	.	.
۲	منفی	۱/۲→۱/۵	.	.	.	.
۳	مثبت	۱/۲→۱/۰	.	.	۰/۲→۰/۱	۰/۲→۰/۱
۴	منفی	۱/۲→۱/۵	.	.	۰/۰۵→۰/۲	۰/۰۵→۰/۲
۵	مثبت	۱/۲→۱/۵	۰/۱→۰/۱	۰/۱→۰/۱	۰/۲→۰/۱	۰/۲→۰/۱
۶	منفی	۱/۲→۱/۵	۰/۱→۰/۱	۰/۱→۰/۱	۰/۰۵→۰/۲	۰/۰۵→۰/۲

همانطور که از جدول (۱) نیز مشاهده می‌شود در مجموع شش گزینه بهره‌برداری در نظر شده است که در گزینه‌های با شماره فرد، موج مثبت همزمان با افزایش دبی در سراب کانال از یک متر مکعب به $1/2$ مترمکعب بر ثانیه ($1.0 \rightarrow 1.2$) ایجاد شده است. در گزینه‌های با شماره زوج نیز موج منفی در کانال با کاهش دبی از یک $1/5$ متر مکعب بر ثانیه به $1/2$ مترمکعب بر ثانیه ($1.5 \rightarrow 1.2$) ایجاد شده است. در گزینه‌های یک و دو، تمامی دریچه‌های آبگیر بسته می‌باشند.

در سایر گزینه‌ها، آب‌بندها نیز بهره‌برداری می‌شوند. در گزینه سوم، آبگیرهای سه و چهار بسته هستند و آبگیرهای پنج و شش با رسیدن ۹۰ درصد موج کامل مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند تا دبی $0/2$ متر مکعب بر ثانیه را تحویل دهند. در آب‌بند سوم چون مقدار خروجی از آبگیرها از $0/1$ به $0/2$ متر مکعب بر ثانیه تغییر می‌کنند، برآیند دبی خروجی از آن تغییر نکرده و نیاز به تنظیم آن نیست. گزینه چهارم مشابه گزینه سوم است با این تفاوت که موج منفی در کانال ایجاد می‌شود و مقادیر دبی تحویلی متفاوت می‌باشد که در جدول (۱) نیز قابل مشاهده است.

در گزینه پنجم، در ابتدا دبی ورودی به کانال یک متر مکعب بر ثانیه است، آبگیرهای یک و دو بسته و آبگیرهای سه تا شش با دبی خروجی $0/1$ متر مکعب بر ثانیه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. سپس با از افزایش نیاز پایین دست دبی ورودی به $1/2$ متر مکعب بر ثانیه افزایش می‌یابد و دبی آبگیرهای پنج و شش از $0/1$ متر مکعب بر ثانیه به $0/2$ متر مکعب بر ثانیه افزایش می‌یابد. گزینه شش مشابه گزینه پنج بوده و فقط تغییرات دبی متفاوت می‌باشد که در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد. لازم به ذکر است که در گزینه‌های سوم تا ششم، بهره‌برداری از آب‌بندها زمانی انجام می‌شود که ۹۰ درصد موج کامل به آنها رسیده باشد. لازم به ذکر است که انتخاب این گزینه‌ها برای ایجاد تغییرات قابل توجه به صورت امواج مثبت و منفی و همچنین بر اساس مطالعات قبلی بوده است.

زمان بهره‌برداری

زمان صحیح بهره‌برداری یا بهره‌برداری به‌نگام زمان تنظیم به‌نگام، زمانی است که منجر به کاهش هدررفت آب می‌شود به‌طوریکه شاخص‌های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری به مقادیر مطلوب خود برسند. در غیر اینصورت، مقادیر شاخص‌ها از مقادیر مطلوب دور شده و عملکرد کانال ضعیف خواهد شد. این زمان، تحت عنوان زمان دیرنگام نام‌گذاری شد. به منظور انجام بهره‌برداری لازم است ابتدا زمان رسیدن حداکثر (پیک) موج تعیین شود و تأثیر موج‌های حاصل از افزایش و کاهش دبی ورودی به کانال بررسی شود. هدف از تعریف گزینه‌های یک و دو برآورد زمان رسیدن امواج مثبت (گزینه یک) و منفی (گزینه دو) به محل آبگیرها می‌باشد و به همین دلیل دریچه‌های آب‌بند بهره‌برداری نمی‌شوند تا تأخیری در زمان حرکت امواج نداشته باشند. فاصله زمانی رسیدن آثار موج به محل آب‌بندها تا زمان رسیدن موج کامل برابر با زمان تأخیر جریان می‌باشد. این زمان برای درصدهای مختلفی از موج کامل مانند ۱۰ درصد، ۲۰ درصد، ۹۰ درصد و ۱۰۰ درصد قابل محاسبه است. به عنوان مثال، ۹۰ درصد موج زمانی به محل آب‌بند مورد نظر رسیده است که ارتفاع موج برابر با ۹۰ درصد حداکثر ارتفاع موج باشد. برای محاسبه زمان مذکور، عملیات بهره‌برداری در سازه آب‌بند انجام نمی‌شود. در این تحقیق، علاوه بر زمان رسیدن ۹۰ درصد موج، زمان رسیدن یک موتورسیکلت با سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت (Savari et al. 2016)، معادل حرکت میراب در امتداد کانال که بر اساس مصاحبه با میراب‌ها انتخاب شده است، و زمان رسیدن موج با سرعت $1/5$ متر بر ثانیه (معمولاً در طراحی کانال‌ها به عنوان سرعت طراحی استفاده می‌شود) نیز بررسی شد. در دو گزینه اخیر، پس از آنکه میراب به سازه مورد نظر می‌رسد حدود پنج دقیقه نیز زمان نیاز دارد تا تنظیم مورد نظر را انجام دهد (شاهوردی، ۱۴۰۱).

بر این اساس سه حالت ۱- زمان رسیدن ۹۰ درصد موج ۲- زمان رسیدن موتورسیکلت با سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت و ۳- زمان رسیدن جریان آب با سرعت $1/5$ متر بر ثانیه بررسی شد. در روش اول، با بسته نگه داشتن تمام آبگیرها در دو حالت افزایشی و کاهش، شبیه‌سازی جریان انجام شد و با بررسی نتایج، زمان تأخیر جریان محاسبه گردید. بدین معنی که فاصله زمانی بین رسیدن آثار موج به آب‌بند تا زمان رسیدن حداکثر موج محاسبه شد. برای موج مثبت، دبی اولیه یک مترمکعب بر ثانیه بوده که به $1/2$ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت. برای موج منفی نیز، دبی اولیه $1/5$ مترمکعب بر ثانیه بوده که به $1/2$ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافت.

شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های ارزیابی عملکرد استاندارد برای تفکیک مسائل مدیریتی و سیستم فیزیکی انتقال و توزیع تعاریف کمی در بهره‌برداری کانال ارائه شده‌اند. بدون بعد بودن و سادگی اندازه‌گیری از مهمترین ویژگی‌های این شاخص‌ها هستند. در این پژوهش، برای ارزیابی عملکرد توزیع آب در کانال از شاخص‌های مدیریتی عملکرد شامل شاخص‌های کفایت تحویل (MP_A)، راندمان تحویل (MP_F)، پایداری یا

اعتمادپذیری زمانی تحویل (MPD) و شاخص عدالت تحویل (MPE) استفاده شد. شاخص کفایت تحویل معیاری است برای ارزیابی اینکه تا چه میزان آب تحویل شده برای تأمین نیاز گیاه کافی بوده است. شاخص راندمان تحویل معیاری برای ارزیابی میزان حفظ منابع آبی است و نشان می‌دهد که تحویل آب مازاد بر مصرف وجود دارد یا خیر. شاخص پایداری یا اعتمادپذیری زمان تحویل شاخص ارزیابی حفظ یکنواختی نسبت مقدار آب تحویلی به مقدار آب مورد نیاز در طول دوره تحویل است. شاخص عدالت تحویل نیز شاخص ارزیابی میزان عادلانه بودن توزیع آب است (Shahverdi and Maestre 2022). روابط محاسباتی این شاخص‌ها در ادامه تعریف شده‌اند (Molden and Gates, 1990):

$$MPA = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{M} \sum_M (PA), \begin{cases} PA = \frac{QD}{QR} & IF \ QR > QD \\ PA = 1 & IF \ 1 \leq \frac{QD}{QR} \end{cases} \quad \text{۱- کفایت تحویل:}$$

$$MPF = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{M} \sum_M (PF), \begin{cases} PF = \frac{QR}{QD} & IF \ QR \leq QD \\ PF = 1 & IF \ \frac{QR}{QD} > 1 \end{cases} \quad \text{۲- راندمان تحویل:}$$

$$MPE = \frac{1}{T} \sum CV_N \left(\frac{QR}{QD} \right) \quad \text{۳- عدالت در تحویل:}$$

$$MPD = \frac{1}{N} \sum CV_T \left(\frac{QR}{QD} \right) \quad \text{۴- پایداری (قابلیت اطمینان) در تحویل:}$$

در روابط فوق، QR دبی مورد نیاز درخواست شده یا مورد تقاضای اراضی پائین دست هر دریاچه آبرگیر، Qd دبی واقعی تحویلی به هر دریاچه آبرگیر، N تعداد دریاچه‌های آبرگیر و T تعداد گام‌های زمانی مناسب در یک دوره تحویل است که برابر با نسبت طول دوره بهره‌برداری به طول گام زمانی محاسبات هیدرولیکی می‌باشد. عبارت $CV_N \left(\frac{Qd}{QR} \right)$ برابر با انحراف معیار نسبت $\frac{Qd}{QR}$ تقسیم بر متوسط مقادیر $\frac{Qd}{QR}$ در طول زمان برای یک آبرگیر که تحت عنوان ضریب تغییرات زمانی کفایت نامیده شده است. $CV_T \left(\frac{Qd}{QR} \right)$ نیز عبارتست از انحراف معیار نسبت $\frac{Qd}{QR}$ برای تک تک آبرگیرهای موجود در طول کانال در یک گام زمانی تقسیم بر متوسط مقادیر $\frac{Qd}{QR}$ که تحت عنوان ضریب تغییرات مکانی کفایت نامیده شده است. مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان برابر با یک و شاخص عدالت و پایداری برابر با صفر می‌باشد.

نتایج و بحث

بر اساس گزینه‌هایی که تشریح شد، شبیه‌سازی‌ها در دو حالت بهره‌برداری به‌هنگام و بهره‌برداری دیر هنگام با مدل HEC-RAS انجام گردید. سپس، تأثیر آن بر عملکرد کانال با استفاده از شاخص‌های ارزیابی بررسی شد.

نتایج زمان تنظیم سازه‌ها

نتایج نشان داد که بین روش اول با دو روش دیگر اختلاف قابل توجهی وجود دارد. زمان تنظیم آب‌بندهای ۱، ۲ و ۳ در روش دوم به ترتیب برابر با ۰/۱۲، ۰/۲۱ و ۰/۳۴ ساعت و در روش سوم ۰/۳۴، ۰/۴۹ و ۰/۹۶ ساعت است. در روش اول، کمترین زمان برابر با ۲ ساعت است. در هر قسمت از کانال، بین زمان رسیدن آثار موج و حداکثر آن زمان قابل توجهی وجود دارد که در این تحقیق، تا حدود ۱۳ ساعت نیز حاصل شد. علت آن نیز آنست که بعد از انجام تنظیم، ابتدا تغییر در عمق و دبی سریع اتفاق می‌افتد اما پس از آن تغییرات کمتر می‌شود که باعث طولانی‌تر شدن تغییرات و رسیدن به حداکثر موج می‌شود. بنابراین، در نظر گرفتن ۹۰ درصد رسیدن موج برای انجام تنظیم چندان درست نمی‌باشد. ضمن اینکه نتایج نشان داد که انجام تنظیم با استفاده از موتورسیکلت نتیجه مطلوبی دارد. دلیل این موضوع اینست که به علت تنظیم نشدن سازه‌ها، زمان زیادی نیاز است تا ۹۰ درصد موج به محل سازه برسد؛ در نتیجه بهره‌برداری با تأخیر صورت می‌گیرد. در صورتی که زمان حرکت موتورسیکلت سریع‌تر بوده و با تنظیم به‌هنگام سازه‌ها، برهم‌کنش جریان بین بازه‌های مختلف با سرعت بیشتر انجام می‌شود.

مقدار تنظیم تمام دریاچه‌ها در شرایط پایدار اولیه و ثانویه با توجه به زمان تنظیم در جدول ۳ ارائه شده است. این مقادیر با توجه به

شرایط پایدار اولیه و ثانویه و با توجه به مقدار دبی عبوری از دریچه‌ها محاسبه شده است. در شرایط پایدار ثانویه، نیاز به تنظیم آب‌بند شماره سه نیست، زیرا هر گونه تغییرات دبی در آبیگرهای پنج و شش اتفاق می‌افتد و با تنظیم این آبیگرها، می‌توان تغییرات دبی را در آبیگرها اعمال کرد. با توجه به اینکه جهت کنترل آب‌بندها به صورت کنترل از بالادست است، با افزایش دبی بازشدگی دریچه‌ها افزایش و با کاهش دبی، بازشدگی دریچه‌ها کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که نتایج ارائه شده در جدول ۲ بر اساس خروجی‌های HEC-RAS می‌باشد. با توجه به اینکه نتایج مربوط به ۹۰ درصد موج با استفاده از ICSS بسیار نزدیک به HEC-RAS بود، در جدول مذکور مقادیر آنها ارائه نشد.

جدول ۲. زمان رسیدن ۹۰ درصد موج، موتورسیکلت و سرعت جریان آب (ساعت).

گزینه	۹۰ درصد موج			موتورسیکلت			سرعت جریان آب		
	آب‌بند ۱	آب‌بند ۲	آب‌بند ۳	آب‌بند ۱	آب‌بند ۲	آب‌بند ۳	آب‌بند ۱	آب‌بند ۲	آب‌بند ۳
۱	۳/۸	۴/۰	۴/۵						
۲	۲/۴	۲/۸	۴/۰						
۳	۴/۲	۴/۴	۴/۵						
۴	۲/۴	۲/۸	۳/۶	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۴۹	۰/۹۶
۵	۳/۷	۳/۸	۳/۹						
۶	۲/۰	۲/۴	۴/۶						

جدول ۳. مقدار تنظیم اولیه و ثانویه سازه‌ها جهت تحویل دبی مندرج در جدول بالا (متر).

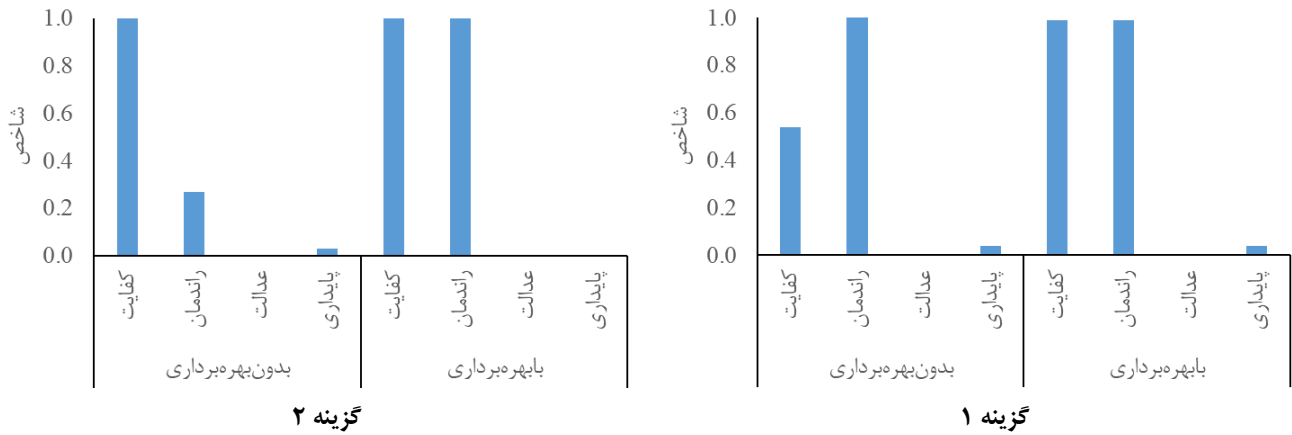
گزینه	آب‌بند ۱	آب‌بند ۲	آب‌بند ۳	آب‌بند ۳	آب‌بند ۳	آب‌بند ۴	آب‌بند ۵	آب‌بند ۶
۱	۰/۳۷→۰/۳۷	۰/۳۷→۰/۴۱	۰/۳۷→۰/۵۹	.	.	.	.	.
۲	۰/۳۷→۰/۶۷	۰/۳۷→۰/۷۶	۰/۳۷→۰/۸۰	.	.	.	.	.
۳	۰/۴۹→۰/۳۷	۰/۴۹→۰/۱۴	۰/۳۳→۰/۳۳	.	.	.	۰/۱۲→۰/۰۶	۰/۱۲→۰/۰۶
۴	۰/۴۹→۰/۴۷	۰/۴۹→۰/۷۶	۰/۷۱→۰/۷۱	.	.	.	۰/۰۳→۰/۱۲	۰/۰۳→۰/۱۲
۵	۰/۴۷→۰/۳۷	۰/۴۱→۰/۳۳	۰/۱۹→۰/۱۹	۰/۱۲→۰/۰۶	۰/۱۲→۰/۰۶	۰/۱۲→۰/۰۶	۰/۱۲→۰/۰۶	۰/۱۲→۰/۰۶
۶	۰/۴۷→۰/۶۷	۰/۳۳→۰/۴۵	۰/۲۳→۰/۲۳	۰/۰۳→۰/۱۲	۰/۰۳→۰/۱۲	۰/۰۳→۰/۱۲	۰/۰۳→۰/۱۲	۰/۰۳→۰/۱۲

مقادیر شاخص‌های ارزیابی

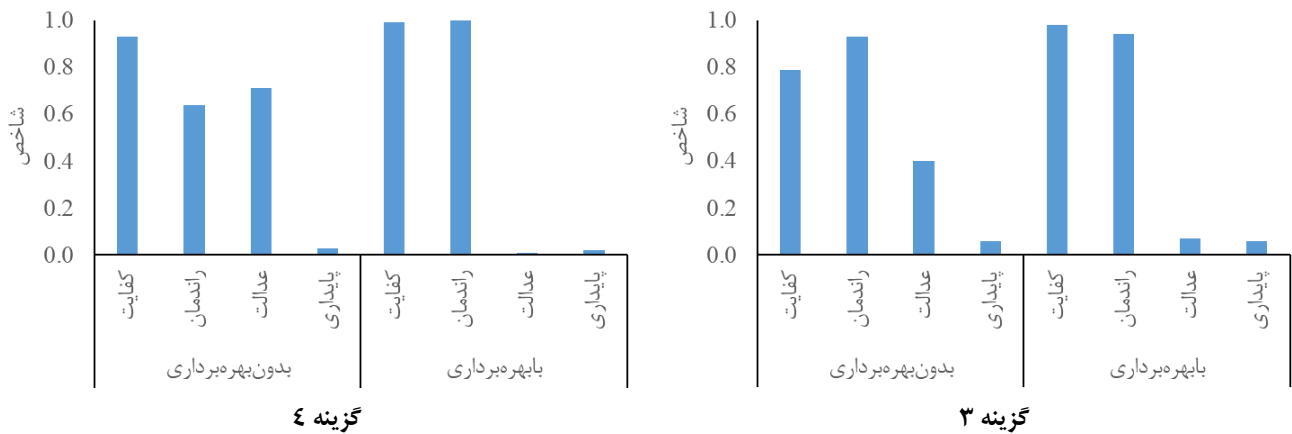
بعد از شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف، اقدام به محاسبه شاخص‌های ارزیابی عملکرد در حالت دو حالت بهره‌برداری دیر هنگام و بهره‌برداری به‌نگام شد که نتایج در شکل‌های ۳-۵ ارائه شده است. همچنین، مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر شاخص‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر مطلوب شاخص‌های ارزیابی عملکرد تحویل و توزیع آب در کانال برای پایداری، عدد صفر و برای راندمان و کفایت، عدد ۱ می‌باشد. عدالت تحویل و توزیع آب در کانال نیز نشان‌دهنده توزیع عادلانه آب در طول سیستم است و هر چه این شاخص به صفر نزدیکتر باشد، توزیع عادلانه‌تری در کانال صورت می‌گیرد.

با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که در گزینه‌های افزایش (گزینه ۱) و کاهش دبی (گزینه ۲)، مقادیر شاخص‌های ارزیابی، در حالت بهره‌برداری به‌نگام بهتر از حالت بهره‌برداری دیر هنگام است به‌طوری‌که مقادیر راندمان و کفایت توزیع آب تقریباً برابر با مقدار ایده‌آل شده و شاخص پایداری نیز بهبود یافته است. در گزینه دو، شاخص پایداری برابر با صفر شده است که بسیار مطلوب است. در گزینه ۱ نیز مقدار شاخص پایداری به مقدار مطلوب، نزدیک‌تر شده است. در گزینه‌های ۳ الی ۶ نیز روند نتایج مانند گزینه‌های یک و دو می‌باشد و بهبود شاخص‌ها چشمگیر می‌باشد. شاخص عدالت در گزینه‌های ۳ الی ۶ و در حالت بهره‌برداری دیر هنگام به ترتیب برابر با ۰/۴۰، ۰/۷۱، ۰/۳۲ و ۰/۷۸ است. با بهره‌برداری به‌نگام مقدار این شاخص در گزینه‌های مذکور بهبود یافته و به ۰/۰۷، ۰/۰۱، ۰/۰۹ و ۰/۰۱ رسیده است که نزدیک به صفر (مقدار مطلوب) می‌باشد. شاخص پایداری نیز مانند شاخص عدالت می‌باشد با این تفاوت که در حالت بهره‌برداری دیر هنگام، وضعیت این شاخص نسبت به شاخص عدالت از نظر کمی بهتر بوده است. بطور کلی این نتایج، تأثیر بهره‌برداری به‌نگام را بر روی عملکرد کانال نشان می‌دهد بطوری‌که در حالت بهره‌برداری به‌نگام و در بدترین شرایط مقادیر شاخص‌های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری به ترتیب برابر با ۰/۹۳، ۰/۹۸، ۰/۰۹ و ۰/۰۸ بدست آمده است. در تحقیق Shahverdi et al. (2016) با استفاده از هوش مصنوعی مقادیر راندمان و کفایت به ترتیب برابر با ۰/۹۳۶ و ۰/۹۴۷ بدست آمده است. با مقایسه مقادیر مذکور با نتایج تحقیق حاضر

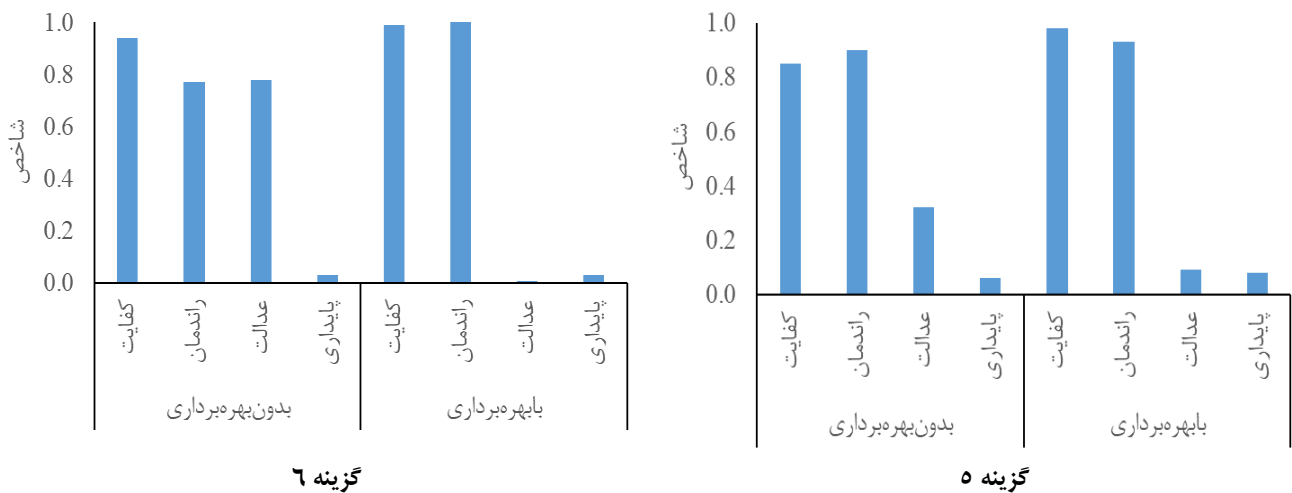
می‌توان دریافت که زمان بهره‌برداری به‌هنگام می‌تواند مانند روش‌های هوش مصنوعی در بهبود عملکرد کانال موثر باشد.



شکل ۳. مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد در حالت بهره‌برداری دیر هنگام، گزینه ۱: افزایش دبی و گزینه ۲: کاهش دبی.



شکل ۴. مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد در حالت بهره‌برداری به‌هنگام و باز بودن آبگیرهای ۵ و ۶، گزینه ۳: افزایش دبی و گزینه ۴: کاهش دبی.



شکل ۵. مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد در حالت بهره‌برداری به‌هنگام و باز بودن آبگیرهای ۳ تا ۶، گزینه ۵: افزایش دبی و گزینه ۶: کاهش دبی.

جدول ۴. مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر شاخص‌های ارزیابی عملکرد در حالت بهره‌برداری دیرنگام و به‌نگام.

گزینه	بهره‌برداری دیرنگام			بهره‌برداری به‌نگام			
	کفایت	راندمان	عدالت	پایداری	کفایت	راندمان	عدالت
حداقل	۰/۵۴	۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۰۰
میانگین	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۴
حداکثر	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۸	۰/۰۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۸

میزان کمبود و مازاد

بعد از شبیه‌سازی‌های انجام شده در گزینه‌های مختلف، اقدام به تعیین حجم مازاد یا کمبود آب تحویلی به آبیگرها گردید که نتایج در حالت بهره‌برداری دیرنگام و بهره‌برداری به‌نگام به ترتیب در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. همانطور که از نتایج مشخص است در گزینه‌های ۱ و ۲ در حالت بهره‌برداری دیرنگام به ترتیب حدود ۴۴/۴ مترمکعب کمبود و ۶۴ مترمکعب مازاد تحویل وجود دارد؛ در صورتیکه در حالت بهره‌برداری به‌نگام، مقادیر کمبود و مازاد تقریباً برابر با صفر می‌باشند. نتایج مشابهی در سایر گزینه‌ها حاصل شده است. در بدترین حالت و در گزینه شش (آبیگر شش) در حالت بهره‌برداری دیرنگام حدود ۳۲ مترمکعب مازاد تحویل وجود دارد در حالی که در حالت بهره‌برداری به‌نگام، مازاد تحویل به ۰/۱۱ مترمکعب کاهش یافته است. علت این بهبود را اینگونه می‌توان توضیح داد که با انجام عملیات بهره‌برداری در حالت موج مثبت و افزایش دبی، از انباشت آب در پشت آب‌بندها جلوگیری می‌شود و موج افزایشی به محض رسیدن به محل مورد نظر، تحویل آبیگر می‌شود. در حالت موج منفی و کاهش دبی نیز، انجام عملیات بهره‌برداری باعث می‌شود که از تخلیه آب کانال به آبیگر جلوگیری شود و با تنظیم به‌نگام سازه در زمان رسیدن موج کاهش، اختلالی در بهره‌برداری و کاهش عملکرد بوجود نیامده است.

جدول ۵. میزان کمبود و مازاد در گزینه‌های در حالت بهره‌برداری دیرنگام (متر مکعب).

گزینه	آبیگر ۱	آبیگر ۲	آبیگر ۳	آبیگر ۴	آبیگر ۵	آبیگر ۶
۱	-	-	-	-	-۲۲/۲۱	-۲۲/۲۱
۲	-	-	-	-	۳۱/۹۴	۳۱/۹۴
۳	-	-	۴/۰۲	۴/۰۲	-۲۰/۹۷	-۲۰/۹۷
۴	-	-	-۶/۸۳	-۶/۸۳	۳۱/۸۹	۳۱/۸۹
۵	۴/۲۵	۴/۲۵	۳/۹۳	۳/۹۳	-۲۱/۳۸	-۲۱/۳۸
۶	-۲/۳۱	-۲/۳۱	-۲/۳۱	-۲/۳۱	۳۱/۹۲	۳۱/۹۲

جدول ۶. میزان کمبود و مازاد در گزینه‌ها در حالت بهره‌برداری به‌نگام (متر مکعب).

گزینه	آبیگر ۱	آبیگر ۲	آبیگر ۳	آبیگر ۴	آبیگر ۵	آبیگر ۶
۱	-	-	-	-	۰/۲۶	۰/۲۶
۲	-	-	-	-	۰	۰
۳	-	-	۲/۵۷	۲/۵۷	-۱۲/۸۹	-۱۲/۸۹
۴	-	-	-۰/۷۴	-۰/۷۴	۰	۰
۵	۲/۹۴	۲/۹۴	۲/۵۱	۲/۵۱	-۲/۷۴	-۲/۷۴
۶	-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۳۶	-۰/۳۶	۰/۱۱	۰/۱۱

مقایسه نتایج مدل HEC-RAS و ICSS

در این قسمت مقایسه نتایج ارزیابی عملکرد در گزینه‌های مختلف با استفاده از مدل‌های HEC-RAS و ICSS ارائه شده است (جدول ۷). همانطور که ملاحظه می‌شود از نظر شاخص‌های ارزیابی نتایج بدست آمده از HEC-RAS تا حدی بهتر از نتایج مدل ICSS می‌باشد. به عنوان مثال، مقادیر شاخص کفایت در موج منفی برای گزینه‌های ۲، ۴ و ۶ با استفاده از HEC-RAS به ترتیب برابر با ۰/۹۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ حاصل شده است؛ در حالیکه مقادیر مذکور برای شاخص راندمان با استفاده از ICSS به ترتیب برابر با ۰/۹۶، ۰/۹۴ و ۰/۹۳ به دست آمده است که کمتر از مقادیر متناظر به دست آمده با HEC-RAS است. در مورد موج مثبت نیز نتایج مشابهی حاصل شده است و HEC-RAS بهتر از ICSS است. بعلاوه، شبیه‌سازی با مدل HEC-RAS (در محیط Windows) نسبت به مدل ICSS (در محیط Dos) بسیار راحت‌تر

و سریعتر می‌باشد که نشان می‌دهد HEC-RAS کاربرپسند می‌باشد.

جدول ۷. نتایج شاخص‌های ارزیابی عملکرد با استفاده مدل‌های HEC-RAS و ICSS.

HEC-RAS			ICSS			گزینه
مقدار	شاخص	موج	مقدار	شاخص	موج	
۰/۹۹			۰/۹۷			۱
۰/۹۵	راندمان	مثبت	۰/۹۴	راندمان	مثبت	۳
۰/۹۴			۰/۹۵			۵
۱/۰۰			۰/۹۶			۲
۰/۹۹	کفایت	منفی	۰/۹۴	کفایت	منفی	۴
۰/۹۹			۰/۹۳			۶

نتیجه‌گیری

برای بررسی و ارزیابی اثر زمان و بهره‌برداری بر عملکرد کانال EIR1 از شبکه آبیاری دز، مدل کانال مذکور در دو محیط مدل هیدرودینامیکی با استفاده از داده‌های هیدرولیکی و هندسی تهیه شد. سه روش مختلف محاسبه زمان بهره‌برداری نیز در نظر گرفته شد و اثر انجام بهره‌برداری در زمان تعیین شده (بهره‌برداری به‌هنگام)، بررسی شد و با حالت بهره‌برداری دیرهنگام با تعریف گزینه‌های مختلف افزایش دبی (موج مثبت) و کاهش دبی (موج منفی) مقایسه شد. نتایج نشان داد که بهره‌برداری بر اساس حرکت میراب کانال با یک موتورسیکلت با سرعت حدود ۳۰ کیلومتر بر ساعت یا بر اساس سرعت حرکت جریان آب در کانال (۱/۵ متر بر ثانیه در این تحقیق) بهتر از بهره‌برداری بر اساس رسیدن ۹۰ درصد موج افزایشی یا کاهش‌ی است. زمان تنظیم آب‌بندهای ۱، ۲ و ۳ در روش موتور سیکلت به ترتیب برابر با ۰/۱۲، ۰/۲۱ و ۰/۳۴ ساعت و در روش سرعت حرکت آب ۰/۳۴، ۰/۴۹ و ۰/۹۶ ساعت است؛ در حالی که بر اساس رسیدن ۹۰ درصد موج، حداقل زمان برابر با ۲ ساعت است. بهبود در شاخص عدالت با بهره‌برداری به‌هنگام در گزینه‌های مختلف بین ۰/۰۱ و ۰/۰۹ بدست آمد. بطور کلی این نتایج، تاثیر بهره‌برداری به‌هنگام را بر روی عملکرد کانال نشان می‌دهد بطوریکه در حالت بهره‌برداری به‌هنگام و در بدترین شرایط مقادیر شاخص‌های راندمان، کفایت، عدالت و پایداری به ترتیب برابر با ۰/۹۳، ۰/۹۸، ۰/۰۹ و ۰/۰۸ بدست آمده است. همچنین، مقادیر مازاد و کمبود آب تحویلی در بهره‌برداری به‌هنگام بسیار کمتر از بهره‌برداری دیرهنگام می‌باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- زارع، شیوا، و حیاتی، داریوش. (۱۳۹۶). ارزیابی پیامدهای گسترش کانال‌های آبرسانی از دیدگاه کشاورزان: مورد مطالعه حوزه پایاب سد درودزن فارس. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۴(۲)، ۱۰۶-۸۷.
- شاهوردی، کاظم، منعم، محمدجواد، و نیلی، مجید. (۱۳۹۴). کاربرد روش یادگیری تقویتی برای تعیین دستورالعمل بهره‌برداری برحسب درخواست توزیع و تحویل بهینه آب. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۶(۲)، ۲۹۱-۲۸۳.
- شاوردی، علیرضا، و تهمی‌پور زرنیدی، مرتضی. (۱۳۹۵). ارزیابی اثر شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود بر بازده نهایی آب آبیاری در استان گیلان. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۲۴(۳)، ۱۰۶-۸۹.
- قدوسی، حسام، و میرزایی، زینب. (۱۳۹۷). محاسبه عملکرد کانال، احجام تلفات و کمبود آب تحویلی به آبیگرهای آبیاری در گزینه‌های مختلف تحویل و توزیع آب. *دانش آب و خاک*، ۲۸(۱)، ۱۹۹-۱۸۷.
- قدوسی، حسام، و داداشی، زهرا. (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه مدل‌های ICSS و Rootcanal برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری قوریچای). *پژوهش آب ایران*، ۱۰(۲)، ۱۰۷-۱۱۶.
- کاکویی، ساحله، عمادی، علیرضا، غلامی سفیدکوهی، محمدعلی. (۱۳۹۶). کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی SCE در تعیین ضرایب کنترل‌گر کلاسیک PID. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۴(۲)، ۲۳۷-۲۲۱.

- مددی، ساسان، عمادی، علی‌رضا، و شاهنظری، علی. (۱۳۹۳). ارزیابی عملکرد توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی تجن. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۱(۵)، ۱۹۳-۲۰۸.
- محمدی، مریم، حسن‌پور، فرزاد، و عزیزپور پیرسرای، مجید. (۱۳۹۵). ارزیابی سازه‌های کنترل و تنظیم کانال اصلی شیب آب با استفاده از-HEC RAS. *آب و خاک*، ۳۰(۴)، ۱۰۷۴-۱۰۵۹.
- مرادی نژاد، امیر، حسینی، سید احمد. (۱۴۰۱). برآورد دقت روابط انتقال دبی رسوب رودخانه خنداب، ایستگاه جوشیروان با استفاده از مدل-HEC RAS. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۸(۱)، ۱۷۶-۱۶۱.
- منعم، محمد جواد، و قدوسی، حسام. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های آبیاری در شرایط مختلف بهره‌برداری با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۸(۴)، ۶۵۴-۶۶۳.
- مومنی، بابک، و مسعودیان، محسن. (۱۳۹۷). بهبود عملکرد سیستم تحویل آب کانال‌های آبیاری بین مزارع شالیزاری بر اساس شبیه‌سازی جریان در مدل HEC-RAS. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۹(۱)، ۳۱-۱۵.

REFERENCES

- Daneshfaraz, R., Dasineh, M., & Ghaderi, A. (2019). Evaluation of Scour Depth around Bridge Piers with HEC-RAS (Case study: Bridge of Simineh Rood, Miandoab, Iran). *Environment and Water Engineering*, 5(2), 91-102.
- Ghodousi, H., & Dadashi, Z. (2016). Evaluation and comparison of ICSS and Rootcanal models for simulation of flow in irrigation canals (Case study: Ghoorichay irrigation network). *Iranian Water Researches Journal*, 10(2), 107-116. (In Persian).
- Ghodousi, H. & Mirzae, Z. (2017). Calculation of Channel Performance, Water Losses and Water Delivery Shortage in Irrigation Intakes for Different Water Delivery and Distribution Options, *Water and Soil Science*, 28(1), 187-199. (In Persian).
- Kaghazchi, A., Shahdany, S. M. H., Roozbahani, A., Banihabib, M. E., & Taghvaeian, S. (2019). Development of a Hybrid Bayesian Network Model for Hydraulic Simulation of Agricultural Water Distribution and Delivery. *Proc., 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI)*, IEEE, 359-365.
- Khiabani, M. Y., Shahdany, S. M. H., Hassani, Y., & Maestre, J. M. (2021). Introducing an economic agricultural water distribution in a hyper-arid region: a case study in Iran. *Journal of Hydroinformatics*, 23(3), 548-566.
- Kakouei, S., Emadi, A. R., & Golami Sefidkouhi, M. A. (2017). Application of SCE Algorithm to determination of PID controller coefficients. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(2), 221-237. (In Persian).
- Madadi, S., Emadi, A., & Shahnazari, A. (2014). Performance Assessment of Water distribution in Tajan Irrigation and Drainage Network. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(5), 193-208. (In Persian).
- Mohammadi, M., hassanpour, F., & azizpour pirsaraie, M. (2016). Evaluation of Control and Adjustment Structures of the Shibab Main Canal Using HEC-RAS. *Water and Soil*, 30(4), 1059-1074. (In Persian).
- Molden, D. J., and T. K. Gates. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116 (6): 804-823.
- Monem, M. J., & Ghodousi, H. (2014). Simulation and Optimization of Irrigation Networks Performance Under Different Operation Conditions Using Ant Colony Algorithm. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 8(4), 654-663. (In Persian).
- Moradinejad, A., & Hosseini, S. A. (2022). Accuracy Estimation of Sediment Discharge Transfer Relationships of Khondab River, Joshirvan Station using HEC-RAS Model. *Environment and Water Engineering*, 8(1), 161-176. (In Persian).
- Moumeni, B., & Masoudian, M. (2018). Improvement in performance of the water delivery through irrigation canals of paddy fields on the basis of flow simulation in HEC-RAS. *Irrigation and Water Engineering*, 9(1), 15-31. (In Persian).
- Naghaei, R., & Monem, M. J. (2016). Development of a mathematical model of Lopac gates in accordance with the ICSS hydrodynamic model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(10), 04016043.
- Omidzade, F., Ghodousi, H., & Shahverdi, K. (2020). Comparing fuzzy SARSA learning and ant Colony optimization algorithms in water delivery scheduling under water shortage conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146(9), 04020028.



- Savari, H., Monem, M., & Shahverdi, K. (2016). Comparing the Performance of FSL and Traditional Operation Methods for On-Request Water Delivery in the Aghili Network, Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(11), 04016055.
- Shaverdi, A., & tahami pour zarandi, M. (2016). Evaluating the Effect of Sefidrud Irrigation and Drainage Network on Marginal Value of Irrigation Water in Gilan Province. *Agricultural Economics and Development*, 24(3), 89-106. (In Persian).
- Shahverdi, K. (2023). AICSS: Automatic simulator-controller/optimizer model of open channels. *Irrigation and Drainage*, 72(4), 1124-1136.
- Shahverdi, K. (2022). Determining operational patterns considering operator's error in structures settings in irrigation networks. *Water and Irrigation Management*, 12(2), 349-358.
- Shahverdi, K., & Maestre, J. (2022). Gray Wolf Optimization for Scheduling Irrigation Water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 148(7), 04022020.
- Shahverdi, K., Monem, M. J., & Nili, M. (2016). Fuzzy SARSA learning of operational instructions to schedule water distribution and delivery. *Irrigation and Drainage*, 65(3), 276-284.
- Shahverdi, K., Monem, M. J., & Nili, M. (2015). Application of Reinforcement Learning Algorithm for Determining the Operational Instructions of the On-Request Method for Optimal Water Distribution and Delivery. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(2), 283-291. (In Persian).
- Zare, S., & Hayati, D. (2017). Consequences Appraisal of Irrigation Networks Development Based on Farmers' Viewpoint in Downstream of Doroodzan Dam, Fars. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(2), 87-106. (In Persian).

Effect of on time and late operation of canal structures for equitable and sustainable water distribution

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Water shortage is a serious problem in most parts of the world today. Since Iran is located in a dry and semi-arid climate, the water crisis is one of its most important issue. Therefore, attempts are necessary to improve water efficiency. The main role of irrigation and drainage networks is delivering and distributing irrigation water.

Purpose:

Investigations into the performance of water conveyance, distribution, and delivery management in different irrigation networks show that the performance of most irrigation and drainage networks are inadequate. In this research, the effect of the on-time and late operation on canals' performance was examined using the E1R1 canal of the Dez network.

Research method:

To achieve the objective, we specified different scenarios, and the HEC-RAS and ICSS hydrodynamic models were employed to simulate the canal. To conduct the research, the hydraulic and geometry data of the E1R1 canal were gathered, and the HEC-RAS and ICSS models of the canal were prepared accordingly, with scenarios. The scenarios were as positive and negative waves applied from the canal inlet. The flow was increased from 1 m³/s to 1.2 m³/s to generate a positive wave and from 1.5 m³/s to 1.2 m³/s to generate a negative wave.

Results:

The findings of this research showed that the operation time is too crucial and should be determined exactly. Comparing the results of three different methods for determination showed that it takes a significant amount of time to reach complete increased or decreased waves; hence it is better to operate the structure based on the operator vehicle speed, which is considered as 30 km/hr. The performance of the E1R1 canal improves remarkably as the operation is done on time rather than late. In different scenarios, the equity index increased from 0.4, 0.71, 0.32, and 0.78 to 0.07, 0.01, 0.09, and 0.01, respectively, ultimately reaching the desired value of zero. Although the dependability index is similar to the equity index, this index is slightly better than the equity in the case of late operation. In general, these results show the importance of on-time operation on the performance of the canal, resulting in efficiency, adequacy, equity, and dependability indices of 0.93, 0.98, 0.09, and 0.08, respectively, in the worst condition of on-time operation. The results also demonstrated that the HEC-RAS model outperformed the ICSS model slightly, and it is user-friendly.

Conclusion:

According to the results, the on-time operation is too crucial for increasing the performance of irrigation canals that should be considered. The results revealed that the performance of the E1R1 canal improves remarkably as the operation is done on time rather than late.

Keywords: E1R1 Canal, HEC-RAS, ICSS, Performance Evaluation.