

Research Paper

Ensuring Reliable Water Distribution in Water Shortages: Analyzing the Dependability of Manual Operation System in NekoAbad Irrigation Network, Isfahan

Dorsa Rahparast¹, S. Mehdy Hashemy Shahdany^{2*}

¹ M.Sc. Graduate Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Iran

² Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Iran



10.22125/iwe.2024.442489.1792

Received:
February 9, 2024
Accepted:
October 19, 2024
Available online:
December 26, 2024

Keywords:
Water Distribution system,
Water Scarcity
Management,
Regionalization, Technical
Evaluation, Operational
System

Abstract

This article examines the effectiveness of the manual system for distributing agricultural water among waterholders situated along the irrigation canals within the NekoAbad Irrigation District. Additionally, it investigates the spatial analysis of the dependability index under various water scarcity scenarios. To achieve the intended objectives, a model known as the integral-delay (ID) model was developed to replicate the hydraulic conditions within the conveyance, distribution, and delivery systems. The boundary conditions for the simulation model were established following an analysis of historical data regarding the surface water supply system at the diversion dam's location. Seven scenarios ranged from normal conditions to mild and severe water scarcity. The findings indicate that applying a dominant and repetitive pattern enhanced the average dependability index for water distribution from the source to the downstream locations. The study further analyzed the range of daily average fluctuations in the dependability index of surface water distribution across various scenarios, including normal conditions, water shortages exceeding 10%, within the ranges of 10-15%, 15-20%, 20-30%, 30-40%, and below 40%. The results demonstrated fluctuations ranging from -16.2% to 26.61%. The spatial zoning maps revealed inefficiencies within the operational system's sustainable distribution of surface water during periods of scarcity.

* **Corresponding Author:** S. Mehdy Hashemy Shahdany

Address: Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Iran

Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

Tel: 021-36040906

1) Introduction

The article provides a comprehensive analysis of the effectiveness of the conventional operational method of water distribution for farming activities in the NekoAbad Irrigation District. It delves deep into the different factors affecting the dependability of water distribution among the off-takes located within the main and secondary irrigation canals. Furthermore, it conducts an in-depth exploration of the spatial analysis of the dependability water distribution indicator across various levels of water scarcity operational scenarios. The article meticulously examines the impact of water scarcity on the dependability of surface water distribution in the region and provides insights into the ways in which the dependability index can be improved to mitigate the effects of water scarcity on the local farming community.

2) Methodology

To achieve the desired objective of analysing the operation system of a surface water supply system, a model known as the integral-delay (ID) model was created. The aim of this model was to emulate the hydraulic conditions that exist within the conveyance, distribution, and delivery system. To determine the boundary conditions of the simulation model, an extensive analysis of the historical statistics of the surface water supply system at the point of the diversion dam's location was conducted. After careful consideration, seven different scenarios were selected to evaluate the system's performance. These scenarios ranged from normal conditions to mild to severe water scarcity conditions. To assess the dependability of the operation system, the analysis was divided into two parts. Firstly, the calculation of the daily average of the dependability index of water distribution and delivery was performed at 162 secondary and tertiary off-takes. Secondly, the distribution of the dependability index of water distribution through regionalization maps was evaluated. The regionalization maps were useful in determining the areas that were most affected by the water distribution system's dependability. The dependability index of water distribution was calculated for each region, and the results were distributed through the maps. In summary, the ID model was developed to replicate the hydraulic conditions within the conveyance, distribution, and delivery system of the surface water supply system. The model's boundary conditions were selected based on an analysis of the system's historical statistics, and seven different scenarios were evaluated to determine the system's performance. The dependability analysis of the operation system was divided into two parts, with the use of regionalization maps to evaluate the dependability index of water distribution through different regions.

3) Discussion and Conclusion

An in-depth analysis of the dependability performance evaluation index was carried out, which included both temporal and spatial considerations. The results clearly revealed a pattern of system inefficiency in providing sufficient surface water distribution under water scarcity scenarios. Furthermore, through the use of regionalization maps, the study was able to identify vulnerable areas within the districts. The overall evaluation indicated anticipated shortcomings in the manual operation system's performance, which emphasized the need for the development of modern operating systems in this district. Given the identified vulnerabilities, such modern systems would be better equipped to handle the challenges posed by water scarcity and ensure that sufficient surface water distribution is maintained in all areas.

4) Results

Over a span of thirty years, an in-depth analysis was carried out to assess the surface water supply at the location where the diversion dam was installed. To evaluate the hydraulic flow simulation, seven different scenarios were selected, which ranged from normal conditions to severe water shortage conditions. The hydraulic simulator model was calibrated and verified based on three periods of operation, ensuring the accuracy of the results. The study found that by implementing a dominant and repeating pattern, there was a significant increase in the average dependability index of water distribution from the source to the downstream, in the main canals, and in all thirteen secondary canals. This improvement in the dependability index is a significant finding as it helps ensure that a consistent and reliable supply of water is available to meet the requirements of the different canals. Furthermore, the study conducted an in-depth analysis of the

range of daily average changes in the dependability index of surface water distribution in various scenarios such as normal, water shortage of over 10%, 10-15%, 15-20%, 20-30%, 30-40%, and less than 40%. The results showed a range of changes from a decrease of 16.2% to an increase of 26-61%. Overall, this study provides crucial insights into surface water distribution and can help stakeholders make informed decisions about water management, especially during water shortage conditions. The extensive analysis and evaluation of the hydraulic flow simulation, as well as the range of scenarios tested, make this study an essential reference for anyone involved in surface water management.

5) Six important references

- 1) Mohammadi, A., Parvaresh Rizi, A., Abbasi, N., & (2019). Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin Irrigation Scheme, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 18, e00646.
- 2) Molden, D. J., & Gates, T. K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 116(6), 804-823.
- 3) Orojloo, M., Shahdany, S. M. H., Roozbahani, A., & (2018). Developing an integrated risk management framework for agricultural water conveyance and distribution systems within fuzzy decision-making approaches. *Science of the Total Environment*, 627, 1363-1376.
- 4) Serra, P., Salvati, L., Queralt, E., Pin, C., Gonzalez, O., & Pons, X. (2016). Estimating Water Consumption and Irrigation Requirements in a Long-Established Mediterranean Rural Community by Remote Sensing and Field Data. *Irrigation and Drainage*, 65(5), 578-588.
- 5) Seyed Hoshiyar, S. M., Pirmoradian, N., Ashrafzadeh, A., & Parvaresh Rizi, A. (2021). Performance assessment of a water delivery canal to improve agricultural water distribution. *Water Resources Management*, 35(8), 2487-2501.
- 6) Shahverdi, K., & Maestre, J. M. (2023). Holistic Framework for Canal Modernization: Operation Optimization, and Economic and Environmental Analyses. *Water Resources Management*, 1-20.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

This work is based upon research funded by Iran National Science Foundation (INSF) under project No.4022079.



تحلیل پایداری سامانه بهره‌برداری دستی در توزیع آب سطحی در شرایط کم آبی (مطالعه

موردی شبکه آبیاری نکوآباد اصفهان)

درسا رهپرست^۱، سید مهدی هاشمی شاهدانی^۲*

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸

مقاله پژوهشی

چکیده

این مقاله به بررسی عملکرد سامانه بهره‌برداری دستی در توزیع پایدار آب کشاورزی بین آب‌بران واقع در مسیر کانال‌های اصلی و فرعی و همچنین تحلیل مکانی متوسط شاخص پایداری در سطح شبکه آبیاری نکوآباد، تحت سناریوهای مختلف کم آبی می‌پردازد. برای تحقق هدف مذکور، از مدل انتگرالی-تاخیری (ID) جهت شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در سامانه انتقال و توزیع بهره‌گرفته شد. شرایط مرزی مدل شبیه‌ساز بر اساس تحلیل آمار تاریخی از سامانه تامین آب سطحی در محل بند انحرافی و در قالب هفت سناریوی منتخب شامل شرایط نرمال تا شرایط کم‌آبی ملایم تا حد انتخاب شد. تحلیل پایداری سامانه بهره‌برداری شامل دو بخش یک) تحلیل زمانی پایداری دبی تحویلی به آبگیرها و محاسبه میانگین روزانه شاخص پایداری توزیع و تحویل آب در محل ۱۶۲ آبگیر درجه دو و سه، و دو) تحلیل مکانی پراکندگی شاخص پایداری توزیع آب در سطح شبکه در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی پایداری توزیع آب تحت هر سناریوی بهره‌برداری بود. نتایج از الگوی غالب و تکرار شوند افزایش میانگین شاخص پایداری توزیع آب از محل منبع به سمت پایین‌دست، در کانال‌های اصلی و در هر سیزده کانال درجه دو بود. دامنه تغییرات میانگین روزانه شاخص پایداری توزیع آب سطحی به ترتیب در سناریوی نرمال تا سناریوهای کم‌آبی ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۴۰٪ و ۴۰٪ برابر با ۱۶-۲٪، ۳۰-۸٪، ۳۱-۱۰٪، ۹-۳۴٪، ۹-۳۸٪، ۹-۴۹٪، ۵۸-۲۵٪ و ۶۱-۲۶٪ بدست آمد. همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی پایداری توزیع آب حاکی از الگوی واضحی از ناکارآمدی سامانه بهره‌برداری در توزیع پایدار آب سطحی تحت سناریوهای کم‌آبی ارایه کرده و مناطق آسیب‌پذیر شبکه را مشخص نمود.

واژه‌های کلیدی: سامانه توزیع آب، مدیریت کم‌آبی، پهنه‌بندی، ارزیابی فنی، سامانه بهره‌برداری

^۱ فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ایمیل: dorsa.rahparast@ut.ac.ir

^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ایمیل: mehdi.hashemy@ut.ac.ir (نویسنده مسئول)

مقدمه

نمود. به‌عنوان مثال و بر اساس اطلاعات آماربرداری آب زیرزمینی سال ۱۳۹۸ که محققین این مقاله از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان جمع‌آوری نمودند، در سه شبکه آبیاری مدرن استراتژیک استان اصفهان، از بین ۲۱۴۵۹ تعداد حلقه چاه مجوزدار در حال بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی کوهپایه-سگزی به‌ترتیب تعداد ۴۹۴۱ (در حدود ۲۳٪) و ۸۸۹۱ (در حدود ۴۱٪) حلقه چاه در محدوده شبکه‌های آبیاری رودشت و آبشار و از بین ۱۶۱۸۱ تعداد حلقه چاه مجوزدار در حال بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی نجف‌آباد تعداد ۱۴۴۴۷ (در حدود ۸۹٪) حلقه چاه در محدوده شبکه آبیاری نکوآباد قرار گرفته‌اند. لازم به توضیح است که صحت‌سنجی ارقام مذکور با تطبیق لایه اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری با لایه محدوده جغرافیایی شبکه‌های آبیاری مذکور در GIS انجام شد.

تجربیات مختلف گزارش شده از عملکرد شیوه بهره‌برداری دستی (Khaeez & Shahdany, 2021; Ostovari & Monem, 2022) با هدف تعیین محدوده کارایی عملکرد این سامانه‌های بهره‌برداری، حاکی از ضرورت ارتقا، به‌روزرسانی یا تغییر آن‌ها در قالب پیاده‌سازی طرح‌های نوسازی یا به‌سازی در شبکه‌های آبیاری است. این تجربیات به‌صورت کلی با هدف شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در سامانه کانال‌های اصلی و ارزیابی عملکرد فرآیند توزیع و تحویل آب سطحی بین آب‌بران واقع در امتداد شبکه کانال‌ها، صورت گرفته است. نتایج کلی آن‌ها حاکی از میزان قابل توجه تلفات آب در فرآیند انتقال، توزیع و تحویل در سامانه‌های بهره‌برداری دستی در کانال‌های آبیاری می‌باشد به‌نحویکه این میزان تلفات در شبکه آبیاری دشت ریوگراند واقع در ایالت تگزاس آمریکا، در حدود ۳۰ درصد میزان آب تامین شده در محل بند انحرافی (Fipps, 2000)، در دشت هیلاکیفل در بخش جنوبی کشور عراق در حدود ۳۷-۱۹ درصد (Karimi Avargani et al., 2020)، در دشت وانی-شوا در کشور اتیوپی حدود ۷۲-۱۲ درصد در سناریوهای کم‌آبی تا پرآبی (Kedir & Engineer, 2015)، در دشت پنجاندی کشور هندوستان در حدود ۳۶-۲۵ درصد (Jadhav et al., 2014)، در دشت‌های مرکزی کشور ترکیه حدود ۲۸-۴۵ درصد آب سطحی تامین شده (Akkuzu et al., 2007)، در دشت

بررسی‌های میدانی مختلف صورت گرفته حاکی از کارایی پایین‌تر از انتظار سامانه‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری ایران در توزیع پایدار، کافی، عادلانه و قابل اعتماد آب سطحی میان کشاورزان/تعاونی‌های آب بران بالادست و پایین دست بوده است. با تشدید دوره‌های کم‌آبی در دو دهه اخیر، عملاً کارکرد سامانه‌های بهره‌برداری موجود از وضعیت دور از انتظار به حالت نامطلوب و غیرقابل اعتماد تغییر یافته (Orojloo et al., 2018) و الگوهای مشخصی از عدم اطمینان کشاورزان به این سامانه‌ها به وضوح در اکثر بیش از ۱۲۰ شبکه آبیاری مدرن کشور، مساحتی در حدود ۲ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی فاریاب کشور، دیده می‌شود. در این ارتباط لازم به توضیح است که منظور از سامانه بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری مدرن ایران، بر اساس تعاریف ارائه شده در نشریه‌های ضوابط طراحی و مدیریت شبکه‌های آبیاری (Karimi Avargani et al., 2020) عمدتاً سه الگوی بهره‌برداری دستی می‌باشد شامل (۱) تنظیمات دستی روزانه سازه‌های تنظیم سطح آب و سازه‌های آبگیر توسط اپراتور، (۲) تنظیمات خودکار سازه‌های تنظیم سطح آب توسط دریچه‌های خودکار هیدرولیکی مدول آمیل (و به صورت بسیار محدود مدول‌های آویس) و تنظیمات دستی روزانه آبگیرها توسط اپراتور (۳) تنظیم سطح آب توسط سرریزهای لبه طولانی (مانند سرریزهای نوک‌گردکی) به عنوان سازه‌های تنظیم سطح آب فاقد امکان بهره‌برداری و تنظیمات دستی روزانه آبگیرها توسط اپراتور.

در ارتباط با ادعای کارکرد نامطلوب و غیرقابل اعتماد سامانه‌های بهره‌برداری موجود در شبکه‌های آبیاری، می‌توان به مطالعات پژوهشی موردی بر روی شبکه‌های آبیاری مختلف (Afrasiabikia et al., 2017; Mohammadi et al., 2019; Seyed Hoshiyar et al., 2021) در سطح کشور اشاره نمود. همچنین به‌عنوان شاهد دیگری در تایید این ادعا می‌توان به افزایش قابل توجه تعداد چاه‌های بهره‌برداری مجوزدار (و قطعاً چاه‌های غیرمجاز که آمار دقیق و قابل استنادی از آن در دست نیست) در محدوده جغرافیایی شبکه‌های آبیاری کشور در دو دهه اخیر و بالتبع آن اضافه برداشت آب زیرزمینی اشاره



با عنایت به موارد مذکور و با در نظر گرفتن سابقه تحقیق رایج شده، سوالی که می‌تواند در ذهن مطرح شود این است که چرا با وجود شواهد غیرقابل انکار مطروحه و با گذشت حدود ۳۰ تا ۵۰ سال از قدمت بسیاری از شبکه‌های آبیاری کشور هنوز اقدام اساسی و جامعی برای نوسازی و مدرن‌سازی سامانه‌های بهره‌برداری در سطح کشور انجام نشده است؟ صرف نظر از دلایل تاثیرگذار اساسی مانند کمبود بودجه تخصیصی، موانع قانونی در احیا و به‌روزرسانی قیمت فروش آب کشاورزی و دلایل دیگر قانونی و اقتصادی که قطعاً وزن تاثیرگذاری در این موضوع دارند، پاسخ به این سوال از دیدگاه فنی می‌تواند عملکرد تا حدودی قابل قبول سامانه‌های بهره‌برداری در شرایط نرمال یا پربابی سامانه تامین آب سطحی باشد. اما معضل اساسی و مشکل جدی در شرایط غیرمتعارف بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری به وجود می‌آید و اصلی‌ترین عامل ایجاد شرایط مذکور، ظهور دوره‌های کم آبی منتج از تغییرات اقلیمی است که سامانه‌های تامین آب سطحی را بسیار آسیب‌پذیر نموده و ریسک شکست سامانه بهره‌برداری را تحت تاثیر خطرات مختلف به طرز قابل توجهی افزایش داده است (Orojloo et al., 2018). شایان ذکر است که در این ارتباط قبول یک فرض (نزدیک به شرایط واقعی) الزامی است و آن عدم امکان توسعه اراضی برنامه‌ریزی نشده و نیز عدم امکان کشت غیرمصوب (منظور تغییر دلخواه الگوی کشت و کاشت محصولات آب‌بر) توسط کشاورزان در محدوده شبکه‌های آبیاری ایران است.

لذا خلاصه بیان مساله، که به عبارتی فرضیه این تحقیق نیز محسوب می‌شود، آن است که روش بهره‌برداری دستی، به‌عنوان متداول‌ترین سامانه توزیع آب سطحی در شبکه‌های آبیاری ایران، در شرایط بهره‌برداری کم‌آبی امکان توزیع پایدار آب سطحی بین کشاورزان یک شبکه آبیاری را ندارد. در فرضیه تحقیق، منظور از بهره‌برداری در شرایط کم‌آبی زمانی است که میزان آب سطحی تامین شده در محل بند انحرافی کمتر از کل تقاضای برآورد شده شبکه باشد. با در نظر گرفتن فرضیه مذکور، هدف این تحقیق ارزیابی فنی عملکرد سامانه بهره‌برداری دستی شبکه آبیاری نکوآباد اصفهان، تحت شرایط نرمال و کم‌آبی تامین آب

کشاورزی رودشت واقع در منطقه خشک و نیمه خشک ایران در حدود ۵۰ درصد (Karimi Avargani et al., 2020)، در دشت‌های مرکزی کشور اسپانیا حدود ۴۵ درصد (Serra et al., 2016) و در دشت شیراز در ایران (شبکه آبیاری درودزن) در حدود ۱۹ درصد (Afrasiabikia et al., 2017) گزارش شده است.

بکارگیری وسیع مدل‌های هیدرودینامیکی که امکان شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال‌های آبیاری را دارند، به عنوان ابزار اصلی محققین جهت ارزیابی عملکرد بهره‌برداری وضع موجود و همچنین بررسی گزینه‌های ارتقا شیوه بهره‌برداری، دیده می‌شود. Kaghazchi et al (2021) با هدف ارزیابی یک سیستم هوشمند شبیه‌سازی هیدرولیکی و ارزیابی عملکرد سیستم‌های توزیع و تحویل آب کشاورزی که قابلیت جایگزینی با مدل‌های تجاری مانند HEC-RAS و SOBEK را داشته باشد، اقدام به توسعه یک مدل هوشمند توزیع آب کشاورزی با استفاده از شبکه‌های ترکیبی Bayesian نموده‌اند. Ghumman et al (2018) در تحقیقی ابتدا روش بهره‌برداری موجود در کانال Swat، با استفاده از مدل هیدرودینامیکی CANALMAN، عملکرد بهره‌برداری کانال آبیاری را شبیه‌سازی و ارزیابی کردند. Dejen (2015) با هدف بهبود عملکرد هیدرولیکی به واسطه بهره‌برداری موثر، با استفاده از مدل DUFLOW شبیه‌سازی و با به‌کارگیری شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه بهره‌برداری، روش‌های بهبود عملکرد توزیع آب را مورد ارزیابی قرار داد. Soler et al (2015) مدل HEC-RAS را برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در کانالی واقع در اسپانیا انتخاب کردند و برای کاهش اختلالات به وجود آمده در دو جهت پایین‌دست و بالادست در اثر تغییرات دبی پمپاژ ورودی، از روش کنترل خودکار، استفاده نمودند. در مطالعه دیگری چارچوب ارزیابی جامع برای مدرن‌سازی کانال با توسعه مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی HEC-RAS برای شبیه‌سازی جریان در کانال آبیاری و ادغام روش یادگیری ماشین Fuzzy Sarsa با هدف بهینه‌سازی شاخص‌های ارزیابی عملکرد معرفی گردید (Shahverdi & Maestre, 2023).

- گام سوم: واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌ساز توسعه داده شده ID بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری در محل کانال‌های آبیاری.
- گام چهارم: شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال-های اصلی و فرعی توزیع آب سطحی بر اساس سناریوهای بهره‌برداری منتخب و ارزیابی عملکرد سامانه بهره‌برداری دستی بر اساس شاخص‌های ارزیابی عملکرد پایداری توزیع آب سطحی.
- گام پنجم: تحلیل مکانی پایداری توزیع آب سطحی در شرایط بهره‌برداری موجود در محیط GIS.

شبکه آبیاری نکوآباد اصفهان

شبکه آبیاری نکوآباد واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود، در منطقه مرکزی ایران، قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات و آمار جمع‌آوری شده در مرحله ابتدایی انجام این تحقیق از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان اطلاعات شبکه به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

مساحت در حال بهره‌برداری شبکه در حدود ۲۹ هزار هکتار می‌باشد و موقعیت مکانی آن در عرض جغرافیایی ۳۲:۲۳ تا ۳۱:۴۶ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱:۲۱ تا ۵۱:۴۲ شرقی قرار گرفته است (شکل (۱)). میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۱۲۰ میلی‌متر است که این میزان بسیار کمتر از متوسط بارندگی سالانه در ایران، در حدود ۲۴۰ میلی‌متر، می‌باشد. این درحالی است که در میزان تبخیر و تعرق در این منطقه حدود ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال برآورد شده است. منبع اصلی تامین‌کننده آب این شبکه آبیاری، آب رها شده از سد زاینده‌رود می‌باشد. در طرفین بند انحرافی نکوآباد، در منشا تامین آب این شبکه آبیاری، دو رشته کانال اصلی چپ و راست به منظور برداشت آب جهت تحت پوشش قرار دادن اراضی احداث شده است. کنترل و تنظیم سطح آب به شیوه کنترل بالادست، با به‌کارگیری ۵۰ سازه خودکار هیدرومکانیکال آمیل و یک سازه ثابت Duck-Bill صورت می‌گیرد. تحویل و توزیع سطح آب در طول شبکه اصلی، متشکل از کانال‌های درجه یک و درجه دو، به ترتیب ۱۳ و

سطحی، در توزیع پایدار آب سطحی (بر پایه شاخص ارزیابی عملکرد پایداری توزیع آب) می‌باشد. در این راستا، نوآوری این تحقیق عبارت است از ارایه تحلیل جامع پایداری توزیع آب سطحی در کانال‌های اصلی و فرعی شبکه آبیاری نکوآباد می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، شبکه آبیاری نکوآباد با بیشترین تعداد و تراکم چاه بهره‌برداری کشاورزی مجوزدار حفر شده و در حال بهره‌برداری واقع درون محدوده شبکه آبیاری بین سایر شبکه‌های آبیاری حوزه زاینده‌رود می‌تواند انتخاب درستی برای بررسی چالش مطرح شده در این مقاله باشد. لازم به شفاف‌سازی است که منظور از چاه بهره‌برداری مجوزدار، چاه نیمه عمیق یا عمیق حفر شده توسط یک یا چند کشاورز است که بهره‌برداری آن توسط خود کشاورزان صورت می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

روش انجام تحقیق

مراحل طی شده در انجام این پژوهش عبارتند از:

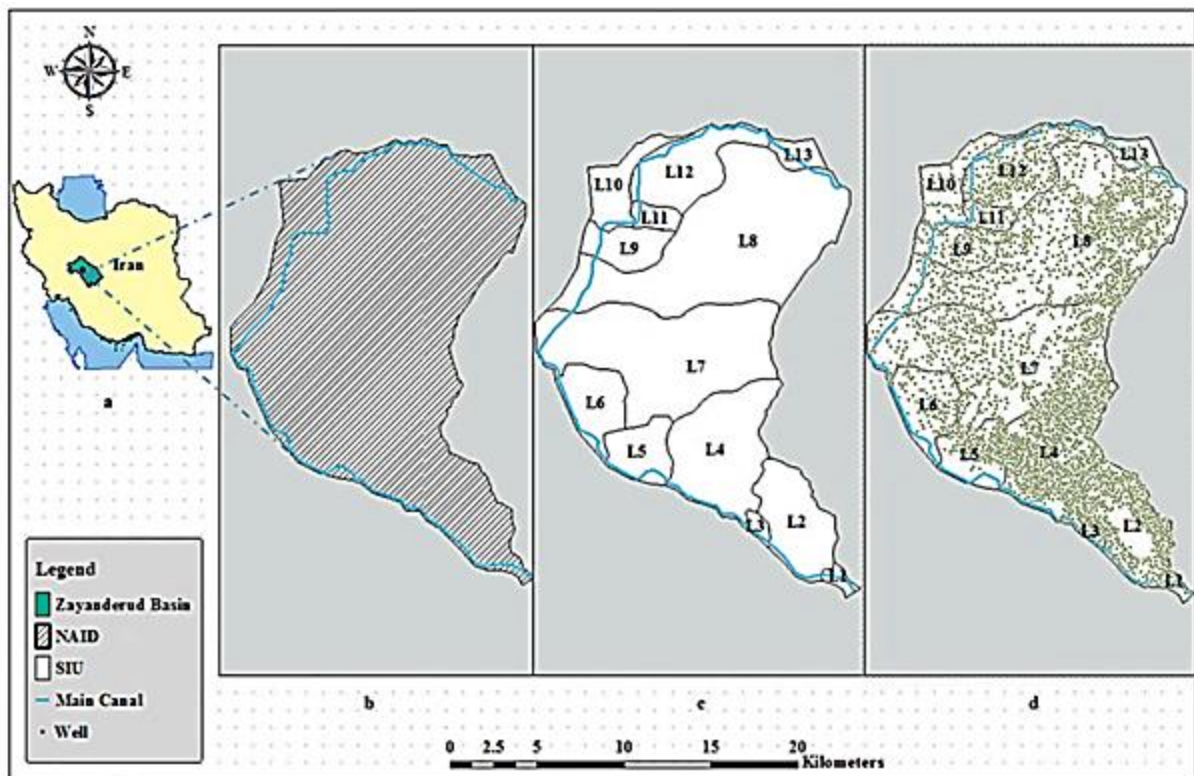
- گام اول: توسعه مدل شبیه‌ساز هیدرولیک جریان در کانال‌های اصلی و فرعی شبکه آبیاری نکوآباد - بر پایه مجموعه اطلاعات سازه‌ای شامل پلان، پروفیل و مقاطع عرضی کانال، ابعاد و نوع سازه‌های هیدرولیکی انتقال، تنظیم سطح آب و آبگیر - با بهره‌گیری از روش انتگرالی-تاخیری³ (ID) در محیط MATLAB و در ادامه واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های توسعه داده شده. توضیحات تکمیلی در مورد مدل ID در ادامه مقاله و در «بخش شبیه‌سازی توزیع و تحویل آب در کانال آبیاری» ارایه شده است.
- گام دوم: تحلیل آماری وضعیت تامین آب سطحی در طول دوره آماری ۳۰ ساله در محل بند انحرافی نکوآباد، با هدف تعیین سناریوهای بهره‌برداری نرمال (سناریوی اول) و کم‌آبی (سناریوهای دوم تا هفتم) به‌عنوان شرایط مرزی مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی توسعه داده شده در گام قبلی.

³ - Integrator-Delay



حجم آب برداشتی در محدوده این شبکه در حدود ۷۲٪ کل برداشت از منابع آب زیرزمینی در مقایسه با پنج شبکه آبیاری دیگر حوضه زاینده رود می‌باشد. علاوه بر این، بررسی اطلاعات جمع‌آوری شده از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان حاکی از آن است که تعداد چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق حفر شده دارای مجوز در بازه زمانی ۱۳ ساله، از ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷، شاهد افزایش ۳/۸ درصدی حفر چاه‌های نیمه‌عمیق و افزایش چشمگیر ۲۲۵.۸ درصدی چاه‌های عمیق بوده است. افزایش روزافزون حفر چاه‌ها و بهره‌برداری از آن برای مصارف کشاورزی نه تنها این منطقه را به یکی از دشتهای بحرانی کشور تبدیل کرده است، بلکه خسارات جدی به محیط زیست وارد می‌کند، بطوری‌که سالیانه هزاران تن گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر زمین وارد می‌کند. وضعیت نابسامان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه از یک سو و از سویی دیگر افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، مدیران آبی در این منطقه را به یافتن چاره‌ای جهت حل این مشکل واداشته است.

۱۴۹ سازه آبخیر انجام می‌گیرد که نحوه تنظیمات آن به صورت دستی و توسط اپراتور انجام می‌شود. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از دفتر شرکت آب منطقه‌ای اصفهان و دفتر بهره‌برداری شبکه آبیاری نکوآباد، میزان تلفات در سامانه در سامانه انتقال، توزیع و تحویل آب این شبکه در محدوده ۳۰ تا ۴۰ درصد جریان ورودی اعلام شده است. در ارتباط با میزان تلفات برآورد شده مذکور لازم به توضیح مجدد است که این ارقام در محاسبات برنامه‌ریزی تحویل و توزیع روزانه این شبکه آبیاری لحاظ می‌شود ولی محققین این تحقیق هیچ‌گونه مستندات قابل اتکایی مبنی بر نحوه، ابزار، زمان و شرایط اندازه‌گیری آن در مقالات علمی و گزارشات در دسترس بدست نیاوردند. لذا، با فرض صحیح بودن این مقادیر تلفات در سامانه آب سطحی، جهت رفع مشکل تامین آب، کشاورزی وابسته به منابع آب زیرزمینی گسترش پیدا کرده به نحوی که در حال حاضر با برداشت سالانه ۳۷۰ میلیون مترمکعب از حدود ۱۵۰۰۰ حلقه چاه حفر شده در داخل شبکه آبیاری نکوآباد،



شکل (۱). محدوده مورد مطالعه این پژوهش شامل سیزده واحد زراعی درجه دو، کانال اصلی و پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری مجوز دار در سطح شبکه نکوآباد

جریان یکنواخت، برای تشریح جریان، در نظر گرفته می-شود. معادله حاکم بر این بخش به صورت رابطه (۱) ارائه می‌شود (Isapoor et al., 2011).

$$q_{\text{canal}}(t) = q_{\text{in}}(t - \tau) \quad (1)$$

که در آن q_{in} دبی ورودی به بخش یکنواخت جریان q_{canal} ، (m^3/s) دبی ورودی به بخش ذخیره (m^3/s) ، t زمان (sec) و τ زمان تأخیر (sec) می‌باشد. بخش منحنی برگشت آب (بخش دوم) مانند یک مخزن عمل می‌کند و بخش انتگرالی مدل را شامل می‌شود. تغییرات مساحت سطح افقی آب در ترازهای مختلف مخزن (A_s) بر اساس دبی‌های ورودی و خروجی از بازه کانال به صورت رابطه (۲)، در حوزه زمان و حوزه فرکانس، قابل بیان است:

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

$$A_s \cdot s \cdot h(s) = q_{\text{canal}}(s) - q_{\text{out}}(s) \Leftrightarrow h(s) = \frac{1}{A_s \cdot s} \cdot [q_{\text{canal}}(s) - q_{\text{out}}(s)] \quad (2)$$

که در آن A_s مساحت سطح ذخیره (m^2) ، h عمق آب و q_{out} ، (m) دبی خروجی از بخش منحنی برگشت آب (m^3/s) می‌باشد. برای یک بازه از کانال که شامل بخش جریان یکنواخت و بخش منحنی برگشت آب می‌باشد، مدل کاملی از تلفیق معادلات ارائه شده در بخش‌های قبلی به دست می‌آید.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌ساز توسعه داده شده ID بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده‌ای که توسط شرکت آب منطقه‌ای اصفهان جمع‌آوری شده بود، انجام شد. این اطلاعات مربوط به سه دوره ۵۳، ۶۵ و ۷۳ روزه بهره‌برداری از در سال‌های آبی ۲۰۰۲-۲۰۰۳، ۲۰۱۴-۲۰۱۵ و ۲۰۲۱-۲۰۲۲ می‌باشد. نیمی از داده‌های هر دوره آماری برای واسنجی و نیم دیگر آن برای صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. جهت واسنجی مدل، ضریب دبی آگذری سازه‌های آگیر به عنوان متغیرهای قابل تغییر جهت انطباق مقادیر شبیه‌سازی با مقادیر مشاهده‌ای استفاده شدند. بعد از واسنجی مدل و تنظیم پارامترهای آن، فرآیند صحت‌سنجی اجرا گردید و برای مقایسه مقادیر

شبیه‌سازی توزیع و تحویل آب در کانال آبیاری

به منظور ارزیابی عملکرد سامانه بهره‌برداری دستی موجود در شبکه نکوآباد، که برنامه‌ریزی توزیع آب سطحی را در کانال‌های اصلی و فرعی این شبکه پیاده می‌کند، لازم است که شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در مجاری اصلی و فرعی انتقال آب سطحی انجام گیرد. بدین منظور در این پژوهش از مدل ریاضی انتگرالی-تأخیری (ID) در محیط نرم‌افزار MATLAB استفاده شد تا امکان تبادل اطلاعات با برنامه‌های زمانی تغییر بازشدگی درچه‌های آگیر (برنامه‌ریزی روزانه تحویل و توزیع آب) امکان‌پذیر شود. در این نرم‌افزار روند انجام محاسبات بر پایه‌ی روش روندیابی جریان در هر بازه سامانه انتقال، در حد فاصل دو سازه تنظیم سطح آب، است و بکارگیری مدل ID برای شبیه‌سازی جریان در مجاری اصلی توزیع آب سطحی، با هدف ارزیابی عملکرد سامانه‌های بهره‌برداری موجود یا مدرن-سازی سامانه‌های مذکور، به سبب راحتی محاسبات و تأمین دقت موردنیاز، مورد استقبال قرار گرفته است (Van Overloop et al., 2010).

در مدل مذکور، هر بازه کانال اصلی سامانه توزیع آب به دو بخش، شامل i- بخش جریان یکنواخت و ii- بخش منحنی برگشت آب می‌باشد. هر بخش یک مشخصه اصلی دارد که از مجموع این دو، مدل انتگرالی-تأخیری به دست می‌آید. این دو مشخصه اصلی در هر بازه کانال عبارتند از زمان تأخیر (T) و سطح ذخیره (A_s) . در بخش اول (جریان یکنواخت) فرض می‌شود که موج جریان ورودی جریان فقط به سمت پایین دست منتقل می‌شود. هر تغییری در سازه تنظیم‌کننده سطح آب بالادست منجر به تولید یک موج می‌شود، این بخش از کانال فقط به عنوان گذار برای عبور این موج عمل می‌کند. شایان ذکر است که سرعت موج در یک بازه از کانال با عمق نرمال، به سرعت موج سینماتیک نزدیک است. زمان تأخیر ناشی از حرکت موج مذکور به بخش منحنی برگشت آب رسیده و موجب تغییر تراز سطح آب می‌شود. زمان تأخیر تنها پارامتری است که در بخش



از سازه تنظیم سراب کانال در گام‌های زمانی $k-3$ تا k (sec) می‌باشد. $e_1(k)$ خطای محاسبه‌شده (رقوم سطح آب اندازه-گیری شده از رقوم هدف) برای بازه اول کانال (m) و $e_1^*(k)$ متغیر حالت اضافه‌شده به سامانه است که دربرگیرنده محدودیت نرم ناشی از تجاوز رقوم سطح آب از رقوم حداکثر و حداقل در بازه اول (m) می‌باشد. $u^*(k)$ مقداری است که از میزان خطای ناشی از انحراف سطح آب از سطح هدف کم می‌شود تا مقدار $e_1^*(k)$ را به وجود آورد. در واقع متغیر $u^*(k)$ تفسیر فیزیکی ندارد و صرفاً یک متغیر فرضی جهت اعمال جریمه بیش‌تر بر تابع هدف در زمانی که سطح آب از محدوده مجاز بین حداکثر و حداقل رقوم سطح آب تجاوز می‌کند، می‌باشد.

شبیه‌سازی و ارزیابی فرآیند توزیع آب سطحی در شبکه آبیاری نکوآباد اصفهان

به منظور ارزیابی عملکرد پایداری تحویل و توزیع آب سطحی بین آب‌بران و حقاچه‌بران توسط سامانه بهره‌برداری دستی موجود در شبکه آبیاری نکوآباد، شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در کانال‌های اصلی و فرعی تحت هفت سناریوی بهره‌برداری منتخب، که پیش‌تر معرفی شد، انجام گرفت. با در دست داشتن تقاضای هر آبخیز (مقدار حقاچه مشخص) و متوسط دبی تحویلی روزانه به آن آبخیز (که در این پژوهش از مدل شبیه‌ساز هیدرولیک جریان واسنجی شده برای شبیه‌سازی این مقادیر استفاده شد، میانگین شاخص ارزیابی عملکرد پایداری توزیع آب، به تفکیک هر آبخیز و تحت هر سناریوی بهره‌برداری، محاسبه شد. دبی روزانه مورد نیاز آبخیز در این پژوهش بر اساس اطلاعات حقاچه موجود در دفتر بهره‌برداری شبکه آبیاری نکوآباد استفاده شد. در ارتباط با نتایج حاصله از مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی برای هر آبخیز هیدروگراف تحویل آب روزانه، با بازه‌های زمانی دلخواه که در این پژوهش یک ساعته در نظر گرفته شد، به عنوان خروجی در هر روز شبیه‌سازی بهره‌برداری حاصل شد. شاخص پایداری توزیع آب، که ماهیتاً تناسب نحوه پایداری دبی تحویلی در طول

شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده‌شده در هر دو مرحله از شاخص‌های ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^4$)، ضریب خطای پس‌ماند (CRM^5) و میانگین خطای مطلق (MAE^6)، روابط (۳)، (۴) و (۵)، استفاده شد (Daneshfaraz et al., 2022).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - X_i| \quad (5)$$

که در این روابط Y_i و X_i به ترتیب برابر مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشند.

با توجه به شرایط سازه‌ای کانال اصلی سامانه توزیع آب محدوده مورد مطالعه، فرم مدل ماتریسی فضای حالت، مطابق رابطه (۳)، با ابعاد مختلف ماتریس، به تفکیک کانال‌های آبیاری - دو کانال اصلی و ۱۳ کانال فرعی - به دست آمد. با تبدیل روابط به دست آمده برای تمامی بازه‌ها، به جهت بزرگ‌بودن ماتریس‌ها، مدل ماتریسی فضای حالت تنها برای بازه اول در رابطه (۶) آورده شده است:

$$\begin{bmatrix} Q_{hg}(k+1) \\ Q_{hg}(k) \\ Q_{hg}(k-1) \\ Q_{hg}(k-2) \\ e_1(k+1) \\ e_1^*(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{T_c}{A_s} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{T_c}{A_s} & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{hg}(k) \\ Q_{hg}(k-1) \\ Q_{hg}(k-2) \\ Q_{hg}(k-3) \\ e_1(k) \\ e_1^*(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \nabla Q_{hg}(k) \\ u^*(k) \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{T_c}{A_s} \\ -\frac{T_c}{A_s} \end{bmatrix} \cdot [Q_{off-take1}(k)]$$

$$u^*(k) \geq href_{min}$$

(۶)

$$u^*(k) \leq href_{max}$$

که در این رابطه $Q_{hg}(k)$ ، $Q_{hg}(k-1)$ ، $Q_{hg}(k-2)$ و $Q_{hg}(k-3)$ به ترتیب دبی‌های کنترلی (m^3/s) ره‌اشده

⁶ - Mean Absolute Error

⁴ - Root Mean Squared Error

⁵ - Correlation Coefficient

قابل قبول ($PD \in (11 - 25)$) و ضعیف ($PD \leq 25$)
سامانه توزیع آب می‌باشد، قابل تقسیم‌بندی است.

نتایج و بحث

تحلیل زمانی دبی تحویلی در محل بند انحرافی

نکوآباد و تعیین سناریوهای بهره‌برداری

به منظور تعیین سناریوهای بهره‌برداری در تحقیق حاضر، تحلیل زمانی داده‌های تاریخی دبی تحویل داده شده در محل بند انحرافی نکوآباد انجام شد. در واقع، الگوهای متناوب دبی تامین شده در محل بند انحراف استخراج و نماینده هر الگو به عنوان یکی از سناریوهای بهره‌برداری به عنوان شرط اولیه شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل زمانی شامل سناریوهای منتخب بهره‌برداری به همراه احتمال وقوع رخداد هر کلاس در طول ۳۰ سال گذشته بهره‌برداری شبکه آبیاری نکوآباد (دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۲۲) در پنج دسته ذیل تقسیم‌بندی می‌شود:

- کلاس نرمال (سناریوی بهره‌برداری نرمال): دبی تحویلی در محل بند انحرافی در حدود ۱۰۰ - ۱۱۰٪ مجموع تقاضای برآورد شده، تغییرات دبی در ۱۲ ماه سال (بجز دی و بهمن) = ۱.۸-۲.۶ مترمکعب بر ثانیه، متوسط دبی سالانه (به استثنای دی و بهمن) = ۱.۹ مترمکعب بر ثانیه، متوسط احتمال وقوع در دوره آماری: ۲۰.۶٪
- کلاس کم‌آبی ملایم (سناریوی بهره‌برداری کم‌آبی کمتر از ۱۰٪): دبی تحویلی در محل بند انحرافی در حدود ۹۰ - ۱۰۰٪ مجموع تقاضای برآورد شده، تغییرات دبی در ۱۲ ماه سال (بجز دی و بهمن) = ۱.۶-۲.۴.۵ مترمکعب بر ثانیه، متوسط دبی سالانه (به استثنای دی و بهمن) = ۱.۷ مترمکعب بر ثانیه، متوسط احتمال وقوع در دوره آماری: ۱۲.۵٪
- کلاس کم‌آبی (سناریوی بهره‌برداری کم‌آبی ۱۰ تا ۱۵٪): دبی تحویلی در محل بند انحرافی در حدود ۸۵ - ۹۰٪ مجموع تقاضای برآورد شده، تغییرات دبی در ۱۲ ماه سال (بجز دی و بهمن) = ۱.۴-۲.۲.۹ مترمکعب بر ثانیه، متوسط دبی سالانه (به استثنای دی و بهمن) = ۹.۵ مترمکعب بر ثانیه، متوسط احتمال وقوع در دوره آماری: ۱۸.۷۵٪
- کلاس کم‌آبی شدید (سناریوی بهره‌برداری کم‌آبی ۱۵ تا ۲۰٪): دبی تحویلی در محل بند انحرافی در حدود ۸۰ - ۸۵٪ مجموع تقاضای برآورد شده، تغییرات دبی در ۱۲ ماه

شبیه‌سازی را با دبی درخواستی (حقابه مشخص) بررسی می‌کند، برای هر گام زمانی محاسبه و میانگین کلی مقادیر محاسبه شده به تفکیک آبیگرهای واقع در کانال اصلی و کانال‌های درجه دو محاسبه و در ادامه ارایه شده است. در گام بعدی، نتایج تحلیل مکانی شاخص پایداری در سطح شبکه - که در محیط GIS انجام شده - در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی ارایه شد تا امکان ارزیابی بصری میزان پراکندگی مکانی پایداری توزیع آب در سطح شبکه و در هر سناریوی بهره‌برداری امکان پذیر گردد.

شاخص ارزیابی عملکرد پایداری توزیع آب سطحی

در شبکه‌های آبیاری

پایداری در تحویل آب به معنای یکنواختی در تحویل آب نسبت به زمان بهره‌برداری می‌باشد. در همین راستا پایداری تحویل آب به آبیگرها با توجه تغییرات زمانی نسبت آب تحویلی (شبیه‌سازی شده توسط مدل شبیه‌ساز ID) به آب مورد نیاز الگوی کشت مصوب (حقابه تعیین شده برای هر آبیگر) می‌باشد. بر این اساس شاخص پایداری به صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود (Molden & Gates, 1990):

$$PD = \frac{1}{R} \sum R CV_T \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right) \quad (7)$$

که در آن PD شاخص پایداری توزیع آب (درصد)، T مدت‌زمان بهره‌برداری (sec) که مجموع کل گام‌های زمانی شبیه‌سازی است. R تعداد کل آبیگرهای واقع در کانال اصلی، Q_D دبی تحویلی به هر آبیگر (m^3/s) در هر گام زمانی شبیه‌سازی شده و Q_R دبی تقاضای آب کشاورزی (m^3/s) است. لازم به توضیح است که در این پژوهش، پایداری بر اساس میزان نوسانات تغییر دبی (درصد تغییرات دبی و تعداد دفعات تغییر دبی) تعریف شده است. درصد نوسانات تغییر دبی میزان یکنواختی در تحویل آب و در واقع پایداری را در شبکه مشخص می‌نماید. هرچه مقدار شاخص پایداری به صفر درصد نزدیک‌تر شود، مقدار مطلوب آن رخ داده است. با این حال، براساس طبقه‌بندی طبقه - بندی ارایه شده، از دیدگاه مدیریتی شاخص مذکور به سه دسته که بیانگر بهره‌برداری مطلوب ($PD \in (0 - 10)$)،



برای دوره صحت‌سنجی ۰.۰۰۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. مقدار بهینه این شاخص برابر صفر است، با توجه به اینکه مقادیر مذکور به مقدار بهینه نزدیک می‌باشند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل دقت مناسبی ارائه می‌نماید. شاخص ضریب خطای پسماند (CRM)، برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، به ترتیب برابر ۰.۰۰۸- و ۰.۱۶- می‌باشند، با توجه به این که بهترین میزان برای CRM صفر می‌باشد، مقادیر کم این شاخص حاکی از دقت قابل قبول مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی است. نهایتاً میزان ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، برای دوره واسنجی برابر ۰.۰۰۷ و برای دوره صحت‌سنجی ۰.۰۰۸ به دست آمدند. مقادیر مناسب این شاخص نیز دقت مدل را مورد تایید قرار می‌دهد.

ارزیابی پایداری توزیع آب سطحی در کانال‌های اصلی

جدول (۱) محدوده تغییرات شاخص ارزیابی عملکرد پایداری توزیع آب محاسبه شده، در طول دوره شبیه‌سازی تحت سناریوهای هفتگانه بهره‌برداری (سناریوی نرمال و شش سناریوی کم‌آبی) را به تفکیک هر کدام از آبیگرهای اصلی ۱۳ گانه واقع در کانال اصلی شبکه ارایه نموده است. همچنین نحوه پراکندگی تغییرات میانگین شاخص ارزیابی از آبیگیر بالادست تا انتهایی ترین آبیگیر در پایین دست کانال اصلی در شکل (۲) به تصویر کشیده شده است. میانگین شاخص پایداری محاسبه شده که در شکل (۲) ارایه شده است، حاکی از تکرار الگوی ثابت تکرار شونده تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری شامل سناریوی نرمال و سناریوهای کم‌آبی می‌باشد. مطابق این الگو، میانگین شاخص پایداری توزیع آب سطحی در دو آبیگیر اصلی ۱ و ۲ واقع در بالادست‌ترین موقعیت کانال اصلی شبکه آبیاری نکوآباد و نزدیک به بند انحرافی در محدوده مطلوب (کمتر از ۱۰٪) و قابل قبول (تا ۲۵٪) قرار گرفته و این مقدار از آبیگیر سوم با افت عملکردی در حدود ۸٪-۱۲٪ در سناریوهای کم‌آبی ملایم تا ۱۵٪-۲۱٪ در سناریوهای کم‌آبی شدید مواجه شده است. این پدیده حاکی از این واقعیت است که سامانه بهره‌برداری موجود، توانایی مواجه با

سال (بجز دی و بهمن) = ۲۱.۱-۱.۳ مترمکعب بر ثانیه، متوسط دبی سالانه (به استثنای دی و بهمن) = ۸.۳ مترمکعب بر ثانیه، متوسط احتمال وقوع در دوره آماری: ۱۷.۵٪.

- کلاس کم‌آبی حاد: (سه سناریوی بهره‌برداری کم‌آبی ۲۰ تا ۳۰٪ - ۳۰ تا ۴۰٪ - >۴۰٪): دبی تحویلی در محل بند انحرافی کمتر از ۸۰٪ مجموع تقاضای برآورد شده، تغییرات دبی در ۱۲ ماه سال (بجز دی و بهمن) = ۱۹.۷-۱.۲ مترمکعب بر ثانیه، متوسط دبی سالانه (به استثنای دی و بهمن) = ۷.۱ مترمکعب بر ثانیه، متوسط احتمال وقوع در دوره آماری: ۳۰.۶٪

لازم به توضیح است که بررسی نحوه پراکندگی ماه‌های واقع در هر کلاس نشان می‌دهد که در حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد ماه‌های بهره‌برداری سه کلاس کم‌آبی، کم‌آبی شدید و کم‌آبی حاد در سالهای اخیر قرار گرفته است. لذا به منظور بررسی دقیق تر شرایط بهره‌برداری شبکه مورد مطالعه در وضعیت کم‌آبی، کلاس کم‌آبی حاد به سه سناریوی بهره‌برداری کم‌آبی مستقل ۲۰ تا ۳۰٪ - ۳۰ تا ۴۰٪ و >۴۰٪ تقسیم شد. بنابراین در این پژوهش ۷ سناریوی بهره‌برداری (شامل یک سناریو نرمال و شش سناریوی کم‌آبی) در نظر گرفته شد و ادامه مطالعات بر این اساس انجام شد.

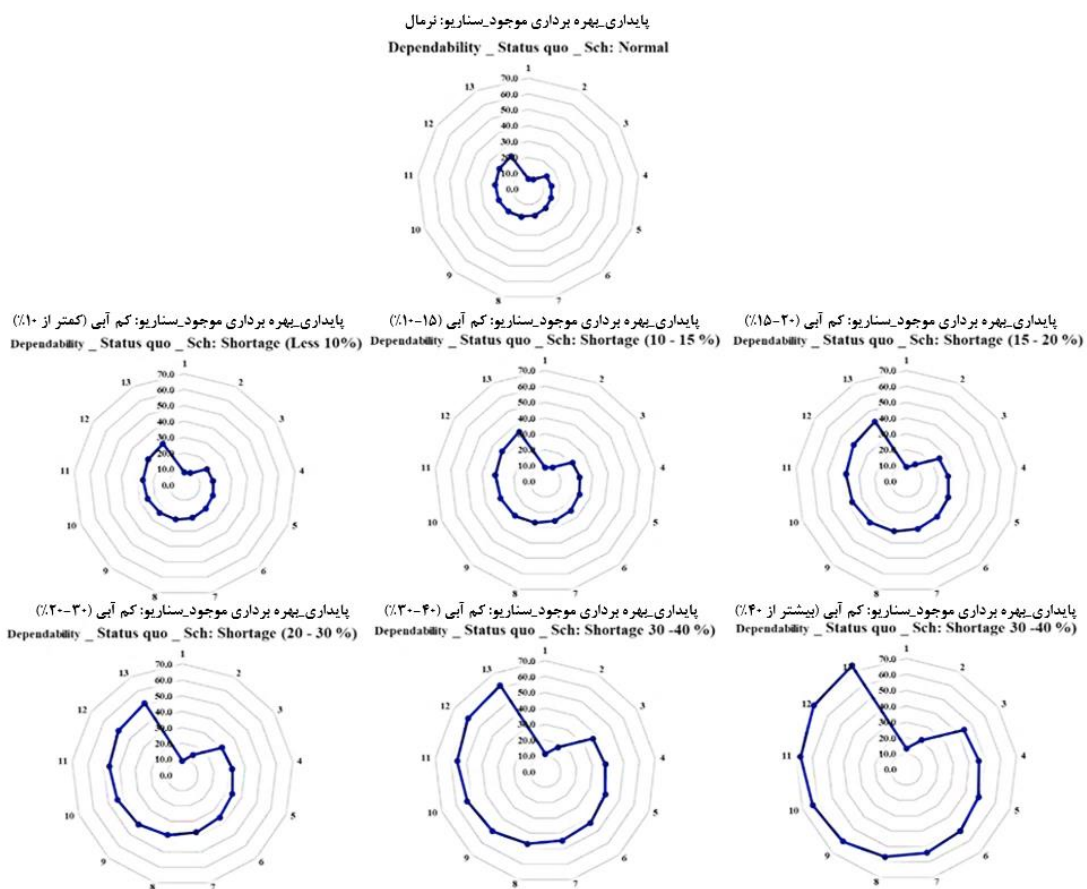
نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیکی

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌ساز توسعه داده شده ID بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده‌ای که توسط شرکت آب منطقه‌ای اصفهان جمع‌آوری شده بود، انجام شد. این اطلاعات مربوط به سه دوره ۵۳، ۶۵ و ۷۳ روزه بهره‌برداری می‌باشد. نیمی از داده‌های هر دوره آماری برای واسنجی و نیم دیگر آن برای صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. جهت واسنجی مدل، ضریب دبی آگذری سازه‌های آبیگیر به عنوان متغیرهای قابل تغییر جهت انطباق مقادیر شبیه‌سازی با مقادیر مشاهده‌ای استفاده شدند. بعد از واسنجی مدل و تنظیم پارامترهای آن، فرآیند صحت‌سنجی اجرا گردید. نتایج این فرآیند به این صورت است که مقدار میانگین خطای مطلق (MAE)، برای دوره واسنجی برابر ۰.۰۰۵ و

کمترین تغییر وضعیت تامین آب سطحی در سناریوهای کم آبی ملایم را نداشته و این وضعیت با تشدید کم آبی چشمگیر خواهد شد.

جدول (۱). محدوده تغییرات میانگین روزانه مقادیر شاخص پایداری تحویل آب به آبیگرهای واقع در کانال اصلی

شماره آبیگر	سناریوی نرمال	سناریوهای کم آبی					
		کمتر از ۱۰٪	۱۰ - ۱۵ %	۱۵ - ۲۰ %	۲۰ - ۳۰ %	۳۰ - ۴۰ %	بیشتر از ۴۰ %
۱۲	(۲-۱۰)	(۸-۱۶)	(۱۰-۱۶)	(۱۰-۱۷)	(۱۳-۲۰)	(۲۵-۴۰)	(۲۶-۴۰)
۱۲۰	(۲-۱۰)	(۸-۱۴)	(۹-۱۵)	(۹-۱۷)	(۹-۱۷)	(۲۷-۴۴)	(۳۷-۶۸)
۹۰	(۳-۱۲)	(۱۴-۱۹)	(۱۵-۲۱)	(۱۸-۲۶)	(۱۹-۲۶)	(۳۵-۴۶)	(۴۰-۵۵)
۹۱	(۳-۱۲)	(۱۴-۱۹)	(۱۵-۲۱)	(۱۸-۲۶)	(۱۹-۲۶)	(۳۳-۴۱)	(۴۱-۵۶)
۹۲	(۳-۱۳)	(۱۶-۲۳)	(۱۸-۲۴)	(۱۸-۲۷)	(۲۰-۲۷)	(۳۳-۴۱)	(۴۱-۵۶)
۹۳	(۳-۱۳)	(۱۶-۲۴)	(۱۸-۲۵)	(۱۸-۲۷)	(۲۰-۳۱)	(۳۳-۴۰)	(۴۲-۵۷)
۹۴	(۴-۱۳)	(۱۶-۲۴)	(۱۸-۲۵)	(۱۸-۲۷)	(۱۹-۳۱)	(۳۴-۴۲)	(۳۴-۵۱)
۱۰۸	(۴-۱۳)	(۱۷-۲۶)	(۲۳-۳۰)	(۲۳-۳۳)	(۲۵-۳۳)	(۳۶-۴۸)	(۴۹-۵۴)
.	(۴-۱۵)	(۱۶-۲۶)	(۲۳-۳۱)	(۲۳-۳۲)	(۲۶-۳۸)	(۳۴-۴۴)	(۴۹-۵۵)
۱۶	(۴-۱۵)	(۲۱-۳۱)	(۲۴-۳۴)	(۲۷-۳۸)	(۳۲-۴۹)	(۴۴-۵۸)	(۴۹-۵۹)
۱۰۶	(۴-۱۵)	(۲۰-۳۰)	(۲۱-۳۱)	(۲۲-۳۲)	(۲۴-۴۰)	(۴۲-۵۲)	(۴۸-۵۹)
۱۵	(۵-۱۶)	(۲۲-۳۰)	(۲۲-۳۱)	(۲۲-۳۲)	(۲۴-۳۶)	(۴۲-۵۴)	(۴۸-۵۹)
۱۴	(۵-۱۶)	(۲۳-۳۰)	(۲۴-۳۱)	(۲۵-۳۳)	(۲۷-۳۷)	(۴۲-۵۳)	(۴۹-۶۱)



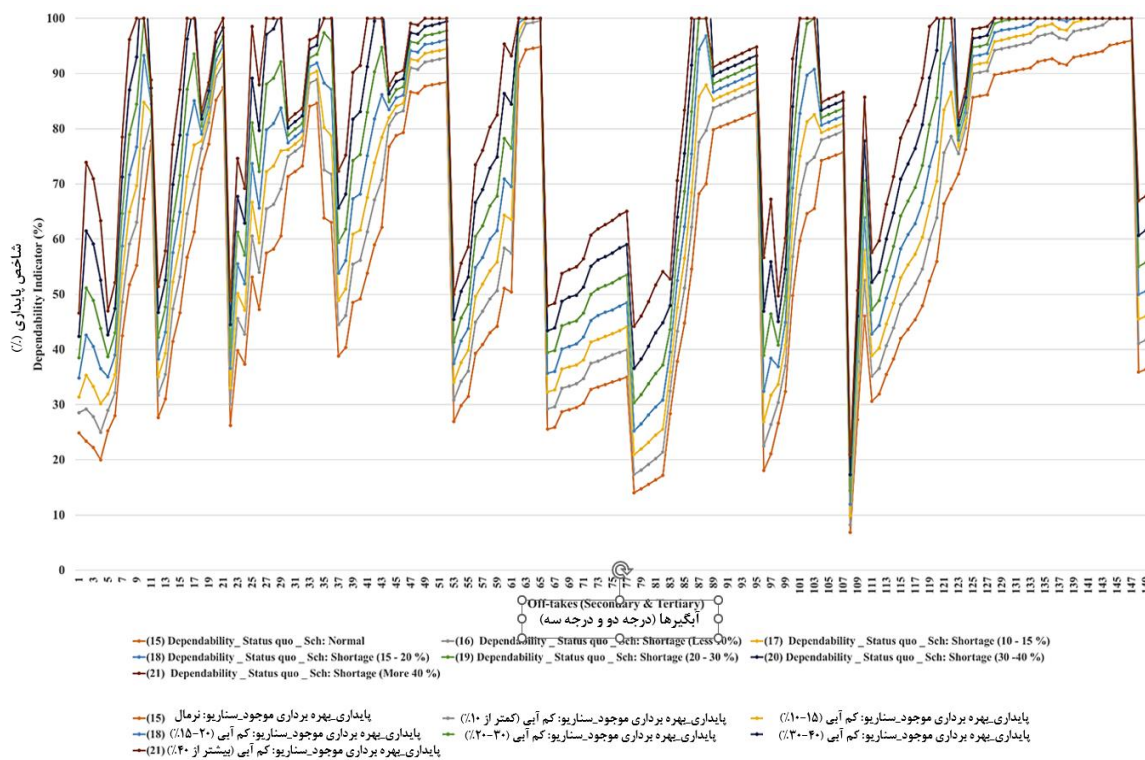
شکل (۲). میانگین کلی شاخص پایداری تحویل آب به آبیگرهای بالادست تا پائین دست کانال اصلی آبیاری شبکه نکوآباد



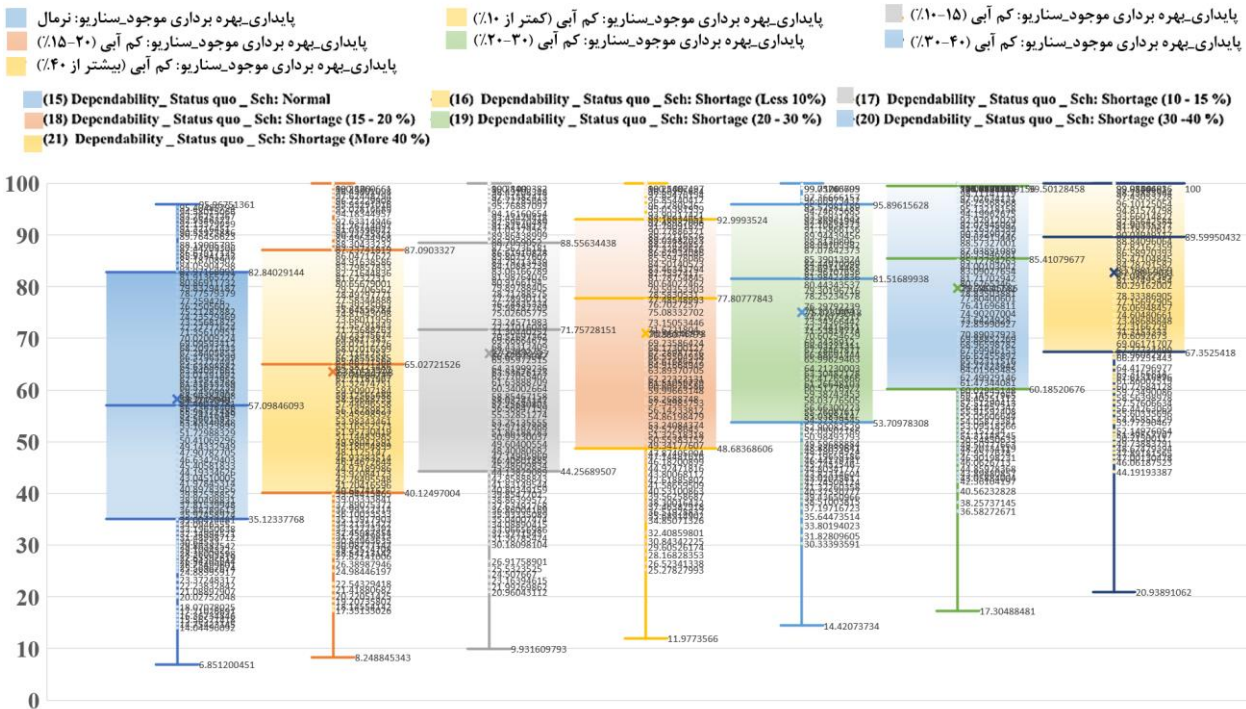
ارزیابی پایداری توزیع آب سطحی در کانال‌های فرعی

در ادامه نتایج ارزیابی عملکرد سامانه فرعی بهره‌برداری تحت سناریوهای بهره‌برداری هفت‌گانه و از نقطه نظر شاخص ارزیابی عملکرد پایداری در شکل‌های (۳) و (۴) آرایه شده است. در شکل (۳) متوسط مقدار شاخص ارزیابی عملکرد محاسبه شده در طول شبیه‌سازی فصل آبیاری آرایه شده است. مطابق شکل الگوی افزایشی (افزایش مقدار میانگین شاخص محاسبه شده) تکرار شونده‌ای در هر چند آبگیر کنار هم قابل رویت است که افزایش میانگین پایداری توزیع آب آبگیرهای واقع در هر کانال آبیاری درجه دو (از بالادست به پایین‌دست)، از آبگیر ابتدایی تا پایین‌دستی‌ترین آبگیر نشان می‌دهد. صرفاً شیب این تغییرات (الگوی افزایشی) متفاوت بوده است. رخداد رفتار مذکور دور از انتظار هم نبوده و تفسیر این رخداد براساس ماهیت کنترل بالادستی بودن روش بهره‌برداری دستی شبکه آبیاری مورد مطالعه، هم برای کانال اصلی و هم برای کانال‌های فرعی، قابل انجام است. در بهره‌برداری به شیوه کنترل دستی، تنظیمات آبگیرها در امتداد هر کانال آبیاری منطبق بر مسیر حرکت جریان از بالادست به پایین‌دست بوده و با اعمال تاخیر زمانی حرکت جریان از یک آبگیر به آبگیر بعدی، زمان تنظیمات آن سازه برآورد می‌شود. در این شیوه بهره‌برداری، میزان تنظیمات روزانه هر سازه آبگیر نیز تابعی از حبابه/دبی فروخته‌شده/دبی اختصاصی در همان روز می‌باشد. به‌طور کلی و با صرف نظر از عوامل خارجی تاثیرگذار در شیوه بهره‌برداری کانال آبیاری (از جمله وقوع دوره‌های کم‌آبی و محدودیت‌های سامانه تامین آب) عوامل تاثیرگذار داخلی در یک سامانه کانال‌های روباز انتقال، توزیع و تحویل آب آبیاری عبارتند از: (۱) میزان دانش و تخصص مدیر بهره‌برداری در تخمین دقیق زمان تاخیر جریان بین آبگیرها، (۲) میزان مهارت و تعهد کاری اکیپ‌های بهره‌برداری در پیاده‌سازی برنامه زمانی تنظیمات روزانه سازه‌ها، (۳) مهارت و آشنایی کافی بهره‌برداران در نحوه تنظیمات سازه‌های آبگیر و (۴) انجام کامل و موثر بازرسی-های دوره‌ای و واسنجی‌های دوره‌ای جهت رفع مشکلات احتمالی پیش‌آمده برای سازه‌ها در طول فصل آبیاری و

اطمینان از دقت جداول/منحنی‌های دبی-اشل و جداول میزان بازشدگی - میزان دبی عبوری هر سازه. همچنین در شکل (۴) نمودار پراکندگی مقادیر میانگین شاخص نشان داده شده که بر اساس آن پایداری توزیع آب در شبکه فرعی، نه در شش سناریوی کم‌آبی بلکه در در سناریوی نرمال نیز عملکرد دور از انتظاری از خود نشان داده است. در شکل (۴) نمودار جعبه‌ای نحوه توزیع نتایج متوسط شاخص پایداری محاسبه شده ارائه شده که بر اساس آن پایداری توزیع آب در سناریوی نرمال بهره‌برداری برای ۵۰٪ آبگیرها (چارک دوم و سوم در نمودار) در محدوده ۳۵٪ تا ۸۴٪ در نوسان می‌باشد. در چارک اول (بالا) با حدود متوسط شاخص پایداری ۸۴ تا ۹۶ درصد، آبگیرهای واقع در پائین‌دست هر کانال فرعی و در چارک چهارم (پایین)، با حدود تغییرات شاخص پایداری ۵-۳۵٪ آبگیرهای بالادستی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد حتی در شرایط بدون کم‌آبی و در سناریوی بهره‌برداری نرمال هم متوسط شاخص پایداری در محدود مطلوب (PD ≤ 10 - 0)، مطابق دسته‌بندی شاخص‌های ارزیابی عملکرد توزیع آب سطحی قرار نگرفته است. روند کاهش‌ی قرارگیری چارک‌های دوم و سوم با شروع و سپس تشدید دوره کم‌آبی به‌طور واضح در این نمودار مشخص است. به‌طوریکه با آغاز کم‌آبی در سناریوی کم‌آبی کمتر از ۱۰٪، محدوده تغییرات متوسط شاخص پایداری در حدود ۶-۳٪ افزایش در مقایسه با سناریوی نرمال، به محدوده ۴۱-۸۷٪ کاهش پیدا کرده است. نتایج حاکی از آن است که در دو سناریوی کم‌آبی شدید و حاد (دبی ورودی ۳۰-۴۰٪ و بیشتر از ۴۰٪ کمبود آب عملاً کارایی سامانه بهره‌برداری، با حدود میانگین شاخص پایداری بالای ۶۰٪ در چارک دوم و سوم، غیرمطمئن شده است. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از نتایج بدست آمده می‌توان اعتمادپذیر بودن سامانه موجود بهره‌برداری (روش بهره‌برداری دستی دستی در شبکه آبیاری نکوآباد) را در توزیع پایدار آب سطحی، تحت سناریوی بهره‌برداری نرمال، ضعیف (PD ≤ 25) و برای دوره‌های کم‌آبی غیرقابل اعتماد ارزیابی نمود.



شکل (۳). میانگین شاخص پایداری تحویل آب به ۱۴۹ آبیگر واقع در سیزده کانال درجه دو شبکه نکوآباد تحت سناریوهای بهره برداری هفتگانه



شکل (۴). پراکندگی میانگین شاخص پایداری تحویل آب در شبکه فرعی توزیع آب تحت سناریوهای بهره‌برداری هفتگانه

مطابق نقشه‌های پهنه‌بندی پایداری توزیع آب سطحی ارایه شده در شکل (۵)، با ظهور کم‌آبی (در سناریوی بهره‌برداری دوم) شاهد افت چشمگیر و قابل ملاحظه مقدار مطلوبیت پایداری توزیع آب سطحی هستیم به‌نحوی که تنها در حدود ۲.۸٪ و ۱۴.۵٪ از اراضی تحت پوشش شبکه، میانگین پایداری توزیع آب تحویل داده شده به ترتیب در محدوده ۰-۱۰٪ و ۱۱-۲۵٪ می‌باشد. شایان ذکر است که سطوح مذکور در ملایم‌ترین سناریوی بهره‌برداری کم‌آبی و زمانی- که تنها کاهش دبی ورودی با سامانه بهره‌برداری در محل بند انحرافی کمتر از ۱۰٪ مقدار تقاضای برآورد شده در کانال رخ داده است. با تشدید کم‌آبی در سناریوی سوم و چهارم - به ترتیب با ۱۰-۱۵٪ و ۲۰-۱۵٪ کاهش در دبی ورودی به سراب شبکه، سطح تحت پوشش با شاخص پایداری مطلوب (مقدار شاخص کمتر از ۱۰٪) در حدود ۰.۹٪ و ۰.۱٪ بدست آمده است. صرف‌نظر از شرایط حادثر کم‌آبی در سناریوهای ۴ تا ۷ و بر اساس سه سناریوی اول، عملاً می‌توان این‌طور استدلال نمود که توانایی سامانه بهره‌برداری دستی در توزیع پایدار آب سطحی در سطح شبکه آبیاری نکوآباد، حتی در شرایط نرمال بهره‌برداری یا شرایط

تحلیل مکانی پایداری توزیع آب سطحی در سطح شبکه آبیاری نکوآباد

به منظور ارائه تحلیل مکانی پایداری توزیع آب در سطح شبکه، مقدار متوسط شاخص محاسبه شده با استفاده از نرم‌افزار GIS در شکل (۵)، به تفکیک سناریوهای بهره‌برداری، ارائه شد. نتایج تحلیل مکانی، امکان بررسی و مقایسه مکانی پراکندگی مقادیر متوسط شاخص پایداری تحویل آب به آبگیرها تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری را فراهم نموده است. مطابق با این شکل در همه سناریوها، شاخص پایداری از بالادست (منطقه نزدیک به بند انحرافی نکوآباد) به سمت پایین‌دست (انتهای کانال‌های اصلی و تخلیه به زهکش انتهایی) روندی صعودی را طی می‌نماید. مقدار شاخص پایداری نشان داده شده در این شکل حاکی از این می‌باشد که به طور کلی بهره‌برداری در امتداد کانال اصلی (بخش غربی شبکه) با مقادیر پایین‌تر محاسبه شده شاخص پایداری، از مطلوبیت بیشتری برخوردار است و با فاصله از بخش غربی به بخش‌های مرکزی و شرقی شبکه، وضعیت پایداری توزیع آب غیرقابل قبول می‌شود.

اصفهان، توانایی فنی قابل اتکایی ندارد به-
طوریکه، تحویل و توزیع آب تنها در دو آبگیر واقع
در بالادست کانال اصلی عملکرد خوب، در سایر
یازده آبگیر مابقی آن عملکرد متوسط تحت
سناریوی نرمال بهره‌برداری نشان داده است.
شایان ذکر است که از میان ۱۴۹ آبگیر واقع در
سیزده کانال فرعی این شبکه آبیاری، در ۱۴۸
مورد میانگین کلی شاخص پایداری توزیع آب
سطحی عملکرد خوب تحت شرایط نرمال بهره-
برداری نداشته است.

(۲) با ظهور کم‌آبی در شش سناریوی دیگر بهره-
برداری این تحقیق، میانگین کلی شاخص
پایداری توزیع آب در همه آبگیرهای واقع در
کانال اصلی و تمام آبگیرهای واقع در کانال فرعی
در دو کلاس متوسط و ضعیف دسته‌بندی می-
شود. نتایج حاصله نشان می‌دهد که با تشدید
وضعیت کم‌آبی در محل بند انحرافی از میزان
٪۱۵ (میزان آب ورودی به شبکه در حدود ۱۵
درصد کمتر از کل تقاضای برآورد شده) و بیشتر
از آن (سناریوی بهره‌برداری چهارم تا هفتم) عملاً
توزیع پایدار آب سطحی کانال‌های درجه یک و
دو شبکه آبیاری نکوآباد مختل شده است.

(۳) نتایج تحلیل مکانی - نقشه‌های پهنه‌بندی
پایداری توزیع آب سطحی - نشان داد که در
بهره‌برداری تحت شرایط نرمال در حدود ۲۸٪ و
٪۱۴٫۵ از اراضی تحت پوشش شبکه، میانگین
پایداری توزیع آب تحویل داده شده به‌ترتیب در
محدوده ۱۰-۰٪ و ۱۱-۲۵٪ می‌باشد. نکته جالب
توجه این است که در همین شرایط بهره‌برداری
٪۳۸٫۹ اراضی واقع در محدوده شبکه آبیاری
میانگین پایداری توزیع آب سطحی در محدوده
۶۰ تا ۱۰۰ درصد بدست آمده است.

پیشنهاد کاربردی در راستای تکمیل فعالیت صورت
گرفته در این تحقیق و با هدف افزایش دقت و سطح ارزیابی
صورت گرفته، ارزیابی جامع حقایق‌های سنتی، توافقی و
فروش آب موجود در محل هر آبگیر درجه دو و درجه سه

خفیف کم‌آبی در سامانه تامین آب، عملکردی نامطمئن و
غیر موثر نشان می‌دهد. لذا بر پایه نتایج تحلیل زمانی
شاخص‌های ارزیابی عملکرد در آبگیرهای واقع در کانال‌های
اصلی و فرعی شبکه آبیاری نکوآباد و همچنین با استناد به
نتایج تحلیل مکانی در شکل (۵) می‌توان فرضیه ابتدایی
این تحقیق (که عبارت بود از عدم توانایی روش بهره‌برداری
دستی، به‌عنوان متداول‌ترین سامانه توزیع آب سطحی در
شبکه‌های آبیاری ایران، در توزیع پایدار آب سطحی بین
آب‌بران در شرایط بهره‌برداری کم‌آبی) را تایید نمود.

نتیجه‌گیری

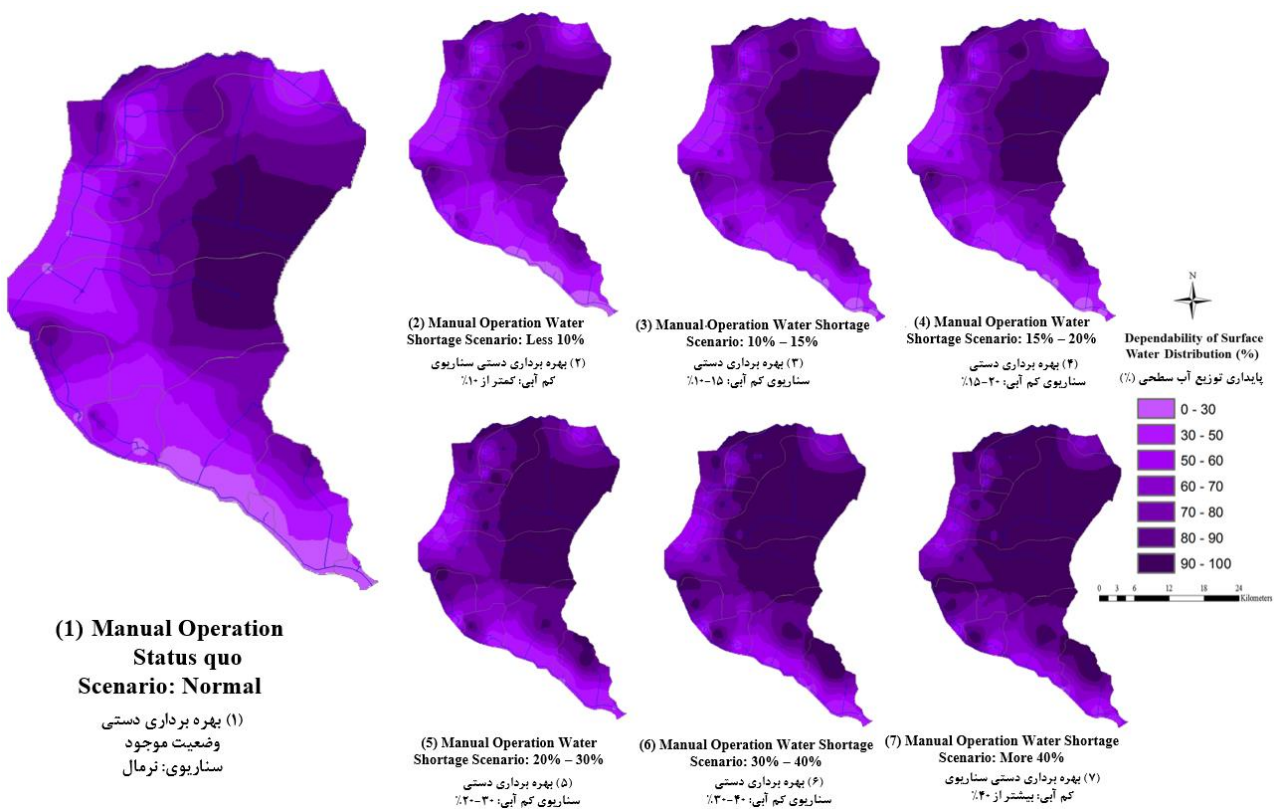
همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، اولین گام در پیاده-
سازی طرح‌های نوسازی، بهسازی و مدرن‌سازی با هدف
ارتقای شیوه مدیریت تخصیص و توزیع آب در یک شبکه
آبیاری، بررسی مکانی نحوه توزیع آب سطحی و در نتیجه
تعیین سهم هر کدام از منابع آب سطحی و زیرزمینی در
تأمین نیاز کشاورزی آن شبکه می‌باشد. در این راستا، در
گام اول اقدام به ارزیابی وضعیت فعلی و عملکرد بهره‌برداری
انتقال و توزیع آب شبکه آبیاری نکوآباد در برخورد با شرایط
بهره‌برداری محتمل کم‌آبی صورت گرفت. ارزیابی عملکرد
بهره‌برداری بستری را ایجاد می‌کند که جنبه‌های مختلف
سازه‌ای، هیدرولیکی و مدیریتی و همچنین تعیین عوامل
مؤثر در بهره‌برداری از شبکه، به منظور ارائه اقدامات لازم
جهت بهبود وضعیت بهره‌برداری در صورت لزوم، انجام شود.
در این راستا ارزیابی عملکرد بدست آمده در سامانه انتقال
و توزیع آب کشاورزی (شامل کانال‌های اصلی و فرعی) در
شبکه آبیاری نکوآباد از دیدگاه پایداری تحویل و توزیع آب
آبیاری صورت گرفت و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و ارزیابی
عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی شبکه آبیاری نکوآباد شامل
شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد وضعیت بهره‌برداری موجود
در سامانه انتقال و توزیع، در شرایط مختلف بهره‌برداری به
صورت مشروح در قالب ارزیابی در کانال‌های اصلی و فرعی
ارایه شد. نتایج کاربردی بدست آمده از فرآیند شبیه‌سازی
و ارزیابی عملکرد سامانه بهره‌برداری دستی در این پژوهش
به شرح ذیل خلاصه می‌گردد:

(۱) سامانه بهره‌برداری دستی از نقطه نظر پایداری
توزیع آب سطحی در شبکه آبیاری نکوآباد



به صورت قطره چکانی در اختیار محقق قرار می‌گیرد. به صورت جزئی‌تر محدودیت تحقیق شامل عدم امکان ارزیابی دقت منحنی‌های دی-اشل موجود برای تمام سازه‌های آبیگر این شبکه، نبود هیچ‌گونه سنسور اندازه‌گیری عمق/سرعت/دبی جریان در این شبکه به منظور بررسی دقت سری زمانی عمق/سرعت/دبی جریان شبیه‌سازی شده در محل سازه اندازه‌گیری با سری زمانی اندازه‌گیری شده و همچنین عدم امکان شبیه‌سازی فرآیند توزیع آب در کانال-های درجه سه منتهی به دلیل تعدد بالا، زمان و هزینه بالای این فرآیند است. در این راستا لازم به توضیح است که حمایت‌های مالی بسیار محدود برای انجام پژوهش در این موضوع خاص، به دلیل محدودیت بودجه‌های پژوهشی، گاه‌ها ناشناخته بودن موضوع و یا کم‌اهمیت جلوه دادن موضوع در صورت وجود آگاهی سبب در نظر گرفتن مفروضات زیادی برای به سرانجام رسیدن این‌گونه پژوهش‌ها شده که عموماً از دقت نتایج بدست آمده می‌کاهد.

می‌باشد. منظور از افزایش دقت ارزیابی در اینجا، تدقیق مقدار نیاز آب روزانه هر آبیگر می‌باشد که به عنوان مخرج کسر شاخص پایداری توزیع و تحویل آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین منظور از افزایش سطح ارزیابی، وارد کردن پارامترهای بیشتری شامل نیاز آبی الگوی کشت مشخص در شبکه، میانگین راندمان‌های کاربرد آب در مزارع و راندمان‌های انتقال و توزیع آب در کانال‌های فرعی و لترال‌ها به فرآیند ارزیابی است. این مهم با استفاده از رنج وسیعی از روش‌ها و مدل‌سازی‌های مرتبط با مدیریت آب در سطح مزرعه قابل پیاده‌سازی است. شاخص‌ترین محدودیت‌های پیش روی این تحقیق که مسلماً دقت فرآیند ارزیابی را تحت تاثیر قرار داد به شرح ذیل ارایه می‌شود. محدودیت کلی در این‌گونه تحقیقات در ارتباط با گردآوری و جمع‌آوری اطلاعات کافی و مطمئن در سطح شبکه است. دلیل این امر هم نبود سازه‌های اندازه‌گیری مطمئن در کانال‌ها برمی‌گردد و هم به محرمانه بودن اطلاعات فروش آب شرکت بهره‌برداری است که اطلاعات





شکل (۵). پراکندگی مکانی پایداری توزیع آب سطحی (نقشه‌های هم پایداری) در شبکه آبیاری نکوآباد تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری از نرمال (سناریوی ۱) تا کم آبی حاد (سناریوی هفت)

تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۲۲۰۷۹» انجام شده است.

منابع

- Afrasiabikia, P., Parvaresh Rizi, A., Javan, M., & (2017). Scenarios for improvement of water distribution in Doroodzan irrigation network based on hydraulic simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135, 312-320 .
- Akkuzu, E., Ünal, H. B., Karataş, B. S., & (2007). Determination of water conveyance loss in the Menemen open canal irrigation network. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(1), 11-22 .
- Daneshfaraz, R., Norouzi, R., Abbaszadeh, H., & Azamathulla, H. M. (2022). Theoretical and experimental analysis of applicability of sill with different widths on the gate discharge coefficients. *Water Supply*, 22(10), 7767-7781 .
- Dejen, Z. A. (2015). Hydraulic and operational performance of irrigation schemes in view of water saving and sustainability: sugar estates and community managed schemes In Ethiopia. Wageningen University and Research .
- Fipps, G. (2000). Potential water savings in irrigated agriculture for the Rio Grande Planning Region (Region M). Texas Cooperative Extension, Texas A&M University System .
- Ghumman, A., Ahmad, S., Rahman, S., & Khan, Z. (2018). Investigating management of irrigation water in the upstream control system of the upper swat canal. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42, 153-164 .
- Isapoor, S., Montazar, A., Van Overloop, P., & Van De Giesen, N. (2011). Designing and evaluating control systems of the Dez main canal. *Irrigation and Drainage*, 60(1), 70-79 .
- Jadhav, P., Thokal, R., Mane, M., Bhange, H., & Kale, S. (2014). Improving conveyance efficiency through canal lining in command area: A Case Study. *International Journal of Engineering Innovation & Research*, 3(6), 820-826 .
- Kaghazchi, A., Shahdany, S. M. H., Roozbahani, A., & (2021). Simulation and evaluation of agricultural water distribution and delivery systems with a Hybrid Bayesian network model. *Agricultural Water Management*, 245, 106578 .
- Karimi Avargani, H., Hashemy Shahdany, S. M., Hashemi Garmdareh, S. E., & Liaghat, A. (2020). Determination of Water Losses through the Agricultural Water Conveyance, Distribution, and Delivery System, Case Study of Roodasht Irrigation District, Isfahan. *Water and Irrigation Management*, 10(1), 143-156.
- Kedir, Y., & Engineer, S. I. (2015). Estimation of conveyance losses of Wonji-Shoa sugar cane irrigation scheme in Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(17), 2224-3216 .
- Khaeez, S., & Shahdany, S. M. H. (2021). Non-structural modification of agricultural water distribution systems in large scale irrigation districts. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106102 .
- Mohammadi, A., Parvaresh Rizi, A., Abbasi, N., & (2019). Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin Irrigation Scheme, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 18, e00646 .
- Molden, D. J., & Gates, T. K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 116(6): 804-823.



Orojloo, M., Shahdany, S. M. H., Roozbahani, A., & (2018). Developing an integrated risk management framework for agricultural water conveyance and distribution systems within fuzzy decision making approaches. *Science of the Total Environment*, 627, 1363-1376 .

Ostovari, S., & Monem, M. J. (2022). Management and performance improvement of irrigation canals in water-scarce conditions considering hydraulic drawbacks: A case study for the Eastern Aghili secondary canal, Iran. *Irrigation and Drainage*, 71(5), 1294-1303 .

Serra, P., Salvati, L., Queralt, E., Pin, C., Gonzalez, O., & Pons, X. (2016). Estimating water consumption and irrigation requirements in a long-established mediterranean rural community by remote sensing and field data. *Irrigation and Drainage*, 65(5), 578-588 .

Seyed Hoshiyar, S. M., Pirmoradian, N., Ashrafzadeh, A., & Parvaresh Rizi, A. (2021). Performance assessment of a water delivery canal to improve agricultural water distribution. *Water Resources Management*, 35(8), 248 . ۲۵۰۱-۷

Shahverdi, K., & Maestre, J. M. (2023). Holistic Framework for Canal Modernization: Operation Optimization, and Economic and Environmental Analyses. *Water Resources Management*, 1-20 .

Soler, J., Gamazo, P., Rodellar, J., & Gómez, M. (2015). Operation of an irrigation canal by means of the passive canal control. *Irrigation science*, 33, 95-106 .

Van Overloop, P., Negenborn, R., Schutter, B. D., & Van De Giesen, N. (2010). Predictive control for national water flow optimization in The Netherlands. *Intelligent infrastructures*, 439-461 .