

Performance assessment and operational optimization of Bilavar plain irrigation network

Ali Arman ^{1✉} , and Elham Darvishi ² 

1. Corresponding author, Campus of Agriculture and Natural Resources, Department of water engineering, Razi university, Kermanshah, Iran. Email: a.arman@razi.ac.ir
2. Campus of Agriculture and Natural Resources, Department of water engineering, Razi university, Kermanshah, Iran. Email: e.darvishi@razi.ac.ir

Article Info.

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received 26 November 2025

Received in revised form 01

April 2026

Accepted 22 May 2026

Available online 22 June 2026

Keywords:

irrigation and drainage

network,

operation,

transmission efficiency,

pumping station,

Nearpeak

module,

Bilavar plain,

GIS.

Objective This research aimed to comprehensively assess the Bilavar Plain Irrigation and Drainage Network's operational performance. The study further sought to identify targeted management and technical strategies to enhance water productivity, minimize losses, and ensure stable agricultural output.

Method: Data collection relied on a multi-faceted strategy combining field surveys, direct facility inspections, and discharge measurements using a Seba current meter. These primary data were supplemented by rigorous hydraulic analysis and GIS-based spatial mapping to characterize network performance. The study further examined the effects of pressure outages on water loss, assessed the operational efficiency of Nirpeak modules and pumping stations, and used structured questionnaires to analyze the socio-economic factors shaping farmer participation.

Results: The assessment yielded several key findings. While the Nirpeak modules performed within acceptable tolerances, with measurement errors below 5%, the water level regulating structures were found to be only in average condition. Transmission efficiency along the main canal ranged from 90.8% to 91.6%—notably below design specifications—owing primarily to leakage and unauthorized water diversions. Pumping station performance was substantially undermined by poor maintenance, equipment misalignment, and inappropriate pump selection, with daily power interruptions further compounding water losses. On the socio-economic front, the study identified low profitability of traditional crops, market volatility, and limited technical knowledge as the principal barriers to active farmer participation.

Conclusions: The study yields three main recommendations: converting parts of the canal to a pressurized pipe system to reduce water losses and optimize pumping, improving network operation, maintenance, and GIS-based monitoring to enhance performance, and promoting high-value autumn crops to strengthen farmers' incomes and the long-term sustainability of the irrigation network.

Cite this article: Arman, A., & Darvishi, E. (2026). Performance assessment and operational optimization of Bilavar plain irrigation network. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 5 (2), 102-119. <https://doi.org/10.22126/atwe.2026.13971.1217>



© The Author(s)

Publisher: Razi University.

<https://doi.org/10.22126/atwe.2026.13971.1217>

Introduction

The global water crisis—particularly acute in arid and semi-arid regions such as Iran, where agriculture consumes over 90% of renewable water resources—has rendered the efficient management and enhanced performance of irrigation and drainage networks an urgent imperative. Yet, in many such systems, actual performance falls considerably short of design expectations due to a confluence of technical, managerial, and social factors, including structural deterioration, inefficient pumping stations, unauthorized diversions, and inadequate maintenance regimes.

The Bilavar Plain irrigation network, a key agricultural infrastructure in western Iran, exemplifies these challenges, grappling with high conveyance losses, suboptimal pumping station performance, and limited stakeholder engagement. In response, this research undertakes a comprehensive operational assessment of the network, aiming to pinpoint critical technical and managerial constraints. Building on this diagnosis, the study proposes targeted interventions to enhance water transmission efficiency, upgrade pumping station functionality, and refine operation management practices—thereby supporting the long-term sustainability of agricultural production in the region.

Method

The Bilavar Plain irrigation and drainage network, located in Kermanshah province, is a pivotal agricultural water transmission and distribution system in western Iran. Designed to supply water to regional farmlands and enhance crop productivity, the network comprises main and branch canals, water regulation and measurement structures, pumping stations, and both gravity-fed and pressurized conveyance systems. Given the region's semi-arid climate—where most precipitation occurs during cooler months—and the agricultural sector's heavy reliance on irrigation, optimizing network performance is of critical importance.

To comprehensively evaluate the network's operational status, this research adopted a mixed-methods approach. Data collection integrated technical and operational assessments with extensive field inspections of canals, hydraulic structures, and pumping stations, alongside precise flow measurements using a Seba current meter. The study further assessed the performance of Nearpeak modules and transmission canals, evaluated pumping station efficiency, and analyzed socio-economic factors influencing farmer participation through structured questionnaires. All spatial data were compiled into a GIS-based database to support management and decision-making. This multifaceted framework enables accurate identification of system bottlenecks and informed formulation of targeted improvement strategies.

Results

Assessment of the pumping stations revealed significant discrepancies between pump selection and actual field requirements for head and discharge. These mismatches have resulted in reduced operational efficiency, accelerated equipment wear, and hydraulic imbalances across the network. Additional deficiencies—including leaking connections, unlevel suction lines, faulty valves, and improper installation—have facilitated air ingress and precipitated premature mechanical failures. Compounding these technical issues, operators possess limited technical expertise, and the reliance on unqualified maintenance personnel has further exacerbated equipment damage and inflated operational costs.

Evaluation of the BLMC canal indicated that water conveyance efficiency fell short of design standards, a shortfall attributable primarily to leakage, unauthorized diversions, canal degradation, and inadequate supervisory oversight. Recurring daily power outages have compounded these losses by halting pumping operations, which in turn increases seepage and evaporation losses. To address these challenges, this study proposes two complementary strategies: utilizing gravity-irrigated lands during power interruptions to maintain supply continuity, and transitioning from open canals to pressurized pipelines to substantially reduce conveyance losses and enhance overall network performance.

Conclusions

The findings underscore that improving the Bilavar irrigation network extends well beyond physical rehabilitation; it necessitates a holistic strategy that integrates technical upgrades, operational reforms, sustained maintenance, and robust monitoring and control systems. Addressing pumping station inefficiencies, minimizing conveyance losses, curbing unauthorized water use, and optimizing cropping patterns can collectively yield substantial performance gains. Equally critical, however, are the socio-economic dimensions—enhancing farmer participation through targeted incentives and capacity-building is indispensable for achieving lasting operational sustainability. The study concludes that the network's long-term viability hinges on a triad of interconnected interventions: technical, managerial, and social. Only through such an integrated approach can the Bilavar Plain network realize its full potential as a resilient and productive agricultural water system.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.

Ethical Considerations

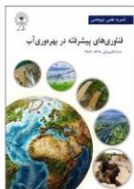
The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی دشت بیلوار

علی آرمان^۱ و الهام درویشی^۲

۱. نویسنده مسئول، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: a.arman@razi.ac.ir

۲. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: e.darvishi@razi.ac.ir

در باره مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی، مقاله مروری، تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱ کلیدواژه‌ها: شبکه آبیاری و زهکشی، بهره‌برداری، راندمان انتقال، ایستگاه پمپاژ، مدول نیروپیک، دشت بیلوار، GIS	هدف: ارزیابی جامع وضعیت بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی دشت بیلوار و ارائه راهکارهای مدیریتی و فنی جهت بهبود عملکرد آن. روش پژوهش: این تحقیق شامل ارزیابی عملکرد مدول‌های نیروپیک، بررسی راندمان انتقال در کانال BLMC، تحلیل وضعیت ایستگاه‌های پمپاژ ناحیه عمرانی B3 و B4، بررسی هدررفت آب در زمان قطع برق، امکان‌سنجی جایگزینی کانال روباز با سامانه انتقال تحت فشار و تحلیل عوامل اجتماعی-اقتصادی عدم انعقاد قرارداد کشاورزان بوده است. داده‌ها از طریق برداشت‌های میدانی، اندازه‌گیری دبی با مولینه Seba، تحلیل هیدرولیکی، بازدید از تأسیسات، پرسش‌نامه‌های بهره‌برداران و پردازش اطلاعات در محیط GIS جمع‌آوری گردید. یافته‌ها: خطای اندازه‌گیری مدول‌های نیروپیک کمتر از ۵ درصد بوده و عملکرد قابل‌قبولی داشتند، اما سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب (چک‌ها) در وضعیت متوسط ارزیابی شدند. راندمان انتقال در بخشی از کانال اصلی حدود ۹۰/۸ تا ۹۱/۶ درصد محاسبه شد که کمتر از مقادیر طراحی بوده و عمدتاً ناشی از برداشت‌های غیرمجاز و نشت در سازه‌ها است. انتخاب نامناسب پمپ‌ها، عدم تراز تجهیزات و ضعف نگهداری در ایستگاه‌های پمپاژ موجب کاهش بازده عملکرد شده است. قطع برق روزانه سبب هدررفت قابل توجه آب در شبکه گردیده است. جایگزینی بخشی از کانال با لوله می‌تواند ضمن کاهش تلفات، برخی ایستگاه‌های پمپاژ را حذف نماید. پایین بودن سودآوری کشت‌های رایج، نبود بازار مطمئن و ضعف دانش فنی کشاورزان از عوامل اصلی عدم مشارکت بهره‌برداران تشخیص داده شد. نتیجه‌گیری: توسعه کشت‌های پاییزه با ارزش افزوده بالاتر، استقرار سامانه GIS، اصلاح مدیریت بهره‌برداری و ارتقای نگهداری ایستگاه‌های پمپاژ به‌عنوان مهم‌ترین راهکارهای بهبود عملکرد شبکه پیشنهاد گردید.

استناد: آرمان، علی؛ و درویشی، الهام. (۱۴۰۵). ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی دشت بیلوار. فناوری‌های پیشرفته در

بهره‌وری آب، ۵ (۲)، ۱۱۹-۱۰۲.

<http://doi.org/10.22126/atwe.2026.13971.1217>



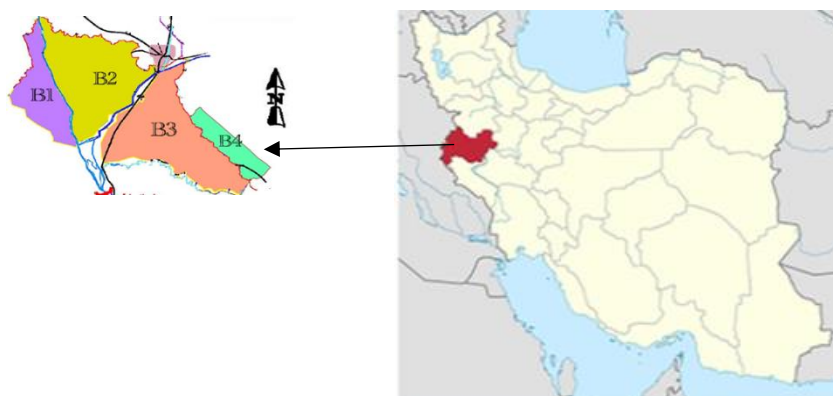
© نویسندگان

شر: دانشگاه رازی.

مقدمه

بحران آب در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه کشاورزی در جهان تبدیل شده است. رشد جمعیت، افزایش تقاضای غذایی، توسعه اراضی کشاورزی و تغییرات اقلیمی موجب شده است که بهره‌برداری بهینه از منابع آب اهمیت دوچندان یابد. در کشورهای خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب بوده و بیش از ۹۰ درصد آب تجدیدپذیر کشور را مصرف می‌کند. از این رو ارتقای راندمان آبیاری و کاهش تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع آب، یکی از اساسی‌ترین راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب محسوب می‌شود. شبکه‌های آبیاری و زهکشی باهدف انتقال، توزیع و تحویل مناسب آب به اراضی کشاورزی طراحی می‌شوند، اما عملکرد واقعی بسیاری از این شبکه‌ها به دلایل فنی، مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی فاصله قابل توجهی با شرایط طراحی دارد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که ضعف در بهره‌برداری و نگهداری، نارسایی سازه‌های اندازه‌گیری، نبود سامانه‌های کنترلی مناسب، رسوب‌گذاری، برداشت‌های غیرمجاز و ناکارآمدی ایستگاه‌های پمپاژ از مهم‌ترین عوامل کاهش بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری هستند (شاهرخ‌نیا و جوان، ۱۳۸۵؛ محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳؛ کلمنز^۱، ۲۰۱۲).

شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌منظور کنترل عملکرد می‌باید در دوره‌های زمانی مشخصی مورد بررسی قرار گیرند. یکی از شبکه‌های آبیاری مدرن در کشور، شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان (بیلوار) در استان‌های کردستان و کرمانشاه است. این شبکه در دشت بیلوار باهدف توسعه کشاورزی آبی و افزایش بهره‌وری منابع آب احداث شده است. شبکه مذکور دارای چهار ناحیه عمرانی B1، B2، B3 و B4 است. به دلیل آنکه دو ناحیه عمرانی B3 و B4 مجموعاً با مساحتی حدود ۳۵۰۰ هکتار در استان کرمانشاه قرار دارد و کارفرمای این طرح نیز شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه بوده است، لذا موارد مورد بحث در این تحقیق متمرکز بر نواحی عمرانی B3 و B4 است. بررسی‌ها نشان داد باوجود سرمایه‌گذاری قابل توجه در اجرای این شبکه، طی سال‌های اخیر مشکلات متعددی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری آن مشاهده شده است. از جمله مهم‌ترین این مشکلات می‌توان به تلفات انتقال آب، عملکرد نامناسب برخی ایستگاه‌های پمپاژ، ضعف در تحویل عادلانه آب، برداشت‌های غیرمجاز، نبود سیستم اطلاعاتی یکپارچه و عدم مشارکت کامل بهره‌برداران اشاره کرد. در شکل (۱)، نمایی از موقعیت قرارگیری استان کرمانشاه در کشور و شبکه گاوشان در استان کرمانشاه نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت استان کرمانشاه و نواحی عمرانی شبکه آبیاری گاوشان (بیلوار)

باتوجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش تلاش شده است. ارزیابی جامعی از وضعیت عملکرد شبکه آبیاری دشت بیلوار انجام شده و مهم‌ترین چالش‌های فنی و مدیریتی آن شناسایی گردد. همچنین راهکارهای عملی برای بهبود راندمان انتقال، کاهش هدررفت آب، ارتقای عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ و بهینه‌سازی مدیریت بهره‌برداری ارائه شد

^۱ Clemmens

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری طی دهه‌های اخیر به یکی از محورهای اصلی پژوهش‌های مهندسی آب تبدیل شده است. در این زمینه، مطالعات متعددی در داخل و خارج کشور انجام شده که هرکدام ابعاد مختلفی از عملکرد هیدرولیکی، مدیریتی و بهره‌برداری شبکه‌ها را بررسی کرده‌اند.

۱. مطالعات داخلی

شاهرخ‌نیا و جوان (۱۳۸۵) با بررسی شاخص‌های عملکرد آبیاری در شبکه درودزن نشان دادند که راندمان توزیع و تحویل آب در بسیاری از بخش‌های شبکه کمتر از مقادیر طراحی بوده و اصلاح بهره‌برداری می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری شود. جلیلی و همکاران (۱۳۸۵) در ارزیابی شبکه‌های آبیاری با روش *Benchmarking* نتیجه گرفتند که شاخص‌های عملکردی ابزار مناسبی برای مقایسه و رتبه‌بندی شبکه‌ها هستند.

حبیبی‌کندین و همکاران (۱۳۹۶) عملکرد مدول‌های نیروپیک را در شبکه سفیدرود مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که این سازه‌ها در شرایط مناسب بهره‌برداری دارای دقت قابل‌قبولی در تحویل دبی هستند. کانونی و همکاران (۱۳۹۷) نیز عملکرد هیدرولیکی مدول‌های نیروپیک در شبکه یامچی اردبیل را ارزیابی کرده و اعلام نمودند که نوسانات سطح آب تأثیر مستقیمی بر خطای اندازه‌گیری این سازه‌ها دارد.

در حوزه مدیریت ایستگاه‌های پمپاژ، شریف‌نژاد و پرورش‌ریزی (۱۳۹۵) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی را بررسی کرده و ضعف نگهداری تجهیزات را عامل اصلی کاهش راندمان معرفی نمودند. حکمتی‌راد و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان دادند که انتخاب نامناسب پمپ‌ها و عدم نگهداری صحیح موجب افزایش مصرف انرژی و کاهش بازده عملکرد می‌شود.

در زمینه تلفات انتقال آب، سالمی و همکاران (۱۳۹۷) راندمان توزیع آب در کانال‌های بتنی شبکه‌های خوزستان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که نشت سازه‌ها و برداشت‌های غیرمجاز مهم‌ترین عوامل کاهش راندمان انتقال هستند. عباسی و بهراملو (۱۳۹۷) نیز علت شکست پوشش بتنی کانال‌ها را مورد مطالعه قرار داده و ضعف نگهداری و شرایط نامناسب بهره‌برداری را از عوامل اصلی تخریب سازه‌ها دانستند.

سجودی و هاشمی‌شاهدانی (۱۴۰۰) در تحقیقی مروری روش‌های برآورد راندمان انتقال در شبکه‌های آبیاری ایران را مورد بررسی قرار دادند. آنها عنوان نمودند تلفات در سیستم‌های انتقال و توزیع آب کشاورزی به دو دلیل اصلی رخ می‌دهد: نشت و عملکرد نامناسب سازه‌های کانال که باعث ایجاد تلفات بهره‌برداری می‌شود. عوامل مختلفی از جمله رشد علف‌های هرز در کانال‌ها، تجمع رسوب در کانال‌ها، تجمع زباله در کانال‌ها، ترک خوردن پوشش کانال، خورد شدن یا جابه جایی قطعات بتن در کانال‌ها، تخریب به دلیل کیفیت نامناسب مصالح و عدم وجود دانش کافی بهره‌برداری در سطح کلان و خرد تصمیم‌گیران آب کشور سبب افزایش تلفات در سامانه‌های توزیع و تحویل کشاورزی هستند.

محمدی‌قلعه‌نی و نحوی‌نیا (۱۴۰۱) در تحقیقی که برروی شبکه آبیاری آوان خوزستان انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که راندمان موثر بیان بهتری در مورد مناسب بودن مدیریت آبیاری در مقیاس مزرعه و نحوه انجام آبیاری دارد، درحالی‌که راندمان خالص تنها مفهوم استفاده مجدد از تلفات مفید را در مقیاس مکانی بزرگتر از مزرعه لحاظ می‌کند.

همچنین در تحقیقات متعددی جایگزینی برخی محصولات با درآمد بالا و راندمان آبیاری بیشتر مدنظر قرار گرفته است. در تحقیقی راندمان کاربرد گیاه زعفران بر اساس آمار ده‌ساله در شهرستان‌های زاوه، تربت‌حیدریه و گناباد به ترتیب برابر با ۵۱، ۴۹ و ۸۷ درصد به دست آمد (ذوالفقاران ۱۴۰۱).

۲. مطالعات خارجی

مورنو و همکاران^۱ (۲۰۰۷) عملکرد انرژی ایستگاه‌های پمپاژ را تحلیل کرده و نقش تعمیر و نگهداری را در کاهش مصرف انرژی برجسته ساختند.

گمان و همکاران^۲ (۲۰۰۹) امکان خاموشی شبانه کانال‌ها را برای صرفه‌جویی آب ارزیابی کرده و کاهش تلفات انتقال را گزارش کردند.

کلمنز (۲۰۱۲) سیستم‌های کنترل اختلاف سطح آب در کانال‌های اصلی را مورد بررسی قرارداد و بیان نمود که کنترل خودکار می‌تواند پایداری تحویل آب را افزایش دهد.

احمد و همکاران^۳ (۲۰۲۴) مطالعه‌ای مروری را در زمینه بررسی روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی عملکرد در سیستم‌های آبیاری به انجام رسانده‌اند. نشان می‌دهد که تنوع زیادی در شاخص‌های مورد استفاده در سطح جهان وجود دارد و فقدان استانداردسازی یکی از چالش‌های اصلی این حوزه است.

دایابو و همکاران^۴ (۲۰۲۴) در تحقیقی شبکه آبیاری بنی امیر مراکش به مساحت حدود ۳۴۰۰۰ هکتار را بر اساس عملکرد تحویل آب در سطح کانال‌های فرعی از نظر کفایت، قابلیت اطمینان و عدالت در توزیع مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که این شاخص‌ها در تمامی سال‌های بررسی در سطح متوسط تا ضعیف قرار داشته‌اند.

ملسه و همکاران^۵ (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای دیگر در شبکه آبیاری *Gomit* در جنوب گونداری اتیوپی، راندمان انتقال کانال‌ها را حدود ۷۴٪ و راندمان کل را ۴۰٪ برآورد نموده‌اند که نشان از افت قابل توجه آب در مسیر انتقال دارد.

مرور پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که ارزیابی جامع شبکه‌های آبیاری نیازمند بررسی هم‌زمان ابعاد هیدرولیکی، مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی است. باوجود مطالعات متعدد، تاکنون پژوهش جامعی درباره شبکه آبیاری دشت بیلوار انجام نشده و بسیاری از مشکلات بهره‌برداری آن به‌صورت دقیق تحلیل نگردیده است. ازاین‌رو پژوهش حاضر با رویکردی جامع به بررسی عملکرد شبکه پرداخته است.

روش پژوهش

شبکه آبیاری و زهکشی دشت بیلوار در استان کرمانشاه واقع شده و یکی از مهم‌ترین شبکه‌های انتقال و توزیع آب کشاورزی غرب کشور محسوب می‌شود. این شبکه باهدف تأمین آب اراضی کشاورزی منطقه و افزایش بهره‌وری تولیدات زراعی احداث گردیده است. شبکه شامل کانال‌های اصلی و فرعی، سازه‌های تنظیم و اندازه‌گیری آب، ایستگاه‌های پمپاژ و سامانه‌های انتقال ثقلی و تحت فشار است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک بوده و بخش عمده بارندگی در فصل سرد سال رخ می‌دهد. محدودیت منابع آب و وابستگی شدید تولیدات کشاورزی به آبیاری، ضرورت بهره‌برداری بهینه از شبکه را دوچندان کرده است. در شکل (۲) نمایی از شبکه مورد بررسی را ارائه شده است.

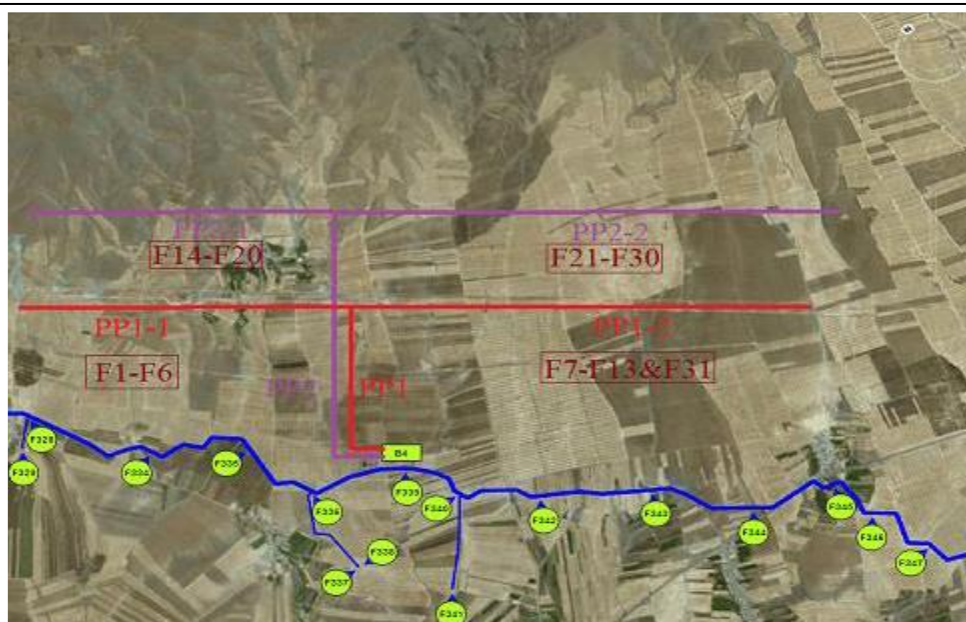
¹ Moreno et al

² Ghumman et al

³ Ahmad et al

⁴ Dayyabu et al

⁵ Melsse et al



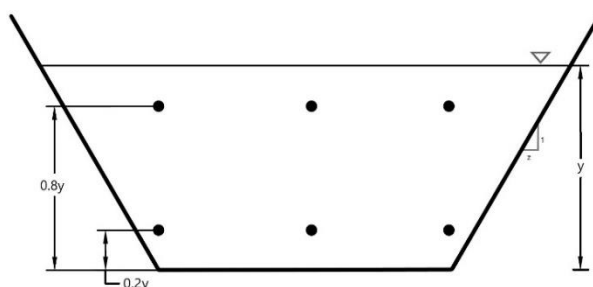
شکل ۲. نمایی از شبکه آبیاری مورد بررسی

۱. جمع آوری داده‌ها

در این پژوهش از ترکیبی از داده‌های میدانی، اسناد بهره‌برداری، برداشت‌های هیدرولیکی و اطلاعات پرسش‌نامه‌ای استفاده شد. داده‌های فنی شامل نقشه‌های اجرایی شبکه، اطلاعات ایستگاه‌های پمپاژ، مشخصات سازه‌های اندازه‌گیری و سوابق بهره‌برداری از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه دریافت گردید. به‌منظور بررسی وضعیت واقعی شبکه، بازدیدهای میدانی متعددی از کانال‌ها، سازه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ انجام شد. در این بازدیدها وضعیت فیزیکی تأسیسات، نشت آب، برداشت‌های غیرمجاز، عملکرد تجهیزات و شرایط بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲. اندازه‌گیری دبی و ارزیابی سازه‌ها

برای اندازه‌گیری سرعت جریان و تعیین دبی در مقاطع مختلف شبکه از مولینه *Seba* برای حالت سیلابی استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در چندین مقطع از کانال BLMC و سازه‌های آبگیر انجام گرفت. باتوجه‌به آنکه اغلب مسیر کانال دوزنقه‌ای است و عمق نیز بیش از ۱ متر است، سرعت در هر مقطع در ۳ ناحیه و دو عمق برداشت گردید. شکل (۳) نمای شماتیک از محله‌ای برداشت سرعت در مقاطع دوزنقه‌ای را نمایش می‌دهد.



شکل ۳. نمای شماتیک محله‌ای برداشت سرعت در مقاطع دوزنقه‌ای

پس از استقرار مولینه *Seba* در هر نقطه، حدود ۴۰ ثانیه داده‌برداری انجام گردید و سپس با استفاده از رابطه زیر، مقدار سرعت در هر استقرار به دست آمد:

$$V = 0.1378N + 0.0168 \quad (۱)$$

پس از برداشت اطلاعات موردنظر، ابتدا در هر یک از تقسیم‌بندی‌های مقاطع ذوزنقه‌ای، سرعت متوسط با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. سپس با دانستن سطح مقطع هر تقسیم‌بندی و ضرب آن در مقدار سرعت متوسط، مقدار دبی عبوری از مقطع موردنظر محاسبه گردید.

$$V_{ave} = \frac{V_{0.2y} + V_{0.8y}}{2} \quad (۲)$$



شکل ۴. نحوه داده‌برداری در مقطع ذوزنقه‌ای

به‌منظور محاسبه راندمان انتقال شبکه، دبی در نقاط خروجی آبپخش، خروجی سیفون معکوس قبل از ایستگاه پمپاژ ۳۰۱ و زهکش مابین ایستگاه‌های پمپاژ ۳۰۱ و ۳۰۲ در نظر گرفته شد. در جداول (۱) الی (۴)، مقادیر دبی در نقاط یاد شده برای دبی‌های ۳۱۰۰، ۲۹۰۰، ۲۷۰۰ و ۱۵۰۰ لیتر بر ثانیه و راندمان انتقال در هر ناحیه ارائه شده است.

جدول ۱. محاسبات مربوط به راندمان انتقال برای دبی اسمی ۳۱۰۰ لیتر بر ثانیه

محل اندازه‌گیری	دبی (لیتر بر ثانیه)	راندمان انتقال (درصد)
خروجی آبپخش	۳۲۷۰	-
خروجی سیفون معکوس	۳۰۱۰	۹۲
زهکش بین ایستگاه‌های پمپاژ ۳۰۱ و ۳۰۲	۳۰۰۰	۹۱.۵

جدول ۲. محاسبات مربوط به راندمان انتقال برای دبی اسمی ۲۹۰۰ لیتر بر ثانیه

محل اندازه‌گیری	دبی (لیتر بر ثانیه)	راندمان انتقال (درصد)
خروجی آبپخش	۲۹۶۰	-
خروجی سیفون معکوس	۲۷۳۰	۹۲.۳
زهکش بین ایستگاه‌های پمپاژ ۳۰۱ و ۳۰۲	۲۷۰۰	۹۱.۳

جدول ۳: محاسبات مربوط به راندمان انتقال برای دبی اسمی ۲۷۰۰ لیتر بر ثانیه

محل اندازه گیری	دبی (لیتر بر ثانیه)	راندمان انتقال (درصد)
خروجی آبپخش	۲۷۵۰	-
خروجی سیفون معکوس	۲۵۳۰	۹۲
زهکش بین ایستگاههای پمپاژ ۳۰۱ و ۳۰۲	۲۵۰۵	۹۱

جدول ۴: محاسبات مربوط به راندمان انتقال برای دبی اسمی ۱۵۰۰ لیتر بر ثانیه

محل اندازه گیری	دبی (لیتر بر ثانیه)	راندمان انتقال (درصد)
خروجی آبپخش	۱۵۵۰	-
خروجی سیفون معکوس	۱۳۹۰	۹۰
زهکش بین ایستگاههای پمپاژ ۳۰۱ و ۳۰۲	۱۳۷۰	۸۹.۴

۴. بررسی راندمان انتقال

راندمان انتقال آب در کانال اصلی با اندازه گیری دبی در چندین مقطع متوالی محاسبه شد. راندمان انتقال از رابطه زیر تعیین گردید:

$$E_c = \frac{Q_o}{Q_i} \times 100 \quad (3)$$

که در آن:

• E_c = راندمان انتقال

• Q_i = دبی ورودی

• Q_o = دبی خروجی

باتوجه به اندازه گیری های به عمل آمده برای دبی های ۱۵۰۰ الی ۳۱۰۰ لیتر بر ثانیه که نتایج آن در جداول ۱ الی ۴ ارائه شده است، مقادیر راندمان های انتقال در محدوده ۸۹.۴ درصد تا ۹۲.۳ درصد بوده است. باتوجه به شرایط محلی منطقه و وجود برداشت های غیرمجاز در ساحل چپ کانال آبیاری، راندمان انتقال به دست آمده شرایط مطلوبی را برآورد می کند.

۵. ارزیابی ایستگاه های پمپاژ

عملکرد ایستگاه های پمپاژ ناحیه عمرانی B3 و B4 از طریق بررسی فشار خروجی، دبی تحویلی، وضعیت لوله مکش، کوپلینگ ها و تجهیزات مکانیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین شرایط تعمیر و نگهداری، نحوه بهره برداری و میزان خرابی تجهیزات بررسی شد.

۶. بررسی عوامل اجتماعی و اقتصادی

به منظور تحلیل عوامل عدم مشارکت کشاورزان در انعقاد قرارداد بهره برداری، پرسش نامه ای طراحی و میان ۹۰ نفر از بهره برداران توزیع شد. پرسشنامه شامل سؤالاتی درباره سودآوری کشت ها، مشکلات فنی، هزینه های بهره برداری، وضعیت بازار محصولات و میزان رضایت از عملکرد شبکه بود.

یافته‌ها

۱. ارزیابی عملکرد سازه‌های اندازه‌گیری نیرویک و تنظیم‌کننده سطح آب

به‌منظور بررسی دقت عملکرد سازه‌های اندازه‌گیری و تنظیم جریان در شبکه آبیاری دشت ییلوار، اندازه‌گیری‌های میدانی دبی و سرعت جریان در کانال‌های اصلی و آبپخش‌ها انجام شد. در این راستا از مولینه مدل Seba جهت برداشت سرعت نقطه‌ای جریان و محاسبه دبی واقعی استفاده گردید. نتایج حاصل نشان داد که عملکرد مدول‌های نیرویک در شرایط بهره‌برداری موجود از پایداری قابل‌قبولی برخوردار است، هرچند اختلاف‌هایی میان دبی طراحی و دبی واقعی مشاهده شد.

جدول ۵. نتایج ارزیابی عملکرد مدول‌های نیرویک

محل اندازه‌گیری	دبی طراحی (لیتر بر ثانیه)	دبی اندازه‌گیری شده (لیتر بر ثانیه)	درصد خطا	وضعیت عملکرد
خروجی آبپخش شماره ۱	۱۲۰	۱۱۶	۳.۳	مناسب
خروجی آبپخش شماره ۲	۱۵۰	۱۴۴	۴	مناسب
خروجی آبپخش شماره ۳	۱۸۰	۱۷۲	۴.۴	مناسب
خروجی آبپخش شماره ۴	۲۱۰	۲۰۱	۴.۲	مناسب
خروجی آبپخش شماره ۵	۲۵۰	۲۳۹	۴.۴	مناسب

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که اختلاف میان دبی طراحی و دبی واقعی در اکثر مدول‌های نیرویک کمتر از ۵ درصد است. این موضوع بیانگر عملکرد قابل‌قبول مدول‌ها در شرایط بهره‌برداری فعلی شبکه است. مناسب‌ترین مقطع برای اندازه‌گیری دبی، خروجی آبپخش‌ها در ۱۰۰ متری پایین‌دست مدول نیرویک تشخیص داده شد؛ زیرا در این ناحیه جریان از آشفتگی کمتری برخوردار بوده و شرایط جریان به‌صورت ساختاریافته است.

این نتایج با یافته‌های حبیبی‌کندین و همکاران (۱۳۹۶) و کانونی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد که عملکرد قابل‌قبول مدول‌های نیرویک را در شبکه‌های آبیاری کشور گزارش نموده‌اند. بااین‌وجود، در برخی سازه‌ها نوسانات تراز آب بالادست، رسوب‌گذاری موضعی و فرسودگی تجهیزات موجب کاهش دقت تحویل آب شده بود. در ادامه، عملکرد سازه‌های تنظیم سطح آب (چک‌ها) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج عملکرد سازه‌های تنظیم سطح آب

سازه	نوع سازه چک	وضعیت کنترل تراز آب	وضعیت سازه	میزان رسوب‌گذاری	ارزیابی نهایی
چک شماره ۱	نوک اردکی	نسبتاً پایدار	مناسب	کم	متوسط رو به خوب
چک شماره ۲	نوک اردکی	ناپایدار	فرسوده	متوسط	متوسط
چک شماره ۳	نوک اردکی	پایدار	مناسب	کم	خوب
چک شماره ۴	نوک اردکی	نوسانی	نیمه‌فرسوده	زیاد	ضعیف
چک شماره ۵	نوک اردکی	نسبتاً پایدار	مناسب	متوسط	متوسط

بررسی‌ها نشان داد عملکرد سازه‌های تنظیم سطح آب در مجموع در سطح متوسط قرار دارد. مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد این سازه‌ها شامل نبود سیستم‌های کنترل خودکار، فرسودگی تجهیزات مکانیکی و تجمع رسوبات در برخی مقاطع حساس است. نوسانات سطح آب در برخی چک‌ها موجب اختلال در عملکرد مدول‌های پایین‌دست و افزایش خطای تحویل آب شده است. در نتیجه، لزوم بازسازی سازه‌های فرسوده و اجرای سامانه‌های کنترل هوشمند در شبکه بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

۲. ارزیابی عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ

ارزیابی عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ ناحیه عمرانی B3 و B4 یکی از مهم‌ترین بخش‌های این پژوهش بود؛ زیرا بخش عمده اراضی تحت پوشش شبکه وابسته به سیستم‌های پمپاژ هستند. نتایج بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری‌های انجام‌شده نشان داد که

بخش قابل توجهی از ایستگاه‌ها با مشکلات فنی و بهره‌برداری مواجه‌اند که این مسئله موجب افزایش مصرف انرژی، کاهش راندمان و افزایش هزینه‌های نگهداری شده است. نتایج ارزیابی ایستگاه‌های پمپاژ در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷. نتایج ارزیابی ایستگاه‌های پمپاژ

شماره ایستگاه	وضعیت دبی	وضعیت فشار	مشکلات اصلی مشاهده شده	وضعیت عملکرد
۳۰۱	کمتر از مقدار طراحی	پایین	نشتی اتصالات، خرابی سوپاپ	ضعیف
۳۰۲	نزدیک به مقدار طراحی	مناسب	کوپلینگ نامناسب	متوسط
۳۰۳	بیشتر از مقدار طراحی	بالا	انتخاب نامناسب پمپ	متوسط
۳۰۴	کمتر از مقدار طراحی	پایین	هواگرفتگی مکرر	ضعیف
۳۰۵	مناسب	مناسب	مشکلات جزئی تعمیراتی	خوب

بررسی فشار خروجی پمپ‌ها در حالت شیر بسته نشان داد که در برخی ایستگاه‌ها انتخاب پمپ متناسب با هد و دبی مورد نیاز مزرعه صورت نگرفته است. در نتیجه، تعدادی از ایستگاه‌ها دارای دبی بیش از نیاز و برخی دیگر با کمبود دبی مواجه بودند. این عدم تطابق موجب کاهش راندمان هیدرولیکی و افزایش استهلاک تجهیزات شده است.

در بسیاری از ایستگاه‌ها مشکلاتی نظیر تراز نبودن لوله مکش، نشتی اتصالات، کوپلینگ نامناسب و خرابی سوپاپ‌ها مشاهده گردید. این مشکلات باعث ورود هوا به سیستم، کاهش راندمان مکش و افزایش دفعات هواگیری پمپ‌ها شده بود. همچنین ارتعاشات ناشی از نصب غیراصولی در برخی ایستگاه‌ها سبب افزایش استهلاک قطعات مکانیکی و کاهش عمر مفید تجهیزات شده است.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش، ضعف دانش فنی بهره‌برداران در زمینه تعمیر و نگهداری ایستگاه‌های پمپاژ بود. در بسیاری موارد تعمیرات توسط افراد غیرمتخصص انجام شده و این موضوع علاوه بر افزایش هزینه‌ها، موجب آسیب بیشتر به تجهیزات شده است. نتایج این بخش با یافته‌های مورنو و همکاران (۲۰۰۷) و شریف‌نژاد و پرورش‌ریزی (۱۳۹۵) همخوانی دارد.

۳. ارزیابی تلفات آب و راندمان انتقال در کانال BLMC

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی شبکه‌های آبیاری، میزان راندمان انتقال آب در کانال‌ها است. در این پژوهش، به منظور بررسی میزان تلفات آب در کانال BLMC، اندازه‌گیری سرعت و دبی جریان در چندین مقطع مختلف انجام شد. نتایج راندمان انتقال آب در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸. راندمان انتقال آب

مقطع اندازه‌گیری	فاصله از آبیخش (متر)	دبی ورودی (لیتر بر ثانیه)	دبی خروجی (لیتر بر ثانیه)	راندمان انتقال (%)
خروجی آبیخش تا سیفون معکوس	۷۰۰	۳۳۰۰	۳۰۲۳	۹۱٫۶
سیفون معکوس تا ایستگاه ۳۰۱	۱۰۰	۳۰۲۳	۲۷۵۵	۹۱٫۱
ایستگاه ۳۰۱ تا ایستگاه ۳۰۲	۱۰۰۰	۲۷۵۵	۲۵۰۲	۹۰٫۸

بر اساس نتایج جدول فوق، راندمان انتقال در بخش‌های مختلف کانال کمتر از مقادیر طراحی بوده است. کاهش راندمان عمدتاً ناشی از نشتی سیفون معکوس، برداشت‌های غیرمجاز، فرسودگی پوشش کانال و ضعف نظارت بهره‌برداری است. وجود باغات در بالادست ایستگاه پمپاژ ۳۰۱ و مشاهده مسیرهای برداشت غیرمجاز آب، بیانگر ضعف نظارت بر توزیع آب در این بخش از شبکه (ابتدای شبکه) است.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر افزایش تلفات، از مدار خارج بودن ایستگاه پمپاژ ۳۰۱ (اولین ایستگاه موجود در مسیر) است. عدم بهره‌برداری از این ایستگاه موجب کاهش حساسیت بهره‌برداران نسبت به برداشت‌های غیرمجاز و تشدید بی‌نظمی در توزیع آب

شده است. مطالعات ورجاوند و همکاران (۱۳۹۹) نیز نشان داده‌اند که ضعف مدیریت بهره‌برداری و نبود کنترل مستمر، نقش مستقیمی در افزایش تلفات آب در شبکه‌های آبیاری دارد.

۴. بررسی هدررفت آب در زمان قطع برق

یکی از چالش‌های اصلی شبکه بیلوار، وابستگی گسترده سیستم آبیاری به ایستگاه‌های پمپاژ برقی است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، در فصل زراعی تابستان به طور متوسط روزانه حدود ۴ ساعت قطعی برق در شبکه رخ می‌دهد که این مسئله موجب هدررفت حجم قابل توجهی از آب در کانال‌ها می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که در زمان قطعی برق حجم بسیار زیادی از آب شبکه هدر می‌رود، زیرا ورودی به شبکه توسط تونل انتقالی که به‌صورت ثقلی آب را از سد به آبپخش منتقل می‌کند، تأمین می‌شود. چنانچه قطعی برق رخ دهد و بهره‌بردار بخواهد ورودی آب را از سد گاوشان قطع نماید، حداقل ۶ ساعت طول می‌کشد که این حجم آب مهار گردد؛ بنابراین با قطعی برق عملاً نمی‌توان اقدام خاصی در این خصوص نتیجه داد و شاهد هدررفت حجم بسیار زیادی از آب شبکه خواهیم بود.

عوامل اصلی هدررفت آب در شبکه در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹. عوامل اصلی هدررفت آب در شبکه

عامل هدررفت	میزان تأثیر	توضیحات
قطع برق ایستگاه‌های پمپاژ	بسیار زیاد	توقف انتقال آب به مزارع
برداشت غیرمجاز	زیاد	به‌ویژه در بالادست ایستگاه ۳۰۱
نشستی کانال و سیفون‌ها	متوسط	فرسودگی سازه‌ها
عدم هماهنگی برنامه آبیاری	زیاد	افزایش تلفات در زمان خاموشی
ضعف نگهداری تجهیزات	متوسط	کاهش راندمان انتقال

۵. امکان‌سنجی جایگزینی کانال روباز با خط لوله

به‌منظور کاهش تلفات انتقال، کنترل برداشت‌های غیرمجاز و حذف بخشی از ایستگاه‌های پمپاژ، امکان جایگزینی کانال روباز با سیستم انتقال تحت‌فشار مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار *WaterGems* مدل‌سازی لازم از محل خروجی تونل صورت پذیرفت و مشخص شد تا ایستگاه پمپاژ سوم می‌توان فشار لازم را برای تأمین هد آبپاش‌ها ایجاد نمود. پارامترهای تلفات نفوذ و تبخیر، برداشت‌های غیرمجاز، هزینه‌های اجرا و نگهداری، پمپاژ و راندمان انتقال هر دو سیستم روباز و لوله در شبکه بیلوار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده که نتایج آن در جدول (۱۰) ارائه شده است، عوامل یاد شده برای هر دو گزینه روباز و لوله‌ای مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده، لوله‌گذاری کانال اصلی شبکه بیلوار موجب کاهش تلفات و نشت خواهد شد. این تلفات شامل تبخیر و هدررفت در انتهای کانال است. همچنین در زمان قطع برق و یا مسدود شدن کانال، آب وارد اراضی نزدیک کانال نخواهد شد. از مزایای دیگر لوله‌گذاری خط اصلی کاهش دزدی آب در مسیر خط اصلی خواهد شد. همچنین تا حدی توان مصرفی ایستگاه‌های پمپاژ کاهش خواهد یافت. باوجود مزایای لوله‌گذاری در این شبکه، متأسفانه هزینه بسیار بالای اجرای لوله‌گذاری و همچنین تخریب سازه‌های در مسیر آن می‌تواند مزایای لوله‌گذاری را به حداقل ممکن برساند. نتایج مقایسه سیستم کانال روباز و انتقال با لوله در جدول (۱۰) ارائه شده است.

جدول ۱۰. نتایج مقایسه سیستم کانال روباز و انتقال با لوله

شاخص	کانال روباز	سیستم لوله‌ای
تلفات نفوذ و تبخیر	زیاد	بسیار کم
برداشت غیرمجاز	بالا	محدود
هزینه اولیه اجرا	کمتر	بسیار زیاد
هزینه نگهداری	متوسط	کم
نیاز به پمپاژ	بیشتر	کمتر
راندمان انتقال	متوسط	بالا

بحث

این مقاله به‌خوبی به مشکلات اساسی که بسیاری از شبکه‌های آبیاری در سراسر جهان با آن روبرو هستند، پرداخته است. از یک سو، چالش‌های فنی مانند انتخاب نادرست پمپ‌ها، نصب غیراصولی، فرسودگی تجهیزات و نگهداری نامناسب، مستقیماً بر راندمان و مصرف انرژی تأثیر می‌گذارند. این مسائل که در ایستگاه‌های پمپاژ شبکه دشت بیلوار مشاهده شده، منجر به هدررفت آب و افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. از سوی دیگر، اتکای بیش از حد به کانال‌های روباز، همان‌طور که در مورد کانال *BLMC* دیده می‌شود، خود عاملی برای تلفات آب از طریق نشت و تبخیر است. علاوه بر این، برداشت‌های غیرمجاز و مدیریت ناکافی برنامه آبیاری، به‌ویژه در زمان قطع برق، تشدیدکننده این مشکلات هستند.

جنبه اجتماعی و اقتصادی مقاله نیز بسیار حائز اهمیت است. کاهش مشارکت کشاورزان به دلیل سودآوری پایین کشت‌های پاییزه فعلی، ریسک تولید و عدم وجود بازارهای تضمین شده، نشان می‌دهد که بهبود زیرساخت‌های فیزیکی به‌تنهایی کافی نیست. دانش فنی ناکافی بهره‌برداران نیز عامل مهم دیگری در افزایش تلفات آب و کاهش بهره‌وری کلی شبکه است. راهکارهای ارائه شده، مانند توسعه کشت محصولات باارزش اقتصادی بالاتر و نیاز آبی کمتر (مانند سیر و پیاز)، و همچنین ایجاد یک بانک اطلاعات مکانی جامع در *GIS*، رویکردی کل‌نگر را برای مدیریت پایدار شبکه آبیاری پیشنهاد می‌کنند که هم به جنبه‌های فنی و هم به نیازها و انگیزه‌های انسانی توجه دارد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های هیدرولیکی نشان داد که استفاده از خط لوله می‌تواند باعث کاهش قابل‌توجه تلفات نفوذ، تبخیر و برداشت‌های غیرمجاز شود. همچنین با ایجاد فشار طبیعی در بخشی از مسیر، امکان حذف یا کاهش ظرفیت برخی ایستگاه‌های پمپاژ وجود خواهد داشت که این موضوع موجب کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود. با این حال، هزینه اولیه اجرای سیستم لوله‌گذاری بسیار بالا بوده و اجرای آن نیازمند تحلیل دقیق اقتصادی است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در مرحله نخست، این طرح به‌صورت موضعی و در بخش‌هایی که دارای بیشترین میزان تلفات هستند اجرا گردد تا امکان ارزیابی اقتصادی و فنی آن فراهم شود. ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی دشت بیلوار نشان داد که اگرچه این شبکه از نظر زیرساخت فیزیکی و گستره پوشش اراضی، یکی از پروژه‌های مهم آبیاری غرب کشور محسوب می‌شود، اما در مرحله بهره‌برداری با مجموعه‌ای از چالش‌های فنی، مدیریتی، هیدرولیکی و اجتماعی مواجه است که موجب کاهش راندمان انتقال و توزیع آب، افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و کاهش رضایت بهره‌برداران شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که بخش عمده مشکلات شبکه نه ناشی از کمبود منابع آب، بلکه ناشی از ضعف در مدیریت بهره‌برداری، عدم نگهداری مناسب تأسیسات، نبود سیستم‌های پایش و کنترل دقیق و همچنین عدم هماهنگی میان برنامه کشت و ظرفیت واقعی شبکه است. بررسی عملکرد سازه‌های اندازه‌گیری نیرویک نشان داد که این سازه‌ها

در شرایط بهره‌برداری فعلی، عملکرد نسبتاً قابل قبولی دارند و خطای تخمین دبی در آن‌ها کمتر از ۵ درصد است. این موضوع بیانگر آن است که در صورت نگهداری مناسب و بهره‌برداری اصولی، مدول‌های نیروی می‌توانند به‌عنوان ابزار مؤثر تحویل حجمی آب در شبکه عمل کنند. با این حال، نتایج نشان داد که بخشی از خطاهای موجود در تحویل آب ناشی از شرایط هیدرولیکی نامناسب در بالادست و پایین‌دست سازه‌ها، رسوب‌گذاری، تغییرات سطح آب و نیز ضعف در تنظیم دریچه‌های کنترل‌کننده سطح آب است. همچنین ارزیابی سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب نشان داد که عملکرد آن‌ها در محدوده متوسط قرار داشته و نوسانات سطح آب در برخی بازه‌ها موجب اختلال در توزیع یکنواخت آب می‌شود. این موضوع می‌تواند در بلندمدت سبب کاهش عدالت توزیع آب در سطح شبکه گردد. نتایج مربوط به ارزیابی ایستگاه‌های پمپاژ نشان داد که بخش قابل‌توجهی از مشکلات بهره‌برداری شبکه به عملکرد نامناسب این ایستگاه‌ها مربوط است. انتخاب نامناسب پمپ‌ها نسبت به دبی و فشار موردنیاز مزارع، عدم تراز مناسب لوله مکش، فرسودگی اتصالات، نشتی در خطوط انتقال و ضعف در تعمیر و نگهداری، موجب کاهش راندمان پمپاژ و افزایش مصرف انرژی شده است. در برخی ایستگاه‌ها، دبی واقعی پمپ‌ها اختلاف قابل‌توجهی با دبی طراحی داشت که این مسئله علاوه بر افزایش هزینه بهره‌برداری، باعث کاهش یکنواختی توزیع آب در اراضی پایین‌دست شده است. بررسی‌های میدانی همچنین نشان داد که نبود نیروی متخصص محلی برای تعمیر و سرویس پمپ‌ها، یکی از عوامل اصلی افزایش خرابی تجهیزات و تحمیل هزینه‌های سنگین به بهره‌برداران است. در واقع، ضعف دانش فنی بهره‌برداران در حوزه تعمیرات الکترومکانیکی موجب شده است که بسیاری از تعمیرات به‌صورت غیراصولی انجام گیرد و عمر مفید تجهیزات کاهش یابد. اندازه‌گیری تلفات انتقال در کانال BLMC نشان داد که راندمان انتقال واقعی شبکه کمتر از مقادیر طراحی است. راندمان انتقال در بازه خروجی آب‌پخش تا ایستگاه پمپاژ ۳۰۱ به طور متوسط حدود ۹۱/۶ درصد و در بازه بعدی حدود ۹۰/۸ درصد محاسبه شد؛ درحالی‌که در گزارش‌های اولیه طراحی، راندمان انتقال حدود ۹۵ درصد در نظر گرفته شده بود. این اختلاف نشان‌دهنده وجود تلفات قابل‌توجه ناشی از نشت، برداشت‌های غیرمجاز و ضعف نگهداری سازه‌های انتقال است. بررسی میدانی وجود باغات و برداشت‌های غیرمجاز در بالادست ایستگاه‌های پمپاژ را تأیید نمود. این مسئله نشان می‌دهد که عدم نظارت کافی بر شبکه و غیرفعال بودن برخی ایستگاه‌های پمپاژ، زمینه‌ساز افزایش برداشت‌های غیرمجاز شده است؛ بنابراین احیای ایستگاه‌های غیرفعال، نصب تجهیزات پایش هوشمند و افزایش نظارت بهره‌برداری می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تلفات انتقال داشته باشد. مدل‌سازی شبکه با استفاده از نرم‌افزار *WaterGEMS* و تحلیل شرایط قطع برق نشان داد که یکی از مهم‌ترین عوامل هدررفت آب در شبکه، خاموشی ایستگاه‌های پمپاژ در ساعات اوج مصرف برق است. در دوره تابستان، روزانه حدود چهار ساعت قطعی برق موجب عبور بدون استفاده حجم قابل‌توجهی از آب در کانال می‌شود. نتایج این بخش نشان داد که مدیریت مناسب برنامه آبیاری و تخصیص اراضی ثقلی در زمان قطعی برق می‌تواند بخش مهمی از این هدررفت را کاهش دهد. همچنین مشخص شد که انتخاب الگوی کشت مناسب، به‌ویژه توسعه محصولات با نیاز آبی کمتر مانند ذرت علوفه‌ای، می‌تواند فشار وارد بر شبکه را کاهش داده و پایداری بهره‌برداری را افزایش دهد. بررسی امکان جایگزینی کانال روباز با سیستم انتقال لوله‌ای نشان داد که با توجه به اختلاف ارتفاع موجود در مسیر شبکه، امکان حذف بخشی از ایستگاه‌های پمپاژ و انتقال ثقلی آب در برخی بازه‌ها وجود دارد. تحلیل‌های هیدرولیکی نشان داد که استفاده از خطوط لوله با قطر مناسب علاوه بر کاهش تلفات نفوذ و تبخیر، می‌تواند هزینه‌های نگهداری شبکه را کاهش داده و پایداری انتقال آب را افزایش دهد. هرچند هزینه اولیه اجرای چنین طرحی بالا خواهد بود، اما در بلندمدت کاهش هزینه انرژی، کاهش تلفات آب و افزایش قابلیت کنترل شبکه می‌تواند توجیه اقتصادی مناسبی ایجاد نماید. نتایج حاصل از بررسی عوامل عدم تمایل کشاورزان به انعقاد قرارداد با مدیریت شبکه نشان داد که مشکلات اقتصادی و اجتماعی نقش مهمی در کاهش مشارکت بهره‌برداران دارند. پایین‌بودن سودآوری برخی

کشت‌های پاییزه، ریسک بالای تولید، نبود بازار خرید تضمینی، شیوع بیماری‌های گیاهی و هزینه بالای نگهداری ایستگاه‌های پمپاژ از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش استقبال کشاورزان از عضویت در شبکه بوده است. علاوه بر این، بسیاری از بهره‌برداران تجربه کافی در زمینه کشاورزی آبی و مدیریت مصرف آب ندارند و همین موضوع موجب افزایش تلفات و کاهش بهره‌وری آب شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که موفقیت شبکه‌های مدرن آبیاری صرفاً وابسته به زیرساخت فنی نیست، بلکه عوامل اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری بهره‌برداری دارند. در بخش الگوی کشت، نتایج نشان داد که توسعه کشت محصولات باارزش اقتصادی بالاتر نظیر سیر و پیاز می‌تواند درآمد کشاورزان را افزایش داده و انگیزه مشارکت آنان در شبکه را تقویت کند. بررسی شرایط اقلیمی منطقه نشان داد که این محصولات قابلیت سازگاری مناسبی با شرایط دشت بیلوار دارند و در صورت ایجاد بازار فروش مناسب، می‌توانند جایگزین بخشی از کشت‌های کم‌بازده فعلی شوند. همچنین توسعه کشت‌های کم‌مصرف آبی می‌تواند فشار وارد بر منابع آب شبکه را کاهش داده و راندمان مصرف آب را بهبود بخشد. تهیه بانک اطلاعات مکانی شبکه در محیط GIS نیز یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش محسوب می‌شود. ایجاد پایگاه‌داده یکپارچه از اطلاعات بهره‌برداری، موقعیت تأسیسات، وضعیت ایستگاه‌های پمپاژ، مشخصات مزارع و اطلاعات عملکردی شبکه، امکان تصمیم‌گیری دقیق‌تر و مدیریت علمی‌تر شبکه را فراهم می‌کند. این بانک اطلاعاتی می‌تواند پایه‌ای برای توسعه سیستم‌های مدیریت هوشمند آب، پایش آنلاین و برنامه‌ریزی آینده شبکه باشد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که ارتقای عملکرد شبکه آبیاری بیلوار نیازمند رویکردی جامع و چندبعدی است. صرف بهبود سازه‌های فیزیکی بدون اصلاح نظام بهره‌برداری و مدیریت، نمی‌تواند منجر به افزایش پایدار راندمان شبکه شود؛ بنابراین ترکیبی از اقدامات فنی، مدیریتی و اجتماعی برای بهبود وضعیت شبکه ضروری است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

- اسدی، مهدی، کوچک زاده، صالح، و ستوده نیا، عباس. (۱۳۹۰). راهنمای اندازه‌گیری جریان آب. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی/ایران، تهران، ایران. <https://lib.kashanu.ac.ir/Inventory/4/105065.htm>
- جلیلی، جلال، جبلی، سید جلال، قمرنیا، هوشنگ، و منعم، محمدجواد. (۱۳۸۵). ارزیابی شبکه‌های آبیاری به روش Benchmarking با تعیین ارزش نسبی شاخص‌ها. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۷(۲۹)، ۷۱-۸۸. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26454531.1385.7.4.6.3>
- حبیبی‌کندبن، عمار، دوستی، میلاد، و مالدیدی، امیرحسین. (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد مدول‌های نیروپیک به عنوان سازه آبگیر در تأمین آب اراضی پایین‌دست خود در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۱)، ۶۵-۷۲. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.54374>
- حسینی، سید محمود، و ابریشمی، جلیل. (۱۳۷۹). هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ایران. <https://www.isoom.com/book/11317999>
- حکمتی راد، سنور، رضایی، حسین، و قزلباش، بهمن. (۱۳۹۴). ارزیابی کیفی عملکرد در ایستگاه‌های پمپاژ آب کشاورزی (مطالعه موردی ایستگاه‌های پمپاژ شبکه آبیاری و زهکشی دشت مهاباد). نشریه مهندسی آبیاری و زهکشی، ۱۰-۱. <https://www.sid.ir/FileServer/SF/687139401429>
- دلفان‌آذری، مرتضی، و پرورش‌ریزی، عاطفه. (۱۳۹۹). ارتقای فرآیند تعمیر و نگهداری دریاچه‌های آبگیر در کانال‌های آبیاری بر اساس پایش و تحلیل وضع موجود (موردکاوی شبکه آبیاری شمال بهبهان). مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۱(۷۹)، ۹۰-۷۱. <https://doi.org/10.22092/idser.2020.128597.1413.71-90>
- ذوالفقاران، اردلان. (۱۴۰۱). تعیین آب کاربردی و بهره‌وری مصرف آب در مزارع زعفران استان خراسان رضوی. نشریه فناوری های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۲(۱)، ۳۸-۵۱. <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.7535.1015>
- زارع ابیانه، حمید، حیدری، آرمان، و دانشکار آراسته، پیمان. (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد مدیریت آب در شبکه آبیاری دشت قزوین. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۳۸)، ۷۶-۸۸. <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.100726>
- سالمی، حمیدرضا. (۱۳۹۳). ارزیابی عملکرد هیدرولیکی ساختمان‌های آبگیر و تنظیم سطح آب در شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود و درودزن. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۵(۱)، ۸۱-۱۰۳. <https://doi.org/10.22092/erams.2014.102153>
- سجودی، زینب، و هاشمی شاهدانی، سید مهدی. (۱۴۰۰). مروری بر راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری ایران و روش‌های برآورد آن. نشریه پژوهش و فناوری محیط زیست، ۶(۹)، ۷۵-۸۷. <https://journal.ri.acecr.ir/Article/15984>
- شاهرخ‌نیا، محمدعلی، و جوان، محمد. (۱۳۸۵). بررسی شاخص‌های عملکرد آبیاری در شبکه آبیاری درودزن. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۷(۲۹)، ۳۳-۴۶. https://idser.reeo.ac.ir/article_102577.html
- شریف‌نژاد، اعظم، و پرورش‌ریزی، عاطفه. (۱۳۹۵). ارزیابی کمی عملکرد ایستگاه پمپاژ آب کشاورزی به روش تحلیل پوششی داده‌ها (بررسی موردی: ایستگاه پمپاژ اصلی سبیلی استان خوزستان). مجله پژوهش آب ایران، ۱۰(۳)، ۱۷۵-۱۷۹. https://iwrij.ku.ac.ir/article_10493.html
- عباسی، نادر، و بهراملو، رضا. (۱۳۹۷). بررسی علل شکستگی‌های پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب (مطالعه موردی کانال اصلی شبکه آبیاری شبانکاره). مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۹(۷۰)، ۶۹-۸۴. <https://doi.org/10.22092/idser.2018.116684.1280>
- کانونی، امین، پوریامنش، منوچهر، نیکپور، محمدرضا، و فیضی، اتابک. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و بهره‌برداری دریاچه‌های مدول نیروپیک در کانال اصلی توزیع آب (مطالعه موردی: شبکه آبیاری یامچی، اردبیل). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۶)، ۱۴۴۷-۱۴۳۵. https://idj.aid.ir/article_85909.html
- کانونی، امین، و منعم، محمدجواد. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی تخصیص و برنامه‌ریزی تحویل آب در شبکه‌های آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۱)، ۱۲-۳۵. https://idj.aid.ir/article_55206.html

- محمدجانی، اسماعیل، و یزدانیان، نازنین. (۱۳۹۳). تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند، ۲۱(۶۵و۶۶)، ۱۴۴-۱۱۷. <https://www.id.ir/filesserver/jf/10000413936604.pdf>
- محمدی قلعه نی، مهدی، و نحوی نیا، محمد جواد. (۱۴۰۱). تحلیل مفاهیم راندمان آبیاری در سطح شبکه آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آوان خوزستان). مجله مهندسی آبیاری و آب، ۱۲(۴)، ۱۵۶-۱۴۱. <https://doi.org/10.22125/iwe.2022.150688>
- محمدی، امیر، پرورش ریزی، عاطفه، و عباسی، نادر. (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد هیدرولیکی سازه های تنظیم و توزیع آب در شبکه آبیاری ورامین. مجله هیدرولیک، ۱۲(۳)، ۱-۱۲. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2017.52004>
- مددی، ساسان، عمادی، علیرضا، و شاهنظری، علی. (۱۳۹۳). ارزیابی عملکرد کانال اصلی واحد عمرانی شماره یک شبکه آبیاری و زهکشی تجن. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۱(۵)، ۱۹۳-۲۰۸. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222069.1393.21.5.10.3>
- منتظر، علی اصغر، و پاشازاده، نرجس. (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد توزیع آب در شرایط مختلف بهره برداری کانال اصلی غرب شبکه آبیاری دز با استفاده از مدل هیدرولیکی CANALMAN. نشریه آب و خاک، ۲۵(۱)، ۱۳۹-۱۲۵. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.8514>
- نیکمهر، سامان، پرورش ریزی، عاطفه، و منعم، محمدجواد. (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد توزیع آب در کانال اصلی شبکه آبیاری کوثر با کنترل خودکار در جهت بالادست و پایین دست. مجله پژوهش آب ایران، ۱۱(۱)، ۱۱۸-۱۰۹. https://iwrj.ku.ac.ir/article_10536.html
- ورجاوند، پیمان، آبالان، شکراله، سالمی، نادر، عزیزی، آذرخش، گوشه، محی الدین، و لک زاده، ایرج. (۱۳۹۹). بررسی میدانی تأثیر مدیریت بهره برداری بر روی تلفات آب و رسوب گذاری کانال های آبیاری. نشریه دانش آب و خاک، ۳۰(۲)، ۷۵-۸۹. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085133.1399.30.2.6.4>

References

- Abbasi, N., & Bahramloo, R. (2018). Investigation on Causes of Destruction of Concrete Lining of Irrigation Canals Constructed on Gypsiferous Soils (A Case Study for Shabankareh Irrigation Network). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 19(70), 69-84. <https://doi.org/10.22092/idser.2018.116684.1280> [In Persian]
- Ahmad, M. T., Haie, N., Gonçalves, J. M., Pinho, J., Yen, H., Yakubu, M. L., ... & Suleimana, A. (2024). Performance assessment and indicators for agricultural water management—A review. *Water and Environment Journal*, 38(2), 192-211. <https://doi.org/10.1111/wej.12913>
- Asadi, M., Koochakzadeh, S., & Sotoudehnia, A. (2011). Guide to Water Flow Measurement. *Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Publications*, Tehran, Iran. <https://lib.kashanu.ac.ir/Inventory/4/105065.htm> [In Persian]
- Borkowski, B., Wetula, A., & Bień, A. (2012). Design, optimization, and deployment of a waterworks pumping station control system. *ISA Transactions*, 51(4), 539-549. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2012.03.002>
- Clemmens, A. J. (2012). Water-level difference controller for main canals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(1), 1-8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000367](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000367)
- Dayyabu, M., Katsuyuki Shimizu, K., Yamazaki, Y., Nangia, V., Mansouri, A., Belaarabi, M Ousstous. L. (2024). Investigation on water delivery performance and its quantification in large-scale Beni Amir irrigation scheme, Morocco. *Journal of Arid Land Studies*, 34 (S), 45-49. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122511/records/66d9c5b3f995ef9c0425d038>
- Delfan Azari, M., & Parvaresh Rizi, A. (2020). Improvement of Maintenance Process of Offtake Structures in Irrigation Canals Based on Monitoring and Analyzing of the Current Situation (Case Study of Northern Behbahan Irrigation Scheme). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 21(79), 73-92. <https://doi.org/10.22092/idser.2020.128597.1413> [In Persian]
- Ghumman, A. R., Khan, Z., & Turrall, H. (2009). Study of feasibility of night-closure of irrigation canals for water saving. *Agricultural Water Management*, 96, 457-464. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.09.009>
- Habibi Kandbon, A., Dosti, M., & Molaghadimi, A. H. (2017). Neyrpic-Modules Evaluation for Intake Structures in the Water Providence to Downstream Areas: A Case Study of the Sefidrud Irrigation and Drainage Network. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), 65-72. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.54374> [In Persian]
- Hekmatirad, S., Rezaei, H., & Ghazalbash, B. (2015). Qualitative performance assessment of agricultural water pumping stations (Case study: Pumping stations of the Mahabad Irrigation and Drainage Network). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1-10. <https://www.sid.ir/FileServer/SF/687139401429> [In Persian]
- Hosseini, S. M., & Abrishami, J. (2000). Open Channel Hydraulics. *Imam Reza University Publications*, Mashhad, Iran. <https://www.gisoom.com/book/11317999> [In Persian]
- Jalili, J., Jabali, S. J., Ghamarnia, H., & Moneam, M. J. (2006). Evaluation of irrigation networks using the benchmarking method by determining the relative values of performance indicators. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7(29), 71-88. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26454531.1385.7.4.6.3> [In Persian]
- Kanooni, A., & Monem, M. J. (2016). Allocation and Water Delivery Scheduling Optimization in Irrigation Networks. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 10(1), 12-23. https://idj.iaid.ir/article_55206.html [In Persian]
- Kanooni, A., Pouryamanesh, M., Nikpour, M., & Feizi, A. (2019). Evaluation of hydraulic performance and operation of Neyrpic Modules in the main distribution canal (Case study:

- Yamchi irrigation network, Ardabil). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(6), 1435-1447. https://idj.iaid.ir/article_85909.html [In Persian]
- Madadi, S., Emadi, A., & Shahnazari, A. (2014). Performance evaluation of the main canal in Civil Unit No. 1 of the Tajan Irrigation and Drainage Network. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 21(5), 193–208. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222069.1393.21.5.10.3> [In Persian]
- Melsse, D.W., Tegegne, M.A., & Ayele, T.M. (2025). Evaluation of hydraulic and hydrologic factors influencing irrigation water use efficiency in the Gomit irrigation scheme, South Gondar, Ethiopia. *Appl Water Sci*, 15, 300. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02659-z>
- Mohammadi Ghaleni, M., & Nahvinia, M. J. (2022). The Analysis of Irrigation Efficiency Concepts at the level of Irrigation Network (Case study: Avan Irrigation Network, khozestan). *Irrigation and Water Engineering*, 12(4), 141-156. <https://doi.org/10.22125/iwe.2022.150688> [In Persian]
- Mohammadi, A. , Parvaresh Rizi, A., & Abbasi, N. (2017). Evaluation of Hydraulic Performance of Regulators and Distribution Structures in Varamin Irrigation Network. *Journal of Hydraulics*, 12(3), 1-12. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2017.52004> [In Persian]
- Mohammadjani, E., & Yazdani, N. (2014). Analysis of the water crisis in Iran and the requirements for its management. *Ravand Quarterly*, 21(65–66), 117–144. <https://www.sid.ir/files/server/jf/10000413936604.pdf> [In Persian]
- Montazar, A., & Pashazadeh, N. (2011). Performance Assessment of West Main Canal of Dez in the Different Water Operational Scenarios Using CANALMAN Model. *Water and Soil*, 25(1), 125-139. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.8514> [In Persian]
- Moreno, M., Carrión, P., Planells, P., Ortega, J., & Tarjuelo, J. (2007). Measurement and improvement of the energy efficiency at pumping stations. *Biosystems Engineering*, 98(4), 479–486. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=800125>
- Nikmehr, S., Parvarsh Rizi, A. and Monem, M. (2017). Performance Assessment of Main Canal of Kosar Irrigation Network Using Upstream and Downstream Automatic Control. *Iranian Water Research Journal*, 11(1), 109-118. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10536.html [In Persian]
- Osman, I. S., Schultz, B., Osman, A., & Suryadi, F. X. (2017). Effects of different operation scenarios on sedimentation in irrigation canals of the Gezira Scheme, Sudan. *Irrigation and Drainage*, 66(1), 82–89. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ird.2023>
- Sajoudi, Z., & Hashemy Shahdany, S. M. (2021). A review of water conveyance and distribution efficiency in Iran's irrigation networks and methods for its estimation. *Journal of Environmental Research and Technology*, 6(9), 75–87. <https://journal.eri.acecr.ir/Article/15984> [In Persian]
- Salemi, H. R. (2014). Hydraulic performance evaluation of intake and water level regulation structures in the Zayandeh-Rud and Doroodzan irrigation networks. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 15(1), 81–103. <https://doi.org/10.22092/erams.2014.102153> [In Persian]
- Scanlon, B., Keese, K., Flint, A., Flint, L., Gaye, C., Edmunds, W., & Simmers, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrol. Process*, 20(15), 3335–3370. <https://doi.org/10.1002/hyp.6335>
- Shahrokhnia, M. A., & Javan, M. (2006). Evaluation of irrigation performance indicators in the Doroodzan Irrigation Network. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7(29), 33–46. https://idser.areeo.ac.ir/article_102577.html [In Persian]
- Sharif-Nejad, A., & Parvaresh-Rizi, A. (2016). Quantitative performance evaluation of an agricultural water pumping station using Data Envelopment Analysis (Case study: Sobili

- Main Pumping Station, Khuzestan Province). *Iranian Journal of Water Research*, 10(3), 175–179. https://iwrrj.sku.ac.ir/article_10493.html [In Persian]
- Varjavand, P. , Salamati, N. , Absalan, S. , Azizi, A. , Goosheh, M., & Lakzadeh, I. (2020). Field Investigation of Operational Management Effect on Water Losses and Sedimentation in Irrigation Channels. *Water and Soil Science*, 30(2), 75-89. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085133.1399.30.2.6.4> [In Persian]
- Zare Abyaneh, H., Heidari, A., & Daneshkar Arasteh, P. . (2019). Evaluation of Water Management Performance in Irrigation Network of Qazvin Plain. *Irrigation and Water Engineering*, 10(2), 76-88. <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.100726> [In Persian]
- Zolfagharan, A. (2022). Determination of applied water and water productivity in saffron fields in Khorasan Razavi province. *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(1), 38-51. <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.7535.1015> [In Persian]