

Performance evaluation of Center Pivot irrigation systems with emphasis on efficiency indicators under the climatic conditions of the Moghan plain

Majid Raoof^{1✉} , Arash Amirzadeh² , Mohammad Reza Kohan³ , Mahsa Heydari Ali Kamar⁴ , Ali Rasoulzadeh⁵ , Javanshir Azizi Mobaser⁶ , and Javad Ramezani Moghadam⁷ 

1. Corresponding author, Department of Water Engineering and and Member of Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: m_raoof@uma.ac.ir
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: A.Amirzadeh@uma.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: mohammadrezakohan1376@gmail.com
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: heydarimahsa77@gmail.com
5. Department of Water Engineering and and Member of Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: rasoulzadeh@uma.ac.ir
6. Department of Natural Resources and Member of Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: ja.mobaser22@gmail.com
7. Department of Natural Resources and Member of Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: j_ramezani@uma.ac.ir

Article Info.	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 04 August 2025 Received in revised form 05 December 2025 Accepted 12 March 2026 Available online 23 september 2026 Keywords: center pivot, AELQ, PELQ, water application efficiency, evaporation and wind drift losses.	Objective: This study evaluated three center-pivot irrigation systems in Moghan to assess water application performance, identify factors reducing efficiency, and improve irrigation management. Method: In 2024, system performance was evaluated using the catch-can method, with radial and peripheral water collection, along with field measurements of sprinkler discharge and pressure. Results: System C achieved the highest application efficiency (84.64%) and the lowest evaporation and wind-drift losses (15.35%), while system A showed the lowest efficiency (68.44%) and highest losses (31.55%); PELQ and AELQ were highest in system C at 60.01%, with no deep percolation losses reported. Conclusions: System C achieved the highest application efficiency (84.64%) and the lowest evaporation and wind-drift losses (15.35%), while system A showed the lowest efficiency (68.44%) and highest losses (31.55%); PELQ and AELQ were highest in system C at 60.01%, with no deep percolation losses reported.
Cite this article: Raoof, M., Amirzadeh, A., Kohan, M.R., Heydari Ali Kamar, M., Rasoulzadeh, A., Ramezani Moghadam, J., & Azizi Mobaser, J., (2026). Performance evaluation of Center Pivot irrigation systems with emphasis on efficiency indicators under the climatic conditions of the Moghan plain. <i>Advanced Technologies in Water Efficiency</i>, 6(3), 56-73. https://doi.org/10.22126/atwe.2025.12545.1181	
 © The Author(s) https://doi.org/10.22126/atwe.2025.12545.1181 Publisher: Razi University.	

Introduction

Evaluating the technical performance of center pivot irrigation systems under real-world field conditions is critical for optimizing water use in agriculture, particularly in semi-arid regions where resources are scarce, and climatic stresses such as wind and high temperatures prevail. The Moghan Plain in northwestern Iran is a representative example of such an environment, characterized by a semi-arid climate, windy conditions, and large-scale mechanized agriculture. These conditions make it an ideal setting for conducting a comprehensive performance evaluation of modern irrigation systems. This study aimed to assess the technical performance of three center pivot systems (designated A, B, and C) installed in Region 7 of the Moghan Agro-Industry and Animal Husbandry Company.

Method

The evaluation focused on a set of key irrigation performance indicators: Christiansen's Uniformity Coefficient (CU), Distribution Uniformity (DU), Evaporation and Wind Drift Losses (Ew), Potential Efficiency of Lower Quartile (PELQ), Actual Efficiency of Lower Quartile (AELQ), and Overall Water Application Efficiency (AE). The field methodology employed the catch-can method, implemented in both radial and circumferential layouts to accurately capture water distribution patterns across each system. Plastic catch-cans were placed on metal rods firmly embedded in the soil. After the full passage of each system, the volume of water collected in each can was carefully measured using a graduated cylinder. Additionally, sprinkler discharge rates and operating pressures were measured using timed container methods and hand-held manometers. The results indicated that System C achieved the best performance, with an AE of 84.64% and the lowest Ew (15.35%), suggesting minimal environmental losses. In contrast, System A showed the weakest performance, with AE of 68.44% and Ew of 31.55%. The findings highlight that optimizing pressure, reducing sprinkler height, and adopting regular maintenance schedules are essential to improving the efficiency and reliability of center pivot irrigation systems. The collected data were analyzed to calculate key performance metrics, including Christiansen's Uniformity Coefficient (CU), Distribution Uniformity (DU), Potential and Actual Application Efficiencies (PELQ, AELQ), and overall Application Efficiency (AE). Special attention was given to estimating evaporation and wind drift losses (Ew), which were identified as major contributors to performance degradation under the Moghan Plain's climatic conditions. The methodology of this research involved using the catch-can method for measuring water distribution uniformity and efficiency of center pivot systems. The catch-cans were strategically placed along radial and circumferential lines, with each can positioned at a specified distance from the center pivot. After the full cycle of water distribution, the water collected in each can was measured using a graduated cylinder to determine the volume of water applied. Additionally, the flow rate and pressure of sprinklers were measured to assess their efficiency. The pressure measurements were conducted with a manometer, and the sprinkler flow rates were evaluated using a timed container method. The analysis of the data focused on key metrics

including water application efficiency, uniformity coefficients, and the identification of water losses due to evaporation and wind drift.

Results

three evaluated systems. System C demonstrated the highest efficiency, with a water application efficiency of 84.64%, minimal evaporation and wind drift losses, and no evidence of deep percolation (AELQ = 60.01%). Conversely, System A had the lowest performance, with an application efficiency of 68.44% and significant water losses (31.55%). The inferior performance of this system was primarily attributed to pressure drops along laterals, nozzle wear, inadequate speed regulation, and insufficient maintenance. These operational shortcomings contributed to the overall inefficiency, emphasizing the critical need for proper system calibration, routine inspections, and improved irrigation scheduling.

Conclusions

This study confirms that, when properly managed, center pivot irrigation systems in the Moghan Plain can achieve high operational efficiency. Among the evaluated systems, System C outperformed the others, combining superior water application efficiency with the lowest recorded losses. However, the performance of Systems A and B requires improvement, particularly regarding pressure regulation, sprinkler calibration, and maintenance practices. The findings highlight the importance of implementing regular inspections, timely nozzle replacements, and appropriate adjustment of operational settings to minimize inefficiencies. Such measures are expected to enhance water use efficiency and promote sustainable irrigation management in the region.

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 the Moghan Agro-Industry and Animal Husbandry Company for providing access to the center pivot systems in Section 7 and for their cooperation in data collection for this study.

Ethical Considerations

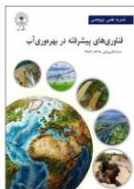
The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

Not applicable.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری عقربه‌ای با تأکید بر شاخص‌های کارایی سیستم در شرایط اقلیمی دشت مغان

مجید رئوف^۱، آرش امیرزاده^۲، محمدرضا کهن^۳، مهسا حیدری علی کمر^۴، علی رسول‌زاده^۵، جوانشیر عزیزی مبصر^۶، و جواد رضائی مقدم^۷

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m_raoof@uma.ac.ir
۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: A.Amirzadeh@uma.ac.ir
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mohammadrezakohan1376@gmail.com
۴. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: heydarimahsa77@gmail.com
۵. گروه مهندسی آب و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: rasoulzadeh@uma.ac.ir
۶. گروه مهندسی آب و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: ja.mobaser22@gmail.com
۷. گروه مهندسی آب و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: j_ramezani@uma.ac.ir

در باره مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱ کلیدواژه‌ها: سنتریوت، AELQ، PELQ، راندمان کاربرد، تلفات تبخیر و باد بردگی.	هدف: هدف این پژوهش، ارزیابی عملکرد سه سامانه آبیاری عقربه‌ای (A، B و C) با طول ۵۱۴، ۲۱۲/۷ و ۲۵۹/۶۰ متر مستقر در شرکت کشت و صنعت مغان از نظر ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع آب، تلفات تبخیر و بادبردگی، راندمان پتانسیل آب PELQ، راندمان واقعی کاربرد آب AELQ و راندمان کاربرد آب بوده است. هدف اصلی این تحقیق، شناسایی عوامل مؤثر در کاهش عملکرد سامانه‌ها و افزایش بهره‌وری آبیاری است. روش پژوهش: برای انجام این ارزیابی که در سال ۱۴۰۳ انجام شد از روش قوطی‌چینی در دو الگوی شعاعی و محیطی استفاده گردید. قوطی‌های پلاستیکی ساده روی میله‌های فلزی نصب‌شده در خاک قرار گرفتند و پس از عبور کامل دستگاه‌ها، حجم آب جمع‌آوری‌شده توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. همچنین دبی و فشار آبپاش‌ها به طور میدانی اندازه‌گیری گردید. از داده‌های هواشناسی شامل سرعت باد، دما و رطوبت نیز برای تحلیل تلفات تبخیر و بادبردگی استفاده شد. یافته‌ها: نتایج نشان داد که سامانه C بهترین عملکرد را با راندمان کاربرد آب ۸۴/۶۴ درصد و کمترین تلفات تبخیر و بادبردگی ۱۵/۳۵ درصد داشت. در مقابل، سامانه A با راندمان ۶۸/۴۴ درصد و تلفات ۳۱/۵۵ درصد ضعیف‌ترین عملکرد را داشت. همچنین، مقدار راندمان پتانسیل و واقعی کاربرد آب (AELQ و PELQ) در سه سامانه مورد بررسی کاملاً یکسان بوده و در سامانه C بیش‌ترین مقدار (۶۰/۰۱ درصد) به دست آمد که بیانگر نبود تلفات نفوذ عمقی است. نتیجه‌گیری: سامانه C بهترین عملکرد را داشت؛ مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد شامل افت فشار، فرسودگی نازل‌ها، تنظیم نامناسب سرعت و ضعف نگهداری بود و تنظیم فشار، کاهش ارتفاع آبپاش‌ها و نگهداری منظم برای بهبود عملکرد پیشنهاد شد.

استاد: رئوف، مجید؛ امیرزاده، آرش؛ کهن، محمدرضا؛ حیدری علی کمر، مهسا؛ رسول‌زاده، علی؛ عزیزی مبصر، جوانشیر؛ و رضائی مقدم، جواد. (۱۴۰۵). عملکرد سیستم‌های آبیاری عقربه‌ای با تأکید بر شاخص‌های کارایی سیستم در شرایط اقلیمی دشت مغان. *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۶ (۳)، ۵۶-۷۳.

<https://doi.org/10.22126/atwe.2025.12566.1182>



مقدمه

در سال‌های اخیر، پدیده کمبود منابع آبی به واسطه افزایش تقاضا در بخش‌های مختلف و کاهش روند توسعه منابع آب جدید، به چالشی جدی تبدیل شده است. در این میان، کشاورزی آبی که بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در اکثر کشورهای نیمه‌خشک محسوب می‌شود، تحت فشار فزاینده‌ای قرار گرفته است. از این رو، توجه به راهکارهای فنی برای مدیریت مصرف و کاهش تلفات آب، بسیار ضروری است. راه‌حل‌های فنی برای مقابله با کمبود آب بسیار متنوع هستند و دولت‌ها در سراسر جهان تعهداتی را برای کاهش مصرف آب در کشاورزی از طریق بهبود بهره‌وری آب پذیرفته‌اند (برنان^۱، ۲۰۰۸). راندمان آب که به نسبت حجم آبی که به طور مؤثر به ناحیه ریشه گیاه می‌رسد نسبت به کل آب مصرف‌شده اطلاق می‌شود، نقش مهمی در افزایش بهره‌وری کشاورزی دارد. راندمان مصرف آب را می‌توان با به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری تحت فشار، مانند آبیاری بارانی، افزایش داد (زایلگیر، ارمولایو و پچلکین^۲، ۲۰۲۳). سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای اغلب توسط کشاورزان به دلیل استحکام و امکان اتوماسیون آن‌ها ترجیح داده می‌شوند (دجمی^۳ و همکاران، ۲۰۰۳؛ هانسون و اورلوف^۴، ۱۹۹۶). این سامانه‌ها به نیروی کار کم‌تری وابسته‌اند و توانایی آبیاری مزارع بزرگ را دارند (آگیمین و همکاران^۵، ۲۰۲۳). علاوه بر این، عملیات ساده‌ای دارند و می‌توانند به نتایج یکنواخت و کارآمد آبیاری دست یابند که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش سودآوری مزارع می‌شود (تارخوئل و همکاران^۶، ۱۹۹۹). راندمان سامانه‌های آبیاری تحت فشار، به‌ویژه سامانه‌های بارانی، نقش حیاتی در بهره‌وری منابع آبی ایفا می‌کند. این سامانه‌ها با هدف کاهش هدررفت آب و بهبود راندمان آبیاری توسعه یافته‌اند. با این حال، در صورت طراحی یا اجرای نامناسب، می‌توانند منجر به کاهش کارایی و اتلاف منابع آب شوند. درک دقیق عملکرد این سامانه‌ها و ارزیابی شاخص‌های مؤثر بر راندمان، از جمله توزیع یکنواخت آب و تلفات ناشی از تبخیر و بادبردگی، اهمیت بسزایی دارد (دارکو و همکاران^۷، ۲۰۱۷).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل شرایط اقلیمی خاصی نظیر سرعت بالای باد و کمبود فشار بخار اشباع، چالش‌های قابل توجهی برای سامانه‌های آبیاری وجود دارد. این شرایط می‌توانند تأثیرات منفی بر راندمان آبیاری و توزیع یکنواخت آب داشته باشند و در نهایت بر تولید محصولات زراعی اثرگذار باشند؛ بنابراین، شناخت عوامل اقلیمی و هیدرولیکی مؤثر بر عملکرد سامانه و ارائه راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی آن، از اهمیت بالایی برخوردار است (رئوف و همکاران^۸، ۲۰۱۸). هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای با تمرکز بر افزایش یکنواختی توزیع، کاهش تلفات آب و ارتقاء بهره‌وری کلی سامانه در شرایط اقلیمی دشت مغان است. دستیابی به این اهداف می‌تواند به کاهش مصرف آب و بهبود کارایی سامانه‌های آبیاری منجر شود. همچنین، یافته‌های این تحقیق می‌توانند به عنوان مبنایی کاربردی برای اصلاح و بهینه‌سازی طراحی و بهره‌برداری از سامانه‌های مشابه در سایر مناطق نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرند، و در نهایت موجب افزایش پایدار و اقتصادی تولیدات کشاورزی شوند.

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

در رابطه با پژوهش حاضر، مطالعاتی صورت گرفته است که در ادامه تعدادی از این مطالعات که در داخل و خارج از کشور مورد بررسی قرار گرفته است، ارائه شده است.

¹ Brennan

² Zeyliger, Ermolaeva & Pchelkin

³ Dechmi et al

⁴ Hanson and Orloff

⁵ Agyeman et al

⁶ Tarjuelo et al

⁷ Darko et al

⁸ Raoof et al

فاریابی و همکاران^۱ (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای عملکرد تعدادی از سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در دشت دهگلان کردستان را بررسی و ارزیابی کردند. برای این منظور، ۱۰ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت به طور کاملاً تصادفی انتخاب و ارزیابی شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل ضریب یکنواختی کریستیان سن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ)، و راندمان واقعی در ربع پایین اراضی (AELQ) بود. مقادیر متوسط این پارامترها برای ۱۰ مزرعه ارزیابی شده به ترتیب برابر با ۶۶، ۵۰/۶، ۴۴/۸، و ۴۳/۸ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که کلیه سامانه‌ها دارای راندمان کاربرد پایین هستند و یکنواختی توزیع آب در آن‌ها نیز کم‌تر از مقادیر توصیه شده توسط مریام و کلر^۲ (۱۹۷۸) است.

نصرالهی و همکاران^۳ (۲۰۱۷) عملکرد هیدرولیکی سامانه آبیاری عقربه‌ای در شرایط اقلیمی مختلف دو سامانه عقربه‌ای در شهریار و اشتهارد را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به دست آمده برای سامانه عقربه‌ای در شهریار و اشتهارد مقدار ضریب یکنواختی به ترتیب ۷۰/۲۰ و ۸۸ درصد و مقدار یکنواختی توزیع برای سامانه‌های مورد بررسی به ترتیب ۴۷/۸۷ و ۸۱/۳۰ درصد به دست آمد. راندمان کاربرد آب برای این سامانه‌ها به ترتیب ۸۵ و ۸۱ درصد به دست آمد که مقدار نسبتاً بالایی بود و به لحاظ راندمان این سامانه‌ها وضعیت مناسبی داشتند. مقادیر محاسبه شده راندمان پتانسیل کاربرد (PELQ) برای سامانه‌ها به ترتیب ۸۵/۳۰ و ۶۶/۵۰ درصد و قابل قبول بود. حمدی احمدآباد و همکاران^۴ (۲۰۱۷) در تحقیقی در پارس‌آباد به بررسی وضعیت و عملکرد سامانه‌های عقربه‌ای اجرا شده در منطقه مورد مطالعه پرداختند. در این تحقیق ۵ سامانه آبیاری عقربه‌ای در مزارع یونجه، ذرت و چغندر قند کشت و صنعت و دامپروری مغان شهرستان پارس‌آباد به عنوان نمونه انتخاب شد. هر سامانه در ۳ آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی شامل، میانگین ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، بازده پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین، بازده واقعی کاربرد آب در ربع پایین، تلفات بادبردگی و تبخیر در مزارع مورد مطالعه به ترتیب ۵۰/۴۷، ۶۰/۴۰، ۱۰/۵۰، ۱۰/۵۰ و ۳۲/۵۰ درصد به دست آمد. تجزیه و تحلیل عوامل ارزیابی نشان داد که سامانه‌های عقربه‌ای مورد مطالعه از کارایی مناسبی برخوردار نبودند. دلیل کارایی نامناسب، بیش‌تر مربوط به مسائل مدیریتی و اشکالات فنی سامانه‌ها بود که مورد توجه قرار نگرفته بود. مقادیر پایین AELQ و PELQ به علت ناسازگاری شرایط کارکرد و طراحی نامناسب سامانه بود که باید مورد توجه و بازبینی قرار گیرد.

رئوف و همکاران^۵ (۲۰۱۸) در تحقیقی در شهرستان پارس‌آباد به بررسی عملکرد و کارایی سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای در شرایط پارامترهای اقلیمی هم‌چون سرعت باد، درجه حرارت، رطوبت نسبی، قطر نازل و کمبود فشار بخار اشباع بر تلفات تبخیر و باد بردگی پرداخته‌اند و گزارش نمودند که، راندمان سامانه در سرعت باد ۰ تا ۳ و ۳ تا ۶ و ۶ متر بر ثانیه به بالا به ترتیب برابر ۸۲، ۶۶ و ۴۳ درصد بوده و عوامل مؤثر در تلفات تبخیر و باد بردگی، شامل سرعت باد، درجه حرارت، رطوبت نسبی، قطر نازل و کمبود فشار بخار اشباع می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده عامل باد بیش‌ترین تأثیر و کمبود فشار بخار اشباع کم‌ترین تأثیر را بر تلفات تبخیر و باد بردگی داشت. همچنین معادله تلفات تبخیر و باد بردگی با شرایط جوی منطقه بهترین برازش را با مقدار اندازه‌گیری شده نشان داد و اختلاف میانگین مقادیر مدل شده و مشاهداتی در سطح اعتماد یک درصد معنادار نگردید. همچنین میزان تلفات تبخیر و بادبردگی اندازه‌گیری شده بین ۶ تا ۳۴ درصد و مدلسازی شده بین ۱۱ تا ۳۵ درصد متغیر بود.

زارع ابیانه و همکاران^۶ (۲۰۲۱) طی پژوهشی به ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار پرداختند. در این پژوهش پنج سامانه آبیاری بارانی، پنج سامانه قطره‌ای و دو سامانه نواری قطره‌ای به منظور ارزیابی فنی و هیدرولیکی در اراضی کشاورزی شهرستان همدان انتخاب شدند. ارزیابی‌ها بر اساس روش مریام و کلر انجام شد. شاخص‌های مورد اندازه‌گیری برای سامانه‌های بارانی شامل ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد آب (PELQ) و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین (AELQ) بود. شاخص‌های مورد اندازه‌گیری برای سامانه‌های قطره‌ای نیز شامل ضریب یکنواختی (EU)،

¹ Faryabi et al

² Merriam and Keller

³ Nasrolahi et al

⁴ Hamdi Ahmadabad et al

⁵ Raoof et al

⁶ Hamid Zare Abyaneh et al

ضریب کاهش راندمان (ERF)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین بود. مقدار شاخص‌های CU، DU، PELQ و AELQ برای سامانه‌های بارانی به ترتیب در دامنه ۸۰/۱-۶۵/۶، ۵۳/۱-۵۵/۷، ۳۱/۱-۵۲/۵ و ۲۸/۳- درصد حاصل شد. در سامانه‌های قطره‌ای نیز مقادیر EU، ERF، PELQ و AELQ در دامنه ۶۵/۷-۴۳/۴، ۱/۳-۰/۸، ۵۹/۱-۳۹/۱ و ۷۳/۰-۳۴/۰ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد در تمامی سامانه‌ها، راندمان‌های مورد بررسی کم‌تر از حد انتظار بود که از جمله دلایل این امر می‌توان به طراحی نامناسب، متفاوت بودن سامانه اجرا شده با سامانه طراحی شده، تأثیرگذاری عوامل اقلیمی نظیر سرعت باد، مشکلات بهره‌برداری نظیر عدم اهمیت کشاورزان به تنظیم فشار، استفاده از لوازم نامناسب و عدم بازبینی‌های دوره‌ای به دلیل سطح پایین آگاهی، عدم آموزش و نارسایی‌های اقتصادی اشاره نمود.

نادری و فیروزآبادی^۱ (۲۰۲۳) طی پژوهشی بر روی سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای در مزارع استان سمنان، عملکرد این سامانه‌ها را بررسی نمودند. میانگین راندمان پتانسیل کاربرد، راندمان واقعی، یکنواختی توزیع، ضریب یکنواختی و تلفات تبخیر و بادبردگی به ترتیب ۶۹/۱۰، ۶۷/۲۰، ۷۶/۷۰، ۸۲/۱۰ و ۷۶ درصد گزارش شد استفاده از سامانه‌های عقربه‌ای به دلیل مکانیزه بودن، نسبت به سایر سامانه‌ها آسان‌تر است، اما بروز مشکلاتی نظیر افت فشار، انسداد یا فرسودگی نازل‌ها و عدم تنظیم صحیح سرعت حرکت دستگاه، در برخی موارد باعث کاهش عملکرد شده بود. بهره‌وری آب آبیاری برای یونجه و گندم به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد. انجام آبیاری شبانه و آموزش کشاورزان از جمله عوامل مؤثر در افزایش راندمان و بهره‌وری آب بودند. بن شرفی و همکاران^۲ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای جامع به مدل‌سازی توزیع آب در سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای پرداختند. از مدل‌های ریاضی و داده‌های تجربی برای تحلیل یکنواختی توزیع آب استفاده شد. عوامل مختلفی نظیر سرعت باد، فشار آب، نوع نازل‌ها و ارتفاع نصب آبپاش‌ها بررسی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل ارائه‌شده قابلیت بالایی در پیش‌بینی دقیق‌تر توزیع آب دارد و می‌تواند به بهینه‌سازی طراحی و عملکرد سامانه‌های عقربه‌ای کمک کند. یافته‌های این پژوهش نقش مهمی در کاهش تلفات آب و افزایش بهره‌وری آبیاری ایفا می‌کنند.

روش پژوهشی

۱. منطقه مورد مطالعه

این آزمایش در منطقه دشت مغان در شهرستان پارس‌آباد در استان اردبیل انجام شد که دارای موقعیت جغرافیایی بین ۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا واقع است. این پژوهش میدانی در اراضی کشاورزی شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان واقع در دشت مغان، استان اردبیل، اجرا شد. دشت مغان با حدود ۷۰ هزار هکتار اراضی قابل کشت، به واسطه ویژگی‌هایی نظیر اقلیم نیمه‌خشک، منابع آب قابل اتکا و خاک‌های نسبتاً حاصلخیز، یکی از مناطق مهم تولید محصولات زراعی در کشور به‌شمار می‌رود. شرکت کشت و صنعت مغان از ۹ بخش کشاورزی تشکیل شده که محل آزمایش در بخش ۷ این مجموعه قرار دارد. این پژوهش بر روی سه سامانه عقربه‌ای به ترتیب عقربه‌ای A، عقربه‌ای B و عقربه‌ای C انجام شد در جدول (۱) پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه و در جدول (۲) مشخصات مربوط به سه سامانه عقربه‌ای ارائه شده است. منطقه مغان دارای اقلیم نیمه خشک است. در این رژیم، بارندگی در اکثر ماه‌ها، به‌ویژه تابستان، بسیار کم است. تبخیر در این منطقه در تابستان به حداکثر می‌رسد و ذخیره رطوبتی خاک در مدت کوتاهی تخلیه می‌شود. این شرایط باعث می‌شود که گیاهان در طول فصل رشد با کمبود آب مواجه شوند. جدول (۳) مشخصات عمومی مزارع مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بافت خاک در هر سه مزرعه سیلتی رسی بود (جدول ۴). ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری مطابق با استاندارد ASAE انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا انجام شده است. برای بررسی وضعیت بهره‌وری آب و مدیریت بهره‌برداری از سامانه‌ها، با مراجعه حضوری و بازدید از مزارع، اطلاعات لازم جمع‌آوری شد. این اطلاعات شامل نحوه آبیاری، تاریخ کاشت و برداشت بود که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

¹ Naderi and Firouzabadi

² Ben Charfi et al

همچنین محدوده مجاز و توصیه شده ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع و راندمان پتانسیل کاربرد در جدول (۵) ارائه شده است (مریام و کلر، ۱۹۷۸).

جدول ۱. میانگین پارامترهای هواشناسی در سال ۱۴۰۳ برای منطقه مورد مطالعه

ماه	میانگین حداقل دما (درجه سلسیوس)	میانگین حداکثر دما (درجه سلسیوس)	رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)	ساعات آفتابی روزانه (ساعت)	بارش (میلی متر)
فروردین	۹/۸	۲۴/۱	۷۲/۸	۳/۶	۷/۱	۱۱/۳
اردیبهشت	۱۴/۵	۲۸/۹	۶۹/۵	۲/۸	۸/۱	۲۷/۵
خرداد	۱۸/۸	۳۴/۳	۵۹/۳	۳/۶	۱۰/۴	۰
تیر	۲۲/۲	۳۴/۳	۵۸/۱	۳/۳	۷/۶	۰
مرداد	۲۰/۲	۳۵/۷	۶۱/۲	۲/۶	۸/۷	۰
شهریور	۱۷/۶	۲۸/۱	۲۲/۶	۳/۱	۶/۶	۱۰/۷
مهر	۱۰/۳	۱۸/۹	۷۹/۸	۲/۲	۳/۶	۳۴
آبان	۴/۶	۱۵/۶	۸۱/۵	۲/۹	۴/۵	۶/۲
آذر	۱/۲	۱۲/۲	۸۳/۸	۲/۳	۴/۶	۱۱/۶
دی	-۰/۷	۹/۶	۸۲	۲/۸	۳/۸	۲۶/۴
بهمن	-۰/۹	۱۱/۲	۳۷/۸	۳/۲	۴/۴	۱۴/۲
اسفند	۲/۷	۱۳/۱	۸۰/۵	۳/۳	۴/۴	۵۱/۸

جدول ۲. خصوصیات سامانه عقربه‌ای مورد ارزیابی در منطقه مورد مطالعه

سامانه	سال اجرای سیستم (میلادی)	طول بال (متر)	تعداد اسپن	تعداد آبپاش	قطر لترال (میلی متر)	حداکثر سرعت (متر بر دقیقه)	نوع آبپاش	نحوه قرارگیری آبپاش‌ها
A	۱۹۹۵	۵۱۴	۱۱	۱۷۱	۱۶۰-۱۲۵-۱۱۰	۴	نلسون R3000	مدل عصایی
B	۱۹۹۵	۲۱۲/۷	۴	۷۱	۱۶۰-۱۲۵-۱۱۰	۴	نلسون R3000	مدل عصایی
C	۱۹۹۵	۲۵۹/۶	۴	۸۶	۱۶۰-۱۲۵-۱۱۰	۴	نلسون R3000	مدل عصایی

جدول ۳. اطلاعات مربوط به بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری بارانی عقربه‌ای مورد مطالعه

نام مزرعه	نوع محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	تاریخ کشت	تاریخ برداشت
A	ذرت علوفه‌ای	۸۲/۹۶	دهه اول تیرماه	اواخر شهریور
B	ذرت علوفه‌ای	۱۴/۲۵	دهه اول تیرماه	اواخر شهریور
C	ذرت علوفه‌ای	۲۱/۲۲	دهه اول تیرماه	اواخر شهریور

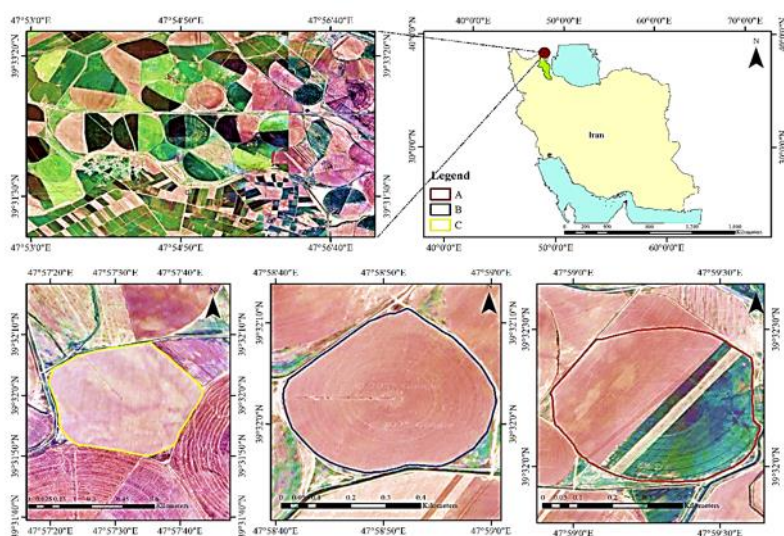
جدول ۴. خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه

نام مزرعه	بافت خاک	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت پژمردگی (درصد حجمی)
A	سیلتی رس	۳۲/۹	۲۱
B	سیلتی رس	۳۱/۵	۲۲
C	سیلتی رس	۳۲	۲۰

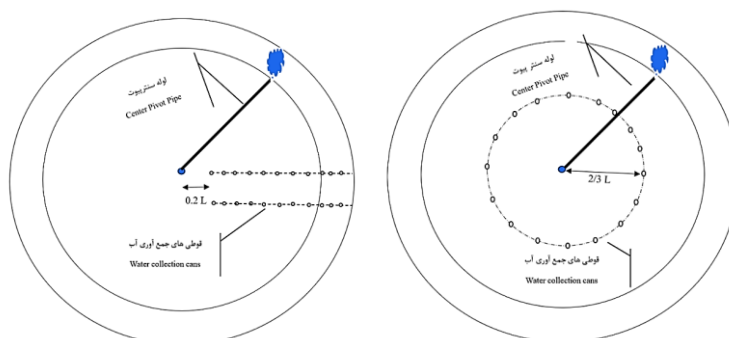
جدول ۵. محدوده مجاز شاخص‌های ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی (درصد) (مریام و کمر، ۱۹۷۸)

ضریب یکنواختی	یکنواختی توزیع	راندمان پتانسیل کاربرد
۸۱-۸۷	۶۷-۸۰	۶۵-۸۵

موقعیت منطقه مورد مطالعه و نحوه چینش قوطی‌ها به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شد. در این روش، برای ارزیابی شعاعی سامانه‌های عقربه‌ای، دو ردیف قوطی به صورت شعاعی و با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر چیده شد. همچنین برای ارزیابی یکنواختی محیطی سامانه‌ها، قوطی‌ها به صورت محیطی و با فاصله ۳۳ متر از یکدیگر با فاصله دو سوم طول بازوی عقربه‌ای ($\frac{2}{3}L$) از مرکز سامانه عقربه‌ای قرار داده شد. این قوطی‌ها برای اندازه‌گیری دقیق میزان آب توزیع شده توسط سامانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق آبپاش مورد استفاده در سترها مدل Nelson است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نمای کلی از نحوه چینش قوطی‌ها به صورت شعاعی و محیطی بین آبپاش‌ها

۲. روش کار

میل‌های فلزی باریکی در فواصل ۱۰ متر روی دو خط شعاعی و فواصل ۳۳ متر روی یک خط محیطی قرار داده شده. هر میله مانند یک ستون کوچک عمل نمود، به طوری که از تکان خوردن ظروف جلوگیری شود و دهانه آن‌ها کمی بالاتر از خاک قرار گیرند. در این پژوهش از قوطی‌های پلاستیکی ساده بدون درجه‌بندی استفاده شد. تمامی قوطی‌ها دارای دهانه‌ای با ابعاد یکسان و قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر بودند، بنابراین سطح مقطع دهانه‌ها ثابت در نظر گرفته شد و با اندازه‌گیری حجم آب جمع‌آوری شده، امکان محاسبه عمق آب فراهم گردید. برای حفظ تراز بودن قوطی‌ها و جلوگیری از ورود خاک و خرده‌ریزها، آن‌ها روی پایه‌هایی با ارتفاع مشخص نصب شدند.

پس از تنظیم عقربه‌ای روی سرعت ثابت، پمپ روشن شد. پس از رد شدن آخرین اسپن از روی آخرین قوطی اندازه‌گیری‌ها انجام شد.

پس از عبور کامل دستگاه، حدود سه دقیقه جهت اطمینان از پایان ریزش قطرات باقی‌مانده صبر شد. سپس آب موجود در هر قوطی با دقت درون یک استوانه مدرج یک‌لیتری ریخته شد و حجم آن ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری دبی، مقدار آب خروجی هر آبپاش طی زمان ۳۰ ثانیه با استفاده از ظرف و کروномتر ثبت و سپس دبی لحظه‌ای محاسبه شد. بلافاصله فشار همان نقطه با فشارسنج اندازه‌گیری شد تا افت احتمالی فشار نیز مورد بررسی قرار گیرد. اندازه‌گیری در سه نقطه ابتدای لوله، وسط، انتها انجام شد اندازه‌گیری فشار متوسط در سه سامانه به ترتیب در سامانه A برابر با ۲ بار، در سامانه B برابر با ۰/۷ بار و در سامانه C برابر با ۱/۵ بار بود.

تمام مراحل فوق در روزهای بعد به صورت مشابه برای دو سامانه دیگر (B و C) انجام شد تا امکان مقایسه دقیق بین عملکرد آن‌ها فراهم گردد. لازم به ذکر است که بخشی از اختلاف مشاهده شده میان نتایج سه سامانه (A، B و C) می‌تواند ناشی از تفاوت شرایط هواشناسی، به ویژه تغییرات سرعت باد، در روزهای مختلف اجرای آزمایش باشد. این عامل بیرونی علاوه بر مشخصات هیدرولیکی سامانه‌ها، می‌تواند بر یکنواختی و راندمان توزیع آب تأثیرگذار باشد.

۳. شاخص‌های ارزیابی سامانه

تلفات تبخیر و باد بردگی (E_w)

این پارامتر نشان می‌دهد که چه درصدی از آب پاشیده شده توسط آبپاش‌ها از محدوده اراضی موردنظر خارج می‌شود. در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی، تلاش می‌شود که این تلفات به حداقل ممکن کاهش یابد. برای دستیابی به این هدف، استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی مانند تنظیم مناسب نازل‌ها، کاهش ارتفاع پاشش و تنظیم فشار سامانه از جمله اقداماتی است که می‌تواند مؤثر باشد (رابطه ۱): (مرکلی و آلن ۲۰۰۴).

$$E_w = \frac{d_w}{d_i} \times 100 = \left(1 - \frac{d_a}{d_i}\right) \times 100 \quad (1)$$

که در آن E_w مقدار تلفات تبخیر و باد بردگی، d_w متوسط عمق آبی که در هنگام کار آبپاش توسط باد یا به صورت تبخیر از محدوده مزرعه خارج می‌گردد (mm)، d_i متوسط عمق آب خارج شده از آبپاش (mm) و d_a متوسط عمق آب پخش شده در سطح زمین (mm) می‌باشند. در شرایط مزرعه، مقدار d_i با استفاده از روش قوطی‌چینی به دست آمد، بدین صورت که قوطی‌های پلاستیکی روی پایه‌های فلزی قرار داده شدند و پس از عبور کامل دستگاه، حجم آب جمع‌آوری شده در هر قوطی توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری و به عمق آب (میلی‌متر) تبدیل شد. مقدار d_a نیز از اختلاف بین کل دبی خروجی آبپاش‌ها (محاسبه شده با اندازه‌گیری دبی لحظه‌ای و فشار کاری) و مقدار آبی که به سطح زمین رسید، به دست آمد. در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی، تلاش می‌شود مقدار این تلفات به حداقل برسد.

¹ Evaporation and Wind Drift Losses

² Merkley and Allen

ضریب یکنواختی کریستیان سن (CU^۱)

یکی از پارامترهای مهم برای ارزیابی یکنواختی توزیع آب در مزرعه، ضریب یکنواختی کریستیان سن است. این ضریب میزان یکنواختی آب توزیع شده توسط آبپاش‌ها را نشان می‌دهد و به این وسیله می‌توان بخشی از کارایی سامانه آبیاری را ارزیابی کرد. لازم به ذکر است مقدار CU و DU در هر سه سامانه عقربه‌ای، هم به صورت شعاعی و هم محیطی محاسبه شده است. در نهایت، برای دستیابی به یک مقدار کلی، مقادیر به دست آمده در این دو جهت در یکدیگر ضرب شده‌اند. (رابطه ۲) (علیزاده ۲، ۲۰۱۱).

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |d_i - \bar{d}|}{n\bar{d}}\right) \times 100 \quad (2)$$

که در آن CU ضریب یکنواختی %، d_i عمق پخش شده در قوطی شماره i ام (mm)، $\bar{d}$ میانگین عمق آب جمع‌آوری شده در n قوطی (mm) و n تعداد قوطی‌ها می‌باشند.

یکنواختی توزیع (DU^۳)

ضریب یکنواختی کریستیان سن گویای مشکلات واقعی توزیع آب در مزرعه نیست، زیرا در محاسبه آن از عمق آب پخش شده در تمام قوطی‌ها استفاده می‌گردد به همین دلیل از پارامتر یکنواختی توزیع آب در مزرعه کمک گرفته می‌شود (رابطه ۳) (کلر و بیلینسر، ۱۹۹۰).

$$DU = \frac{d_q}{\bar{d}} \times 100 \quad (3)$$

که در آن DU یکنواختی توزیع (درصد)، d_q متوسط عمق آب پخش شده در ۲۵ درصد از قوطی‌ها که کم‌ترین آب را دریافت کرده‌اند (mm) و $\bar{d}$ متوسط عمق آب جمع‌آوری شده در n قوطی (mm) است.

راندمان پتانسیل ربع پایین (PELQ^۴)

راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین برای بررسی مطابقت وضعیت سامانه آبیاری با حالت مدیریت بهینه و شرایطی که عمق آبیاری به طور مطلوب انتخاب شده باشد، استفاده می‌شود. راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود: (مرکلی و آلن، ۲۰۰۴).

$$PELQ = \frac{d_q}{d_r} \times 100 \quad (4)$$

که در آن PELQ راندمان پتانسیل ربع پایین %، d_q متوسط عمق آب پخش شده در یک چهارم شبکه اندازه‌گیری که کم‌ترین آب را دریافت نموده‌اند (mm) و d_r متوسط عمق آب آبیاری (اندازه‌گیری شده از سر نازل‌ها) (mm) است. برای محاسبه شاخص‌های یکنواختی و راندمان، عمق آب جمع‌آوری شده از سر نازل‌ها با استفاده از قوطی‌های جمع‌آوری در امتداد مسیر آب‌پاشی اندازه‌گیری شد. قوطی‌ها با فاصله یکنواخت در طول مسیر سامانه قرار داده شدند و پس از آبیاری، حجم آب جمع‌آوری شده در هر قوطی با سیلندر مدرج قرائت و به واحد عمق (میلی‌متر) تبدیل گردید. سپس میانگین عمق آب، کم‌ترین ربع و سایر پارامترهای مورد نیاز بر اساس روابط محاسبه شدند.

راندمان واقعی ربع پایین (AELQ^۵)

راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین درواقع بیانگر راندمان حقیقی کل سیستم بوده و بهتر می‌تواند مشکلات سیستم را بیان نماید. راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین از رابطه (۵) قابل محاسبه است: (مرکلی و آلن، ۲۰۰۴).

$$\begin{cases} AELQ = \frac{d_q}{d_r} \times 100 & , \quad d_q < SMD \\ AELQ = \frac{SMD}{d_r} \times 100 & , \quad d_q > SMD \end{cases} \quad (5)$$

¹ Coefficient of Uniformity

² Alizadeh

³ Distribution Uniformity

⁴ Application Efficiency of Low Quarter

⁵ Potential Application Efficiency of Low Quarter

که در آن AELQ، راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین % و SMD، کمبود رطوبتی خاک است. مقادیر PELQ و AELQ مقادیر راندمان پتانسیل و واقعی ربع پایین برای آبپاش‌های مورد آزمایش هستند. در این تحقیق مقدار SMD بر سه سامانه عقربه‌ای A، B و C به ترتیب برابر ۱/۵۳، ۶/۶ و ۳/۳ است

راندمان کاربرد آب (AE^۱)

راندمان کاربرد نشان‌دهنده میزان کارایی سامانه آبیاری در داخل مزرعه است. این شاخص بیانگر درصد آبی است که به طور مؤثر توسط گیاه استفاده می‌شود و تلفات ناشی از تبخیر، بادبردگی، رواناب یا نفوذ عمقی باعث کاهش آن می‌گردد (رابطه ۶): (مرکلی و آلن، ۲۰۰۴).

$$AE = (d/d_r) \times 100$$

(۶)

d متوسط عمق آب نفوذ یافته و ذخیره شده در منطقه ریشه (mm).

یافته‌های پژوهشی

آزمایش مزرعه‌ای، برای سه سامانه A، B و C به ترتیب در تاریخ‌های ۲۹، ۳۰ و ۳۱ مردادماه انجام شد. در طول آزمایش‌ها، سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین به ترتیب برابر با ۲/۵۴، ۲/۹ و ۲/۵۴ متر بر ثانیه اندازه‌گیری گردید. این مقادیر نشان می‌دهد که شرایط باد در روزهای مختلف آزمایش تقریباً مشابه بوده و اختلاف قابل توجهی بین آن‌ها وجود نداشت. همچنین میانگین عمق آب پخش‌شده در آزمایش مزرعه‌ای، برای هر یک از سه دستگاه سنتریوت (A، B و C)، سه بار اندازه‌گیری عمق آب پخش‌شده انجام شد و سپس میانگین نتایج محاسبه گردید. سه دستگاه عقربه‌ای برای سه سامانه A، B و C به‌صورت شعاعی به ترتیب برابر ۱/۹۳، ۱/۶۹ و ۱/۴۸ میلی‌متر و در ارزیابی محیطی به ترتیب برابر ۲/۲۶، ۱/۲۳ و ۱/۲۳ میلی‌متر به دست آمد. سرعت خطی حرکت شاسی در طول آزمایش برای سامانه‌های A، B و C تقریباً ۱/۲ الی ۱/۶ متر بر دقیقه بود. سایر شاخص‌های مورد ارزیابی شاخص‌های یکنواختی (CU و DU) و راندمان‌های PELQ و AELQ در جدول (۶) ارائه شده است. مقادیر PELQ در مزارع مورد مطالعه پایین‌تر از محدوده استاندارد (۶۵ تا ۷۵ درصد) بوده است با این تفاسیر، هدر رفت بالایی دارند که نشان‌دهنده عدم توزیع یکنواخت آب و احتمال وجود تلفات بالا در سامانه آبیاری است.

جدول ۶. اجزاء و عوامل مقایسه ارزیابی در سامانه‌های عقربه‌ای مورد مطالعه

مزرعه	گیاه	ضریب یکنواختی ترکیبی (CU) (درصد)	یکنواختی توزیع ترکیبی (DU) (درصد)	(PELQ) (درصد)	(AELQ) (درصد)	راندمان کاربرد (AE) (درصد)	تلفات تبخیر و باد بردگی (درصد)
A	ذرت علوفه‌ای	۵۴/۵۵	۳۶/۹۱	۴۱/۴۹	۴۱/۴۹	۶۸/۴۴	۳۱/۵۵
B	ذرت علوفه‌ای	۴۴/۵۲	۲۵/۹۶	۴۰/۲۴	۴۰/۲۴	۷۳/۸۸	۲۶/۱۱
C	ذرت علوفه‌ای	۵۵/۹۷	۵۰/۱	۶۰/۰۱	۶۰/۰۱	۸۴/۶۴	۱۵/۳۵
میانگین	-	۵۱/۶۸	۳۷/۶۵	۴۷/۲۴	۴۷/۲۴	۷۵/۶۵	۲۴/۳۳

مقدار PELQ نشان‌دهنده مشکلات طراحی و اجرا است. اما همیشه هم مقدار بالای PELQ منظور و هدف نهایی نمی‌باشد. از آنجاکه در برخی پروژه‌ها به دلایل اقتصادی مقدار PELQ کم را قابل قبول می‌دانند، احتمالاً در منطقه وسیعی که زیر نظر دولت نیز است (کشت و صنعت و دامپروری مغان) هم به دلیل کاهش هزینه‌ها، مقدار کم PELQ در طراحی و اجرا مد نظر بوده است (آگیمن و همکاران^۲، ۲۰۲۳). این کاهش راندمان ممکن است ناشی از عواملی مانند عدم یکنواختی فشار در نازل‌ها، اثرات باد، تبخیر بالا، یا طراحی نامناسب سامانه آبیاری باشد. همچنین، فرسودگی تجهیزات آبیاری و تنظیمات نادرست نازل‌ها می‌تواند موجب توزیع نامناسب آب و در نتیجه

^۱ Application Efficiency

^۲ Agyeman et al

کاهش راندمان کاربرد در ربع پایین شود؛ بنابراین، بهبود یکنواختی توزیع آب از طریق کنترل فشار، کاهش ارتفاع نازل‌ها، و انتخاب صحیح نازل‌ها متناسب با شرایط مزرعه، می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش PELQ و کاهش تلفات آب داشته باشد (میرام و کلر، ۱۹۷۸؛ رولند^۱، ۱۹۸۲؛ مرکلی و آلن، ۲۰۰۴). از طرفی مقدار پایین PELQ نشان‌دهنده عدم انطباق طراحی سامانه آبیاری با شرایط زراعی و خاکی منطقه است که این موضوع می‌تواند تأثیر منفی بر بهره‌وری آب و یکنواختی توزیع آن داشته باشد. بررسی‌های میدانی تأیید می‌کند که مدیریت نادرست و نگهداری ضعیف از سامانه‌های آبیاری، یکی از عوامل اصلی کاهش راندمان محسوب می‌شود (رثوف، حسینی و نظری، ۲۰۱۸). عواملی مانند فرسودگی تجهیزات، خرابی فنر آبپاش، نشستی در اتصالات و پوسیدگی لوله‌ها موجب افت فشار و کاهش دبی خروجی از نازل‌ها شده‌اند که در نتیجه، میزان آب اعمال‌شده به سطح مزرعه کاهش یافته و یکنواختی توزیع آب مختل شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تلفات ناشی از تبخیر و بادبردگی در محدوده ۱۵ تا ۳۰ درصد بوده است که مقدار قابل توجهی برای سامانه آبیاری بارانی محسوب می‌شود. در این تحقیق بین AELQ و PELQ اختلافی وجود ندارد از آنجاکه اختلاف این دو پارامتر تا حدودی بیانگر تلفات نفوذ عمقی است؛ لذا در تحقیق حاضر تلفات نفوذ عمقی صفر است. مقادیر پارامتر PELQ و AELQ برابر است و برای سامانه A، B و C به ترتیب برابر ۴۱/۴۹، ۴۰/۲۴ و ۶۰/۰۱ تعیین گردید لوپز-ماتا و همکاران^۲ (۲۰۱۰) طی پژوهشی مقدار میانگین AELQ (۵۷/۶۵ درصد) را کمتر از مقدار PELQ (۶۵/۵۷ درصد) به دست آورد که نشان‌دهنده عدم تطابق سامانه آبیاری با نیاز واقعی مزرعه و خاک منطقه است. این موضوع حاکی از آن است که مقدار قابل توجهی از آب، به جای نفوذ مؤثر در منطقه ریشه، در اثر تبخیر، بادبردگی، یا رواناب از دست رفته است. به بیان دیگر، بخشی از خاک ناحیه ریشه که باید آب ذخیره کند، خشک باقی مانده و گیاه به اندازه کافی آب دریافت نکرده است. در بسیاری از مزارع، این عدم یکنواختی در آبیاری به دلیل افت فشار در سامانه و استهلاک تجهیزات آبیاری بوده است. همان‌طور که در بررسی‌ها مشاهده شده، وجود نشستی در اتصالات، پوسیدگی لوله‌ها و عمر بالای سامانه باعث ایجاد کاهش فشار در نازل‌ها و در نتیجه کاهش یکنواختی توزیع آب شده است. بررسی‌ها نشان داد که ضریب یکنواختی توزیع آب (DU) در سه سامانه عقبه‌ای A، B و C به ترتیب برابر با ۳۶/۹۱، ۲۵/۹۶ و ۵۰/۱۰ درصد بوده است. این مقادیر که پایین‌تر از حد استاندارد توصیه‌شده برای سامانه‌های بارانی هستند، می‌توانند منجر به کاهش بهره‌وری کلی سامانه‌های آبیاری گردند باتوجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود مقدار یکنواختی توزیع آب کمتر از مقدار توصیه شده است. همچنین ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) نیز در این سامانه‌ها پایین‌تر از مقادیر استاندارد ارائه‌شده توسط میرام و کلر (۱۹۷۸) و رولند (۱۹۸۲) بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت تأثیر فرسودگی، طراحی نامناسب، و عدم مدیریت صحیح قرار دارد و بهینه‌سازی آن‌ها از طریق بازرسی دوره‌ای، تعویض نازل‌ها، و تنظیم فشار کاری سامانه ضروری است.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که کم‌ترین مقدار یکنواختی توزیع آب (DU) برابر ۲۵/۹۶ و ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) برابر ۴۴/۵۲ برای سامانه B بوده است. این روش منجر به کاهش درصد نهایی CU و DU گردیده است، چرا که ترکیب دو مقدار مستقل موجب تأثیر مضاعف بر کاهش یکنواختی توزیع آب می‌شود. این مقدار نسبت به استانداردهای تعیین‌شده پایین‌تر بوده و می‌تواند به دلیل تأثیر بالای تلفات تبخیر و بادبردگی، فرسودگی سامانه و وجود نشستی زیاد نسبت به سایر سامانه‌ها باشد. در همه سامانه‌های مورد مطالعه، ضعف مدیریتی یکی از عوامل اصلی کاهش راندمان سامانه‌های آبیاری بوده است. این وضعیت کم‌تر بودن مقدار آب جمع‌آوری‌شده در برخی نقاط را نسبت به سایر قسمت‌های مزرعه تأیید می‌کند که نشان از خرابی آبپاش‌ها، تنظیم نادرست فشار و نوسانات قطرات آب هنگام پاشش دارد.

قطر نازل‌های برخی از آبپاش‌ها دچار تغییر شده‌اند که باعث پراکندگی غیریکنواخت آب و کاهش راندمان سامانه شده است. از سوی دیگر، مشاهده شد که تجمع بیش‌تر آب در بخش‌های خاصی از مزرعه، بدون نفوذ کافی در عمق خاک، نشان‌دهنده غیریکنواختی پخش آب در سطح زمین است. این مسئله به خطرات ناشی از رواناب سطحی، فرسایش خاک، و کاهش بهره‌وری آب منجر می‌شود. در برخی نقاط، کمبود عمق آب در انتهای لترال‌ها به دلیل افت فشار در طول لوله آبدیده مشاهده شده است که نشان می‌دهد آب به طور

¹ Roland² López-Mata et al

یکنواخت به انتهای خطوط آبیاری نمی‌رسد. این مسئله نه تنها بر رشد گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد، بلکه باعث ایجاد تنش آبی در برخی نقاط و غرقاب شدن برخی دیگر از قسمت‌های مزرعه می‌شود. تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه A بالاترین (۳۱/۵۵ درصد) و سامانه C پایین‌ترین (۱۵/۳۵ درصد) را دارد. راندمان کاربرد (AE) سامانه C بهترین (۸۴/۶۴ درصد) و سامانه A پایین‌تر (۶۸/۴۴ درصد) است.

AE و PELQ برای هر یک از سامانه‌ها برابر است. در سامانه B برابر کم‌ترین مقدار ۴۰/۲۴ که نشان‌دهنده مدیریت ضعیف‌تر در بخش‌های مختلف مزرعه در این سامانه است. در سامانه C بیش‌ترین مقدار و برابر ۶۰/۰۱ مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده یکنواختی بیش‌تر است. اختلاف AE و PELQ در یک سامانه بیانگر تقریبی تلفات نفوذ عمقی است که در این تحقیق برای هر سه سامانه صفر است. همچنین همواره $AE > PELQ$ است که در این طرح رعایت شده است. در سامانه آبیاری بارانی مقدار PELQ از DU کم‌تر است در این تحقیق هم در ارزیابی شعاعی و هم در ارزیابی محیطی رعایت شده است.

در مزرعه A، تلفات تبخیر و بادبردگی برابر با ۳۱/۵۵ درصد محاسبه شد که مقدار بالایی محسوب می‌شود. همچنین، ضریب یکنواختی توزیع آب در این سامانه در محدوده متوسط قرار دارد. برای کاهش این تلفات، پیشنهاد می‌شود که ارتفاع پاشش نازل‌ها کاهش یابد، آبیاری در ساعات کم‌باد انجام گیرد، و فشار کاری سامانه به‌درستی تنظیم شود. در مزرعه B، باوجود تلفات تبخیر نسبتاً کم‌تر، ضعف در شاخص‌های راندمان پتانسیل کاربرد آب (PELQ) و یکنواختی توزیع (DU) به‌وضوح قابل‌مشاهده است. اقداماتی نظیر تعمیر یا تعویض آبیاش‌های معیوب، پایش دقیق فشار در طول لترال‌ها، و تنظیم صحیح سرعت حرکت دستگاه، می‌تواند تأثیر چشمگیری در بهبود یکنواختی آبیاری این سامانه داشته باشد.

در مقابل، مزرعه C در تمامی شاخص‌های عملکردی نتایج مطلوبی به دست آورده است. بااین‌حال، کاهش بیش‌تر تلفات تبخیر که در حال حاضر معادل ۲۴/۳۳ درصد است، می‌تواند به ارتقاء بیش‌تر راندمان کاربرد منجر شود. باتوجه‌به عملکرد مثبت مزرعه C، این سامانه می‌تواند به‌عنوان الگوی مدیریتی و طراحی مناسب برای ارتقای بهره‌وری دو سامانه دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

مطابق با جدول (۷) که نشان‌دهنده ارزیابی CU و DU است همان‌طور که انتظار می‌رفت در هر سه مزرعه مقادیر CU بالاتر از DU گزارش شده است. در مجموع، سامانه مزرعه C در هر دو شاخص وضعیت بهتری دارد، سامانه مزرعه B ضعیف‌ترین مقادیر، و مقادیر سامانه مزرعه A در سطح متوسط ارزیابی می‌شود. بررسی مقادیر شعاعی و محیطی در جدول (۵) این مطلب را تأیید می‌کند، در سامانه مزرعه B تفاوت شاخص‌های شعاعی و محیطی زیاد و در سامانه مزرعه C کم است.

جدول ۷. اجزاء و عوامل مقایسه ارزیابی CU و DU به تفکیک شعاعی و محیطی در سامانه‌های عقربه‌ای مورد مطالعه

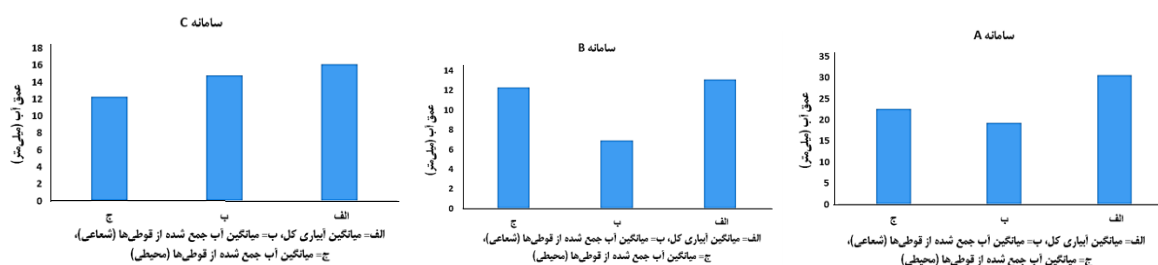
مزرعه	ضریب یکنواختی شعاعی (CU) (درصد)	ضریب یکنواختی محیطی (CU) (درصد)	یکنواختی توزیع (DU) شعاعی (درصد)	یکنواختی توزیع (DU) محیطی (درصد)
A	۷۹/۰۸	۶۸/۹۸	۶۹/۱۹	۵۳/۳۴
B	۶۶/۲۹	۶۷/۱۷	۵۸/۸۴	۴۴/۱۲
C	۷۶/۶۷	۷۲/۹۹	۷۱/۹۳	۶۹/۶۵

باتوجه‌به شکل (۳) اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده در هر سه سامانه وجود دارد و علت اصلی می‌تواند تلفات تبخیر و بادبردگی، افت فشار، خرابی یا فرسودگی آبیاش‌ها، و عدم تنظیم مناسب سرعت حرکت دستگاه باشد.

مقایسه ستون B و ج (میانگین‌های محیطی و شعاعی) بیانگر نحوه توزیع آب در راستای شعاع تا محیط دستگاه عقربه‌ای است. در بعضی سامانه‌های A و B اختلاف بین این دو مقدار زیادتر است که حاکی از عدم یکنواختی قابل‌ملاحظه در توزیع آب میان بخش‌های مختلف مزرعه است. در سامانه C این اختلاف کم‌تر است و به معنای توزیع یکنواخت‌تر آب است. در مجموع، سامانه C به نظر عملکرد بهتری دارد، زیرا فاصله بین ستون طراحی (الف) و ستون‌های محیطی و شعاعی کم‌تر است. این امر به کارایی بالاتر و تنظیمات بهتر (فشار، نازل، زمان‌بندی آبیاری، سرعت حرکت) اشاره می‌کند.

برای بهبود کارایی سامانه‌های A و B باید بازرسی دوره‌ای و تعمیرات از جمله اصلاح یا تعویض نازل‌ها، کنترل فشار در امتداد بازوهای عقربه‌ای، رفع نشتی اتصالات و کاهش ارتفاع آبپاش‌ها برای کاهش بادبردگی در دستور کار قرار گیرد. یافتن علت اصلی هر اختلاف نیازمند داده‌های بیش‌تر درباره سرعت باد، فشار در نقاط مختلف سامانه، ارتفاع نصب آبپاش‌ها، زمان‌بندی آبیاری است. اما بر اساس نمودار، اختلاف میان کل آبیاری طراحی‌شده و آب جمع‌آوری‌شده، تأیید می‌کند که مدیریت و نگهداری بهتر، می‌تواند نقش بسزایی در افزایش راندمان آبیاری داشته باشد.

با استناد به داده‌های به‌دست‌آمده از نمودارها، اقدامات زیر برای بهبود عملکرد سامانه‌های آبیاری پیشنهاد می‌شود: کاهش سرعت حرکت دستگاه که در حال حاضر بین $1/2$ تا $1/6$ متر بر دقیقه تنظیم شده، به‌منظور تأمین بهتر نیاز آبی گیاه، کاهش ارتفاع نصب آبپاش‌ها، در صورت امکان جهت کاهش تلفات ناشی از بادبردگی، انجام بازرسی‌های فنی دوره‌ای برای اطمینان از یکنواختی فشار در طول لترال‌ها و رفع انسداد احتمالی نازل‌ها، مقایسه و انطباق دقیق بین داده‌های میدانی و مقادیر طراحی‌شده برای شناسایی و اصلاح مغایرت‌های فنی موجود.



شکل ۳. مقایسه میانگین عمق آب پخش‌شده اندازه‌گیری‌شده با مقدار محاسباتی طراحی در سه سامانه آبیاری مورد مطالعه

شکل (۴) مقادیر عمق آب جمع‌آوری‌شده توسط قوطی‌ها را در آزمایش شماعی برای سه سامانه A، B و C نشان می‌دهد. اگرچه انتظار می‌رود که این مقادیر در شرایط ایده‌آل تقریباً برابر باشند، نتایج نشان‌دهنده اختلاف قابل‌توجهی بین آن‌هاست. این تفاوت می‌تواند ناشی از عواملی نظیر توپوگرافی ناهموار زمین، افت فشار در طول لترال‌ها، تفاوت در عملکرد نازل‌ها، و تنظیمات غیر بهینه سرعت حرکت دستگاه باشد که موجب کاهش یکنواختی توزیع آب در این سامانه‌ها شده‌اند. سامانه A دامنه نوسان بیش‌تری دارد ($0/50$) تا بالای ۳ سانتی‌متر، سامانه B در یک بازه‌ی کم‌عمق‌تر نوسان می‌کند ($0/20$ تا $1/30$ سانتی‌متر)، و سامانه C بین ۱ تا $2/50$ سانتی‌متر متغیر است. سامانه A با طول ۵۱۴ متر، طبیعتاً بیش‌ترین احتمال افت فشار و پراکندگی قطرات را دارد. سامانه‌های B و C کوتاه‌ترند و نوسانات آن‌ها ناشی از عوامل محلی (ارتفاع نازل، باد، یا خرابی برخی آبپاش‌ها) است.

تغییرات ناگهانی در نمودارها (قله‌ها و دره‌های تند) می‌تواند نشانگر خرابی نازل‌ها، انسداد جزئی برخی آبپاش‌ها، یا اتصال نادرست باشد.

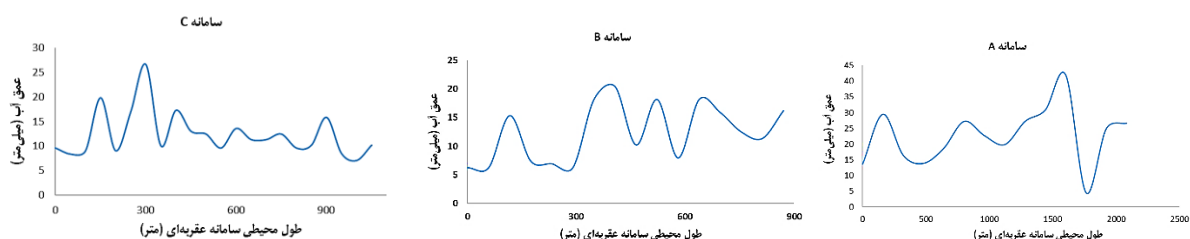
بررسی دوره‌ای فشار در بخش‌های مختلف عقربه‌ای و تنظیم آن، بازرسی آبپاش‌ها برای اطمینان از عدم خرابی یا گیرکردن فنر آبپاش، کاهش ارتفاع پاشش در صورت بادخیز بودن منطقه برای کاهش تبخیر و بادبردگی، تنظیم سرعت دستگاه متناسب با فشار موجود تا آب به طور یکنواخت‌تری توزیع شود.

در مجموع، نمودارها حاکی از آن هستند که در هر سه سامانه، نوساناتی در عمق آب جمع‌آوری‌شده وجود دارد که با برنامه‌ریزی بهینه فشار و سرعت و رسیدگی به وضعیت نازل‌ها می‌توان تا حد زیادی این نوسانات را کاهش داد و راندمان و یکنواختی توزیع آب را بهبود بخشید.



شکل ۴. توزیع پراکنش آب جمع آوری شده در قوطی ها به صورت شعاعی در منطقه مورد مطالعه

شکل (۵) مقادیر عمق آب دریافتی توسط قوطی ها را برای سه سامانه A، B و C و برای آزمایش محیطی نشان می دهد. اگرچه انتظار می رود که عمق آب دریافتی در قوطی ها تقریباً باهم برابر باشند، اما عواملی از قبیل توپوگرافی زمین و پارامترهای مربوط به سامانه باعث شده است که غیر یکنواختی بالایی در توزیع آب مشاهده گردد. همان طور که در شکل (۵) مشاهده می شود در هر سه سامانه، وجود قله ها و دره ها نشان دهنده عدم یکنواختی توزیع آب در طول محیط عقربه ای است. سامانه A بیشترین دامنه تغییرات (۰/۵۰ تا ۴ سانتی متر) را دارد و سامانه های B و C دامنه محدودتری دارند. طول محیط در سامانه A بزرگ تر است (حدود ۲۰۰۰ متر) و در سامانه های B (۹۰۰) و C (۱۰۰۰) متر است. در سامانه هایی با شعاع و محیط بزرگ تر (مانند سامانه A)، به دلیل افزایش طول لوله های لترال و زمان عبور جریان، احتمال بروز افت فشار و تأثیرپذیری از باد بیش تر است. اگرچه این موضوع از نظر تئوری شناخته شده است، اما نتایج این پژوهش نشان داد که این افت فشار و تلفات ناشی از بادبردگی، در شرایط اقلیمی دشت مغان با شدت بیش تری بر یکنواختی پاشش اثر می گذارد. با تحلیل هم زمان داده های میدان و مقادیر طراحی، نشان داده شد که اثر افت فشار در سامانه های با شعاع بیش تر، حتی با وجود تنظیم یکسان سرعت و فشار ورودی، منجر به کاهش قابل توجهی در شاخص DU می شود. این یافته می تواند در طراحی مجدد یا اصلاح سامانه های آبیاری بزرگ مقیاس مورد استفاده قرار گیرد. تنظیم فشار در نقاط مختلف محیطی با استفاده از فشارشکن یا کنترل کننده های فشار، بررسی و تعویض نازل های آسیب دیده یا پوسیده که الگوی پاشش را مختل کرده اند، زمان بندی آبیاری در ساعتی که وزش باد حداقل است، اجرای بازرسی دوره ای در صورت خرابی، نشست، یا گرفتگی، باعث افزایش یکنواختی پخش آب در سامانه ها خواهد شد. به طور کلی، این نمودارها نشان می دهد که هر سه دستگاه A، B و C با مقادیر گوناگون ناهمگنی در پخش آب مواجه اند. در سامانه A، به دلیل طول محیط بیش تر، شدت نوسانات بالاست. سامانه های B و C دامنه کمتری دارند؛ اما همچنان وجود پیک ها و دره ها، اهمیت نظارت و تنظیم دقیق دستگاه را یادآور می شود. با به کارگیری روش های مدیریتی و فنی مناسب، می توان این نوسانات را کاهش داد و راندمان آبیاری را بهبود بخشید.



شکل ۵. توزیع پراکنش آب جمع آوری شده در قوطی ها به صورت محیطی در منطقه مورد مطالعه

بحث

در این تحقیق، شاخص های مختلفی برای ارزیابی سامانه های آبیاری در نظر گرفته شد که شامل ضریب یکنواختی کریستیان سن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ) و راندمان واقعی در ربع پایین (AELQ) می شود. نتایج نشان داد که سامانه A دارای بالاترین تلفات تبخیر و بادبردگی (۳۱/۵۵ درصد) بود که این مقدار بالا می تواند به دلیل مشکلات در طراحی، مانند تنظیم نادرست نازل ها، عدم یکنواختی فشار در طول لوله های سامانه و ضعف در نگهداری تجهیزات

باشد. به‌طور کلی، سامانه A راندمان کاربرد کم‌تری نیز داشت (۶۸/۴۴ درصد) که به‌طور عمده به دلیل عدم یکنواختی توزیع آب و فرسودگی نازل‌ها و نشستی لوله‌ها بود. در مقایسه، سامانه C کم‌ترین تلفات تبخیر و بادبردگی (۱۵/۳۵ درصد) و بالاترین راندمان کاربرد آب (۸۴/۶۴ درصد) را نشان داد. سامانه C از نظر ساختاری به‌روزتر و کم‌تر فرسوده بوده است، در نتیجه نازل‌ها یکنواختی پاشش بهتری داشته‌اند و انسداد یا خوردگی کم‌تری در سامانه مشاهده شده است. داده‌های میدانی نشان می‌دهد که در سامانه C، افت فشار در طول لترال‌ها نسبت به دو سامانه دیگر کم‌تر بوده که این امر منجر به یکنواختی توزیع بالاتر و عملکرد بهینه آبپاش‌ها شده است. مصاحبه‌های میدانی با اپراتور سامانه و سوابق نگهداری نشان می‌دهد که در سامانه C، اقدامات دوره‌ای نظیر تنظیم سرعت، شست‌وشوی نازل‌ها و کنترل نشستی بادقت بیش‌تری انجام شده است. این موضوع، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش تلفات و افزایش راندمان داشته است.

نتیجه‌گیری

سامانه C به دلیل طراحی بهینه‌تر و نگهداری دقیق‌تر توانسته بود به عملکرد بهتری دست یابد. در سامانه C، مقدار راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ) (۶۰/۰۱ درصد) و راندمان واقعی در ربع پایین (AELQ) (۶۰/۰۱ درصد) نیز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بالاتر از سایر سامانه‌ها بود که نشان‌دهنده توزیع یکنواخت‌تر آب و کاهش تلفات غیرضروری بود. با این حال، سامانه B که در آن تلفات تبخیر و بادبردگی نسبتاً کم‌تر بود (۲۶/۱۱ درصد)، در سایر شاخص‌ها مانند یکنواختی توزیع (۲۵/۹۶ درصد) و راندمان پتانسیل کاربرد (۴۰/۲۴ درصد) نتایج ضعیف‌تری را نشان داد. این ضعف‌ها می‌تواند ناشی از مشکلات مدیریتی در تنظیم فشار، خرابی برخی از آبپاش‌ها و فرسودگی تجهیزات باشد که منجر به توزیع غیریکنواخت آب شده است. نتایج نشان می‌دهند که سامانه‌های عقربه‌ای، به‌ویژه در مناطقی با بادهای شدید، به‌طور بالقوه می‌توانند دچار تلفات قابل‌توجهی در تبخیر و بادبردگی شوند که این مسئله باعث کاهش راندمان آبیاری می‌شود. در نتیجه، توجه به تنظیم دقیق فشار آبپاش‌ها، انتخاب نازل‌های مناسب و کاهش ارتفاع پاشش برای جلوگیری از تأثیر باد در مناطقی با سرعت باد بالا از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین، برای بهبود عملکرد سامانه‌ها، باید از بازرسی دوره‌ای سامانه‌ها و تعویض قطعات فرسوده (مانند نازل‌ها و لوله‌ها) استفاده شود. نتیجه‌گیری کلی این تحقیق نشان داد که سامانه C به‌عنوان بهترین عملکرد در بین سه سامانه مورد مطالعه شناخته شد. برای بهبود عملکرد سامانه‌های آبیاری در مناطقی با شرایط مشابه، بهینه‌سازی طراحی، نگهداری منظم و مدیریت فشار سامانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. باتوجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در سامانه‌هایی با شعاع بالا (نظیر سامانه A) از نازل‌هایی با زاویه پاشش محدود و ارتفاع نصب پایین‌تر استفاده شود تا اثر بادبردگی به حداقل برسد. همچنین، نتایج نشان داد که افت فشار در طول لترال‌ها به‌طور مستقیم بر کاهش PELQ تأثیرگذار است، بنابراین پیشنهاد می‌شود طراحی فشار در طول سامانه با در نظر گرفتن توپوگرافی و افت اصطکاکی بازنگری شود. علاوه بر آن، در سامانه‌هایی که دچار افت عملکرد در DU هستند، ارزیابی میدانی فشار در انتهای لترال‌ها و پایش هفتگی وضعیت نازل‌ها، می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد عملیاتی مؤثر برای افزایش یکنواختی به‌کار گرفته شود.

آموزش کشاورزان: آموزش کشاورزان و اپراتورها در خصوص تنظیم فشار سامانه‌ها و توجه به زمان‌بندی مناسب آبیاری (به‌ویژه در ساعات کم‌باد) می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش تلفات آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی داشته باشد.

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.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم‌سازی مقاله و نوشتن پیش‌نویس‌های اصلی و بعدی مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

با تشکر از کشت صنعت و دامپروری مغان که اجازه داده‌برداری از سامانه‌های بخش ۷ را دادند.

منابع

- حسینی، یاسر، رئوف، مجید، و نظری گیگلو، فردین. (۱۳۹۹). ارزیابی و مدلسازی تلفات تبخیر و باد بردگی سامانه آبیاری عقربه‌ای در منطقه مغان. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۷(۵)، ۱۰۹-۱۲۷.
<https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.17532.3302>
- رئوف، مجید، حسینی، یاسر، و نظری گیگلو، فردین. (۱۳۹۷). ارزیابی سامانه کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و مدل‌سازی تلفات تبخیر و باد بردگی در آبپاش مدل ADF 25° در منطقه مغان. *مجله حفاظت منابع آب و خاک*، ۴(۷)، ۱۱۷-۱۳۴.
<https://sanad.iau.ir/Journal/wsrcj/Article/828917>
- زارع ابیان، حمید، دانایی، اعظم، اخوان، سمیرا، و جوزی، مهدی. (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری نوین در شهرستان همدان. *مجله مدیریت آب و آبیاری*، ۱۰(۳)، ۳۹۵-۳۸۱.
<https://doi.org/10.22059/jwim.2021.300563.784>
- علیزاده، امین. (۱۳۹۰). طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار. *انتشارات آستان قدس رضوی*، مشهد، ایران.
<https://www.gisoom.com/book/1775759>
- فاریابی، ارسلان، معروف‌پور، عیسی، و قمرنیا، هوشنگ. (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان کردستان. *مجله علوم آب و خاک*، ۱۴(۵۴)، ۱-۱۶.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1389.14.54.1.0>
- کریمی، ندا، دهقان، دریا، مولودی، شاهو، سی و سه مرده، عادل، و معروف‌پور، عیسی. (۱۴۰۲). بررسی اثر سرعت چرخش، عامل چرخش و مدت زمان آبیاری بر تلفات تبخیر و بادبردگی آبپاش‌های کشاورزی. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب/ایران*، ۱۴(۲)، ۱۱۳-۱۳۰.
<https://doi.org/10.22125/iwe.2023.381413.1700>
- نادری، نادر، و قدمی فیروزآبادی، علی. (۱۴۰۲). بررسی عملکرد سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای و بهره‌وری مصرف آب در برخی از مزارع استان سمنان. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب/ایران*، ۱۳(۴)، ۱۴۹-۱۶۴.
<https://doi.org/10.22125/iwe.2023.173252>
- نصرالهی، زهرا، بابازاده، حسین، و سرائی تبریزی، مهدی. (۱۳۹۶). ارزیابی هیدرولیکی عملکرد سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای در شرایط متفاوت اقلیمی محیط زیست و مهندسی آب، ۳(۳)، ۲۲۵-۲۳۴.
https://www.jewe.ir/article_51757.html

References

- Agyeman, B. T., Bo, S., Sahoo, S. R., Yin, X., Liu, J., & Shah, S. L. (2023). Soil moisture map construction using microwave remote sensors and sequential data assimilation. *arXiv preprint arXiv*, 2010.07037. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.07037>
- Alizadeh, A. (2011). Design of pressurized irrigation systems. Fifth edition. *Astan Quds Razavi Publications*, Mashhad, Iran. <https://www.gisoom.com/book/1775759> [In Persian]
- ASAE Standards. (2003). Test procedure for determining the uniformity of water-distribution of center pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. *ANSI/ASAE Standard S436.1 DEC01*, 931-938. https://www.canr.msu.edu/uploads/235/67987/ASAE_S436.1.pdf?utm
- Ben Charfi, I., Corbari, C., Skokovic, D., Sobrino, J., & Mancini, M. (2021). Modeling of water distribution under center pivot irrigation technique. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 147(7), 04021024. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001571](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001571)
- Brennan, D. (2008). Factors affecting the economic benefits of sprinkler uniformity and their implications for irrigation water use. *Irrigation Science*, 26(2), 109-119. <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0077-9>
- Darko, R. O., Shouqi, Y., Junping, L., Haofang, Y., & Xingye, Zh. (2017). Overview of advances in improving uniformity and water use efficiency of sprinkler irrigation. *Agricultural and Biological Engineering*, 10 (2), 1-15. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171002.1817>
- Dechmi, F., Playán, E., Faci, J. M., & Tejero, M. (2003). Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: I. Characterisation and water use assessment. *Agricultural Water Management*, 61(2), 75-92. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00020-9)
- Faryabi, A., Maroufpour, I., & Qamarnia, H. (2010). Investigation and evaluation of classical fixed sprinkler irrigation systems in Dehgolan plain Kurdistan. *Soil and Water Sciences*. 14 (54), 1-16. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1389.14.54.1.0> [In Persian]
- Hanson, B. R., & Orloff, S. B. (1996). Rotator nozzles more uniform than spray nozzles on the center-pivot sprinklers. *California Agriculture*, 50, 32-35. <https://doi.org/10.3733/ca.v050n01p32>
- Hoseini, Y., Raoof, M., & Nazari-Gigloo, F. (2020). Evaluation and Modeling Wind drift and Evaporation Losses of the Center Pivot Irrigation System in Moghan Region. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(5), 109-127. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.17532.3302> [In Persian]
- Karimi, N., Dehghan, D., Moloudi, S., & Siosemardeh, A. (2023). Investigating the effect of rotation speed, rotation factor, and irrigation duration on wind drift and evaporation losses of agricultural sprinklers. *Irrigation and Water Engineering*, 14(2), 113-130. <https://doi.org/10.22125/iwe.2023.381413.1700> [In Persian]
- Keller, J., & Bliesner, RD. (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold. *New York Press*, New York, USA. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=599708>
- López-Mata, E., Tarjuelo, J. M., De Juan, J. A., Ballesteros, R., & Domínguez, A. (2010). Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agricultural Water Management*, 98(1), 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.006>
- Markley, P., & Allen, G. (2004). Sprinkle and trickle irrigation lecture notes. *Utah state university*, Logan, Utah, USA. <https://pdfcoffee.com/sprinkle-amp-trickle-irrigation-lecture-notespdf-pdf-free.html>
- Merriam, J.L., & Keller, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management. *Utah State University*, Logan, Utah, USA. https://digitalcommons.usu.edu/cee_facpub/3779/
- Naderi, N., & Ghadami Firouzabadi, A. (2023). Performance Evaluation of Center Pivot Irrigation Systems and Water Productivity in Some Farms of Semnan Province. *Irrigation and Water Engineering*, 13(4), 149-164. <https://doi.org/10.22125/iwe.2023.173252> [In Persian]

- Nasrolahi, Z., Babazadeh, H., & Sarai Tabrizi, M. (2017). Hydraulic Evaluation of Center Pivot Irrigation Systems Performance in Different Climate Conditions. *Environment and Water Engineering*, 3(3), 225-234. https://www.jewe.ir/article_51757.html [In Persian]
- Rana, M. A., Arshad, M., & Masud, J. (2006). Effect of basin, furrow and raingun sprinkler irrigation systems on irrigation efficiencies, nitrate-nitrogen leaching and yield of sunflower. *Pakistan Journal of water resources*, 10(2), 1-7. <https://sswm.info/index.php/node/2780>
- Raoof, M., hoseini, Y., & nazari, G. F. (2018). Evaluation of classic semi-permanent sprinkler SYSTEM and modeling evaporation losses and wind drift in adf 25 nozzle sprinkler model in moghan region. *Water and soil resources conservation*, 2(4), 91-106. <https://sanad.iau.ir/Journal/wsrcj/Article/828917> [In Persian]
- Roland, L. (1982). Mechanized sprinkler irrigation. *FAO irrigation and drainage*, Rome, Italy. <https://openknowledge.fao.org/bitstreams/37d3e821-2d61-4e72-bc85-0cdd9a9ad82e/download>
- Tarjuelo, J. M., Montero, J., Honrubia, F. T., Ortiz, J. J., & Ortega, J. F. (1999). Analysis of uniformity of sprinkler irrigation in a semi arid area. *Agric. Water Manag*, 40 , 315-331. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00006-2)
- Zare Abyaneh, H., Danaii, A. , Akhavan, S., & Jovzi, M. (2020). Performance evaluation of new irrigation systems in Hamedan. *Water and Irrigation Management*, 10(3), 381-395. <https://doi.org/10.22059/jwim.2021.300563.784> [In Persian]
- Zeyliger, A. M., Ermolaeva, O. S., & Pchelkin, V. V. (2023). Assessment of irrigation efficiency by coupling remote sensing and ground-based data: case study of sprinkler irrigation of Alfalfa in the Saratovskoye Zavolgie Region of Russia. *Sensors*, 23(5), 2601. <https://doi.org/10.3390/s23052601>