مدیریت آب و آبیاری
(نشریه علمی)
دوره ۱۰ ■ شماره ۳ ■ زمستان ۱۳۹۹
صفحه‌های ۳۹۵-۳۸۱
DOI: 10.22059/jwim.2021.300563.784

مقاله پژوهشی:

ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری نوین در شهرستان همدان

حمید زارع ابیانه[1*]، اعظم دانایی[2]، سمیرا اخوان[3]، مهدی جوزی[4]
۱. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۴. استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹

چکیده
ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار یکی از راه‌کارهای مهم به‌منظور مدیریت مصرف آب در مزرعه می‌باشد. در این پژوهش پنج سامانه آبیاری بارانی، پنج سامانه قطره‌ای و دو سامانه نواری‌قطره‌ای به‌منظور ارزیابی فنی و هیدرولیکی در اراضی کشاورزی شهرستان همدان انتخاب شدند. ارزیابی‌ها براساس 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)، 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 به‌ترتیب در دامنه ۸۰/۱– ٦٥/٦، ٦٥/٤– ٥٣/١، ٥٥/٧– ٣١/١ و ٥٢/٥– ٢٨/٣ درصد حاصل شد. در سامانه‌های قطره‌ای نیز مقادیر EU، ERF، PELQ و AELQ در دامنه ٦٥/٧– ٤٣/٤، ١/٣– ٠/٨، ٥٩/١– ٣٩/١ و ٧٣/٠– ٣٤/٠ درصد به‌دست آمد. نتایج نشان داد در تمامی سامانه‌ها، راندمان‌های موردبررسی کم‌تر از حد انتظار بود که از جمله دلایل این امر می‌توان به طراحی نامناسب، متفاوت‌بودن سامانه اجراشده با سامانه طراحی‌شده، تأثیرگذاری عوامل اقلیمی نظیر سرعت باد، مشکلات بهره‌برداری نظیر عدم اهمیت کشاورزان به تنظیم فشار، استفاده از لوازم نامناسب و عدم بازبینی‌های دوره‌ای به‌دلیل سطح پایین آگاهی، عدم آموزش و نارسایی‌های اقتصادی اشاره نمود.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی آبیاری بارانی، ارزیابی آبیاری قطره‌ای، راندمان، یکنواختی توزیع.

Performance Evaluation of New Irrigation Systems in Hamedan

Hamid Zare Abyaneh[1*], Aazam Danaii[2], Samira Akhavan[3], Mehdi Jovzi[4]
1. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Graduated Master Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
4. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.
Received: April 17, 2020 Accepted: December 09, 2020

Abstract
Evaluating the performance of pressurized irrigation systems is one of the important strategies for managing farm water consumption. In this study, 5 sprinkler irrigation systems, 5 drip irrigation systems and 2 tape drip irrigation systems were selected for technical and hydraulic evaluation in agricultural lands of Hamedan. Evaluations were based on the Merriam and Keller method. Measured indices for sprinkler irrigation systems included Christiansen uniformity coefficient (CU), distribution uniformity (DU), potential application efficiency of low quarter (PELQ) and application efficiency of low quarter (AELQ). Also, Indicators measured for drip irrigation systems included uniformity factor (EU), efficiency reduction factor (ERF), potential application efficiency of low quarter and application efficiency of low quarter. The values of CU, DU, PELQ and AELQ for sprinkler irrigation systems were 65.6-80.1, 53.1-65.4, 31.1-55.7 and 28.3-52.5 percent, respectively. Also, the values of EU, ERF, PELQ and AELQ for drip irrigation systems were obtained in the range of 43.4 to 65.7, 0.8 to 1.3, 39.1 to 59.1 and 34.0 to 73.0 percent respectively. The results showed that in all systems the efficiencies under study were lower than expected, which can be attributed to improper design, the difference between the implemented system and the designed system, the impact of climatic factors such as high wind speed, operational problems such as the lack of adjust pressure by farmers, the use of inappropriate equipment and the lack of periodic reviews due to low levels of awareness, the lack of education and economic failures.

Keywords: Distribution uniformity, Efficiency, Evaluation of drip irrigation, Evaluation of sprinkler irrigation.

* نویسنده مسئول Email: zare@basu.ac.ir

مقدمه

ایران سرزمینی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، میانگین نزولات جوی کم‌تر از یک‌سوم متوسط جهانی و توزیع غیریکنواخت زمانی و مکانی بارندگی‌ها است. رشد جمعیت و در پی آن افزایش تقاضا برای آب از یک‌سو و محدودیت منابع آب از سوی دیگر سبب ایجاد بحران آب شده است (Mirbalooch *et al*., 2020). این امر سبب توجه پژوهش‌گران به بهبود راندمان آبیاری و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در کاهش رقابت برای استفاده از منابع آب، حفاظت از محیط زیست و تأمین پایدار مواد غذایی شده است (Kijne *et al*., 2003; Perry, 2007). Nikbakht & Najib (2015) با بررسی اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت عجب‌شیر، آذربایجان‌شرقی بیان نمودند که با تبدیل سامانه‌های آبیاری سنتی به تحت فشار و افزایش راندمان آبیاری، منابع آب زیرزمینی این دشت ۳/۲۳ میلیون مترمکعب در سال افزایش می‌یابد.

با توجه به این‌که بیش‌تر منابع آب موجود در بخش کشاورزی مصرف می‌شود با به‌کارگیری روش‌های آبیاری تحت فشار، راندمان آبیاری می‌تواند، افزایش یابد و موجب صرفه‌جویی در میزان آب کاربردی گردد. اگرچه در سال‌های اخیر سامانه‌های آبیاری تحت فشار توانسته‌اند تا حدی جایگزین روش‌های آبیاری سطحی شوند، اما به‌علت رعایت‌نکردن اصول صحیح طراحی و اجرا و ضعف در مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری، سامانه‌های آبیاری تحت فشار کارایی مورد نظر را نداشته‌اند (Mirbalooch *et al*., 2020). توسعه و بهبود کیفی این سامانه‌ها مستلزم بررسی و ارزیابی وضعیت موجود این سامانه‌ها و سازگاری آن‌ها با شرایط آب‌وهوایی مناطق مختلف کشور است. مطالعه و ارزیابی این سامانه‌ها از آن جهت ضرورت دارد که برای مدیریت روشن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سامانه کنونی را ادامه دهد یا آن را بهبود بخشد. هم‌چنین ارزیابی سامانه‌های آبیاری باعث پدیدارشدن نقاط ضعف و قوت آن‌ها از جنبه‌های مختلف می‌شود. لذا ارزیابی از یک‌سو سبب تعیین کارایی سامانه یا برآورد راندمان واقعی در مزرعه می‌شود و از سوی دیگر می‌توان به حداکثر راندمان آبیاری سامانه و تفاوت آن با میزان راندمان موجود پی برد.

در خصوص ارزیابی و بررسی عملکرد سامانه‌های آبیاری، پژوهش‌های مختلفی در ایران و جهان صورت گرفته است. به‌عنوان مثال بررسی‌های میدانی Hailu (2017) در دره رایا از کشور اتیوپی نشان داد کارایی سامانه‌های آبیاری بارانی بیش از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بود. با این وجود به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار بارانی و قطره‌ای به‌دلیل پایین‌بودن راندمان، در کاهش آب مصرفی منطقه کارآمد نبودند. Yacoubi *et al*. (2010) در کشور تونس سامانه‌های آبیاری بارانی را ارزیابی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که سرعت باد و رطوبت نسبی بیش‌ترین تأثیر را در تلفات تبخیر و بادبردگی دارد و پیشنهاد نمودند که سرعت‌های باد بیش‌تر از چهار متر بر ثانیه آبیاری انجام نشود. Arya *et al*. (2017) با انجام آزمایش‌های دوساله مزرعه‌ای به‌منظور ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در اراضی دانشکده هالاوار در کشور هندوستان نشان دادند مقادیر راندمان توزیع در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب ۹۳/٦ و ۹۳/۵ درصد، میانگین ضریب تغییرات توزیع آب مطابق استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا، کم‌تر از ۰/۱۰ بود. در مجموع نتایج مطالعه بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به‌دلیل بالابودن مقادیر راندمان کاربرد سامانه‌های مورد بررسی از معیار طراحی ۹۰ درصد، در طبقه‌بندی خوب گزارش گردید. Ojaghlou *et al*. (2017) اثر سرعت باد بر عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری

بارانی کلاسیک ثابت را در استان زنجان بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد سرعت باد اثر قابل‌توجهی بر کاهش یکنواختی و راندمان کاربرد آب داشت. هم‌چنین به‌کاربردن عمق آب آبیاری زیاد و تغییرات فشار در سامانه‌های آبیاری بارانی، به‌عنوان عوامل مؤثر دیگر، بر کاهش عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت گزارش شد. Naderi *et al.* (2018) سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی را در استان سمنان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد سامانه‌های سنترپیوت نسبت به سامانه‌های کلاسیک به‌دلیل طراحی خوب و داشتن آب‌پاش‌های مناسب و نو و پایین‌بودن ارتفاع آب‌پاش‌ها دارای عملکرد بهتری بودند. Farzamnia *et al.* (2018) برخی از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای استان اصفهان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد نامناسب‌بودن فشار در قطعات آبیاری، کمبود مهارت بهره‌بردار، گرفتگی خروجی‌ها و عدم شست‌وشوی مناسب فیلترها باعث کاهش مقادیر راندمان پتانسیل کاربرد آب و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین در برخی از مزارع شد. Yeganeh *et al.* (2013) سامانه‌های آبیاری قطره‌ای برخی باغ‌های شهرستان مرند را مورد مطالعه قرار داد. نتایج آن‌ها نشان داد که بالابودن بازده و یکنواختی پخش آب، پایین‌بودن ضریب تغییرات ساخت، تغییرات کم دبی در قطره چکان‌های جبران‌کننده فشار و عدم گرفتگی خروجی‌ها به‌علت عملکرد صحیح سیستم فیلتراسیون، طراحی و اجرای مناسب و کیفیت تجهیزات مورداستفاده بوده است. Kazemi *et al.* (2019) سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک را در شهرستان اقلید استان فارس بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد مقادیر راندمان پتانسیل کاربرد آب و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین سامانه‌های موردبررسی، کم‌تر از حد انتظار بود که دلیل این امر را مشکلات مربوط به طراحی و بهره‌برداری عنوان کردند. هم‌چنین آن‌ها بیان کردند که می‌توان با کاهش فواصل آب‌پاش‌ها، تنظیم فشار و عدم استفاده از تعداد زیاد آب‌پاش به‌طور هم‌زمان، یکنواختی توزیع را افزایش داد. Zare Abyaneh & Zivari Aref (2018) میانگین شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن[1] (CU)، یکنواختی توزیع[2] (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین[3] (PELQ) و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین[4] (AELQ) را با ارزیابی تعدادی سامانه آبیاری بارانی ثابت با آب‌پاش متحرک در شهرستان اسدآباد همدان، به‌ترتیب ۷۵/۲۶، ۵۶/۷۶، ۴۵/۴ و ۳۴/۶۵ درصد گزارش نمودند. از نظر آنان، طراحی نامناسب، استفاده هم‌زمان بیش از یک آب‌پاش، ضعف مدیریت بهره‌برداران و استفاده از لوازم فرسوده و غیراستاندارد، از مهم‌ترین دلایل پایین‌بودن یکنواختی توزیع آب و راندمان پتانسیل کاربرد آب بود. Mikhak Bayranvand *et al.* (2014) با بررسی راندمان آبیاری سامانه‌های آبیاری بارانی در منطقهٔ خرم‌آباد، مقادیر راندمان کاربرد، راندمان پتانسیل کاربرد، راندمان واقعی کاربرد آب و کفایت آبیاری در سامانه‌های کلاسیک ثابت را به‌ترتیب ۵۶/۸۲، ۴۷/۲۱، ۴۵/۷۱ و ۸۱/۶۴ درصد گزارش کردند. متوسط تلفات پاششی و نفوذ عمقی را به‌ترتیب ۱۳/۲ و ۳۰/۰۹ درصد به‌دست آوردند. نتایج آن‌ها نشان داد، پارامترهای محاسبه‌شده کم‌تر از مقدار پتانسیل بود. Ahmadaali *et al.* (2018) تعداد ۱۱ سامانه آبیاری قطره‌ای و بارانی را در قم مطالعه نمودند. برای سامانه کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک شاخص‌های CU، DU، PELQ، AELQ و کفایت آبیاری[5] (ADirr) به‌ترتیب ۷۴/۶، ۶۰/۸، ۶۲/۶، ۶۲/۶، ۶۲ درصد، برای سامانه آبیاری ویلموو ۵۷/۶، ۴۴/۷، ۷۶/۱، ۷۱/۳ و ۸۶ درصد، برای سامانه آبیاری سنترپیوت ۸۱، ۶۳، ۸۵، ۸۵، و ۷۱ درصد و برای سامانه‌های آبیاری موضعی مقادیر

سه شاخص DU، PELQ و AELQ به‌ترتیب ۵۳/۹، ٤٥/۳ و ۵۳/۹ درصد به‌دست آمد. آن‌ها دلیل پایین‌بودن یکنواختی توزیع در سامانه آبیاری ویلموو نسبت به سامانه کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک را استفاده از یک نوع پاشنده با دو اندازه متفاوت (VYR33 و VYR35) در سامانه آبیاری ویلموو گزارش کردند. هم‌چنین دلایل کم‌بودن مقادیر AELQ و PELQ از مقادیر استاندارد را وضعیت ضعیف مدیریت و بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری موضعی و نوع گسیلنده‌های به‌کاررفته در آن‌ها، طراحی و اجرای نادرست سامانه آبیاری کلاسیک ثابت عنوان شد. Shahin Rokhsar & Asadi (2013) دو سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و شیاری را در گرگان موردارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد متوسط راندمان یکنواختی پخش آب و راندمان کاربرد آب در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) به‌ترتیب ۹٦ و ۹۲ درصد و در سامانه آبیاری شیاری به‌ترتیب ۹۵ و ١٤ درصد بود. آن‌ها دلیل پایین‌بودن راندمان کاربرد در آبیاری شیاری را تلفات ناشی از رواناب سطحی بیان کردند درحالی‌که این تلفات در آبیاری قطره‌ای نواری مشاهده نشد. Kaghazloo *et al.* (2015) با ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی متحرک خطی (لینیر) اجراشده در دشت قزوین، متوسط ضرایب یکنواختی CU و DU را به‌ترتیب ۷۳/۷ و ٦۱/۹ گزارش کردند. هم‌چنین ضرایب راندمان PELQ و AELQ را به‌ترتیب ٦۸/۲۱ و ۵۰/٦ درصد به‌دست آوردند که نشان‌دهندهٔ مدیریت و بهره‌برداری نامناسب سامانه‌های آبیاری موردمطالعه بود.

با توجه به این‌که چند سالی از طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار در شهرستان همدان می‌گذرد و عملکرد سامانه‌های آبیاری با گذشت زمان به‌دلیل فرسودگی و گرفتگی رو به زوال رفته و منجر به عدم یکنواختی توزیع آب، هدررفت آب و سرمایه خواهد شد. لذا ارزیابی این سامانه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد تا از این روش‌ها نسبت به یافتن راه‌کارهای مناسب و رفع ناکارآمدی و یا کم‌کارآمدی آن‌ها اقدام شود. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی پنج سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک، پنج سامانه آبیاری قطره‌ای و دو سامانه آبیاری قطره‌ای نواری در مناطق مختلف شهرستان همدان می‌باشد. شاخص‌های ارزیابی نیز برای سامانه آبیاری بارانی شامل CU، DU، PELQ و AELQ و برای سامانه آبیاری قطره‌ای شامل EU، ERF، PELQ و AELQ بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات مزارع و منطقه پژوهش

استان همدان با وسعت ۱۹٤۹۳ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ٤۸ دقیقه عرض شمالی و ٤۷ درجه و ۳٤ دقیقه تا ٤۹ درجه و ۳٦ دقیقه طول شرقی واقع شده‌است. این استان در استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار در ده سال اخیر با کسب رتبه‌های اول تا سوم، افزون بر ١٤۵ هزار هکتار از اراضی آبی را تحت پوشش قرار داده است (Agricultural Jahad Organization of Hamadan Province, 2018).

در این پژوهش پنج سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک، پنج سامانه آبیاری قطره‌ای و دو سامانه آبیاری قطره‌ای نواری در مناطق مختلف شهرستان همدان انتخاب و موردارزیابی قرار گرفت. برخی ویژگی‌های مهم مزارع پایش شده و سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) نشان می‌دهد میانگین pH نمونه‌های آب ۷/۲٦ و نمونه‌های خاک ۷/۷٦ است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب کاتیون‌های خاک از عناصر قلیایی بوده و pH آب و خاک چنین مناطقی معمولاً از عدد هفت تجاوز کرده که به مفهوم قلیایی‌بودن آن‌ها می‌باشد.

Table 1. General characteristic of the evaluated systems and the physical and chemical properties of the soil in the fields

Method	Farm code	Crop	Sprinkler discharge design	Layout	System type	UTM		Water		Soil			Ultimate permeability	Bulk density	Soil texture
								EC	SAR	pH	EC_e	pH			
			Ls^{-1}	m×m		Longitude	Latitude	dS/m	$(mmol/L)^{0.5}$	--	dS/m	--	mm/h	g/cm^3	
Sprinkler	A	Garlic	0.49	12×15	Fixed classic	270995.9	3858132.1	0.15	0.76	6.9	0.99	7.29	25	1.5	SL
	B	Potato	0.49	12×15		270995.9	3858132.1	0.15	0.76	6.9	0.99	7.29	25	1.5	SL
	C	Potato	0.49	12×15		270995.9	3858132.1	0.15	0.76	6.9	0.99	7.29	25	1.5	SL
	D	Alfalfa	2.22	22×22		276638.3	3868716.3	0.46	1.55	7.1	1.5	7.56	9	1.4	CL
	E	Potato	0.49	12×15		270451	3859126	1.15	1.20	7.7	1.5	7.8	9	1.4	CL
	Farm code	Crop	Emitter Discharge	Layout	System type	UTM		Water		Soil			Ultimate permeability	Bulk density	Soil texture
								EC	SAR	pH	EC_e	pH			
			Lhr^{-1}	m×m		Longitude	Latitude	dS/m	$(mmol/L)^{0.5}$	--	dS/m	--	mm/h	g/cm^3	
Drip	F	Almond	12	5×5	Drip	279485.6	3841188.2	0.29	0.50	7.4	0.81	8.03	13	1.40	L
	G	Al., Ap.*	12	4×4	Drip	279485.6	3841188.2	0.26	0.50	7.4	0.81	8.30	13	1.40	L
	H	Ba., Fo.**	1.5	0.2×0.5	Tape	301466.0	3880555.1	0.54	3.02	6.8	2.24	7.86	19	1.45	CL
	I	Almond	8	5×5	Drip	300948.7	3881303.6	0.26	0.84	7.5	1.13	8.30	13	1.40	SCL
	J	Ba., Fo.**	1.5	0.2×0.5	Tape	301466.0	3880555.1	0.54	3.02	6.8	2.24	7.86	19	1.45	CL
	K	Walnut	24	5×5	Drip	266078.8	3855276.2	0.13	0.32	7.9	0.51	7.78	13	1.40	L
	L	Walnut	24	5×5	Drip	266078.8	3855276.2	0.13	0.32	7.9	0.51	7.78	13	1.40	L

*: Almond and Apple and **: Barley and Forage corn.

شوری (EC) تمامی منابع آب آبیاری در دامنه ۰/۱۳ تا ۱/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر و براساس طبقه‌بندی ویل‌کاکس (Ayers & Westcot, 1985) در کلاس C1 تا C3 قرار دارند. نسبت جذبی سدیم[۶] (SAR) آن‌ها نیز در دامنه ۰/۳۲ تا ۳/۰۲ بوده که براساس طبقه‌بندی ذکرشده در کلاس S1 قرار می‌گیرد. لذا نتایج کیفیت آب آبیاری براساس طبقه‌بندی ویل‌کاکس، نشان‌دهنده شوری کم تا زیاد و سدیم کم است که برای کشاورزی قابل استفاده می‌باشد. بافت خاک مزارع با توجه به درصد اندازه ذرات و مقادیر نفوذپذیری نهایی در حد مطلوب قرار دارند.

ارزیابی سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک

به‌منظور ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک از روش Merriam & Keller (1978) مطابق شکل (۱) استفاده شد. برای ارزیابی از شاخص‌های یکنواختی توزیع آب و راندمان‌های آبیاری به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرپذیر از شرایط طراحی سامانه و مدیریت سامانه استفاده شد (Dechmi *et al.*, 2003; Solomon, 1988). Merriam & Keller (1978) شاخص‌های یکنواختی توزیع (DU)، راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین (AELQ)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین (PELQ) و ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) را مناسب برای ارزیابی سامانه‌های آبیاری معرفی نمودند. برای اندازه‌گیری آب توزیعی از آب‌پاش‌ها در سامانه بارانی، با توجه به توپوگرافی مزرعه، دو لوله فرعی در حال کار مجاور یکدیگر در وسط مزرعه با فشار متوسط مطابق شکل (۱) انتخاب و تعدادی قوطی به‌فاصله ۳×۳ متر چیدمان گردید (Merriam & Keller, 1978). رطوبت خاک هر مزرعه قبل از شروع آبیاری به‌منظور تعیین نقصان رطوبت خاک[۷] (SMD) اندازه‌گیری شد. سپس فشار و دبی آب‌پاش‌ها و حجم آب جمع‌شده قوطی‌ها پس از آبیاری در ابتدا، وسط و انتهای سامانه آبیاری بارانی اندازه‌گیری شد. دبی آب‌پاش‌ها به‌روش حجمی اندازه‌گیری شد. فشار آب‌پاش، با قرار دادن فشارسنج متصل به لوله پیتو در فاصله سه میلی‌متری مرکز نازل اندازه‌گیری شد (Merriam & Keller, 1978).

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، ضریب یکنواختی کریستیانسن در بلوک آزمایشی (CU_t) از رابطه (۱) محاسبه شد (Merriam & Keller, 1978).

$$CU_t = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}|D_i - \bar{D}|}{\bar{D} \times n} \times 100 \qquad (۱)$$

که در این رابطه D_i عمق آب در هر یک از قوطی‌ها (میلی‌متر)، $\bar{D}$ متوسط عمق آب جمع‌شده در قوطی‌ها (میلی‌متر) و n تعداد قوطی‌ها می‌باشد.

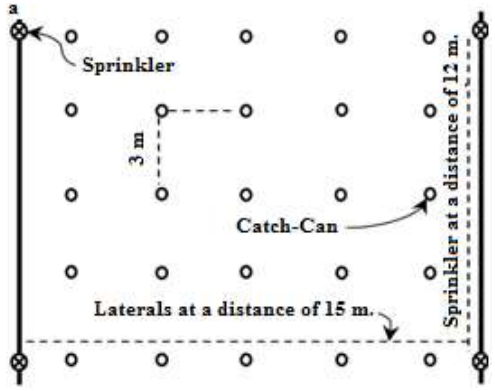

Figure 1. Schematic of two adjacent laterals and cans between sprinklers

یکنواختی توزیع آب در ربع پایین برای بلوک آزمایشی (DU_t) نیز از رابطه (۲) در تمام مزارع موردبررسی محاسبه شد (Merriam & Keller, 1978).

$$DU_t = \frac{D_{lq}}{\bar{D}} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن D_{lq} متوسط عمق آب در یک چهارم کم‌ترین مقادیر اندازه‌گیری‌شده (میلی‌متر) می‌باشد.

برای نسبت‌دادن ضرایب یکنواختی محاسبه‌شده به کل سامانه آبیاری از روابط (۳) و (٤) استفاده شد (Topak *et al.*, 2005).

$$CU_s = CU_t \left[\frac{1 + \left(\frac{P_{min}}{P_{mean}}\right)^{0.5}}{2}\right] \qquad (۳)$$

$$DU_s = DU_t \left[\frac{1 + 3\left(\frac{P_{min}}{P_{mean}}\right)^{0.5}}{4}\right] \qquad (٤)$$

که در این روابط CU_s و DU_s به‌ترتیب ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع سامانه، P_{min} و P_{mean} به‌ترتیب حداقل و میانگین فشار (بار) می‌باشد.

راندمان کاربرد[۸] (Ea) بر حسب درصد، پارامتری است وابسته به متغیرهای طراحی و مدیریتی و مطابق رابطه (۵) از نسبت مقدار آب ذخیره‌شده در محیط ریشه برحسب میلی‌متر (D) به آب خارج‌شده از آب‌پاش‌ها برحسب میلی‌متر (D_r) به‌دست آمد.

$$E_a = \frac{D}{D_r} \times 100 \qquad (۵)$$

در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی، تأمین آب آبیاری با فرض راندمان کاربرد ۷۰ درصد بود. برای اطمینان، باید راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین سامانه ($AELQ_s$) اندازه‌گیری شود تا در صورت تفاوت با فرض فوق، تمهیدات مدیریتی لازم اندیشیده شود. بنابراین درصد راندمان واقعی کاربرد در بلوک آزمایشی ($AELQ_t$) از نسبت میزان آب ذخیره‌شده در منطقه ریشه مربوط به ربع پایین اندازه‌گیری‌ها برحسب میلی‌متر (D_q) به میزان آب خروجی از آب‌پاش‌ها برحسب میلی‌متر (D_r) براساس رابطه (٦) تعیین گردید.

$$AELQ_t = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \qquad (٦)$$

رابطه فوق در شرایط کم‌تربودن D_q از مقدار SMD است و در صورت بیش‌تربودن آن، مقدار SMD جایگزین D_q می‌گردد. درصد راندمان پتانسیل در بلوک آزمایشی نیز ($PELQ_t$) از رابطه (۷) تعیین شد.

$$PELQ_t = \frac{Z_{lqMAD}}{D_{MAD}} \times 100 \qquad (۷)$$

که در آن Z_{LqMAD} متوسط کم‌ترین ربع عمق نفوذ معادل با تخلیه مجاز رطوبتی[۹] (MAD) برحسب میلی‌متر و D_{MAD} متوسط عمق آب آبیاری پس از جبران MAD مطابق نظر مدیر یا طراح سامانه آبیاری برحسب میلی‌متر است.

با توجه به اختلاف فشار در بخش‌های مختلف سامانه آبیاری، با اعمال ضریب کاهش راندمان[۱۰] (ER) در $AELQ_t$ و $PELQ_t$ مقادیر راندمان پتانسیل و راندمان واقعی کاربرد آب سامانه آبیاری مطابق روابط (۸) و (۹)، محاسبه شد (Baradaranhazave, 2005; Faryabi, 2009).

$$PELQ_S = (1\text{-}ER) \times PELQ_t \qquad (۸)$$

$$AELQ_S = (1\text{-}ER) \times AELQ_t \qquad (۹)$$

که در آن PELQs راندمان پتانسیل کاربرد آب در کل سامانه (درصد)، AELQs راندمان واقعی کاربرد آب در کل سامانه (درصد) و ER ضریب کاهش راندمان می‌باشد که از رابطه (۱۰) محاسبه شد.

$$ER=\frac{0.2\times(P_{max}-P_{min})}{P_{mean}} \quad (۱۰)$$

که در رابطه بالا P_{max}، P_{min} و P_{mean} به‌ترتیب حداکثر، حداقل و میانگین فشار (بار) است.

از جمله عوامل قابل محاسبه مؤثر بر راندمان آبیاری سامانه آبیاری بارانی، تلفات آب است که در قالب دو مؤلفه تلفات تبخیر و بادبردگی[۱۱] (WDEL) و تلفات نفوذ عمقی[۱۲] (DP) بیان می‌شوند (Rahimzadegan, 1997). مؤلفه WDEL اختلاف بین عمق آب خارج‌شده از آب‌پاش‌ها به متوسط عمق آب دریافت‌شده در قوطی‌ها است که از رابطه (۱۱) محاسبه شد (Dechmi *et al.*, 2003).

$$WDEL=\frac{D_r-\bar{D}}{D_r}\times100 \quad (۱۱)$$

مؤلفه DP نیز از رابطه (۱۲) محاسبه گردید (Mirbalooch *et al.*, 2020).

$$DP=\left(\frac{(\bar{D}\text{-}SMD)\times\frac{N_1}{N}}{Dr}\right)\times100 \quad (۱۲)$$

که در آن Dr آب خروجی از آب‌پاش‌ها برحسب میلی‌متر، $\bar{D}$ متوسط عمق آب داخل قوطی‌ها برحسب میلی‌متر، N1 تعداد قوطی‌های با ارتفاع آب بیش‌تر یا مساوی SMD و N تعداد کل قوطی‌ها است.

کفایت آبیاری به مفهوم تعیین میزان سطحی از مزرعه آبیاری است که به اندازه موردنیاز (و یا بیش‌تر) آب دریافت کرده و در قالب دو مؤلفه کفایت آبیاری (AD_{irr}) و کفایت ربع پایین[۱۳] (AD_{lq}) از روابط (۱۳) و (۱٤) محاسبه شد.

$$AD_{irr}=\frac{N_1}{N}\times100 \quad (۱۳)$$

$$AD_{lq}=\frac{D_{lq}}{SMD}\times100 \quad (۱٤)$$

که در آن D_{lq} متوسط عمق آب در یک‌چهارم کم‌ترین مقادیر اندازه‌گیری‌شده برحسب میلی‌متر می‌باشد. اگر D_{lq} معیار برنامه‌ریزی آبیاری باشد، مدت زمان آبیاری مناسب، منجر به کفایت آبیاری (برابر ۱۰۰ درصد) در ربع پایین می‌شود. با این تعریف کفایت آبیاری در ربع پایین (برحسب اعشار) اگر کم‌تر از یک باشد نشان‌دهنده کم‌آبیاری بوده و بزرگ‌تر از یک نشان‌دهنده آبیاری بیش از حد است (Louie & Selker, 2000).

ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای

به‌منظور ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از روش ارزیابی Merriam & Keller (1978) استفاده شد، لذا برای ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای یک واحد آبیاری در حال کار با ۱٦ نقطه کنترل انتخاب شد. روی یکی از مانیفولدها چهار لوله جانبی (لترال) در ابتدا، یک سوم، دو سوم و سه سوم انتهای مانیفولد انتخاب و در هر لوله جانبی نیز چهار محل (چهار قطره‌چکان) در ابتدا، یک سوم، دو سوم و سه سوم انتهای لوله فرعی مشخص شد (شکل ۲). برای ارزیابی آبیاری قطره‌ای تیپ نیز مشابه آبیاری قطره‌ای عمل شد با این تفاوت که به‌جای اندازه‌گیری‌ها در چهار محل ذکرشده، از اندازه‌گیری آب خارج‌شده در طول یک متر از ابتدا، یک سوم، دو سوم و سه سوم انتهای طول نوار تیپ براساس روش پیشنهادی Merriam & Keller (1978) استفاده شد.

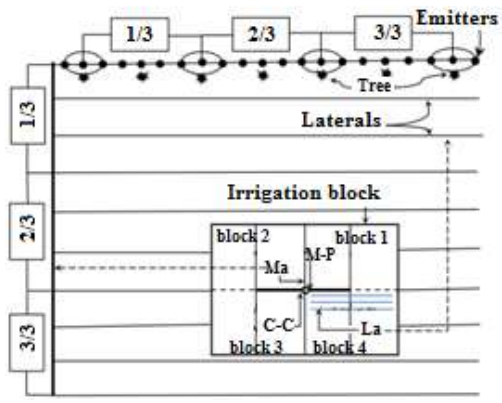

Figure 2. Schematic of drip irrigation block selected for evaluation. Ma: Manifold; La: Lateral; C-C: Central control; M-P: Main Pipe

دبی خروجی در هر نقطه کنترل با اندازه‌گیری حجم آب خارج‌شده از هر قطره‌چکان طی حدود پنج دقیقه و به‌طور متناظر فشار در نقاط فوق با فشارسنج صفر تا ٤٠٠ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. دبی قطره‌چکان‌ها به‌دلیل دوری و نزدیکی به ایستگاه پمپاژ و تنظیم‌نبودن آن‌ها معمولاً نمایانگر دبی قطره‌چکان‌های واحد آبیاری نیستند. لذا ابتدا فاکتور تصحیح دبی[١٤] (DCF) با استفاده از رابطه زیر محاسبه و سپس از حاصل‌ضرب متوسط دبی قطره‌چکان در مقدار متناظر DCF برای هر سامانه نسبت به اصلاح دبی قطره‌چکان‌های واحد آبیاری اقدام شد (Merriam & Keller, 1978).

$$DCF = \frac{2.5\ MLIP_{avg}}{MLIP_{avg}+1.5MLIP_{1}} \quad (١٥)$$

که در آن $MLIP_{avg}$[١٥] میانگین حداقل فشار ورودی لوله‌های فرعی در تمامی قطعات در حال کار و $MLIP_1$ حداقل فشار (اتمسفر) ورودی لوله‌های فرعی منشعب از مانیفولد قطعه مورد آزمایش می‌باشد.

متوسط یکنواختی جریان خروجی[١٦] (EU) یا انتشار در مانیفولد یا واحد آبیاری از رابطه (١٦) و در کل سامانه از رابطه (١٧) محاسبه شد.

$$EU_m(\%) = \frac{\overline{q_{25\%}}}{\overline{q_a}} \times 100 \quad (١٦)$$

$$EU_S = ERF \times EU_m \quad (١٧)$$

که در آن‌ها EU_s یکنواختی پخش آب در کل سامانه، EU_m یکنواختی انتشار در مانیفولد مورد آزمایش، $\overline{q_{25\%}}$ متوسط جریان خروجی از یک چهارم قطره‌چکان‌ها با کم‌ترین میزان دبی (l/hr)، $\overline{q_a}$ متوسط جریان خروجی از تمامی قطره‌چکان‌ها (l/hr) و ERF[١٧] فاکتور کاهش راندمان است که از رابطه (١٨) محاسبه گردید.

$$ERF = \frac{MLIP_{avg}+1.5\ MLIP_{1}}{2.5\ MLIP_{avg}} \quad (١٨)$$

نحوه کارکرد یک سیستم آبیاری قطره‌ای براساس راندمان کل سامانه می‌باشد. لذا راندمان پتانسیل و راندمان واقعی سامانه با اصلاح مقادیر یکنواختی انتشار براساس تغییرات فشار سامانه آبیاری قطره‌ای در قالب فاکتور کاهش راندمان از روابط (١٩)، (٢٠) و (٢١) محاسبه گردید (Merriam & Keller, 1978).

$$PELQ_m = 0.9 \times EU_m \quad (١٩)$$

$$PELQ_s = ERF \times PELQ_m \quad (٢٠)$$

$$AELQ_s = ERF \times EU_S \quad (٢١)$$

که در آن‌ها $PELQ_m$ و $PELQ_S$ به‌ترتیب راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین اندازه‌گیری‌ها در لوله رابط (مانیفولد) و سامانه بوده و $AELQ_S$ راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین سامانه می‌باشد.

تمایل به رسوب‌گذاری در آبیاری قطره‌ای با مقادیر شاخص لانژلیر[١٨] (LSI) و براساس تفاوت pH واقعی نمونه‌های آب با pHc محاسباتی با فرض اشباع‌بودن آب از املاح با استفاده از روابط (٢٢) و (٢٣) سنجیده شد (Merriam & Keller, 1978).

$$LSI = pH - pH_c \quad (٢٢)$$

$$pH_c = \frac{}{P\,(Ca+Mg+Na+K) + P(Ca+Mg) + P(CO_3 + HCO_3)} \quad (٢٣)$$

که در آن‌ها pH اسیدیته اندازه‌گیری‌شده آب، pHc اسیدیته اصلاح‌شده (محاسبه‌شده براساس نتایج تجزیه شیمیایی آب)، p(Ca+Mg+Na+K) نمایه کاتیون‌های آب، p(Ca+Mg) نمایه کلسیم و منیزیم آب و $p(CO_3+HCO_3)$ نمایه کربنات و بی‌کربنات است.

نتایج و بحث

در جدول (٢) نتایج اندازه‌گیری‌های صورت‌گرفته به‌تفکیک سامانه‌های آبیاری بارانی موردمطالعه که بیانگر وجود تفاوت‌هایی نسبت به شرایط طراحی است، آورده شده است. بررسی وضعیت سامانه‌ها نشان داد اکثر سامانه‌های موجود نسبت به طرح اولیه پیشنهادی به‌ویژه از نظر مدل آب‌پاش، اندازه نازل‌ها و در برخی موارد دیگر تغییراتی داشته‌اند.

Table 2. Results of different variables related to sprinkler irrigation systems

Farm code	Sprinkler pressure (atm)					Pressure changes (%)	Sprinkler discharge (ls^{-1})			Sprinkler model		Nozzle size (mm×mm)	
	Mean	Min	Max	Design	Catalog	P/Pmax	Design	Performed	Measured	Design	Performed	Design	Performed
A	4.2	3.5	4.34	3.5	4.2	19.35	0.49	0.90	1.1	VYR36AF	VYR36AF	2.4×4.4	3.2×5.6
B	4.3	4.0	4.4	3.5	4.2	9.09	0.49	1.4	1.43	VYR36AF	VYR65	2.4×4.4	3.2×7.1
C	3.2	2.5	3.3	3.5	3.5	24.2	0.49	0.67	0.68	VYR36AF	VYR36AF	2.4×4.4	3.2×4.8
D	4.0	3.6	4.4	4.0	4.0	24.4	2.22	3.88	3.64	AMBO	Saroo TN&ZM22	8×7	14
E	3	2.9	3.5	3.5	3.5	17.14	0.49	1.24	1.29	VYR36AF	VYR65	2.4×4.4	3.2×7.1

Farm code	Efficiency reduction	Water distribution uniformity (%)				Efficiency (%)				Application efficiency	Irrigation adequacy	Irrigation losses (%)	
		Irrigation system		Experiment block		Irrigation system		Experiment block				Wind and evaporation drift	Deep percolation
	ER	CU_s	DU_s	CU_t	DU_t	$AELQ_s$	$PELQ_s$	$AELQ_t$	$PELQ_t$		(%)	WDEL	DP
A	0.04	65.7	56.6	68.6	60.5	28.3	55.7	29.5	58.0	29.5	100	4.10	66.4
B	0.02	70.4	53.1	71.6	54.6	31.1	31.1	31.7	31.7	57.9	4	41.9	0.9
C	0.05	70.5	55.5	74.8	60.8	52.5	52.5	55.3	55.3	88.2	20	9.0	2.8
D	0.05	65.6	56.2	68.4	59.9	50.3	50.3	53.2	53.2	80.5	32	11.2	8.2
E	0.04	80.1	65.5	80.8	66.2	51.3	51.3	53.4	53.4	77.5	25	19.4	3.2

به‌عنوان نمونه جدول (۲) نشان می‌دهد در مزرعه B، D و E نوع آب‌پاش سامانه‌های آبیاری بارانی و اندازه نازل تمامی سامانه‌ها در مرحله اجرا و یا پس از اجرا تغییر یافته که منجر به برخی بی‌نظمی‌ها در کارکرد سامانه‌ها و عملکرد نامناسب آن‌ها شده است. به‌طوری‌که میانگین دبی آب‌پاش‌های تمامی سامانه‌ها به‌علت بزرگ‌تربودن نازل و تفاوت متوسط فشار سامانه با فشار طراحی در شرایط مزرعه بیش از دبی آب‌پاش‌های پیشنهادی در طراحی است. در همین راستا جدول (۲) نشان می‌دهد تغییرات فشار در دو سامانه C و D بیش از حداکثر مجاز ۲۰ درصد، در دو سامانه A و E نزدیک به ۲۰ درصد و در سامانه B در حد مناسب است. سامانه‌های A، B و C متعلق به سه شریک بوده که از سال ۱۳۹۱ در اراضی مجاور یک‌دیگر با مشخصات آب و خاک یکسان اجرا و از یک چاه تغذیه می‌شوند. در هر سه سامانه اندازه نازل‌ها بزرگ‌تر از اندازه نازل‌های طراحی بوده و این امر سبب بالارفتن شدت پاشش به ۲۲ میلی‌متر بر ساعت در سامانه A، ۲۸/٦ میلی‌متر در ساعت در سامانه B و ۱۳/٦ میلی‌متر در ساعت در سامانه C شده است. مقادیر شدت پاشش‌های اندازه‌گیری‌شده ضمن بیش‌تربودن نسبت به مقادیر طراحی‌شده، سبب ایجاد تلفات رواناب در سامانه B با توجه به سرعت نهایی نفوذ آب به خاک ۲۵ میلی‌متر در ساعت هم شده است. در مزرعه D آب‌پاش پیشنهادی از مدل آمبوی دو نازله به دو مدل تک نازله Saroo و ZM با شدت پاشش ۲۷/۰۷ میلی‌متر در ساعت تغییر یافته که در مقایسه با سرعت نفوذ نهایی نُه میلی‌متر در ساعت، موجب ایجاد رواناب و مشکل جدی این سامانه شده است. در مزرعه E نیز کاربرد آب‌پاش VYR-65 با اندازه نازل ۷/۱×۳/۲ میلی‌متر به جای مدل VYR 36-AF دو نازله ٤/٤×۲/٤ میلی‌متر، سبب افزایش شدت پخش به‌میزان ۲۵/۸ میلی‌متر در ساعت در مقایسه با سرعت نفوذ نهایی خاک نُه میلی‌متر در ساعت و ایجاد رواناب شده است. نتایج نشان می‌دهد در ۸۰ درصد از سامانه‌های موردمطالعه، تلفات رواناب یکی از مهم‌ترین مشکلات بهره‌برداری بوده که به‌طور عمده به‌دلیل استفاده‌نکردن از آب‌پاش مناسب می‌باشد. مطابق جدول (۲) بیش‌ترین مقدار ضریب یکنواختی (CUs) و یکنواختی توزیع (DUs) به سامانه E با مقادیر ۸۰/۱ و ٦۵/۵ درصد تعلق دارد که کم‌تر از مقادیر CU پیشنهادی Merriam & Keller (1978) در دامنه ۸۱ تا ۸۷ درصد و DU در دامنه ۷۰ تا ۸۰ درصد است. این تفاوت در سامانه‌های آبیاری بارانی مزارع دیگر بیش‌تر بود به‌طوری‌که سامانه D و A دارای ضریب یکنواختی (CUs) ٦۵/٦ و ٦۵/۷ درصد و یکنواختی توزیع (DUs) ۵٦/۲ و ۵٦/٦ درصد و سامانه B

دارای ضریب یکنواختی (CUs) و یکنواختی توزیع (DUs) ۷۰/٤ و ۵۳/۱ درصد بود که نسبت به محدوده‌های مطلوب پیشنهادی Merriam & Keller (1978) برای این پارامترها کم‌تر بودند. لازم به ذکر است که کم‌ترین یکنواختی توزیع نیز به سامانه آبیاری مزرعه B (به مقدار ۵۳/۱ درصد) تعلق داشت. دلیل این امر، بالابودن میزان تلفات آب در اثر تبخیر و بادبردگی (٤۱/۹ درصد) در این سامانه بود. در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک در شرایط وزش باد، درصورتی‌که آرایش آب‌پاش‌ها به‌صورت مربعی باشد تلفات تبخیر و بادبردگی به حداقل می‌رسد (Bazzaneh *et al*., 2016). هم‌چنین آبیاری بارانی در هنگام ظهر و وزش باد شدید توصیه نمی‌شود، درحالی‌که آبیاری در ساعت‌های خنک روز و وزش باد آرام می‌تواند تلفات تبخیر و بادبردگی را به حداقل برساند (Mirbalooch *et al*., 2020). پایین‌بودن یکنواختی توزیع آب در مزارع می‌تواند بر راندمان کاربرد و راندمان پتانسیل و راندمان واقعی کاربرد آب سامانه‌ها اثرگذار باشد. در تأیید مشکل‌داربودن سامانه‌های آبیاری بارانی می‌توان به مقادیر PELQs و AELQs نیز استناد نمود که در تمامی سامانه‌های آبیاری بارانی از محدوده استاندارد ٦۵ تا ۸۵ درصد کم‌تر است (Merriam & Keller, 1978).کم‌بودن PELQs می‌تواند ناشی از طراحی نادرست، تطابق‌نداشتن سامانه موجود با زمین و شرایط زراعی، تغییر آب‌پاش‌ها، تغییر در اجرای آرایش سامانه، به‌کارگیری هم‌زمان چندین آب‌پاش متفاوت و مدیریت ضعیف سامانه‌ها باشد. از طرفی مقادیر AELQs در تمامی سامانه‌ها به‌غیر از سامانه A با مقدار PELQs برابر است (جدول ۲). کم‌آبیاری در سامانه‌های با کدهای B، C، D و E باعث بالارفتن راندمان واقعی کاربرد آب تا حد راندمان پتانسیل کاربرد شده است. به‌عبارت دیگر، برابری PELQ با AELQ یک سامانه آبیاری نشان‌دهنده این است که حداقل آب داده‌شده به زمین و ذخیره‌شده در منطقه ریشه، کم‌تر از کمبود رطوبتی خاک است (Louie & Selker, 2000). در تأیید این نتیجه معیار کفایت آبیاری را می‌توان مدنظر قرار داد که در سامانه‌های B، C، D، E به‌ترتیب ٤، ۲۰، ۳۲ و ۲۵ درصد و در سامانه A، ۱۰۰ درصد است. کم‌بودن کفایت آبیاری در مزارع B، C، D، E نشانه کم‌آبیاری و کامل‌بودن آن (۱۰۰ درصد) در مزرعه A نشانه پر آبیاری با توجه به بالاترین درصد تلفات عمقی آب در حد ٦٦/٤ درصد در مقایسه با دیگر سامانه‌های آبیاری است.

بازدیدهای میدانی نشان داد از جمله دلایل مشترک پایین‌بودن راندمان‌های موردبررسی در سامانه‌های آبیاری بارانی A، B و C بالابودن سرعت باد از ۱۰/۸ تا ۲۵/۲ کیلومتر در ساعت بود. از دلایل دیگر پایین‌بودن راندمان در سامانه A مواردی چون عمودنبودن پایه‌های آب‌پاش‌ها، تغییر کشت بدون نظر کارشناسی و کاهش ساعت آبیاری بود. در سامانه B نیز، یکسان‌نبودن ارتفاع آب‌پاش‌ها، بیش‌تربودن ارتفاع آب‌پاش‌ها، شل‌بودن آب‌پاش‌ها در محل استقرار شیر خودکارها و عدم آب‌بندی آب‌پاش‌ها از دلایل پایین‌بودن راندمان می‌باشد. در سامانه C، نشت‌های موضعی ناشی از فرسودگی لوازم و اتصالات و عدم آب‌بندی آب‌پاش‌ها سبب کاهش راندمان شد. از جمله دلایل مشترک پایین‌بودن راندمان در دو سامانه C و D به‌کارگیری هم‌زمان دو یا سه آب‌پاش بر روی یک لوله فرعی بود. در سامانه D، استفاده از آب‌پاش‌های متعدد و متفاوت Saroo و ZM باعث کاهش راندمان شد. در سامانه E، اجرای آرایش ۱۲×۱۲ متر به‌جای ۱۲×۱۵ متر، عدم انتخاب صحیح پمپ و کم‌بودن فشار، سبب پایین‌بودن راندمان گردید. در مجموع مشکلات مدیریتی و بهره‌برداری صحیح از سیستم، عدم آگاهی کشاورز و فرسودگی لوازم و نشت از آن‌ها از

عوامل اصلی پایین‌بودن راندمان سامانه‌های آبیاری بارانی مورد ارزیابی است. در مطالعات Ahmadaali *et al.* (2018) و Zare Abyaneh & Zivari Aref (2018) نیز نتایج مشابهی از نارسایی‌های فنی و مدیریتی سامانه‌های آبیاری بارانی گزارش شده‌است.

در جدول (۳) نتایج مربوط به آزمایش‌های کیفی منابع آب و در جدول (٤) مقادیر مربوط به شاخص‌های ارزیابی سامانه‌های قطره‌ای آورده شده است.

نتایج بررسی شاخص لانژلیر در جدول (۳) نشان داد مقدار آن در آب آبیاری همه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و قطره‌ای‌نواری مثبت است که حاکی از تمایل به رسوب کربنات‌کلسیم دارد. بیش‌ترین خطر رسوب‌گذاری با توجه به بالاتربودن مقدار شاخص لانژلیر آب آبیاری و بیش‌تربودن مدت آبیاری ١٤ ساعت و ١٥ ساعت متوجه قطره‌چکان‌های دو مزرعه G و I است. در مقابل مقدار شاخص لانژلیر و مدت زمان آبیاری در دو مزرعه H و J در مقایسه با دیگر مزارع کم‌تر است که از خطر کم‌تر رسوب‌گذاری برخوردار است. ذکر این نکته نیز ضروری است که خطر گرفتگی قطره‌چکان‌ها با گذشت زمان و بهره‌برداری از سامانه بیش‌تر آشکار می‌گردد (Shaker *et al.*, 2014).

مطابق نتایج جدول (٤)، مقادیر DCF برای سامانه‌های مزارع F، G، K، L، H و J بیش‌تر از یک و نشانه کم‌بودن فشار مانیفولد تحت آزمایش نسبت به فشار متوسط کل سامانه است، درحالی‌که مقدار DCF سامانه مزرعه I، کم‌تر از یک و نشانه بیش‌تربودن فشار مانیفولد تحت آزمایش نسبت به فشار متوسط کل سامانه است. در جدول (٤) نتایج دبی اصلاحی نیز از حاصل‌ضرب متوسط دبی قطره‌چکان در مقدار متناظر DCF برای هر سامانه محاسبه شد. مطابق نتایج جدول (٤) می‌توان به بزرگ‌تربودن حداقل فشار ورودی به لترال آزمایش ($MLIP_I$) در سامانه I نسبت به میانگین حداقل فشار ورودی به لترال آزمایش ($MLIP_{avg}$) در مقایسه با کم‌تربودن حداقل فشار ورودی به لترال آزمایش در سایر سامانه‌ها اشاره داشت. از دیگر نتایج جدول (٤) مقادیر ERF است که در سامانه K با کم‌ترین اختلاف از عدد یک معادل ۰/۹۳، در سامانه I با بیش‌ترین فاصله از یک معادل ۱/۲۷ و در دیگر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای کم‌تر از یک است.

Table 3. Results of water quality testing for drip irrigation systems

Farm code	Interval Irrigation	Time	Chemical properties of water					Sedimentation
			Na	Ca+Mg	HCO3	CO3	Cl	
	Day	hr	Meq l^{-1}					LSI
F	3	10	0.90	0.80+6.60	2.50	0.25	1.75	0.38
G	3	15	3.26	56.72+4.30	5.38	0.00	1.54	0.62
H	3	1.5	8.00	12.60+1.40	3.88	0.00	7.70	0.25
I	4	14	3.26	56.72+4.30	5.38	0.00	1.54	0.62
J	3	1.5	8.00	12.60+1.40	3.88	0.00	7.70	0.25
K	3	8	0.50	0.33+2.30	3.88	0.25	0.88	0.61
L	3	8	0.50	0.33+2.30	3.88	0.25	0.88	0.61

Table 4. Results of evaluated parameters for drip irrigation systems

Farm code	Factor		Lateral inlet pressure (m)		Emitter discharge (l hr^{-1})			Efficiency (%)				
	Discharge correction	Reduction efficiency	Min	Average	Mean	Low quarter	Correction					
	DCF	ERF	$MLIP_I$	$MLIP_{avg}$				EU_m	EU_s	$PELQ_m$	$PELQ_s$	$AELQ_s$
F	1.14	0.88	8.0	10.0	12.7	7.8	14.5	61.6	54.2	55.4	48.8	47.7
G	1.17	0.86	8.0	10.5	11.8	7.1	13.8	60.0	51.4	54.0	46.3	44.1
H	1.23	0.81	5.5	8.0	0.77	0.58	0.95	75.5	61.4	68.0	55.2	49.9
I	0.79	1.27	9.1	6.3	12.4	5.6	9.8	45.5	57.6	40.9	51.7	73.0
J	1.18	0.84	7.8	10.5	1.2	0.65	1.42	54.1	45.7	48.7	41.2	38.7
K	1.07	0.93	12.0	13.5	21.0	14.8	22.5	70.4	65.7	63.4	59.1	61.3
L	1.28	0.78	8.1	12.5	21.0	11.6	26.7	55.4	43.4	49.8	39.1	34.0

فاصله داشتن ERF از یک می‌تواند به‌دلیل تغییرات فشار در مانیفولدهای در حال کار به‌واسطه تنظیم نادرست شیرفلکه‌های ابتدای مانیفولدها و خرابی آن‌ها باشد، که در صورت آگاهی بهره‌بردار تنظیم و تعویض شیرفلکه‌های خراب به‌راحتی امکان‌پذیر است. از دیگر عوامل تأثیرگذار در فاصله داشتن ERF از یک، می‌توان به انتخاب پمپ نامناسب، تغییرات توپوگرافی و کیفیت گسیلنده‌ها نیز اشاره کرد. با اعمال ERF هر سامانه در یکنواختی پخش مانیفولد (EU_m) متناظر با آن، مقادیر یکنواختی پخش سامانه (EU_s) به‌دست آمد که برای تمامی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای کم‌تر از ۷۰ درصد بود. حداکثر EU_s در سامانه K برابر ٦٥/٧ درصد و حداقل آن در سامانه L برابر ٤٣/٤ درصد بود. براساس مطالعات Merriam & Keller (1978) مقادیر EU_s کم‌تر از ۷۰ درصد بیان‌گر وضعیت ضعیف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است. یکی از دلایل عدم حصول وضعیت توصیه‌شده برای یکنواختی پخش، تفاوت حداقل فشار ابتدای لترال ($MLIP_l$) با میانگین فشار لترال ($MLIP_{avg}$) به‌میزان ۱۱ درصد در سامانه K، تا ۳۵ درصد در سامانه L و پراکندگی دبی قطره‌چکان‌ها از ۰/۹۵ لیتر بر ساعت در سامانه H، تا ٢٦/٧ لیتر بر ساعت در سامانه L است. نتایج ارزیابی آبیاری قطره‌ای توسط Ortega *et al.* (2002) در نواحی نیمه‌خشک اسپانیا نشان داد که از جمله عوامل پایین‌بودن EU_s، فشار کاری کم سامانه آبیاری قطره‌ای بود که این امر نیز به‌علت راندمان پایین ایستگاه‌های پمپاژ و شبکه توزیع، تمیزنکردن فیلترها و افت‌های اصطکاکی بود. Acar *et al.* (2011) نیز از جمله عوامل پایین‌بودن EU_s را ضعف در طراحی و گرفتگی سامانه آبیاری قطره‌ای، پایین‌بودن راندمان توزیع شبکه، ناکافی‌بودن تعمیرات و نگهداری از سامانه و تلفات اصطکاکی گزارش کردند.

در مجموع مقادیر به‌دست‌آمده از راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین ($PELQ_s$) و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین ($AELQ_s$) بیان‌گر وضعیت کلی کارکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در مزرعه می‌باشند. بر همین اساس بالاترین مقدار $PELQ_s$ در سامانه K به‌میزان ٥٩/١ درصد با $AELQ_s$ و EU_s به‌ترتیب ٦١/٣ و ٦٥/٧ درصد بود. بالاترین مقدار $AELQ_s$ نیز در سامانه I به‌میزان ۷۳ درصد با $PELQ_s$ و EU_s به‌ترتیب ٥١/٧ و ٥٧/٦ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج جدول (۳) نشان داد که ۵۷ درصد از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای موردمطالعه، مقدار $PELQ_s$ و $AELQ_s$ کم‌تر از ۵۰ درصد داشتند که نشان‌دهنده وضعیت ضعیف این سامانه‌ها می‌باشد. نکته دیگر این‌که مقادیر $PELQ_s$ در همه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای موردبررسی به‌جز سامانه I کم‌تر از $PELQ_m$ بود که این امر نشان‌دهنده آن است که فشار ورودی به مانیفولدها توسط بهره‌برداران به‌درستی تنظیم نمی‌شود (Merriam & Keller, 1978). Shaker *et al.* (2014) از جمله دلایل پایین‌بودن وضعیت کارکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را تأمین‌نبودن فشار مناسب ناشی از طراحی، بازنبودن یکسان شیرفلکه‌های مانیفولدها و عدم مهارت کشاورزان در بهره‌برداری از سامانه‌ها، عدم شست‌وشوی درست و به‌موقع بخش فیلتراسیون ایستگاه پمپاژ و عدم تنظیم فشار سامانه‌ها، گزارش نمودند.

نتایج جدول (٤) نشان می‌دهد که میانگین پارامترهای EU_m، EU_s، $PELQ_m$، $PELQ_s$ و $AELQ_s$ سامانه‌های قطره‌ای تیپ (H و J) به‌ترتیب ٦١/٤، ٥٣/٦، ٥٨/٤، ٤٨/٢ و ٤٤/٣ درصد بود، درحالی‌که میانگین این پارامترها برای سایر سامانه‌های قطره‌ای مورد بررسی (F، G، I، K و L) به‌ترتیب ٥٨/٦، ٥٤/٥، ٥٢/٧، ٤٩/٠ و ٥٢/٠ درصد محاسبه شد. این نتایج نشان می‌دهند که میانگین پارامترهای EU_m و EU_s سامانه‌های آبیاری قطره‌ای تیپ با سایر سامانه‌های قطره‌ای مورد بررسی تفاوت چندانی

با هم ندارند و مشابه یک‌دیگر هستند و مقادیر آن‌ها کم‌تر از مقدار ۷۰ درصد می‌باشد که براساس مقادیر دسته‌بندی Merriam & Keller (1978)، وضعیت راندمان سامانه‌های آبیاری قطره‌ای موردبررسی، ضعیف بود. هم‌چنین میانگین پارامتر $PELQ_s$ سامانه‌های آبیاری قطره‌ای تیپ نیز با سایر سامانه‌های قطره‌ای موردبررسی تفاوت چندانی با هم ندارند و مشابه یک‌دیگر هستند و مقادیر آن‌ها تیز کم‌تر از مقدار مطلوب پیشنهادی Merriam & Keller (1978) برای این پارامتر (۷۵ تا ۹۰ درصد) می‌باشد. میانگین پارامتر $AELQ_s$ سامانه‌های آبیاری قطره‌ای تیپ حدود ۸ درصد کم‌تر از $AELQ_s$ سایر سامانه‌های قطره‌ای موردبررسی در این پژوهش بود. در بازدید صورت‌گرفته از سامانه‌های قطره‌ای تیپ (H و J) مشاهده شد ایستگاه کنترل مرکزی متعلق به این دو سامانه مجهز به فیلترهای (فیلتر شنی، هیدروسیکلون و فیلتر توری) بود، اما آموزش‌های لازم در مورد رفع گرفتگی و شست‌وشوی معکوس فیلترها به بهره‌برداران داده نشده بود و فیلترها در این سامانه‌ها، عملکرد مطلوب خود را از دست داده بودند که منجر به گرفتگی نسبی بعضی روزنه‌ها در نوار آبیاری (تیپ) و کاهش یکنواختی و راندمان آبیاری شده بود.

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد میانگین EU_s، $AELQ_s$ و $PELQ_s$ در همه سامانه‌های قطره‌ای موردبررسی به‌ترتیب ۵٤/۲، ٤۹/۸ و ٤۸/۸ درصد حاصل شد. درحالی‌که میانگین CU_s، DU_s، $AELQ_s$ و $PELQ_s$ در سامانه‌های بارانی به‌ترتیب ۷۰/۵، ۵۷/٤، ٤۲/۷ و ٤۸/۲ درصد به‌دست آمد. مقایسه دو سامانه آبیاری مورد بررسی در منطقه پژوهش نشان داد اگر راندمان واقعی کاربرد آب مورد قبول سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای را به‌ترتیب حدود ۷۰ و ۹۰ درصد لحاظ گردد آن‌گاه درصد کم‌بودن راندمان واقعی کاربرد آب این سامانه‌ها با مقادیر مورداشاره به‌ترتیب ۳۹/۰ و ٤٤/۷ درصد خواهد بود که این نشان می‌دهد وضعیت کارکرد سامانه‌های بارانی موردپژوهش نسبت به سامانه‌های آبیاری قطره‌ای کمی مناسب‌تر است. در مجموع نتایج به‌دست‌آمده نشان داد میانگین $AELQ_s$ هر دو سامانه بارانی و قطره‌ای کم‌تر از ۵۰ درصد بود. بررسی‌های میدانی و گفتگو با زارعین نشان داد مشکلات مدیریتی، بهره‌برداری و نگهداری صحیح سامانه‌های آبیاری، عدم آگاهی کشاورزان به اطلاعات کامل پایه آب و خاک، فرسودگی لوازم و نشت از آن‌ها از عوامل اصلی پایین‌بودن راندمان سامانه‌های آبیاری تحت فشار مورد ارزیابی بود.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی حاصل از این پژوهش نشان داد سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش‌های متحرک در شهرستان همدان دارای ضریب یکنواختی (CU) و یکنواختی توزیع (DU) پایین بوده و مقادیر آن‌ها کم‌تر از حد انتظار است. پایین‌بودن یکنواختی توزیع آب در مزارع بر راندمان کاربرد و راندمان‌های پتانسیل و واقعی کاربرد آب این سامانه‌ها اثرگذار بوده و موجب پایین‌آمدن این راندمان‌ها از حد انتظار شد. از دیگر عوامل تأثیرگذار در پایین‌بودن این راندمان‌ها می‌توان به عواملی مثل بالابودن سرعت باد، طراحی نادرست، تطابق‌نداشتن سامانه موجود با زمین و شرایط زراعی، تغییر آب‌پاش‌ها، عمودنبودن پایه‌های آب‌پاش‌ها، تغییر در اجرای آرایش سامانه، به‌کارگیری هم‌زمان چندین آب‌پاش متفاوت، نشت‌های موضعی ناشی از فرسودگی لوازم و اتصالات و عدم آب‌بندی آب‌پاش‌ها، عدم انتخاب صحیح پمپ و کم‌بودن فشار و مدیریت ضعیف این سامانه‌ها اشاره کرد که با برطرف‌کردن این مشکلات می‌توان در بهبود عملکرد این سامانه‌ها اقدام نمود. نتایج

بررسی شاخص لانژلیر آب مورداستفاده در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نشان داد که در همه این سامانه‌ها خطر گرفتگی و رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم در قطره‌چکان‌ها وجود داشته که این خطر با گذشت زمان و بهره‌برداری از آن‌ها بیش‌تر خواهد شد و می‌باید مدنظر مدیران و بهره‌برداران قرار گیرد و نسبت به اسیدشویی دوره‌ای آن‌ها اقدام گردد. نتایج ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای منطقه پژوهش نشان داد که مقادیر یکنواختی پخش این سامانه‌ها (EUs) پایین‌تر از مقادیر توصیه‌شده مریام و کلر بود که بیان‌گر وضعیت ضعیف کارکرد این سامانه‌ها در منطقه بود که از دلایل آن تفاوت حداقل فشار ابتدای لترال با میانگین فشار لترال‌ها، تنوع گسیلنده‌ها و درنتیجه آن پراکندگی دبی قطره‌چکان‌های مورداستفاده می‌باشد، که برای رفع این مشکلات، استفاده از گسیلنده‌های یکسان و استاندارد و تنظیم توزیع فشار در لاترال‌ها با کاربرد آن‌ها توصیه می‌شود. مقادیر راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی کاربرد آب همه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای موردبررسی کم‌تر از حد توصیه‌شده بود که نشان‌دهنده وضعیت ضعیف کارکرد این سامانه‌ها در منطقه پژوهش می‌باشد. از دلایل این امر می‌توان به تأمین‌نبودن فشار مناسب ناشی از طراحی، بازنبودن یکسان شیرفلکه مانیفولدها، غیراستاندارد و غیریکسان‌بودن قطره‌چکان‌های مورداستفاده و نداشتن مهارت کشاورزان در بهره‌برداری از این سامانه‌ها اشاره کرد که برای رفع این مشکلات می‌توان به آموزش بهره‌برداران، انتخاب پمپ‌های مناسب و بازنمودن یکسان شیرفلکه مانیفولدها و کاربرد قطره‌چکان‌های استاندارد و یکسان اقدام نمود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

1. Christensen uniformity coefficient
2. Distribution uniformity
3. Potential application efficiency of low quarter
4. Actual application efficiency of low quarter
5. Adequacy of irrigation
6. Sodium absorption ratio
7. Soil moisture deficit
8. Efficiency of application
9. Management allowable deficit
10. Efficiency reduction
11. Wind and evaporation losses
12. Deep percolation losses
13. Adequacy irrigation in low quarter
14. Discharge correction factor
15. Average of minimum lateral inlet pressure
16. Emission uniformity
17. Emission reduction factor
18. Langelier index

منابع

1. Ahmadaali, K., Ramezani Etedali, H., & Hosseini Pazhouh, N. (2018). Assessment of modern irrigation systems in Qom province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 11(5), 736-749. (In Persian).
2. Acar, B., Yavuz, F., & Topak, R. (2011). Research on drip irrigation system performance under greenhouse conditions. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Agriculture*, 68(1), 21-27.
3. Agricultural Jahad Organization of Hamadan Province. (2018). *Water and Soil Management Report of Hamedan Agricultural Jahad Organization*. Website: http://hm.agri-jahad.ir (In Persian).
4. Arya, C.k., Purohit, R.C., Dashora, L.K., Singh, P.K., & Kothari, M. (2017). Performance evaluation of drip irrigation systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 2287-2292.
5. Ayers, R. S., & Westcot, D.W. (1985). *Water Quality for Irrigation*. FAO Irrigation and drainage Paper No. 29 Rev.1. FAO, Rome.
6. Baradaranhazave, F. (2005). *Technical appraisal of sprinkler irrigation systems implemented in Arak city*. Master thesis, Shahid Chamran University, Iran. (In Persian).
7. Bazzaneh, M., Sadraddini, A., Nazemi, A.H., & Delearhasannia, R. (2016). Effect of optimum arrangement and spacing of sprinklers on uniformity coefficient of fixed sprinkler irrigation system. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(4), 537-546. (In Persian).

8. Dechmi, F., Playan, E., Cavero, J., Faci, J.M., & Martinez, A. (2003). Wind effect on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays). *Irrigation science*, 22 (2), 67-77.
9. Farzamnia, M., Mamanpoush, A.R., & Miranzadeh, M. (2018). Evaluation of technical and hydraulic performance of some micro irrigation systems in Isfahan province. *Journal of Water and Irrigation Management*, 7(2), 273-286. (In Persian).
10. Faryabi, A. (2009). *Investigation and technical evaluation of performed solid-set sprinkler irrigation systems in Dehgolan plain*. M.Sc. thesis, Kurdistan University, Iran. (In Persian).
11. Hailu, T.W. (2017). Hydraulic performance evaluation of integrated operation of pressurized irrigation system: (Case study at Alamata Woreda, Selam Bkalsi farm area). *American Journal of Environmental Engineering*, 7(2), 47-52.
12. Kijne, J.W., Barker, R., & Molden, D.J. (2003). *Water productivity in agriculture: limits and opportunity for improvement*. Comprehensive assessment of water management in agriculture series, Wallingford, UK: CABI Press.
13. Kaghazloo, A., Sotoodeh Nia, A., & Daneshkar Arasteh, P. (2015). Evaluating implemented linear sprinkler irrigation systems (Linear) in Qazvin plain. *Journal of Water and Irrigation Management*, 5(1), 129-137. (In Persian).
14. Kazemi, S., Boroomand-Nassab, S., & Izadpanah, Z. (2019). Technical evaluation of classic stationary sprinkler irrigation systems with travelling sprinklers in Eghlid, Fars province. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(2), 181-196. (In Persian).
15. Louie , M.J., & Selker, J.S. (2000). Sprinkler Head maintenance effects on water application uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(3), 142-148.
16. Merriam, J.L., & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah: Utah State University Press.
17. Mikhak Bayranvand, Z., Bromand Nasab, S., Izadpanah, Z., & Maleki, A. (2014). Irrigation efficiency of irrigation systems in Khorramabad region. *Journal of Water and Irrigation Management*, 4 (2), 191-202. (In Persian).
18. Mirbalooch, M.H., Delbari, M., & Piri, H. (2020). Evaluation of performance of classical sprinkler irrigation systems with mobile sprinkler in Khash city. *Journal of Water and Irrigation Management*, 10(1), 31-44. (In Persian).
19. Naderi, N., Ghadami Firuzabadi, A., & Froumadi, M. (2018). Technical evaluation of different sprinkler irrigation systems in field condition. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(3), 429-439. (In Persian).
20. Nikbakht, J., & Najib, Z. (2015). Effect of irrigation efficiency increasing on groundwater level fluctuations (Cast study: Ajab-Shir Plain, East Azarbaijan). *Journal of Water and Irrigation Management*, 5 (1), 115-127. (In Persian).
21. Ojaghlou, H., Bigdeli, Z., & shirdeli, A. (2017). Assessment of wind velocity effect on technical performance of semi-portable sprinkling irrigation systems in Zanjan province. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 7(4), 97-107. (In Persian).
22. Ortega, J.F., Tarjuelo, J.M., & Dejuan, J.A. (2002). Evaluation of Irrigation Performance in Localized Irrigation System of Semiarid Regions (Castila-La Mancha, Spain). *Agricultural Engineering International*, 4(2), 1-17.
23. Perry, C. (2007). Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. *Irrigation and Drainage Journal*, 56, 367-378.
24. Rahimzadegan, R. (1997). *Design of sprinkler irrigation systems*. Isfahan: Isfahan University of Technology Press. (In Persian).
25. Shahin Rokhsar, P., & Asadi, M.S. (2013). Evaluation of drip tape and furrow irrigation systems under different moisture regimes. *Journal of Water Research in Agriculture*, 27(1), 89-100. (In Persian).
26. Shaker, M., Hesam, M., Kiani, A.R., & Zakeri Nia, M. (2014). Technical evaluation of implemented drip irrigation systems in the gardens of Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(4), 261-274. (In Persian).
27. Solomon, K.H. (1988). *Irrigation water systems and water application efficiencies*. California: California State University Press.
28. Topak. R., Suheri, S., Ciftci, N., & Acar, B. (2005). Performance evaluation of sprinkler irrigation in a semi-arid earea. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8(1), 97-103.
29. Yacoubi, S., Zayani, K., Zapata, N., Zairi, A., Slatni, A., Salvador, R., & Playan, E. (2010). Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield. *Biosystems Engineering*, 107(1), 25-35.
30. Yeganeh, Z., Behmanesh, J., & Rezaei, H. (2013). Technical evaluation of drip irrigation in some gardens of Marand city. *Journal of Water Research in Agriculture*, 26(4), 449-460. (In Persian).
31. Zare Abyaneh, H., & Zivari Aref, S. (2018). Evaluation of solidset sprinkler irrigation systems in asadabad plain of Hamedan province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(4), 523-534. (In Persian).