مدیریت آب و آبیاری
دوره ۱۰ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۹
صفحه‌های ٤٤-۳۱

ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک با آب‌پاش متحرک در شهرستان خاش

محمدحنیف میربلوچ[۱]، معصومه دلبری[۲]، حلیمه پیری[۳*]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۳

چکیده

هدف از تحقیق ارزیابی از هشت سامانه آبیاری بارانی کلاسیک با آب‌پاش متحرک در شهرستان خاش می‌باشد. جهت انجام کار ابتدا آب و خاک هر سامانه از نظر کیفیت، شدت نفوذپذیری خاک، شوری و قلیاییت مورد بررسی قرار گرفت. فشار و دبی آب‌پاش‌ها در آذرماه ۱۳۹۷ اندازه‌گیری شد. آن‌گاه شاخص‌های ارزیابی یکنواختی کریستیان سن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان کاربرد واقعی (AELQ) و پتانسیل ربع پایین (PELQ)، راندمان تبخیر و بادبردگی (WDEL)، تلفات نفوذ عمقی (DP)، کفایت آبیاری (ADir) و راندمان کاربرد (Ea) محاسبه شد. میانگین یکنواختی کریستیان‌سن ۷٦/۱ درصد، یکنواختی توزیع ٦٥/۲ درصد، راندمان واقعی کاربرد ٤۳/۳ درصد و راندمان پتانسیل ربع پایین ٤٤/۹ درصد، تلفات تبخیر و باد ۲۲/۱درصد، تلفات نفوذ عمقی ۲۱/۸ درصد، کفایت آبیاری ۷۹/۲ درصد و راندمان کابرد ٥٦/۰٦ درصد به‌دست آمد. آبیاری در سامانه‌های ۳، ٦ و ۸ به‌صورت کامل انجام شده بود و در سایر سامانه‌ها مقادیر راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد ربع پایین با هم برابر بود. سامانه‌های ۲، ۳، ٦ و ۸ ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع کم‌تر از مقدار توصیه‌شده مریام و کلر داشتند. طراحی نامناسب سامانه‌ها، استفاده هم‌زمان بیش از یک آب‌پاش، ضعف مدیریت بهره‌برداران و استفاده از لوازم فرسوده، از دلایل پایین‌بودن یکنواختی توزیع و راندمان کاربرد در این سامانه‌ها بود. هم‌چنین مطالعات نشان داد در اکثر طرح‌ها، راندمان عملکرد سامانه‌ها پایین بود. لذا جهت رفع مشکلات لوازم و لوله‌های کهنه و خراب و آب‌پاش‌های معیوب باید از سامانه‌ها حذف گردد. ایستگاه پمپاژ جهت تأمین فشار مورد نیاز مجدداً مورد بررسی قرار گیرد و به کشاورزان استفاده صحیح از سامانه‌ها را آموزش دهند.

کلیدواژه‌ها: تبخیر و باد، خاش، راندمان کاربرد، راندمان پتانسیل، کفایت آبیاری.

Evaluation of Performance of Classical Sprinkler Irrigation Systems with Mobile Sprinkler in Khash City

Mohammad Hanif Mirbalooch[1], Masoomeh Delbari[2], Halimeh Piri[3*]
1. M. Sc. Student, Department of Water Engineering, College of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.
Received: November 28, 2019 Accepted: January 23, 2020

Abstract

The purpose of study was to evaluate 8 classical sprinkler irrigation systems in Khash city. To do this, water and soil properties of each system were studied in terms of quality, soil permeability, salinity and alkalinity.Then pressures and discharge of sprinklers were measured in November 2018. Evaluation indices then include Christianity uniformity coefficient (CU), distribution uniformity (DU), low quadratic real use efficiency (AELQ), low quadratic potential efficiency (PELQ), evaporation and wind loss (WDEL), deep penetration losses (DP), Irrigation adequacy (ADir) and application efficiency (Ea) were calculated by analyzing the measured field data. Average Christianity uniformity coefficient of 76.1%, distribution uniformity of 65.2%, actual quadrant use efficiency of 43.3%, low quadrant potential efficiency of 44.9%, evaporation and wind losses of 22.1%, penetration losses of 21.8%. Irrigation adequacy percentage was 79.2% and application efficiency was 56.06%. Irrigation was completed in systems 3, 6 and 8 and in other systems due to the unintended dehydration, the true efficiency values and the potential efficiency of the low quadrant application were equal. Systems 2, 6, 3 and 8 had lower uniformity and uniformity coefficients than the Merriam and Chlorine recommended values. Inadequate design of systems, simultaneous use of more than one sprinkler, poor user management, and use of nonstandard equipment were the main reasons for the low uniformity of water distribution and water use efficiency in these systems. Studies also showed that in most of the designs studied the performance of the systems was low. Therefore, it is necessary to remove the obsolete equipment and pipes and sprinklers for troubleshooting. Re-check pumping station to supply needed pressure and educate farmers on the proper use of the systems.

Keywords: Application Efficiency, Evaporation and Wind, Irrigation Adequacy, Khash, Potential Efficiency.

* نویسنده مسئول
Email: h_piri2880@uoz.ac.ir

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و در پی آن افزایش تقاضا برای آب از یک سو و محدودیت منابع آب از سوی دیگر سبب ایجاد بحران آب شده است. این امر با گذشت زمان محسوس‌تر شده است. لذا یافتن راه‌کارهای عملی و مناسب جهت پیشگیری و یا مقابله با اثرات سوء حاصل از این پدیده دارای اهمیت ویژه‌ای است. با توجه به این‌که در کشور ما حدود ۹۵ درصد از منابع آب موجود، در بخش کشاورزی و برای آبیاری مصرف می‌شود، با طراحی و به‌کارگیری مناسب روش‌های آبیاری تحت فشار، بازده آبیاری می‌تواند، افزایش یابد. آبیاری بارانی یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای دستیابی به راندمان‌های کاربرد بالا و صرفه‌جویی در میزان آب کاربردی است (۱۷). سیاست‌گذاری‌ها و تخصیص اعتبارات و تسهیلات بانکی باعث توسعهٔ سیستم‌های آبیاری تحت فشار شده است. اگرچه در سال‌های اخیر سیستم‌های آبیاری بارانی توانسته‌اند تا حدی جایگزین سیستم‌های سطحی شوند اما به علت رعایت‌نکردن اصول صحیح طراحی و اجرا و ضعف در مدیریت، بهره برداری و نگهداری، سیستم های آبیاریِ بارانی کارایی مورد نظر را نداشته‌اند. توسعه و بهبود کیفی این سیستم‌ها مستلزم بررسی و ارزیابی وضعیت موجود طراحی و بهره‌برداری طرح‌های آبیاری بارانی اجرا شده و سازگاری آن‌ها با شرایط آب‌وهوایی مناطق مختلف کشور است (۱). مطالعه و ارزیابی سیستم آبیاری بارانی از آن جهت ضروری است که برای مدیریت روشن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سیستم کنونی را ادامه دهد و یا آن را بهبود بخشد. ارزیابی سیستم های آبیاری تا حد زیادی می تواند در مصرف بهینه آب مؤثر باشد. ضریب یکنواختی (CU)[1] یا یکنواختی توزیع (DU)[2]، پخش یکنواخت یا غیریکنواخت آب در محیط ریشه را مشخص می‌کند. چگونگی توزیع آب در داخل مزرعه به عوامل زیادی بستگی دارد که از آن‌جمله می‌توان به شرایط اقلیمی، طراحی و نصب، کیفیت وسایل به‌کاررفته، مدیریت و توپوگرافی اشاره کرد. از بین پارامترهای اقلیمی مهم‌ترین عامل اثرگذار باد است، که یکنواختی توزیع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تلفات بادبردگی و تبخیر (WDEL)[3] نیز از فاکتورهای مهم در انتخاب، طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری بارانی است (۲۲). WDEL نیز مانند یکنواختی پخش، تحت تأثیر عوامل فنی و اقلیمی مانند سرعت باد، فشار سرویس، خصوصیات آب‌پاش و فاصله بین آب‌پاش‌ها و لترال‌ها است (۲۰). بازده واقعی آب در ربع پایین (AELQ)[4] معرف بازده آب در داخل مزرعه بوده، که واقعیت عینی دارد. در طراحی روش‌های آبیاری، جهت برآورد نیاز آبیاری، بازده کاربرد آب را به‌عنوان یک پارامتر فرضی درنظر گرفته و براساس آن نیاز آبیاری طرح را محاسبه می‌کنند. بازده بالقوه ربع پایین (PELQ)[5] برای طراحی، هم‌چنین مطابقت وضعیت سامانه با حالت مدیریت خوب، وقتی که عمق وزمان آبیاری به‌صورت مطلوب انتخاب شده‌اند، به‌کار می‌رود (۹). پایین‌بودن مقدار PELQ در نتیجه طراحی ناقص سامانه می‌باشد (۱۵)، درحالی‌که مقدار کم AELQ نشان‌دهنده مشکل مدیریت است. در خصوص ارزیابی و بررسی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی، تحقیقات مختلفی در ایران و جهان صورت گرفته است. به‌عنوان مثال نادری و همکاران (۱٤) سیستم‌های آبیاری بارانی در استان سمنان مورد ارزیابی فنی قرار دادند. نتایج نشان داد سامانه‌های سنترپیوت نسبت به سامانه‌های کلاسیک به‌دلیل داشتن آب‌پاش‌های مناسب و نو و پایین‌بودن ارتفاع آب‌پاش‌ها از عملکرد بهتری برخوردار بودند. برادران هزاوه (۲) نه سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت تا آب‌پاش متحرک و لوله‌های چرخ‌دار در شهرستان اراک مورد ارزیابی قرار

دادند. نتایج تحقیق نشان داد مشکلات اصلی طرح‌های آبیاری بارانی عدم دقت در طراحی و اجرای آن‌ها است. از جمله این مشکلات پایین‌بودن یکنواختی توزیع آب‌پاش‌ها، نامناسب‌بودن فشار و توزیع غیریکنواخت آن، فواصل نامناسب آب‌پاش‌ها، طول نامناسب لوله‌های جانبی و عدم مدیریت و نگهداری صحیح از سامانه‌ها را برشمردند. نتایج ارزیابی چهار سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت و یک سامانه آب‌فشان غلطان در پنج مزرعه استان فارس در تحقیق بهرامی و همکاران (٤) نشان داد فرونشست عمقی، قدیمی‌بودن سامانه‌ها، کمبود فشار و تغییرات فشار و دبی آب‌پاش‌ها از علل کاهش یکنواختی توزیع در سامانه‌ها است. محققان با ارزیابی سیستم‌های آبیاری عقربه‌ای در استان کرمان، ضعف مدیریتی در زمینه طراحی، اجرا و نظارت را عوامل اصلی افت کارایی سیستم‌های آبیاری و پایین‌بودن راندمان کاربرد آب بیان نمودند (۵). مولایی و همکاران (۱۲) در بررسی و ارزیابی فنی برخی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت کوهدشت نشان دادند که اگرچه در بسیاری از موارد مشکلات طراحی و اجرایی وجود داشته است اما سهم بزرگی از دلیل‌های پایین‌بودن عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت کوهدشت، مدیریت و بهره‌برداری ضعیف از این سیستم‌ها است. یاکوبی و همکاران (۲۳) سیستم‌های آبیاری بارانی در همیرجدای تونس را مورد ارزیابی قرار دادند و شاخص‌های یکنواختی توزیع آب، تلفات تبخیر و بادبردگی در سرعت‌های مختلف باد و فواصل آب‌پاش‌ها را محاسبه شد. نتایج نشان داد که سرعت باد و رطوبت نسبی بیش‌ترین تأثیر را در تلفات تبخیر و بادبردگی دارند. هم‌چنین پیشنهاد شد که در سرعت‌های باد بیش‌تر از ٤ متر بر ثانیه آبیاری انجام نشود. در تحقیق ارتگا و همکاران (۱۹) سیستم‌های آبیاری بارانی ثابت در منطقهٔ خشک اسپانیا را مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب یکنواختی توزیع ۹۰ درصد و راندمان کاربرد بالا را برای منطقهٔ مطالعه‌شده گزارش شد و سیستم استفاده‌شده دارای صرفهٔ اقتصادی است. در مطالعه الغباری (١٦) اثر تغییر نازل‌های پاشش اصلی و موقعیت لاترال‌ها در طراحی اولیه توسط زارعین محلی را بر روی ٤٨ سامانه سنترپیوت که در مزارع بخش‌های مختلف عربستان سعودی بود، بررسی شد. نتایج نشان داد که تغییر ایجادشده توسط زارعین محلی بر کاهش مقادیر یکنواختی توزیع آب اثر جدی داشته است. زارعین محلی سیستم سنتر پیوت را به این‌صورت اصلاح کرده بودند که در سیستم سنترپیوت طراحی شده و اصلی بازوی سنترپیوت آهن گالوانیزه بود اما در سنترپیوت اصلاحی کشاورزان از لوله پلی‌اتیلن استفاده کرده بودند. هم‌چنین سنترپیوت اصلاح‌شده نزدیک سطح زمین (در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متر از سطح زمین) بود اما سنترپیوت اصلی در ارتفاع ٤ متر از سطح زمین قرار داشت. در راستای توسعه کاربرد روش‌های آبیاری تحت فشار طرح‌های زیادی در استان سیستان و بلوچستان از جمله در شهرستان خاش اجرا شده است که از نوع سامانه‌های کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک هستند. ارزیابی و شناخت مسایل و مشکلات آن‌ها به‌کمک شاخص‌های مربوط به عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی نظیر: ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، تلفات بادبردگی و تبخیر، بازده کاربرد واقعی و بازده پتانسیل ربع پایین در کشت‌های مختلف زراعی می‌تواند به مدیریت بهتر این سامانه‌ها کمک کند و کشاورزان می‌توانند با انجام چنین ارزیابی‌هایی نسبت به رفع مشکلات مزارع خود اقدام نمایند. متأسفانه در اکثر مناطق کشورمان دستگاه‌های آبیاری بعد از اجرا، تحت نظارت و به‌صورت کنترل‌شده، بهره‌برداری نمی‌شوند و به هنگام بهره‌برداری نیز از نظر کارایی و عملکرد مورد سنجش و

آزمایش قرار نمی‌گیرند. ارزیابی یک سامانه آبیاری به‌منظور بررسی عملکرد آن، بعد از طراحی و اجرا صورت می‌گیرد و در واقع مشکلات و نواقص را در طراحی، اجرا و بهره‌برداری نشان می دهد. از روی نتایج ارزیابی می‌توان گفت که چگونه می‌توان بازده آبیاری در مزرعه را افزایش داده و منشأ مشکلات موجود دستگاه آبیاری را پیدا نمود و به بهبود مدیریت مزرعه جهت استفاده بهینه از آب کمک کرد. با توجه به این‌که چند سالی از طراحی و اجرای طرح‌های آبیاری تحت فشار بارانی در شهرستان خاش می‌گذرد تا کنون هیچ ارزیابی از وضعیت موجود این سامانه‌ها انجام نشده است. لذا هدف از این تحقیق ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی اجراشده در شهرستان خاش می‌باشد، تا با ارزیابی مطالعات مزرعه‌ای و یافتن مشکلات موجود، نسبت به رفع آن اقدام کرد و باعث بهبود و افزایش راندمان و عملکرد سیستم شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در هشت مزرعه از مزارع شهرستان خاش انجام شد. شهرستان خاش در دامنه جنوبی قله تفتان بین طول‌های ٦٠ درجه و ٥ دقیقه تا ٦٢ درجه و ٤٥ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ٢٧ درجه و ٥٠ دقیقه تا ٢٨ درجه و ٤٥ دقیقه شمالی واقع گردیده است. شهرستان خاش از شمال به شهرستان زاهدان، غرب و جنوب‌غرب به شهرستان ایرانشهر، از جنوب به شهرستان سراوان و از شرق به کشور پاکستان محدود می‌گردد. این شهرستان مطابق اقلیم‌نمای دومارتن دارای آب‌وهوای خشک بیابانی و براساس اقلیم‌نمای آمبرژه دارای اقلیم خشک معتدل می‌باشد. میانگین بارش سالانه آن ١٧٤/٩ میلی‌متر، میانگین تبخیر از تشت ١١١/١ میلی‌متر در سال و متوسط دمای آن از ٧ درجه سانتی‌گراد تا ٣٧ درجه سانتی‌گراد متغیر است. میانگین سرعت باد در ارتفاع ٢ متری از سطح زمین ٥-٤ متر در ثانیه و جهت باد غالب منطقه شمال‌غرب به جنوب‌شرق می‌باشد (١٥). شکل (١) موقعیت شهرستان خاش در استان سیستان و بلوچستان را نشان می‌دهد. در ارزیابی سیستم‌های موردنظر اطلاعات اولیه از قبیل توپوگرافی، مشخصات منابع تأمین آب، سیستم پمپاژ، آرایش لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و جانبی، دور آبیاری، نوع آب‌پاش‌ها، جمع‌آوری و بررسی شد. در هر مزرعه ابتدا اقدام به تکمیل پرسش‌نامه و گرفتن اطلاعات و داده‌های لازم از کشاورزان و بهره‌برداران گردید. منبع آب آبیاری چاهی بود که در هر مزرعه حفر شده بود. سیستم آبیاری همه مزارع آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک از نوع AMBO و فاصله آب‌پاش‌ها ٢٥ متر بود. تمامی مزارع تحت کشت یونجه بود. مساحت مزارع مورد مطالعه و عمق ریشه یونجه در هر مزرعه در جدول (١) آورده شده است.

قبل از انجام آزمایش نمونه‌های خاک برای تعیین ظرفیت زراعی و کمبود رطوبت خاک از محل انجام آزمایش در مزارع موردنظر برداشت شد. از آب آبیاری هر کدام از مزارع نیز برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی آن، نمونه‌گیری و جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفی به آزمایشگاه منتقل شد. در هر مزرعه متغیرهای هیدرولیکی سیستم مانند فشار (حداقل، حداکثر و متوسط) و دبی آب‌پاش‌ها (آب‌پاش‌های موجود روی لاترال‌های مورد ارزیابی) اندازه‌گیری گردید. به این ترتیب که در نقاط مختلف مزرعه با استفاده از فشارسنج پیتو، فشار در سر آب‌پاش‌ها قرائت شد. دبی آب‌پاش‌ها نیز با استفاده از کرنومتر و یک گالن ٢٠ لیتری به‌روش حجم‌سنجی محاسبه شد. با توجه به توپوگرافی منطقه محلی برای انجام آزمایش انتخاب شد که به‌طور یقین فشار متوسط سیستم در آن‌جا رخ خواهد داد. به‌عنوان مثال در مزرعه مسطح و یا دارای شیب بسیار کم و یکنواخت لوله فرعی

اواسط مزرعه انتخاب شد و آزمایش بین دو آب‌پاش در فاصله وسط لاترال انجام شد. پس از تعیین محل مناسب انجام آزمایش، مساحت بین دو لاترال مجاور با استفاده از متر نواری و میخ‌های چوبی به فاصله‌های ۳×۳ متری شبکه‌بندی شده و در نهایت قوطی‌های جمع‌آوری آب با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در نقاط شبکه قرار داده شد (شکل ۲). سپس آب‌پاش‌های مورد آزمایش شروع به کار کرده و پس از حداقل یک ساعت کارکردن، حجم آب داخل قوطی‌ها با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری و یادداشت شد.

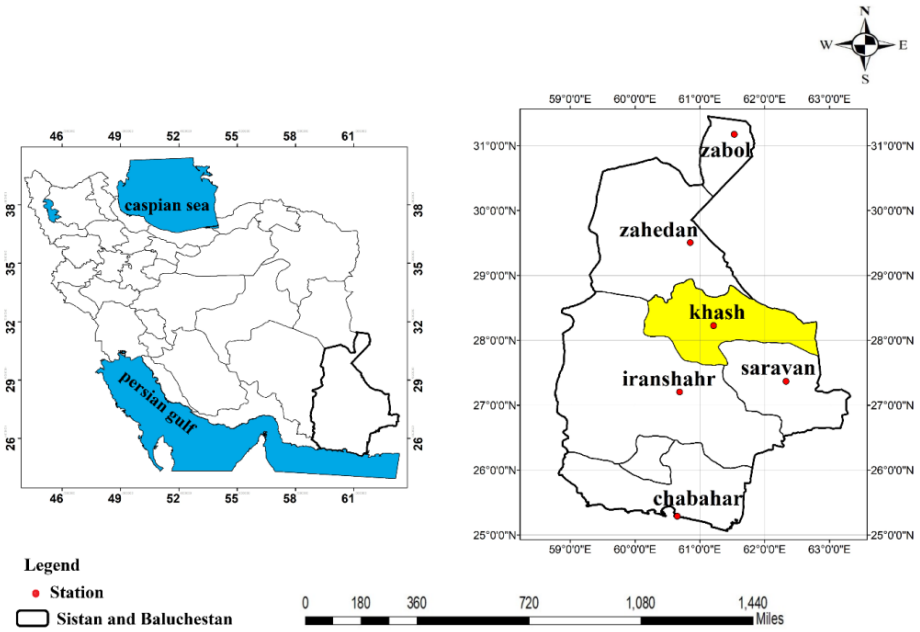

Figure 1. Location of Khash city in Sistan and Baluchestan province

Table 1. Characteristics of the studied sprinkler irrigation systems

Farm Namber	1	2	3	4	5	6	7	8
Farm Area (ha)	10	15	30	30	25	12	17	34
Depth of root (m)	11	1.4	1.5	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4

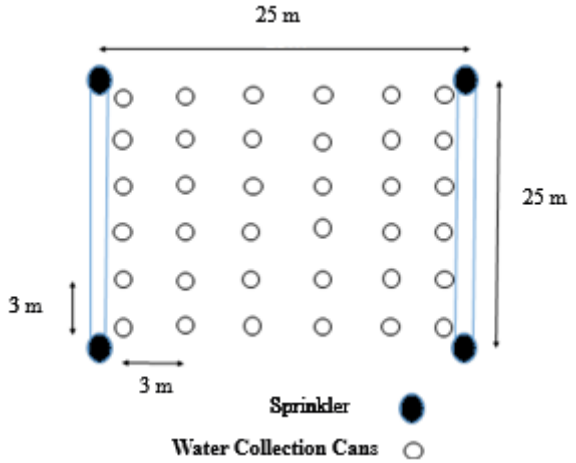

Figure 2. How to place water collection cans around sprinklers

پس از پایان اندازه‌گیری‌ها (داده‌برداری‌های صحرایی در آذرماه به‌مدت دو هفته انجام گرفت)، با استفاده از عمق آب جمع‌آوری‌شده در قوطی‌ها پارامترهای ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع آب در ربع پایین (DU)، بازده بالقوه کاربرد در ربع پایین (PELQ)، بازده کاربرد در ربع پایین (AELQ)، تلفات تبخیر و باد (WDEL)، تلفات نفوذ عمقی (DP)، کفایت آبیاری کلی (ADirr) و کفایت آبیاری در ربع پایین (ADiq) محاسبه شد.

میزان کمبود رطوبت خاک[6] (SMD)

این پارامتر براساس رابطه (۱) اندازه‌گیری شد.

$$SMD = (FC - \theta_i) \times D_{rz}$$ رابطه ۱)

که در آن، FC و θi به‌ترتیب درصد حجمی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و قبل از آبیاری است که از حاصل‌ضرب درصد وزنی رطوبت خاک در وزن مخصوص ظاهری خاک به‌دست آمد و Drz عمق توسعه ریشه (متر) می‌باشد.

جهت اندازه‌گیری عمق ریشه در سه قسمت هر یک از مزارع مورد مطالعه، پروفیل خاک حفر شد و ریشه‌ها از خاک جدا شدند. اندازه ریشه‌های جداشده بعد از شست‌وشو با متر اندازه‌گیری گردید که میانگین داده‌های آن در جدول (۱) آورده شده است.

یکی از مزایای آبیاری بارانی توزیع یکنواخت نسبتاً بالا در سطح مزرعه است. در آبیاری بارانی هدف این است که آب به‌طور یکنواخت در مزرعه پخش شود تا حتی‌الامکان از تلفات جلوگیری شود. جهت بیان یکنواختی توزیع از ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) و یکنواختی توزیع آب (DU) استفاده می‌شود.

ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)

زمانی‌که آبیاری به اندازه کافی برای جبران SMD انجام نشود، PELQ و AELQ با هم برابر به‌دست می‌آیند و در این وضعیت کشاورز کم آبیاری انجام داده است. در این صورت متوسط عمق آب در ربع پایین نمونه‌ها از SMD کم‌تر است.

$$CU = 100\left[1 - \frac{\sum|D_i - \bar{D}|}{\bar{D} \times n}\right]$$ رابطه ۲)

یکنواختی توزیع آب در ربع پایین (DU)

$$DU = \frac{D_q}{\bar{D}} \times 100$$ رابطه ۳)

در این معادلات CU: ضریب یکنواختی کریستیانسن (درصد)، DU: یکنواختی توزیع آب در ربع پایین (درصد)، D_i عمق آب جمع‌شده در هر قوطی (mm)، $\bar{D}$: متوسط عمق آب موجود در قوطی‌های نمونه‌برداری (mm)، D_q: میانگین عمق آب در یک چهارم قوطی‌ها که عمق کم‌تری دریافت کرده‌اند (mm) و n: تعداد قوطی‌ها می‌باشد. با توجه به تغییرات مکانی CU و DU در قسمت‌های مختلف لوله‌ها که به‌علت اختلاف فشار ناشی از شرایط هیدرولیکی متفاوت لوله‌ها می‌باشد و برای نسبت دادن آن‌ها به کل سامانه از رابطه‌های (٤) و (٥) استفاده می‌شود:

$$CU_s = CU\left[\frac{1+(\frac{P_{min}}{P_{mean}})^{0.5}}{2}\right]$$ رابطه ٤)

$$DU_s = DU\left[\frac{1+3(\frac{P_{min}}{P_{mean}})^{0.5}}{4}\right]$$ رابطه ٥)

که در آن: P_{min} و P_{mean} به‌ترتیب حداقل فشار (بار) و میانگین فشار (بار) آب‌پاش‌ها و CU_s و DU_s به‌ترتیب ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع سامانه می‌باشد.

بازده واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ)

بازده واقعی کاربرد در ربع پایین نشان‌دهنده آن است که یک سامانه در مزرعه تا چه اندازه خوب کار می‌کند که اغلب برای ارزیابی یک سامانه آبیاری در مزرعه موردنیاز است. به عبارت دیگر، این شاخص مبین یکنواختی و کفایت آبیاری است.

$$AELQ = \frac{D_q}{D_r} \times 100$$ رابطه ٦)

در این رابطه: D_r میانگین عمق آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده در سر آب‌پاش نازل (mm).

این معادله زمانی به‌کار می‌رود که $SMD > D_q$ باشد در غیر این‌صورت باید SMD را به جای D_q در معادله قرار داد.

بازده بالقوه کاربرد در ربع پایین (PELQ)

راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین، حداکثر راندمان ممکن برای سامانه است و از رابطه (۷) محاسبه شد:

$$PELQ = \frac{Z_q}{D_{MAD}} \times 100$$ رابطه ۷)

در این معادله: Z_q میانگین عمق آب نفوذیافته در ربع پایین (mm) در حالتی‌که $SMD > Z_q$ باشد و D_{MAD} متوسط عمق آب کاربردی (mm) است، وقتی‌که SMD=MAD باشد. MAD حداکثر تخلیه مجاز یا یا تخلیه مجاز رطوبتی خاک است.

با توجه به این‌که در سامانه آبیاری همواره اختلاف فشاری به‌علت افت اصطکاک و شرایط توپوگرافی وجود دارد، لذا بایستی مقادیر PELQ و AELQ به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها را با توجه به اختلاف فشار موجود در سامانه اصلاح کرد تا بتوان آن‌ها را به کل سامانه تعمیم داد. جهت انجام این کار کلر و مریام (۱۸) ضریبی را به‌نام عامل کاهش راندمان به‌صورت زیر در نظر گرفتند:

$$ER = \frac{0.2 \times (P_{max} - P_{min})}{P_{mean}}$$ رابطه ۸)

با استفاده از فاکتور کاهش راندمان مقادیر AELQ و PELQ در سامانه با روابط زیراصلاح شد:

$$PELQ_s = PELQ \times (1 - ER)$$ رابطه ۹)

$$AELQ_s = AELQ \times (1 - ER)$$ رابطه ۱۰)

تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL)

این شاخص نشان می‌دهد که چه مقدار از آب خارج‌شده از آب‌پاش‌ها به‌وسیله باد از مزرعه خارج می‌شود.

$$WDEL = (1 - \frac{\bar{D}}{D_r}) \times 100$$ رابطه ۱۱)

$\bar{D}$: متوسط عمق آب موجود در قوطی‌های نمونه‌برداری (mm)، D_r میانگین عمق آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده در سر آب‌پاش نازل (mm).

تلفات نفوذ عمقی (DP)

نفوذ عمقی مقدار آب خارج‌شده از ناحیه ریشه را نشان می‌دهد.

$$DP = \frac{(\overline{D_0} - SMD) \times \frac{N_1}{N}}{D_g} \times 100$$ رابطه ۱۲)

N_1 و $\overline{D_0}$ به‌ترتیب تعداد و میانگین عمق آب جمع‌آوری‌شده در قوطی‌هایی است که آب موجود در آن‌ها بیش‌تر از SMD است و N تعداد کل قوطی‌ها می‌باشد.

راندمان کاربرد (Ea)

راندمان کاربرد عبارت است از نسبت آب ذخیره‌شده در منطقه ریشه به آب اضافه‌شده به مزرعه که از رابطه (۱۳) به‌دست آمد.

$$E_a = \frac{(\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times D_{rz}}{D} \times 100$$ رابطه ۱۳)

θ_{fc}: رطوبت وزنی ظرفیت زراعی (درصد)، θ_i: رطوبت وزنی قبل از آبیاری (درصد)، D: میانگین عمق آب رسیده به مزرعه (میلی‌متر)، D_{rz}: عمق توسعه ریشه (متر).

بحث و نتایج

نتایج مربوط به تجزیه فیزیکی خاک و تجزیه شیمیایی آب در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شده است.

نتایج تجزیه شیمیایی آب نشان داد با توجه به طبقه‌بندی ویلکوکس استفاده از این منابع آب جهت آبیاری از نظر شوری در حد زیاد و خیلی زیاد و از نظر سدیم در حد کم تا متوسط می‌باشد. با توجه به این‌که شوری آب زیاد می‌باشد توصیه می‌گردد آبیاری در شب انجام شود زیرا در شب تبخیر کاهش می‌یابد.

Table 2. Results of soil experiments of studied fields (0-60 cm)

Farm Number	Final infiltration (mm/hr)	Density gr/cm^3	Field capacity %	Soil texture	Silt (%)	Sand (%)	Clay (%)
(Abshenas)1	14	1.4	28	Sand lom	6	86	8
(Haji nader) 2	13	1.3	25	Sand lom	15	75	10
(Azizallah) 3	13	1.5	27	Sand lom	12	81	7
(Abdolghader) 4	15	1.4	26	lom Sand	14	78	38
(Allahbakhsh) 5	14	1.4	26	lom Sand	8	83	9
(Khodarahm) 6	16	1.5	25	lom Sand	10	82	8
(Changiz) 7	14	1.5	29	lom Sand	4	90	6
(Allahdad) 8	15	1.4	27	lom Sand	16	78	6

Table 3. Results of water tests for wells used for irrigation

Farm Number	Wilcox Classification	SAR	pH	EC (ds/m)
1	C4-S2	5.6	6.77	2.89
2	C4-S2	7.9	7.2	2.4
3	C4-S2	4.6	6.65	3.3
4	C4-S1	3.68	7.01	3.78
5	C4-S1	3.2	6.95	2.9
6	C3-S1	4.1	7.4	1.49
7	C4-S2	7.5	7.06	3.98
8	C4-S1	2.33	6.97	4

از طرفی در طول روز چون تبخیر زیادتر از شب است، لذا غلظت نمک موجود در خاک افزایش می‌یابد و گیاه با جذب آب نمک بیش‌تری دریافت می‌دارد که این اتفاق با آبیاری در شب به‌دلیل تبخیر کم‌تر کاهش می‌یابد. هم‌چنین اگر کشاورز ناگریز به آبیاری در طول روز می‌باشد بایستی از انجام آن در هوای گرم و خشک (هنگام ظهر که گرما بیش‌تر است) و به هنگام وزش باد خودداری کرد.

در جدول (٤) نتایج مربوط به فشار و دبی و شدت پخش آب‌پاش‌ها ذکر شده است. از نظر فشار، فشار طراحی‌شده برای سیستم‌ها در محدوده ٤/٥-٤ بار بود. بیش‌تر سیستم‌ها در فشار پایین‌تر از فشار طراحی‌شده کار می‌کردند. فقط سیستم ٤ و ٧ از نظر فشار، فشار طراحی‌شده برای سیستم را تأمین می‌کردند. کم‌ترین تغییرات فشار در سیستم ٧ (١٦/٢٧ درصد) و بیش‌ترین آن در سیستم ٣ (٢٧/٢٧ درصد) به‌دست آمد. تغییرات فشار در سیستم‌های ١، ٢، ٣ و ٦ بیش‌تر از حد مجاز تعیین‌شده (٢٠ درصد) برای سیستم آبیاری بارانی بود. زیاد بودن تغییرات فشار و کمبود متوسط فشار آب‌پاش‌ها از فشار طراحی‌شده نشان‌دهنده مشکلات مدیریتی، عدم تعویض آب‌پاش‌های فرسوده و خراب، عدم رعایت مبانی هیدرولیکی در طراحی سیستم و اجرای نادرست و بهره‌برداری ضعیف از سامانه‌ها می‌باشد. زبردست و رحیمی‌خوب (٨) در تحقیق اثر تغییر فشار در لوله‌های فرعی آبیاری بارانی متحرک دستی بر روی هزینه‌ها نتیجه گرفتند در تغییر فشار بالای ٢٠ درصد تلفات و هزینه‌ها بالا است و محدوده تغییر فشار ١٥ درصد در لوله فرعی، گزینه مناسبی برای طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی متحرک دستی می‌باشد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود به‌علت پایین‌بودن فشار سیستم‌ها، دبی در اکثر مزارع کم‌تر از دبی طراحی‌شده بود. البته عمر آب‌پاش‌ها نیز می‌تواند در کاهش دبی آن‌ها نقش داشته باشد. سیستم ٣ از سال ١٣٨٨ طراحی شده بود و گاهی برخی از آب‌پاش‌ها به‌دلیل فرسودگی و یا زنگ‌زدگی دبی کم‌تری خارج می‌کردند و یا از بعضی از آن‌ها آبی خارج نمی‌شد و تاکنون آب‌پاش‌ها تعویض نشده بودند. هم‌چنین در بازدیدهای صحرایی مشاهده شد نشتی آب از اتصالات وجود داشت که علت آن عدم آب‌بندی مناسب لوله‌ها و فرسودگی اتصالات لوله‌ها و نصب نامطلوب آن‌ها بود. این امر باعث کاهش دبی رسیده به آب‌پاش‌ها می‌گردید.

Table 4. Results of discharge and pressure related to the sprinklers of the studied fields

Farm Number	Water distribution intensity (mm/hr)	Pressure change (%)	Sprinkler pressure (Bar)			Discharge change (%)	Average discharge of sprinklers (L/S)	
			avg	max	min		Design Notebook Measured	Measured Design Notebook
1	10.94	20.68	2.6	2.9	2.3	-15.78	2.2	1.9
2	10.94	24.32	3.25	3.7	2.8	-15.78	2.2	1.9
3	10.26	27.27	2.85	3.3	2.4	-22.22	2.2	1.8
4	13.24	17.39	4.2	4.6	3.8	+4.34	2.2	2.3
5	11.52	17.07	3.75	4.1	3.4	-10	2.2	2
6	10.94	25.8	2.7	3.1	2.3	-22.22	2.2	1.8
7	12.09	16.27	4	4.4	3.6	-4.76	2.2	2.1
8	11.52	16.66	3.85	4.2	3.5	-10	2.2	2

در مزرعه ٤ دبی واقعی از دبی طراحی بیش‌تر بود که علت آن‌را می‌توان به‌دلیل بالاتربودن فشار واقعی مزرعه از فشار طراحی‌شده برای سیستم دانست. در سیستم ۷ دبی اندازه‌گیری‌شده نزدیک به دبی طراحی بود. بیش‌ترین تغییرات دبی در سیستم ۳ و ٦ (۲۲/۲۲- درصد) و کم‌ترین آن در سیستم ٤ (٤/۳٤+ درصد) و ۷ (٤/۷٦- درصد) مشاهده شد. در ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی اسدآباد همدان و کوهدشت طراحی نادرست، ضعف مدیریت بهره‌برداری و استفاده از لوازم فرسوده را از دلایل پایین‌بودن راندمان سامانه‌های آبیاری بارانی اعلام شد (۷ و ۱۲). هم‌چنین دلایل اقتصادی یکی از عوامل پایین‌بودن راندمان سامانه‌های آبیاری بارانی و عدم اهمیت‌دادن به آن از سوی بهره‌برداران در همدان بود (٦). یکی از موارد مهمی که در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی باید مورد توجه قرار گیرد، شدت پخش آب است. شدت پخش آب باید از نفوذپذیری خاک کم‌تر باشد در غیر این‌صورت رواناب در سطح مزرعه اتفاق می‌افتد و راندمان سیستم کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه شدت پخش آب با نفوذپذیری نهایی خاک نشان داد شدت پخش آب در تمامی سامانه‌ها کم‌تر از نفوذپذیری خاک مزرعه است و از این نظر موردی ندارد.

در جدول (۵)، مقادیر ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن، یکنواختی توزیع آب، راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی برای بلوک‌های آبیاری و کل سامانه‌های آبیاری آورده شده است. میانگین ضریب یکنواختی (CU) و یکنواختی توزیع (DU) در بلوک‌های مورد آزمایش به‌ترتیب ٦٦/۲٦ و ٦٨/۷٥ درصد و در سامانه‌های ارزیابی‌شده ۷٦/۰٥ و ٦٤/٥ درصد به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در سامانه ۳ و بیش‌ترین آن در سامانه ۷ به‌دست آمد. در سامانه ۳ مطابق جدول (٤) بیش‌ترین تغییرات دبی و فشار مشاهده شد که این تغییرات باعث کاهش ضرایب یکنواختی گردید. هم‌چنین کمبود فشار در این سامانه باعث کاهش یکنواختی توزیع آب شد. مشاهدات صحرایی نشان داد در این سامانه تعدادی از آب‌پاش‌ها خراب بود و آبی از آن‌ها خارج نمی‌شد و یا آب خارج‌شده بسیار کم بود. هم‌چنین مشاهدات نشان داد سامانه ۳ نسبت به دیگر سامانه‌ها بیش‌تر در معرض سرعت باد قرار داشت. سرعت باد عامل مهمی در یکنواختی توزیع آب است. زیرا تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاع لگاریتمی بوده و با افزایش ارتفاع آب‌پاش‌ها، سرعت باد و اثرات آن افزایش می‌یابد. بنابراین جابه‌جایی زمان آبیاری به ساعات خنک با شرایط باد آرام و تا حدودی کوتاه کردن ارتفاع آب‌پاش‌ها، می‌تواند در افزایش یکنواختی توزیع آب تأثیر داشته باشد. میانگین ارتفاع آب‌پاش‌ها، در منطقه یک متر است. با توجه به این‌که مزارع تحت کشت یونجه می‌باشد و یونجه نیز مرتب برداشت می‌شود و ارتفاع آن به یک متر نمی‌رسد، با درنظرگرفتن شیر خودکار، اگر ارتفاع آن از سطح زمین به ۸۰ سانتی‌متر کاهش یابد، یکنواختی توزیع آب تا حدی بهبود خواهد یافت.

Table 5. Coefficient of uniformity, distribution uniformity, potential efficiency and low quadratic application efficiency

Farm Number	Total irrigation system (%)				Test block (%)			
	PELQs	AELQs	DUs	CUs	PELQ	AELQ	DU	CU
1	44.3	44.3	73.6	81.6	46.2	46.2	79.8	82.9
2	51.7	51.7	66.4	80.9	54.4	54.4	71.5	82.7
3	21.3	16.4	37.5	49.1	22.7	17.5	40.3	50.1
4	62.7	62.7	72.9	86.4	65.3	65.3	77.5	86.4
5	49.7	49.7	75.1	85.7	51.8	51.8	79.8	86.7
6	27.4	22.2	61.4	71.9	29.2	23.6	66.1	72.9
7	66.1	66.1	78.8	85.6	70.4	70.4	80.3	86.7
8	36.7	33.8	54.7	67.1	38.7	35.6	58.4	68.2
Average	44.9	43.3	65.1	76.1	47.3	45.6	69.2	77.1

سایر محققین نیز در تحقیقات خود کمبود فشار، تغییرات دبی، سرعت باد، فرسودگی لوله‌ها و آب‌پاش‌ها و استفاده غیراصولی و نامناسب از سامانه‌ها را علت پایین‌بودن یکنواختی توزیع و ضریب یکنواختی سیستم‌های آبیاری بارانی بیان نمودند (۷، ۹ و ۱۱). مطابق جدول (٦) مریام و کلر (۱۸) محدوده ٪۸۰≤DU≤٪٦۷ و ٪۸۷≤CU≤٪۸۱ را برای سامانه‌های آبیاری بارانی توصیه نمودند.

Table 6. Permissible range of indicators for evaluation of sprinkler irrigation systems (%) proposed by Merriam and Claire (1978)

Index	PELQ	AELQ	DU	CU
Allowed range	65-85	65-85	67-80	81-87

بنابراین می‌توان گفت سامانه‌های ۳، ٦ و ۸ ضرایب یکنواختی و یکنواختی توزیع کم‌تر از مقدار توصیه‌شده دارند. از عوامل مؤثر در کاهش ضرایب یکنواختی همان‌طورکه گفته شد می‌توان دمای بالای هوا در منطقه و بادخیزبودن آن، طراحی نادرست و عدم تأمین فشار مناسب و تغییرات زیاد فشار را بیان داشت. هم‌چنان مشکلات مدیریتی و بهره‌برداری مانند استفاده همزمان از تعداد زیادی آب‌پاش در مزرعه (سامانه ٦) باعث کاهش فشار سامانه و عدم توزیع یکنواخت آب شده بود. سامانه‌های ۱، ٤، ٥ و ۷ مطابق جدول (٦) از ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع مناسبی برخوردار بودند که نشان‌دهنده توزیع نرمال داده‌ها و قرینه‌بودن آن‌ها نسبت به مقدار میانگین می‌باشد (٤). میانگین راندمان واقعی کاربرد (AELQ) و راندمان پتانسیل ربع پایین (PELQ) در کل بلوک‌های مورد آزمایش به‌ترتیب ٤٥/٦ و ٤٧/٣ درصد و در کل سامانه‌های آبیاری ٤٣/٣ و ٤٤/٩ درصد به‌دست آمد. پایین‌بودن راندمان پتانسیل کاربرد را می‌توان به‌علت کاهش ضریب یکنواختی، تلفات بادبردگی و تبخیر، تلفات نفوذ عمقی و فرسوده‌بودن بعضی از سامانه‌ها دانست. اختلاف راندمان پتانسیل کاربرد با راندمان واقعی کاربرد نشان‌دهنده مدیریت بهره‌برداری می‌باشد. با توجه به این‌که اختلاف میانگین این دو راندمان در سامانه‌های مورد ارزیابی ۱/٦ درصد می‌باشد، نشان می‌دهد علی‌رغم پایین‌بودن راندمان پتانسیل کاربرد، کشاورزان با افزایش زمان آبیاری بهره‌برداری نسبتاً خوبی از سامانه‌ها داشته است. نادری و همکاران (١٤) در تحقیق خود در خصوص ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی در استان سمنان به نتایج مشابه دست یافتند. به‌غیر از مزارع ۳، ٦ و ۸ در سایر مزارع به‌علت تأمین‌نشدن کمبود رطوبتی خاک (SMD)، مقادیر راندمان واقعی کاربرد (AELQ) و راندمان پتانسیل کاربرد (PELQ) برابر به‌دست آمد که نشان‌دهنده اعمال کم‌آبیاری در این سامانه‌ها می‌باشد. کاغذلو و همکاران (۱۰) در ارزیابی سامانه‌های آبیاری متحرک خطی دشت قزوین بیان داشتند این سامانه‌ها از کارایی خوبی برخوردار نیستند و علت آن را ضعف مدیریتی و بهره‌برداری نامناسب از سامانه‌ها بیان نمودند.

مریام و کلر (۱۸) محدوده قابل‌قبول برای راندمان پتانسیل کاربرد را ٦٥ تا ٨٥ درصد اعلام کردند که از این نظر سامانه‌های ٤ و ٧ از وضعیت خوبی برخوردار هستند. سایر سامانه‌ها دارای راندمان پتانسیل کاربرد کم‌تری بودند که نشان‌دهنده طراحی نادرست این سامانه‌ها می‌باشد. در سامانه‌های ٤ و ٧ فشار به اندازه کافی تأمین شده بود که این امر باعث بالارفتن یکنواختی توزیع و در نتیجه افزایش راندمان‌های واقعی و پتانسیل گردید. هم‌چنین در این دو سامانه نسبت به سایر سامانه‌ها تسطیح زمین به‌خوبی انجام شده بود و عدم پستی و بلندی و طراحی صحیح باعث شده بود تا تغییرات فشار و دبی در این دو سامانه کم‌تر باشد و در سایر سیستم‌ها به‌علت عدم تأمین فشار موردنیاز سامانه دبی آب‌پاش‌ها و شعاع پاشش آن‌ها کم‌تر از مقدار ارائه‌شده در کاتالوگ و مقدار طراحی بود و باعث کاهش راندمان‌ها شده بود. بیش‌ترین اختلاف بین مقادیر راندمان واقعی کاربرد (AELQ) و راندمان پتانسیل کاربرد (PELQ) در دو سامانه ٣ و ٦ به‌ترتیب به مقدار ٥/٢ و ٥/٦ درصد به‌دست آمد. در این دو سامانه به‌علت کم‌بودن دبی خروجی از آب‌پاش‌ها که در اثر کاهش فشار و طراحی نادرست بوده است، کشاورزان مدت زمان آبیاری را بیش‌تر از آن‌چه در دفترچه طراحی بوده است، انجام می‌دادند. بنابراین مزرعه بیش از نیاز آب دریافت کرده و فرونشست عمقی قابل‌توجهی وجود داشت. لذا بایستی با کاهش مدت زمان آبیاری از تلفات نفوذ عمقی جلوگیری و راندمان واقعی کاربرد را تا حد راندمان پتانسیل افزایش داد.

درصد تلفات و کفایت آبیاری در جدول (٧) آورده شده است. میانگین تلفات بادبردگی و تبخیر در سامانه‌ها ٢٢/١ درصد و میانگین تلفات نفوذ عمقی ٢١/٨ درصد می‌باشد. بیش‌ترین تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه ٣ و کم‌ترین آن در سامانه ٧ مشاهده شد.

Table 7. Losses and efficiency of irrigation system

Farm Namber	ER	DP	WDEL	ADir	ADiq
1	0.04	19.6	26.5	68.5	70.1
2	0.05	17.8	14.8	89.3	93.5
3	0.06	28.9	29.6	68.6	71.4
4	0.04	21.2	22.1	95.7	97.5
5	0.04	26.7	25.4	78.4	93.2
6	0.06	20.7	20.6	53.9	87.6
7	0.04	15.4	12.2	91.8	97.6
8	0.05	24.7	25.2	87.6	60.7
Average	0.05	21.8	22.1	79.2	83.95

در مجموع تلفات تبخیر و بادبردگی با توجه به بادخیزبودن منطقه بالا می‌باشد. فائو سرعت باد برای آبیاری بارانی را ٣/٥ متر بر ثانیه توصیه نموده است. در شرایطی که سرعت باد از ٣/٥ متر بر ثانیه تجاوز کند تلفات تبخیر و بادبردگی از ٢١/٩ درصد تجاوز می‌کند. لذا آبیاری بارانی در هنگام ظهر یا وزش باد شدید توصیه نمی‌شود. این در حالی است که آبیاری در شرایط بدون باد از غروب و بعد از آن زمان تا صبح زود که رطوبت نسبی بالا بوده است می‌تواند تلفات تبخیر و بادبردگی را در مناطق گرم و نیمه‌خشک به ٢/٨ درصد تنزل دهد (٢١). هم‌چنین در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک در شرایط وزش باد درصورتی‌که آرایش آب‌پاش‌ها به‌صورت مربعی باشد، تلفات تبخیر و باد به حداقل خواهد رسید (٣). میانگین تلفات نفوذ عمقی در سامانه‌ها ٢١/٨ درصد بود. بالابودن تلفات نفوذ عمقی در این سامانه‌ها به‌علت پایین‌بودن ضریب یکنواختی یکنواختی توزیع آب، طراحی نادرست و عدم برنامه‌ریزی صحیح آبیاری می‌باشد. میخک‌بیرانوند و همکاران (١٣) در ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت خرم‌آباد تلفات پاششی نفوذ عمقی را به‌ترتیب ١٣/٢ و ٣٠/٠٩ درصد به‌دست آوردند که مقدار بالایی بود. کفایت آبیاری نشان‌دهنده درصدی از مزرعه است که به اندازه نیاز آبی گیاه دریافت داشته است. کفایت آبیاری سامانه‌ها از ٩٥/٧ درصد در سامانه ٤ تا ٥٣/٩ درصد در سامانه ٦ متغیر بود. علت پایین‌بودن

کفایت آبیاری در سامانه ٦ نسبت به سایر سامانه‌ها پایین‌بودن یکنواختی توزیع در این سامانه، کم‌بودن دبی خروجی از آب‌پاش‌ها در اثر کاهش فشار و طراحی نادرست و نشت از لوله‌های این سامانه می‌باشد. در سامانه ٤ دبی خروجی از آب‌پاش‌ها به‌علت تأمین فشار کافی از دبی طراحی نیز بیش‌تر بود. میانگین کفایت آبیاری در کل سامانه‌ها ۷۹/۲ درصد به‌دست آمد. جهت افزایش کفایت آبیاری در سامانه‌هایی که کفایت آبیاری آن‌ها پایین است می‌توان دور آبیاری را کاهش داد و مدت زمان استقرار آب‌پاش‌ها را اصلاح کرد تا کفایت آبیاری افزایش یابد.

شکل (۳) راندمان کاربرد را در سامانه‌های مورد ارزیابی نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود سامانه ۷ با ۷۲/٤ درصد بالاترین راندمان کاربرد و سامانه ۳ با ٤۱/٤ درصد کم‌ترین راندمان کاربرد را داشت. سامانه ۷ به‌دلیل داشتن ضریب یکنواختی بالاتر و تغییرات پایین فشار و دبی کفایت کلی آبیاری بالاتری داشت که نشان‌دهنده این است که بیش‌تر مزرعه به اندازه نیاز آب دریافت داشته است. از طرف دیگر تلفات تبخیر و بادبردگی و نفوذ عمقی نیز در این سامانه نسبت به سایر سامانه‌ها کم‌تر بود و این امر باعث بالارفتن راندمان کاربرد این سامانه نسبت به سامانه‌های دیگر شد.

نتیجه‌گیری

خاک مزارع مورد مطالعه از نظر کیفیت بدون مشکل است. از نظر شوری آب تمامی مزارع در کلاس ٤ شوری (C4) و دارای محدودیت زیاد و از نظر سدیم در کلاس یک و دو (S1 و S2) و محدودیت کم تا متوسط قرار داشت. برخی از سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک دشت خاش دارای راندمان کاربرد پایین بوده و یکنواختی توزیع آب در آن‌ها نیز کم‌تر از مقادیر توصیه‌شده کلر و مریام است. با کاهش فاصله آب‌پاش‌ها و آرایش مربعی آن‌ها می‌توان ضریب یکنواختی را افزایش داد. با توجه به بادخیزبودن منطقه و دمای بالای هوا در منطقه تلفات تبخیر و باد نیز در سامانه‌ها بالا بود. جهت کاهش اثرات باد و تبخیر می‌توان آبیاری را در شب انجام داد. بررسی‌ها و بازدیدهای صحرایی نشان داد که در بسیاری از موارد مشکلات طراحی و اجرایی وجود داشته است. هم‌چنین از دلایل دیگر پایین‌بودن عملکرد سامانه‌های ارزیابی‌شده مدیریت و بهره‌برداری ضعیف از سامانه‌ها بوده است.

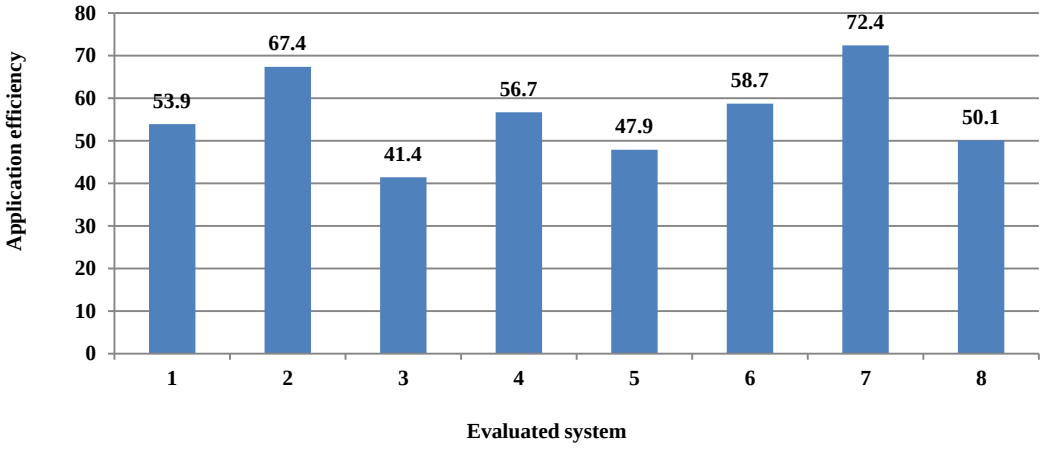

Figure 3. Application efficiency in evaluated systems

تغییرات فشار و دبی در سامانه‌ها بالا بود که علت آن برداشت‌های غیرمجاز از سامانه و قدیمی و فرسوده‌شدن بعضی از لوله و آب‌پاش‌ها می‌باشد. جهت برطرف‌شدن این مشکل بایستی بازدیدهای صحرایی مرتب از سامانه‌ها به‌عمل آید تا وسایل و لوله‌های معیوب از سامانه خارج و تعویض گردند. به‌صورت کلی بهره‌برداران می‌توانند با رعایت اصول اولیه، سطح بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری بارانی را ارتقا بخشند. جهت انجام این‌کار بایستی از استفاده همزمان تعداد زیادی آب‌پاش در سامانه و آبیاری در ساعاتی از شبانه روز که سرعت باد و تبخیر زیاد است، جلوگیری کرد. هم‌چنین مدت زمان آبیاری و دور آبیاری مطابق دفترچه طراحی باشد و از جابه‌جایی لوله‌ها و آب‌پاش‌ها خودداری نمود. پیشنهاد می‌گردد نظارت دقیق از سوی ارگان‌های دولتی بر طراحی و اجرای سامانه‌های تحت فشار صورت گیرد. از لوازم خوب و با کیفیت در سامانه‌ها استفاده شود و عوامل اقلیمی مانند سرعت باد، درجه حرارت، تبخیر، کیفیت خاک و آب در طراحی‌ها با جدیت مورد بررسی قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

1. Coefficient of Uniformity
2. Distribution Uniformity
3. Wind Drift and Evaporation Losses
4. Actual Efficiency of Low Quarter
5. Potential Application Efficiency of Low Quarter
6. Soil Moisture Deficit

منابع

۱. اکبری، م.، صدرقائن، ح. و دهقانی‌سانیج ح. (۱۳۸۳). ضرورت توسعه و بهبود کمی و کیفی روش‌های آبیاری بارانی در کشور. ۱۵۹-۱۴۷: مجموعه مقالات کارگاه فنی آبیاری بارانی (توانمندی‌ها و چالش‌ها)، مرکز تحقیقات فنی و مهندسی کرج.

۲. برادران هزاوه، ف. (۱۳۸٤). ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری تحت فشار اجراشده در شهرستان اراک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۲۷۰ص.

۳. بزانه، م.، اشرف‌صدرالدینی، س.، ناظمی، ا.ح. و دلیرحسن‌نیا، ر. (۱۳۹٤). تأثیر آرایش و فواصل بهینه‌ی آب‌پاش‌ها بر ضریب یکنواختی سامانه آبیاری بارانی ثابت. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹(٤): ٥٤٦-٥۳۷.

٤. بهرامی، م.، خواجه‌ای، ف.، دیندارلو، ع. و اسلامیان، س. (۱۳۹٦). ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی اجراشده در برخی از دشت‌های استان فارس. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲٤(۱):۳۲-۲۱.

٥. ثنایی، ع.، ایزدپناه، ز. و برومندنسب، س. (۱۳۹٤). ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی عقربه‌ای در شهرستان‌های بردسیر و راین استان کرمان. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۸(۲): ۱۸۰-۱۷۱.

٦. رضوانی، س. و جعفری، ع. (۱۳۸۳). بررسی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی اجراشده در مزارع سیب‌زمینی استان همدان تحت مدیریت زارعین. مجموعه مقالات کارگاه فنی آبیاری بارانی توانمندی‌ها و چالش‌ها، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی و کشاورزی، ۲۱-۳۰.

۷. زارع ابیانه، ح. و زیوری عارف، س. (۱۳۹٦). ارزیابی عملکرد سامانه های آبیاری کلاسیک ثابت در همدان. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(٤): ٥۳٥-٥۲٤.

۸. زبردست، س. و رحیمی‌خوب، ع. (۱۳۹۰). بررسی اثر تغییر فشار در لوله‌های فرعی آبیاری بارانی متحرک دستی روی هزینه‌ها. مدیریت آب و آبیاری، ۱(۱):۸٦-٦۹.

۹. سی و سه مرده، م. و بایزیدی، م. (۱۳۹۰). ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان‌غربی مهاباد. مهندسی منابع آب، ٤: ۷٦-٦۳.

۱۰. کاغذلو، ع.، ستوده‌نیا، ع. و دانش‌کار آراسته، پ. (۱۳۹٤). ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی متحرک خطی (لینیر) اجراشده در دشت قزوین. مدیریت آب و آبیاری، ۵(۱):۱۳۷-۱۲۹.

۱۱. مجدسلیمی، ک.، صلواتیان، س.ب. و امیری، ا. (۱۳۹٤). ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک اجرا شده در باغ‌های چای استان گیلان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۲):۳٤۹-۳۳٦.

۱۲. مولایی، ز.، معروف‌پور، ع. و ملکی، ع. (۱۳۹۵). بررسی و ارزیابی فنی برخی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت کوهدشت. پژوهش آب ایران، ۱۰(۲):۱۳۲-۱۲۵.

۱۳. میخک‌بیرانوند، ز.، برومندنسب، س.، ایزدپناه، ز. و ملکی، ع. (۱۳۹۳). بررسی بازده آبیاری سیستم‌های آبیاری بارانی در منطقهٔ خرم‌آباد. مدیریت آب و آبیاری، ٤(۲):۲۰۲-۱۹۱.

۱٤. نادری، ن.، قدمی فیروزآبادی، ع. و فرومدی، م. (۱۳۹۷). ارزیابی فنی سیستم‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲(۳):٤٤۰-٤۳۰.

۱۵. نگارش، ح. و آرامش، م. ۱۳۹۰. پیش‌بینی خشک‌سالی شهر خاش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲(٦):۵۰-۳۳.

16. Al-Ghobari H.M. (2014). Effect of Center Pivot System Lateral Configuration on Water Application Uniformity in an Arid Area. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 577-589.
17. Liu H. J. & Kang, Y. (2006). Effect of sprinkler irrigation on microclimate in the winter wheat field in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 84(1-2), 3-19.
18. Merriam, J.L. & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Dept. of Agricultural and Irrigation Engineering. Utah State Univ., Logan, Utah.
19. Ortega Alvarez, J., Tarjuelo, J., Baito, M. & Carrion Perez, M. (2004). Uniformity distribution and its economic effect on irrigation management in semi-arid zone., *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130 (4).
20. Playán, E., Salvador, R., Faci, J. M., Zapata, N., Martínez-Cob, A. & Sánchez, I. (2005). Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Agricultural Water Management*, 76(3), 139-159.
21. Phocaides, A. (2000). Technical handbook on pressurized irrigation techniques, *FAO*, 101p.
22. Solomon, K.H. (1990). Sprinkler irrigation uniformity. Irrigation Notes, California Agricultural Technology Institute-CATI.
23. Yacoubi, S., Zayani, K., Zapata, N., Zairi , A., Slatni, A., Salvador, R. & Playan, E. (2010). Day and night time sprinkler Irrigation tomato: *Irrigation performance and crop yield. Biosystems Engineering*, 107(1), 25-35.