ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دشت اردبیل

مهران محمدی، جوانشیر عزیزی مبصر[۱] و مجید رئوف

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

mehranmohammadi1109@gmail.com

استادیارگروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

ja.mobaser22@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

majidraoof2000@yahoo.co.uk

دریافت: فروردین ۱۳۹۸ و پذیرش مهر ۱۳۹۹

چکیده

به منظور آگاهی از وضعیت فنی سامانه‌های آبیاری و تعیین مقدار دستیابی به اهداف مرحله طراحی، نیاز به ارزیابی این سامانه‌ها می‌باشد. در این پژوهش، تعداد ۱۸ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک اجرا شده در نقاط مختلف دشت اردبیل، در تابستان سال ۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور از شاخص‌های، ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، بازده پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ)، بازده واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ)، در دو مقیاس بلوک آزمایش و کل سامانه، استفاده شد. پس از اندازه‌گیری‌ها و برداشت اطلاعات مورد نیاز،این شاخص‌ها محاسبه شد. مقادیر متوسط شاخص‌ها، برای بلوک‌ها به ترتیب ۸۳/۴۶٪، ۷۴/۹۶٪، ۶۸/۹۳٪و۶۷/۹۴٪ ، و برای سامانه به ترتیب۸۲/۳۲٪، ۷۳/۴۳٪، ۶۵/۷۱٪و۶۶/۷۰٪ به دست آمد. علاوه بر آن، از شاخص‌های تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL)، تلفات نفوذ عمقی (DP) و کفایت آبیاری (AD_{irr}) نیز استفاده شد که مقدار شاخص‌ها به ترتیب، ۷/۹۵٪، ۶/۹۷٪ و ۲۷/۰۸٪ به دست آمد. نتایج بدست آمده و بررسی‌های میدانی نشان دادند که مقادیر کم شاخص‌های PELQ و AELQ متأثر از فاصله نامناسب آبپاش‌ها، فشار کم اجرا نسبت به فشار طراحی، تغییرات فشار زیاد در سامانه و استفاده هم‌زمان از تعداد زیاد آبپاش است. همچنین مدیریت نادرست در بهره‌برداری، توپوگرافیزمین و طول زیاد لوله‌ها از عوامل تاثیرگذار در کاهش شاخص‌های تعیین عملکرد واقعی سامانه‌ها در دشت اردبیل هستند.از جمله راهکارهای پیشنهادی، بازنگری در طراحی‌ها، در نظر گرفتن شیب زمین، تغییر در نوع آبپاش‌ها و یا حتی تغییر روزنه آبپاش‌ها، است.

واژه‌های کلیدی: بازده پتانسیل کاربرد، ضریب یکنواختی کریستیانسن، طراحی سامانه آبیاری

---

[۱]- نویسنده مسئول: اردبیل، استادیارگروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی.

مقدمه

امروزه یکی از چالش‌های مهم در بخش کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آب موجود برای تولید محصولات کشاورزی است. سامانه‌های آبیاری مناسب، با استفاده از کنترل تلفات آب در مزرعه مصرف آب را به حداقل می‌رسانند (معروفپور و همکاران، ۲۰۱۹). استفاده از روش مناسب آبیاری برای حفظ ایمنی غذایی و کاهش آب مورد نیاز در مقیاس جهانی مطرح می‌باشد (کائو و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، برای افزایش بهره‌وری آب، مدیریت بهینه آبیاری باید اعمال شود (ساسکن، ۲۰۱۸؛ فانگ و همکاران، ۲۰۱۸). کاهش تلفات آب یا ارتقاء سامانه‌های آبیاری می‌تواند به مدیریت آب موجود کمک کند (نیر، ۲۰۱۳). با توجه به شرایط اقلیمی ایران، محدودیت منابع آب آبیاری، پایین بودن بازده آبیاری در روش‌های سنتی، از یک سو و وجود عرصه‌های توسعه زمین‌های آبی و نیاز روزافزون به مواد غذایی از سوی دیگر، کاربرد روش‌های آبیاری تحت فشار را به عنوان یکی از موثرترین راه‌های استفاده بهینه از منابع آب موجود اجتناب ناپذیر نموده است (برادران هزاوه و همکاران، ۱۳۸۵). آبیاری تحت فشار یکی از نتایج پیشرفت‌های تکنولوژی برای جلوگیری از هدر رفت آب و افزایش راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی است. سیستم‌های آبیاری در سال‌های اخیر سطح بالایی از تنوع رو بدست آورده‌اند به گونه‌ای که انتخاب و اجرای یک سیستم آبیاری بر اساس کارایی منطقه می‌باشد (نیسی و همکارن، ۲۰۲۰). امروزه مدیریت سامانه‌های آبیاری، ارزیابی مداوم، استفاده از انرژهای تجدیدپذیر و هوشمندسازی نقش اساسی در افزایش راندمان مصرف آب دارد (یان و همکاران، ۲۰۲۰).

طراحی و مدیریت صحیح باعث افزایش راندمان در سامانه‌های آبیاری می‌شود که برای آگاهی از صحت طراحی و مدیریت هر سامانه باید مورد ارزیابی قرار گیرد (فاریابی و همکاران، ۲۰۲۰). ارزیابی روش آبیاری شامل تعیین راندمان واقعی کاربرد و بررسی روش مدیریت مزرعه و به دست آوردن حداکثر عملکرد واقعی سامانه می‌باشد (کلر و بلیسنر، ۱۹۹۰). مریام و کلر (۱۹۷۸) یکنواختی توزیع (DU[۲])، راندمان کاربرد آب در ربع پایین (AELQ[۳])، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین (PELQ[٤]) و ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU[٥]) را به عنوان عمده‌ترین پارامترها در ارزیابی سامانه‌های بارانی معرفی نمودند. با استفاده از معیارهای ارزیابی، سامانه‌های اجرا شده آبیاری در داخل کشور و سایر نقاط دنیا مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق بهرامی و همکاران (۱۳۹٦) که به بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در برخی از دشت‌های استان فارس پرداختند، اشاره کرد که نتایج نشان داد که فرونشت عمقی، قدیمی بودن سامانه‌ها، کمبود فشار و کم‌بودن دبی آبپاش‌ها از علل کاهش یکنواختی توزیع در سامانه‌های آبیاری در محل پژوهش بوده است. قربانی (۱۳۹۷) مقدار رواناب در خاک‌های سبک و سنگین را در آبیاری تفنگی مورد ارزیابی قرار داد و دریافت که هر چه سرعت دستگاه کم‌تر باشد امکان رواناب بیش‌تر است. در پژوهشی دیگر که توسط جعفری و همکاران (۱۳۹٦) به منظور ارزیابی و مقایسه اقتصادی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در زراعت سیب‌زمینی در همدان صورت گرفت، مشخص شد که روش کاشت مرسوم در آبیاری قطره‌ای از نظر اقتصادی برتر بوده است. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی از جمله آبیاری بارانی ویل موو، کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و سنترپیوت در استان سمنان توسط نادری و همکاران (۱۳۹۷)، انجام شد. نتایج نشان داد که پارامترهای PELQ، AELQ، CU و DU در مزرعه با سامانه سنترپیوت وضعیت بهتری را داشته که از جمله علل آن، طراحی مناسب سامانه، وجود آبپاش‌های مناسب، نو و پایین بودن ارتفاع آبپاش‌ها ذکر کرده‌اند. سالم (۱۳۸۹) سامانه‌های

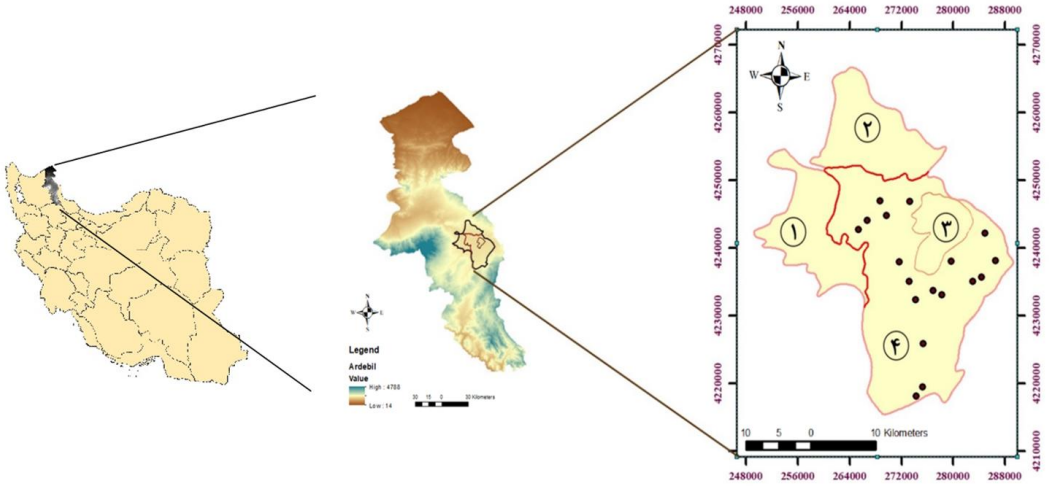
[2] Distribution Uniformity
[3] Actual efficiency of Low Quarter
[4] Potential Application Efficiency of Low Quarter
[5] Christensen Uniformity Coefficient

آبیاری بارانی کلاسیک متحرک را در دشت قروه ارزیابی نمود و نتایج نشان داد که کاهش فاصله آبپاش‌ها باعث افزایش ضریب یکنواختی در سامانه‌ها می‌شود. رئوف و همکاران (۱۳۹۷) با ارزیابی سامانه کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و مدل‌سازی تلفات تبخیر و بادبردگی آبپاش مدل ADF25 در منطقه مغان، دریافتند که در آبپاش مدل ADF25 عامل باد بیش‌ترین تأثیر و کمبود فشار بخار اشباع کم‌ترین تاثیر را بر تلفات تبخیر و بادبردگی داشته است. کاظمی و همکاران (۱۳۹۸)، سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان اقلید فارس را مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که با کاهش فواصل آبپاش‌ها، تنظیم فشار و عدم استفاده از تعداد زیاد آبپاش به طور همزمان، یکنواختی توزیع افزایش می‌یابد. همچنین، با کاهش مدت زمان آبیاری، تلفات آبیاری کاهش و بازده ترکیبی و بازده کاربرد آب در سامانه افزایش می‌یابد. استامبولی و همکاران (۲۰۱۳) مقدار تلفات تبخیر و باد را در سامانه کلاسیک ثابت در منطقه‌ای نیمه خشک در اسپانیا بررسی کردند و مقدار متوسط تلفات تبخیر و باد برای سامانه کلاسیک ثابت در طول روز و شب به ترتیب برابر ۱۵/٤ و ۸/۵ محاسبه شد. آبشیرو و سینگ (۲۰۱۸)، طی تحقیقی که برای ارزیابی سامانه‌های آبیاری در اتیوپی انجام دادند، دریافتند که این سامانه به اندازه ظرفیت طراحی، کار نمی‌کند، در همین راستا پیشنهاد شد برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس شرایط کار واقعی سامانه با توجه به ماه رشد و مرحله رشد انجام شود. ارزیابی سامانه‌های آبیاری معمولاً باید در یکی از مراحل از جمله پایان طراحی، حین اجرای سامانه، بلافاصله بعد از اجرای سامانه و سال‌ها بعد از بهره‌برداری باید انجام شود (عمران و همکاران، ۲۰۲۰). همان‌طور که اشاره شد استفاده از روش‌های نوین آبیاری، یکی از راه‌کارهای مدیریت بهینه منابع آب از طریق افزایش راندمان آبیاری است. برای این منظور در دشت اردبیل، اجرای سامانه‌های آبیاری بارانی در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته است. متعاقب آن نیاز است مشخص شود که آیا این سامانه‌ها به درستی طراحی شده‌اند؟ که اگر اجرای آن‌ها مطابق شرایط طراحی بوده باشد و بهره‌برداری این سامانه‌ها به درستی انجام شود، منجر به افزایش راندمان آبیاری می‌گردد؛ بنابراین این پژوهش با هدف تعیین میزان کارایی سامانه‌های اجرا شده در دشت اردبیل و مقایسه شرایط کار با طراحی در این سامانه‌ها از طریق معیارهای استاندارد انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت اردبیل در ناحیه شمال غرب ایران بین عرض شمالی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و طول‌شرقی ٤۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ٤۸ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده‌است (شکل ۱). ارتفاع متوسط اراضی کشاورزی حدود ۱۳٦۰ متر از سطح دریاهای آزاد است. وسعت آن حدود ۸۲۰ کیلومترمربع بوده و جزیی از حوزه آبخیز رود قره‌سو به‌شمار می‌رود (رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤). در کل دشت اردبیل، حدود ۱۳۷۰۰ هکتار به سامانه آبیاری مدرن مجهز شده که حدود ۳۰۰۰ هکتار آبیاری بارانی، حدود ۸۰۰ هکتار آبیاری قطره‌ای و حدود ۹۹۰۰ هکتار آبیاری کم فشار اجرا شده است.



شکل ۱- موقعیت محل انجام تحقیق (دشت اردبیل) در استان اردبیل (۱- منطقه مسکونی و طرح های سنتی و کم‌فشار ۲- منطقه دارای خاک غیرقابل کشت ۳- فرودگاه اردبیل ۴- منطقه مورد مطالعه در دشت اردبیل)

روش انجام تحقیق

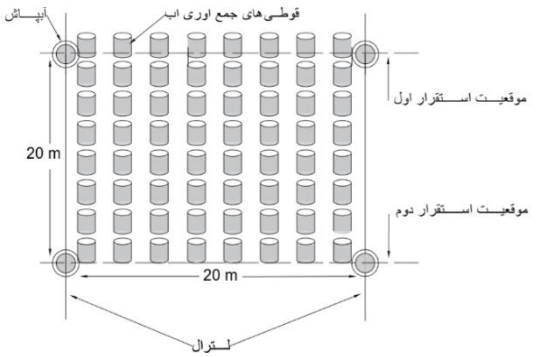
در این پژوهش، ۱۸ مزرعه مجهز به سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، با در نظر گرفتن معیارهایی از قبیل، حداقل یک فصل زراعی از بهره‌برداری آن‌ها سپری شده باشد، دارای دفترچه طراحی و مجوز از سازمان جهاد کشاورزی استان باشد، کمتر از پنج سال از شروع بهره‌برداری آن‌ها گذشته باشد و همچنین، پراکندگی در سطح دشت به گونه‌ای باشد که به صورت متوازنی در دشت اردبیل توزیع شده باشند، انتخاب شد. برخی از مشخصات سامانه‌های انتخاب شده در جدول (۱) ارائه شده است. علاوه بر مشخصات مندرج در جدول (۱)، اطلاعاتی از قبیل فشار تولیدی پمپ، الگوی نصب آبپاش‌های فعال، تعداد مجاز آبپاش فعال روی هر لاترال، فاصله آبپاش‌ها، الگوی کشت، ساعت آبیاری، تعداد آبپاش‌های فعال در کل مزرعه، نوع آبپاش، نوع پمپ، چیدمان اجزاء مختلف شبکه ابیاری و مشخصات فیزیکی شبکه (قطر، طول و جنس لوله‌ها) بررسی و با شرایط طراحی مقایسه شد تا میزان انطباق و عدم انطباق شرایط طراحی، با شرایط اجرا و بهره‌برداری در طرح‌ها مشخص شود. درهر کدام از مزارع در روز آبیاری و قبل از انجام آبیاری از لایه‌های مختلف خاک به منظور تعیین وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت زراعی (FC) نمونه‌های دست نخورده و همچنین برای تعیین بافت و رطوبت خاک، نمونه‌های دست خورده تهیه شد (فاریابی و همکاران، ۱۳۹۸).

جدول ۱- مشخصات سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک مورد مطالعه

شماره سامانه	روستا	مختصات	کشت موجود	مساحت (ha)	فاصله آبپاش‌ها (m×m)	مدل آبپاش	دبی آبپاش (lit/s)	نازل آبپاش (mm)
GA1	حصار	X:۲۷۴۵۹۴ Y:۴۲۱۷۶۰۵	گندم	۷/۶۵	۲۰×۲۰	ZK30	۲/۱۱	۱۰
GA2	نوشهر	X:۲۷۴۳۴۰ Y:۴۲۱۸۶۵۷	سیب زمینی	۱۳/۵۳	۲۰×۲۲	komet 162	۱/۹۳	۸
GA3	آراللو	X:۲۷۵۵۴۱ Y:۴۲۲۵۲۸۷	گندم	۴	۲۱×۲۱	komet 163	۱/۷	۸
GA4	تپراقلو	X:۲۷۵۰۸۷ Y:۴۲۳۰۸۳۱	سیب زمینی	۴۲/۴	۱۸×۱۹	komet 163	۱/۹۳	۸
GA5	تپراقلو	X:۲۷۷۸۸۲ Y:۴۲۳۱۵۷۶	گندم	۸	۱۸×۱۸	ZK30	۱/۷	۳/۱۷*۴/۷۶
GA6	تپراقلو	X:۲۷۸۸۴۶ Y:۴۲۳۱۵۹۸	غلات	۲۴/۲	۱۸/۵×۱۸/۵	Komet F41/2	۱/۴۲	۸*۳/۲
GA7	آقبلاغ	X:۲۷۴۳۷۶ Y:۴۲۳۳۰۳۲	سیب زمینی	۱۵	۲۱×۲۰	Komet 163-162	۱/۹۳	۸
GA8	تپراقلو	X:۲۷۹۳۷۹ Y:۴۲۳۲۵۹۵	غلات	۱۰	۲۰×۲۰	kamet163	۱/۹۳	۸
GA9	مرنی	X:۲۸۴۱۱۶ Y:۴۲۳۵۵۸۴	گندم	۱۳	۲۲×۲۲	kamet162	۲/۶۶	۸
GA10	مرنی	X:۲۸۵۲۰۸ Y:۴۲۳۶۰۲۴	گندم	۹	۲۲×۲۲	Komet 163-162	۲/۵	۸
GA11	قره تپه	X:۲۷۹۸۸۲ Y:۴۲۳۷۲۸۶	کلزا	۱۴/۸	۲۰×۲۰	Komet 163	۱/۹۳	۱۰
GA12	مرنی	X:۲۸۶۰۶۴ Y:۴۲۳۷۹۵۵	سیب زمینی	۸	۲۱×۲۱	kamet162-163	۲/۶۶	۱۰
GA13	آبیگلو	X:۲۸۴۴۸۶ Y:۴۲۴۱۶۳۸	گندم	۱۲	۲۰×۲۰	Komet 163	۱/۹۳	۸*۱۶
GA14	بابلان	X:۲۶۵۹۸۵ Y:۴۲۴۲۸۸۵	سیب زمینی	۴۳/۲۵	۱۸/۵×۱۸/۵	TN25	۱/۷۸	۸*۷
GA15	کرکرق	X:۲۶۹۷۱۰ Y:۴۲۴۴۶۴۱	کلزا	۱۰	۲۰×۲۰	kamet162-163	۱/۹۳	۸
GA16	کرکرق	X:۲۶۹۲۲۶ Y:۴۲۴۵۶۱۶	گندم	۳/۴	۲۰×۱۹	Komet 163	۱/۹	۸
GA17	تازه کند	X:۲۷۲۸۳۵ Y:۴۲۴۶۲۸۳	گندم	۴۲/۶	۲۰×۲۰	Komet R163-R162	۲/۶۶	۱۰
GA18	آقا باقیر	X:۲۷۱۴۰۶ Y:۴۲۳۷۵۰۲	سیب زمینی	۶۱/۵	۱۲×۱۲	Atom	۰/۴۹	۵/۵

با استفاده از مته نمونه‌برداری قبل از آبیاری نمونه خاک در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰،۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ تهیه شد. به منظور انتخاب محل مناسب برای استقرار آبپاش‌ها، با در نظر گرفتن توپوگرافی هر مزرعه، سعی شد موقعیتی در نظر گرفته شود که فشار متوسط سامانه در آنجا رخ دهد. به عنوان مثال چنانچه توپوگرافی زمین مسطح بود، محل استقرار آبپاش‌ها برای آزمایش، لاترال‌های میانه مزرعه بود (مولایی و همکاران، ۱۳۹۵). بعد از مشخص شدن مکان آزمایش، آبپاش‌ها، ابتدا در موقعیت استقرار (۱) قرار گرفت و به مدت زمان محاسبه

شده طبق جدول (۲) آبیاری، در استقرار اول، ادامه داشت و پس از پایان این مدت زمان آبپاش‌ها به موقعیت استقرار (۲) منتقل شده (شکل ۲) تا اثر متقابل آن‌ها نیز مشخص شود. مدت زمان آبیاری در استقرار دوم نیز برابر استقرار اول بود. مساحت بین آبپاش‌ها با استفاده از متر و میخ چوبی به فواصل مشخص ۸×۸ شبکه‌بندی و سپس قوطی‌های جمع‌آوری آب به تعداد ٦٤ عدد و با قطر (cm ١٤/٥) و ارتفاع (cm ١٢) در شبکه‌های منظم قرار گرفت. در کل مدت زمان پاشش آبپاش‌ها، برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر از یک قوطی پر از آب استفاده شد. پایه‌های قرارگیری قوطی‌ها به صورت متغیر و متناسب با الگوی کشت و مراحل مختلف رشد گیاه تهیه شد تا بر مقدار آب جمع شده در قوطی‌ها تأثیر نداشته باشد. در پایان آزمایش، حجم آب جمع شده در قوطی‌ها با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد (قاسم‌زاده مجاوری، ۱۳۷۷). در شکل (۲) نحوه قرار گرفتن قوطی‌ها نشان داده شده است. علاوه بر ویژگی‌های اقلیمی و خصوصیات خاک، دبی و فشار آبپاش نیز اندازه‌گیری شد. دبی آبپاش‌ها به روش حجمی و با استفاده از یک ظرف ۲۰ لیتری و در مدت زمان ۱۰ ثانیه و با تعداد سه تکرار برای هر آبپاش انجام شد. فشار سر آبپاش نیز با استفاده از فشارسنج اندازه‌گیری شد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸). از جمله عوامل تاثیرگذار بر بازده آبیاری، تلفات بادبردگی و تبخیر از سامانه آبیاری بارانی اجرا شده است. سرعت باد، میزان بارندگی، رطوبت نسبی و همین‌طور دما از پارامترهای تاثیر گذار بر مقدار این تلفات‌ها است. میانگین این پارامترها از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه اردبیل با مشخصات جغرافیایی E ′٢٥/٤٥٢ °٤٨، N ′١٩/٥٣٦ °٣٨ و ارتفاع ۱۳۱۵ متر از سطح دریا، در سال ۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. میانگین رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت باد، بیشینه دما، کمینه دما و متوسط دما به ترتیب برابر ٧٣/٨ درصد، ٢٤/٤ میلی متر، ٥/٤ متر بر ثانیه، ١٦/٧ درجه سانتی‌گراد، ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و ۹/٤ درجه سانتی‌گراد در دوره آماری پنج ساله است. همچنین، برای اینکه ارزیابی سامانه‌های آبیاری در بالاترین راندمان صورت گیرد، برداشت‌ها در دامنه سرعت باد ۰ تا چهار متر بر ثانیه در کلیه مزارع انجام شد (علیزاده، ۱۳۹۰).



شکل ۲- ترتیب قرار گرفتن قوطی‌های جمع‌آوری آب (کلر و بلینسر، ۱۹۹۰)

شاخص‌های ارزیابی

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، مقدار رطوبت سهل الوصول که از آن می‌تواند استفاده کند، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۹۰):

$$\mathrm{RAW} = \frac{D_{rz} \times MAD \times (\theta_{fc} - \theta_c)}{100} \qquad (۱)$$

RAW: رطوبت سهل الوصول (میلی متر)D_{rz}: حداکثر عمق توسعه ریشه (متر)، MAD: حداکثر تخلیه مجاز، θ_{fc}: رطوبت حجمی ظرفیت زراعی (درصد)، θ_c: رطوبت برداشت‌شده قبل از آزمایش (درصد).

شدت پاشش و زمان آبیاری با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد (علیزاده، ۱۳۹۰):

$$I_g = \frac{Q_c}{A} \qquad (۲)\ \text{شدت پاشش}$$

$$T = \frac{dn}{I_g} \times 60 \qquad (۳)\ \text{زمان آبیاری}$$

I_g: شدت پاشش ($^{m}/_{hr}$)، Q_c : دبی اندازه‌گیری شده از سر نازل آبپاش ($^{m^3}/_{s}$)، A: مساحت (m^2). T: زمان آبیاری (min).

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز پارامتر-های تعریف شده برای ارزیابی فنی شامل ضریب یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ)، راندمان واقعی در ربع پایین (AELQ) و ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (مریام و کلر، ۱۹۷۸):

$$DU_t = \frac{D_q}{\bar{D}} \times 100 \qquad (٤)$$

DU_t: یکنواختی توزیع در ربع پایین اطلاعات (صد)، D_q: متوسط عمق آب در یک چهارم کم‌ترین مقادیر اندازه‌گیری شده (میلی‌متر)، $\bar{D}$: متوسط عمق‌های آب جمع‌شده در قوطی‌ها (میلی متر).

$$CU_t = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}|D_i - \bar{D}|}{\bar{D} \times N}\right] \qquad (٥)$$

CU_t : ریب یکنواختی کریستیانسن بلوک آزمایش (درصد)، D_i: عمق آب در هر یک از قوطی‌های جمع-آوری (میلی‌متر)، N: تعداد مشاهدات (قوطی‌ها). برای CU>۷۰، رابطه (۵) بصورت زیر اصلاح می‌شود (مرکلی و آلن، ۲۰۰٤).

$$CU_t = \left[100 * \frac{D_j}{\bar{D}}\right] \qquad (٦)$$

D_j: متوسط عمق آب در یک دوم کم‌ترین مقادیر.

برای محاسبه راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین از رابطه (۷) می‌توان استفاده کرد.

$$AELQ_t = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \qquad (٧)$$

$AELQ_t$: راندمان کاربرد واقعی در ربع پایین (درصد)، D_r: متوسط آب آبیاری اندازه‌گیری شده (میلی‌متر). به-منظور نسبت دادن ضرایب یکنواختی محاسبه‌شده به کل سامانه، این مقادیر با توجه به اختلاف فشار موجود در هریک از سامانه‌ها با استفاده از رابطه زیر تعدیل می‌شود (توپاک و همکاران، ۲۰۰۵).

$$CU_s = CU_t \left[\frac{1+\left(\frac{P_{min}}{P_{mean}}\right)^{0.5}}{2}\right] \qquad (٨)$$

به‌همین منظور، یکنواختی‌های توزیع محاسبه‌شده نیز با استفاده از رابطه زیر تعدیل می‌شود (توپاک و همکاران، ۲۰۰۵).

$$DU_s = DU_t \left[\frac{1+3\left(\frac{P_{min}}{P_{mean}}\right)^{0.5}}{4}\right] \qquad (٩)$$

در این روابط:

P_{min} و P_{men} به ترتیب حداقل فشار و میانگین فشار سامانه و DU_s ، DU_t به ترتیب یکنواختی توزیع سامانه و ضریب یکنواختی می‌باشند، سپس راندمان واقعی کاربرد آب با استفاده از رابطه (۸) قابل محاسبه است. فشار متوسط با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد(مرکلی و آلباشد (۰٤).

$$P_{mean} = \frac{2P_{min}+P_{max}}{3} \qquad (١٠)$$

در صورتی که میانگین یک چهارم عمق آب ذخیره در خاک بیش‌تر از مقدار آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک از وضع موجود به ظرفیت زراعی باشد، تلفات نفوذ عمقی نسبتا زیادی وجود داشته و راندمان واقعی کاهش پیدا می‌کند که در این‌صورت در رابطه (۸) به‌جای میانگین یک چهارم عمق آب ذخیره‌شده در ناحیه ریشه، کمبود رطوبت خاک (SMD) قرار می‌گیرد (مرکلی و آلن، ۲۰۰٤).

$$\mathrm{AELQ_t} = \frac{\mathrm{SMD}}{\mathrm{D_r}} \times 100 \qquad (١١)$$

راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین با استفاده از معادله زیر بدست آمد (قاسم‌زاده مجاوری، ۱۳۷۷):

$$\mathrm{PELQ_t} = \frac{\mathrm{D_q}}{\mathrm{D_r}} \times 100 \qquad (١٢)$$

برای محاسبه راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی کاربرد کل سامانه ار روابط زیر استفاده می شود.

$$\mathrm{AELQ_s} = (1 - \mathrm{ER}) \times \mathrm{AELQ_t} \qquad (١٣)$$

$$\mathrm{PELQ_s} = (1 - \mathrm{ER}) \times \mathrm{PELQ_t} \qquad (١٤)$$

ER: ضریب کاهش راندمان که به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\mathrm{ER} = \frac{0.2\times(\mathrm{P_{max}} - \mathrm{P_{min}})}{\mathrm{P_{mean}}} \qquad (١٥)$$

پارامترهای P_{min} ، P_{mean} و P_{max} به‌ترتیب حداقل فشار و میانگین فشار و حداکثر فشار سامانه (bar) می‌باشند.

برای محاسبه میزان درصد تلفات تبخیر و باد (WDEL) از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود (دچمی و همکاران، ۲۰۰۳).

$$WDEL = \frac{D_r - \overline{D}}{D_r} \times 100 \qquad (۱۶)$$

$\overline{D}$: متوسط عمق‌های آب جمع‌شده در قوطی‌ها (میلی-متر)، D_r: متوسط آب آبیاری اندازه‌گیری شده (میلی-متر).

برای محاسبه میزان درصد نفوذ عمقی (D_P) برای دو حالت آبیاری کامل و آبیاری ناقص از روابط زیر استفاده می‌شود.

برای آبیاری کامل $D_P = \frac{\overline{D} - SMD}{D_r} \times 100$ (۱۷)

برای آبیاری ناقص $D_P = \frac{V_{Z1} - (SMD \times AD_{irr} \times S_l \times S_m)}{q \times T_{irr}} \times 100$ (۱۸)

q: دبی متوسط آبپاش (m^3/s)، T_{irr}: مدت زمان آبیاری (ثانیه)، S_l: فاصله آبپاش ها بر روی یک لترال (متر)، S_m: فاصله ردیف‌های آبیاری (متر)، AD_{irr}: درصد کفایت آبیاری، V_{Z1}: کل حجم آب نفوذ کرده (m^3)

برای محاسبه درصد کفایت و کل حجم آب نفوذیافته از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$AD_{irr} = \frac{N_1}{N} \times 100 \qquad (۱۹)$$

N_1: تعداد قوطی‌هایی که آب جمع‌شده در آن‌ها بیش‌تر و یا مساوی SMD است N: تعداد کل قوطی‌ها

$$V_{Z1} = \sum_{i=1}^{i:D_i \geq SMD} (D_i \times A_i) \times S_l \times S_m \qquad (۲۰)$$

A_i: درصد مساحتی که توسط هر یک از قوطی‌های جمع-آوری آب پوشیده شده است ($\frac{1}{N} \times 100$).

بازده ترکیبی با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (دچمی و همکاران، ۲۰۰۳).

$$E_c = \frac{((100 - D_P)(100 - WDEL))}{100} \qquad (۲۱)$$

لازم به ذکر است که محدوده قابل قبول پیشنهاد شده برای ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع آب در ربع پایین بصورت زیر می‌باشد (مریام و کلر، ۱۹۷۸):

$$0.81 \leq CU \leq 0.87 \quad و \quad 0.67 \leq DU \leq 0.8 \qquad (۲۲)$$

همچنین برای راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ) و راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ) محدوده پیشنهاد شده به صورت زیر در تحقیق مورد استفاده قرار گرفت (مریام و کلر، ۱۹۷۸):

$$0.65 \leq PELQ \leq 0.85 \quad و \quad 0.65 \leq AELQ \leq 0.85 \qquad (۲۳)$$

نتایج و بحث

قبل از شروع آزمایش و برای اندازه‌گیری اجزاء تلفات، از قبیل مقدار نفوذ عمقی و سایر پارامترهای ارزیابی، نیاز آبی بر اساس نمایه خاک، طبق مراحل تشریح شده، بر اساس رطوبت خاک محاسبه شد. سپس با استفاده از نیاز آبی و شدت پاشش محاسبه شده زمان آبیاری برای آزمایش در هر زمین طبق جدول (۲) بدست آمد. متناسب با شرایط رطوبت خاک قبل از آزمایش، زمان آبیاری از ۱۴ دقیقه تا ۱۷۲ دقیقه متغیر بود. اطلاعات مربوط به آزمایش خاک مزارع در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج آزمایش-ها نشان می‌دهد که خاک تمامی مزارع به دلیل داشتن EC پایین (کمتر از چهار دسی زیمنس بر متر) در طبقه‌بندی خاک‌های متاثر از نمک، در رده نرمال قرار می‌گیرد. به طور کلی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد ارزیابی در محدوده‌ای قرار دارد که برای آبیاری بارانی محدودیت کاربری ندارد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۲- اطلاعات مربوط به رطوبت خاک و نیاز آبی گیاه

شماره سامانه	(Θ_{fc}) رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	(Θ_i) رطوبت اندازه‌گیری شده قبل آزمایش (درصد حجمی)	نیاز آبی گیاه (m)	شدت پاشش ($^m/_{hr}$)	زمان آبیاری (min)
GA1	۲۷	۲۵/۱۹	۰/۰۱۱	۰/۰۱۹	۳۴
GA2	۳۶	۲۶/۶۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۷۱
GA3	۲۸	۲۳/۶۷	۰/۲۶۹	۰/۰۱۵	۱۰۲
GA4	۳۷	۲۷/۰۶	۰/۱۷۸	۰/۰۲۵	۴۱
GA5	۳۹	۳۰/۹۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۶۹
GA6	۲۷	۲۴/۹۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	۴۹
GA7	۳۱	۲۴/۸۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۳۹
GA8	۲۹	۲۷/۷۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۶	۲۸
GA9	۳۱	۳۰/۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸	۱۷
GA10	۳۱	۲۶/۸۵	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۷۸
GA11	۳۱	۲۹/۵۱	۰/۰۰۹	۰/۰۱۶	۳۵
GA12	۳۱	۲۸/۲۳	۰/۰۰۴	۰/۰۲۰	۱۴
GA13	۳۱	۳۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۲۰
GA14	۲۹	۲۴/۸۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۷	۲۵
GA15	۳۱	۲۹/۹۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۲۴
GA16	۳۱	۲۹/۹۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۲۱
GA17	۳۱	۲۶/۸۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۶۸
GA18	۴۴	۲۳/۹۳	۰/۰۳۶	۰/۰۱۲	۱۷۲

در روش‌های مختلف آبیاری بارانی، انتخاب آبپاش‌ها بر مبنای سرعت نفوذ آب به خاک مشخص می‌شود. هرگاه شدت پاشش که تحت عوامل مختلفی از قبیل، نوع خاک، پستی و بلندی سطح زمین، مدیریت، مشخصات هیدرولیکی آبپاش‌ها و نوع گیاه افزایش یابد، پتانسیل ایجاد رواناب سطحی افزایش می‌یابد (قربانی، ۱۳۹۷). با مقایسه نفوذپذیری نهایی خاک از جدول (۳) با شدت پاشش آبپاش‌ها (جدول ٤) می‌توان دریافت که تنها در مزارع GA2، GA4، GA5 و GA13 مقدار نفوذپذیری نهایی از مقدار پاشش آبپاش بر روی زمین بیش‌تر است. در سایر زمین‌ها، مقدار نفوذپذیری نهایی از شدت پاشش روی زمین کم‌تر است که پتانسیل ایجاد رواناب را افزایش می‌دهد که در نهایت پتانسیل تلفات را افزایش می‌دهد. در جدول (٤) نتایج مربوط به اندازه‌گیری شدت خروجی از آبپاش، شدت متوسط پاشش روی زمین، مقدار و درصد تلفات تبخیر و بادبردگی ارائه شده است. نتایج نشان داد که سامانه‌های GA16، GA6 و GA15 به دلیل اختلاف بیش‌تر شدت خروجی آبپاش و شدت متوسط پاشش روی زمین، به ترتیب با مقادیر ۱۷/٦۷، ۱٦/۲۱ و ۱۵/۳۲ درصد نسبت به سامانه‌های دیگر دارای درصد تلفات بادبردگی و تبخیر بیش‌تری می‌باشند. در مقابل سامانه‌های GA17، GA4 و GA18 نسبت به سامانه‌های دیگر به علت اختلاف کم‌تر شدت خروجی آبپاش و شدت متوسط پاشش روی زمین، به ترتیب با مقادیر ۱/۸۱، ۲/۱۸ و ۲/۵۵ درصد تلفات بادبردگی و تبخیر کم‌تری داشتند. با توجه به انجام آزمایش‌ها برای دستیابی به راندمان بیش‌تر (طبق ضوابط طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی، ۱۳۸۳)، در شرایط باد کم (صفر تا ۱/۷۷ متر بر ثانیه)، نکته مهم در مورد مقادیر بیشینه و کمینه تلفات تبخیر و بادبردگی، دامنه تقریباً زیاد (از ۱/۸۱ تا ۱۷/٦۷ درصد) در محل پژوهش است که در شرایط وزش باد متوسط و تند این دامنه به سمت افزایش تلفات بادبردگی و تبخیر گسترش پیدا خواهد نمود. از جمله شاخص‌های دیگری که برای ارزیابی سامانه‌ها استفاده شدند، ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع آب در ربع پایین، بازده پانسیل و بازده واقعی کاربرد در ربع پایین که به تفکیک برای بلوک آزمایش و سامانه آبیاری محاسبه شده است (جدول ۵).

جدول ۳- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع

شماره سامانه	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری(gr/cm^3)	هدایت الکتریکی (ds/m)	اسدیته خاک اشباع	رطوبت قابل استفاده خاک (mm/m)	نفوذ پذیری نهایی (mm/hr)
GA1	Clay Loam	۱/۴۵	۱/۱۶	۷/۶	۱۹۰	۸
GA2	Loam	۱/۳۷	۱/۲۹	۶/۸۶	۱۷۰	۱۳
GA3	Clay Loam	۱/۴۰	۱/۴	۷/۶۷	۱۹۰	۸
GA4	Loam	۱/۳۸	۱/۲۵	۷/۸۱	۱۷۰	۱۳
GA5	Loam	۱/۳۸	۰/۴۲	۷/۹۸	۱۷۰	۱۳
GA6	Clay Loam	۱/۴۱	۲/۱۹	۷/۸۸	۱۹۰	۸
GA7	Loam	۱/۳۹	۱/۴۴	۷/۸۸	۱۷۰	۱۳
GA8	Clay Loam	۱/۴۱	۱/۶۵	۷/۷۴	۱۷۰	۱۳
GA9	Clay Loam	۱/۳۸	۱/۷۸	۷/۳۵	۱۹۰	۸
GA10	Clay Loam	۱/۴۲	۱/۲۶	۷/۷۸	۱۹۰	۸
GA11	Clay Loam	۱/۴	۱/۲۱	۷/۶۲	۱۹۰	۸
GA12	Loam	۱/۳۶	۱/۱۲	۷/۱۹	۱۷۰	۱۳
GA13	Loam	۱/۳۹	۰/۶	۷/۶	۱۹۰	۱۳
GA14	Clay Loam	۱/۴۲	۱/۳۴	۷/۷۶	۱۹۰	۸
GA15	Loam	۱/۳۹	۲/۲۱	۷/۲۲	۱۷۰	۱۳
GA16	Loam	۱/۳۸	۰/۷۱	۷/۸۳	۱۷۰	۱۲
GA17	Clay Loam	۱/۴۳	۲/۸۲	۸/۴	۱۹۰	۸
GA18	Clay Loam	۱/۲۵	۱/۷۲	۷/۷	۱۷۰	۸

بنابر نتایج به دست آمده، ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) در بلوک آزمایش در محدوده ۷۹/۷۵ تا ۸۸/۹۹ درصد می‌باشد که تقریبا در محدوده پیشنهاد شده مریام و کلر (۱۹۷۸) می‌باشد (رابطه ۲۲). همچنین این محدوده در سامانه از ۷۷/۲٦ تا ۸۸/۹٤ درصد متغیر می‌باشد که تا حدودی بیش‌تر از مقدار پیشنهاد شده که دلیل آن تغییرات فشار در سامانه و بلوک آزمایش می‌باشد.

جدول ۴- اطلاعات مربوط به شدت خروجی از آبپاش، شدت پاشش روی زمین و مقدار تلفات در محل تحقیق

شماره سامانه	شدت خروجی از آبپاش (mm/hr)	شدت پاشش روی زمین (mm/hr)	مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی (mm/hr)	درصد تلفات تبخیر و بادبردگی
GA1	۱۴/۹۱	۱۳/۶۶	۱/۲۶	۸/۴۲
GA2	۱۳/۰۳	۱۲/۶۴	۰/۳۹	۲/۹۸
GA3	۱۴/۱۹	۱۲/۷۴	۱/۴۵	۱۰/۱۸
GA4	۱۲/۹۸	۱۲/۶۹	۰/۲۸	۲/۱۸
GA5	۱۲/۳۸	۱۱/۲۶	۱/۱۳	۹/۰۸
GA6	۱۴/۶۸	۱۲/۳۰	۲/۳۸	۱۶/۲۱
GA7	۱۵/۵۷	۱۴/۲۳	۱/۳۵	۸/۶۴
GA8	۱۳/۹۵	۱۳/۳۸	۰/۵۷	۴/۰۷
GA9	۱۲/۲۱	۱۱/۷۱	۰/۵۰	۴/۰۶
GA10	۱۵/۳۷	۱۴/۷۹	۰/۵۸	۳/۷۹
GA11	۱۳/۷۳	۱۲/۱۶	۱/۵۶	۱۱/۳۹
GA12	۱۳/۹۴	۱۳/۱۴	۰/۷۶	۵/۴۹
GA13	۱۴/۶۹	۱۲/۸۴	۱/۸۵	۱۲/۵۶
GA14	۱۳/۴۵	۱۲/۵۲	۰/۹۲	۶/۸۷
GA15	۱۶/۳۵	۱۳/۸۵	۲/۵۱	۱۵/۳۲
GA16	۱۷/۲۷	۱۴/۲۱	۳/۰۵	۱۷/۶۷
GA17	۱۵/۱۴	۱۴/۸۶	۰/۲۷	۱/۸۱
GA18	۱۳/۵۳	۱۳/۱۹	۰/۳۵	۲/۵۵
میانگین	۱۴/۳	۱۳/۱	۱/۲	۸/۰
انحراف معیار	۱/۳۴	۱/۰۱	۰/۸۳	۵/۰۷

ضریب یکنواختی توزیع آب (DU) در بلوک آزمایش و سامانه به ترتیب از ۶۷/۸۹ تا ۸۰/۷۶ درصد و ۶۴/۵۳ تا ۸۲/۱۶ درصد متغیر بود. علت کم بودن این مقدار در سامانه، نسبت به محدوده پیشنهادی مریام و کلر (۱۹۷۸) می‌تواند در اثر استفاده همزمان تعداد زیاد آبپاش و یا فاصله نامناسب آبپاش‌ها باشد. در تحقیقی مشابه که فاریابی و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی سیستم‌های آبیاری کلاسیک ثابت دشت دهگلان انجام دادند، پایین بودن فشار در سیستم آبیاری و زیاد بودن فاصله آبپاش‌ها را دلیل پایین بودن ضرایب یکنواختی دانستند. در این تحقیق نیز در برخی از زمین‌ها به علت عدم رعایت تعداد مجاز آبپاش روی هر لاترال فشار مورد نیاز آبپاش تأمین نشده و باعث کاهش ضریب یکنواختی گردیده است. متوسط ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع آب در بلوک آزمایش به ترتیب برابر ۸۳/۴۶ و ۷۴/۹۶ درصد می‌باشد که در محدوده پیشنهادی مریام و کلر (۱۹۷۸) قرار دارد. بالاترین مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع در بلوک آزمایش مربوط به زمین GA7 با مقادیر ۸۸/۹۹ و ۸۰/۷۶ درصد است و با توجه به بازدید میدانی، علاوه بر رعایت سایر نکات، رعایت فاصله و تعداد مجاز آبپاش روی لاترال از جمله عوامل مقدار بالای ضریب یکنواختی در این زمین بود. در پژوهشی که در اراک انجام شده، فاصله مناسب آبپاش‌ها را یکی از دلایل اصلی بالا بودن ضرایب یکنواختی گزارش نمودند (برادران هزاوه و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین، کم‌ترین مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع در بلوک آزمایش به ترتیب مربوط به مزارع GA14 و GA2 با مقادیر ۷۹/۷۵ و ۶۷/۸۹ است، علت کم بودن این مقادیر را می‌توان به استفاده هم‌زمان از تعداد زیاد آبپاش، فشار کارکرد کمتر از میزان مورد انتظار و عمود نبودن پایه آبپاش‌ها، دانست که این عوامل نیز در زمین‌های یادشده شده نیز مشاهده شد مشابه این نتیجه در تحقیق کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) نیز گزارش شده است. در محل پژوهش راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین، برای بلوک آزمایش در دامنه ۶۰/۶۲ تا ۷۷/۶۶ درصد متغیر بود که اندکی کم‌تر از محدوده پیشنهادی توسط مریام و کلر (۱۹۷۸) است (رابطه ۲۳). همچنین، راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین برای سامانه در محدوده ۶۰/۸۳ تا ۷۴/۸۲ درصد بدست آمد که این مقدار نیز کم‌تر از مقدار پیشنهادی است. با توجه به بررسی‌های انجام شده در محل این پژوهش، دلیل کم‌بودن این شاخص می‌تواند فشار نامناسب پمپ و عدم رعایت فاصله آبپاش‌ها (مشکلات اجرایی)، الگوی نصب و عدم رعایت آبپاش‌های مجاز روی هر لاترال، الگوی کشت و ساعت آبیاری (مشکلات بهره‌برداری) باشد. فاریابی و همکاران (۱۳۹۸)، با بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در دشت دهگلان کردستان، عامل پایین بودن عملکرد سامانه‌ها را در مشکلات طراحی و اجرایی و همین‌طور در مدیریت و بهره‌وری ضعیف سامانه‌های آبیاری، دانستند. راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین و در بلوک آزمایش، طبق نتایج در محدوده ۶۳/۲۹ تا ۷۷/۶۶ درصد محاسبه شد. این شاخص برای سامانه در محدوده ۶۰/۸۳ تا ۷۴/۸۲ درصد متغیر بود که کم‌تر از مقدار پیشنهادی است. با توجه به جدول (۵) مقادیر شاخص AELQ در ۷۲/۲ درصد از سامانه‌های آبیاری برابر با مقدار PELQ به دست آمده است و علت آن این است که حداقل آب داده شده به زمین و ذخیره شده در منطقه ریشه، کم‌تر از کمبود رطوبتی خاک بوده است که مطلب توسط لوپز و ماتا، (۲۰۱۰) مورد اشاره قرار گرفته است.

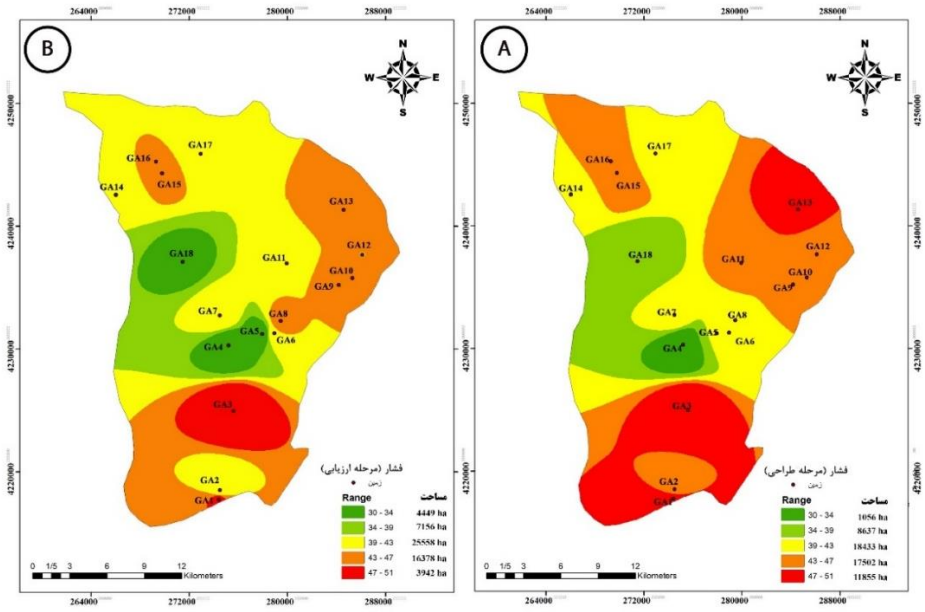
جدول ۵- خلاصه نتایج پارامترهای ارزیابی در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک

شماره سامانه	بلوک آزمایش (٪)				سامانه (٪)			
	CU	DU	AELQ	PELQ	CU	DU	AELQ	PELQ
GA1	۸۱/۲	۷۳/۳	۶۷/۱	۶۷/۱	۸۰/۰	۷۱/۶	۶۴/۶	۶۴/۶
GA2	۷۹/۸	۶۷/۸	۶۵/۸	۶۵/۸	۷۷/۲	۶۴/۵	۶۰/۸	۶۰/۸
GA3	۸۱/۵	۷۲/۷	۶۵/۳	۶۵/۳	۸۱/۰	۷۲/۰	۶۴/۳	۶۴/۳
GA4	۸۱/۹	۷۲/۸	۷۱/۲	۷۱/۲	۷۹/۶	۶۹/۸	۶۶/۶	۶۶/۶
GA5	۸۱/۷	۷۴/۸	۶۸/۰	۶۸	۷۸/۷	۷۰/۷	۶۲/۳	۶۲/۳
GA6	۸۵/۲	۷۷/۸	۶۵/۲	۶۵/۲	۸۳/۸	۷۵/۸	۶۲/۶	۶۲/۶
GA7	۸۸/۹	۸۰/۷	۷۳/۷	۷۳/۷	۸۷/۹	۷۹/۳	۷۱/۶	۷۱/۶
GA8	۸۳/۰	۷۴/۰	۶۷/۵	۷۱/۰	۸۲/۳	۷۳/۱	۶۶/۲	۶۹/۷
GA9	۸۱/۲	۷۲/۴	۶۶/۵	۶۹/۵	۸۰/۱	۷۱/۰	۶۴/۴	۶۷/۳
GA10	۸۵/۶	۷۶/۹	۷۴/۰	۷۴	۸۴/۶	۷۵/۵	۷۱/۹	۷۱/۹
GA11	۸۵/۲	۷۵/۹	۶۴/۸	۶۴/۸	۸۳/۶	۷۳/۷	۶۱/۹	۶۴/۲
GA12	۸۲/۴	۷۴/۹	۷۰/۸	۷۰/۸	۸۱/۲	۷۳/۳	۶۸/۴	۶۸/۴
GA13	۸۶/۱	۷۹/۰	۶۴/۵	۶۹/۱	۸۵/۷	۷۸/۳	۶۳/۶	۶۸/۱
GA14	۷۹/۷	۷۰/۷	۶۵/۹	۶۵/۹	۷۷/۷	۶۸	۶۱/۹	۶۱/۹
GA15	۸۴/۵	۷۵/۸	۶۲/۶	۶۴/۲	۸۳/۶	۷۴/۷	۶۱/۱	۶۲/۷
GA16	۸۵/۰	۷۶/۸	۶۰/۶	۶۳/۲	۸۸/۹	۸۶/۱	۶۸	۷۱/۱
GA17	۸۷/۱	۷۹/۰	۷۷/۶	۷۷/۶	۸۵/۸	۷۷/۲	۷۴/۸	۷۴/۸
GA18	۸۱/۲	۷۳/۰	۷۱/۲	۷۱/۲	۷۹/۱	۷۰/۲	۶۶/۹	۶۶/۹
متوسط	۸۳/۴	۷۴/۹	۶۷/۹	۶۸/۹	۸۲/۳	۷۳/۴	۶۵/۷	۶۶/۷

در جدول (٦) اطلاعات مربوط به فشار، تغییرات فشار و ضریب کاهش راندمان (با استفاده از رابطه ۱۹) در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت برای مزرعه‌های مورد مطالعه، ارائه شده است. نتایج نشان داد که از بین سامانه‌های بررسی شده فقط سه مزرعه GA7، GA9 و GA17 دارای فشار متناسب با فشار طراحی است. اگر چه بقیه سامانه‌ها، دارای فشاری بیش‌تر و یا کم‌تر از مقدار فشار طراحی بودند، اما تغییرات فشار در این سامانه‌ها در محدوده تغییرات مجاز ($\bar{P} \mp 0.2\bar{P}$) بود (مریام و کلر، ۱۹۷۸). تغییرات فشار زمین‌های GA13، GA3 و GA16 با مقادیر ۲/۲۷، ٤/٥٤ و ٤/٦٥ متر آب از شرایط بهتری برخوردار بودند که باعث شده ضریب کاهش راندمان در این زمین‌ها نسبت به زمین‌های دیگر کم‌تر باشد. لذا تغییرات راندمان واقعی کاربرد و راندمان پتانسیل کاربرد در بلوک آزمایش نسبت به سامانه کم‌تر است (جدول ۵). در پژوهشی که توسط کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸ در شهرستان اقلید فارس انجام شد، مشخص شد که ۱۰۰ درصد سامانه آبیاری انتخاب شده دارای اختلاف فشار بیش‌تر از حد مجاز بودند و همواره این اختلاف فشار در اثر تلفات آب در مسیر لوله‌ها، به خصوص در محل اتصالات بوده است. نتایج شکل (۳) عدم انطباق تغییرات فشار در مرحله طراحی (استخراجی از دفترچه طراحی) و تغییرات فشار در مرحله ارزیابی (اندازه‌گیری شده) را نشان می‌دهد که این عدم انطباق به نسبت در نیمه شمالی دشت بیش‌تر است و علت آن تغییرات بیش‌تر فشار (٤۳ تا ٤۷ متر) در نیمه بالای جدول (زمین‌های GA1 تا GA10) است. اگرچه در محل انجام پژوهش تغییرات فشار وجود دارد، اما نکته حائز اهمیت این است که این تغییرات در دامنه مجاز ($\bar{P} \mp 0.2\bar{P}$) است. با در نظر گرفتن حداقل و حداکثر فشار شبکه‌ها، فشار در کلاس‌های ۳۰-۳٤، ۳٤-۳۹، ٤۳-٤۷، ٤۷-٥۱ متر تقسیم‌بندی شد، در مقایسه با شرایط طراحی کلاس ۳۹-٤۳ متر با ٤٤ در درصد کلاس ٤۷-٥۱ متر با هفت درصد از مساحت کل، بیش‌ترین و کم‌ترین وسعت را به خود در مرحله اجرا اختصاص داد.

جدول ۶- تغییرات فشار (بار) در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک

شماره سامانه	طراحی	اندازه‌گیری			تغییر فشار ارزیابی (٪)	ضریب کاهش راندمان
		حداکثر	متوسط	حداقل		
GA1	۴۹	۵۲	۴۸/۴	۴۴	۹/۱۴	۰/۰۳۳
GA2	۴۴	۴۶	۳۸/۶	۳۲	۱۷/۲۴	۰/۰۷۲
GA3	۴۹	۵۳	۵۱/۳	۴۹	۴/۵۴	۰/۰۱۵
GA4	۲۹	۳۴	۲۹/۸	۲۵	۱۶/۳۵	۰/۰۶۰
GA5	۳۸	۳۷	۳۰	۲۶	۱۳/۳۳	۰/۰۷۳
GA6	۴۱	۴۶	۴۳/۴	۳۸	۱۲/۴۷	۰/۰۳۷
GA7	۴۲	۴۶	۴۲/۶	۴۰	۶/۲۵	۰/۰۲۸
GA8	۴۳	۴۶	۴۴/۲	۴۲	۵/۰۸	۰/۰۱۸
GA9	۴۴	۴۹	۴۳/۷	۴۰	۸/۴۹	۰/۰۴۱
GA10	۴۳	۴۶	۴۲/۷	۴۰	۶/۴۳	۰/۰۲۸
GA11	۴۴	۴۶	۴۳/۳	۳۷	۱۲/۵۲	۰/۰۴۲
GA12	۴۳	۴۷	۴۲/۷	۴۰	۶/۴۹	۰/۰۳۲
GA13	۴۷	۴۶	۴۴	۴۳	۲/۲۷	۰/۰۱۳
GA14	۳۹	۴۴	۳۹	۳۳	۱۵/۳۸	۰/۰۵۶
GA15	۴۶	۴۶	۴۳/۶	۴۱	۶/۱۰	۰/۰۲۲
GA16	۴۵	۴۵	۴۳	۴۱	۴/۶۵	۰/۰۱۸
GA17	۴۰	۴۳	۳۹/۸	۳۶	۹/۵۴	۰/۰۳۵
GA18	۳۴	۳۶	۳۲/۸	۲۷	۱۷/۸۷	۰/۰۵۴

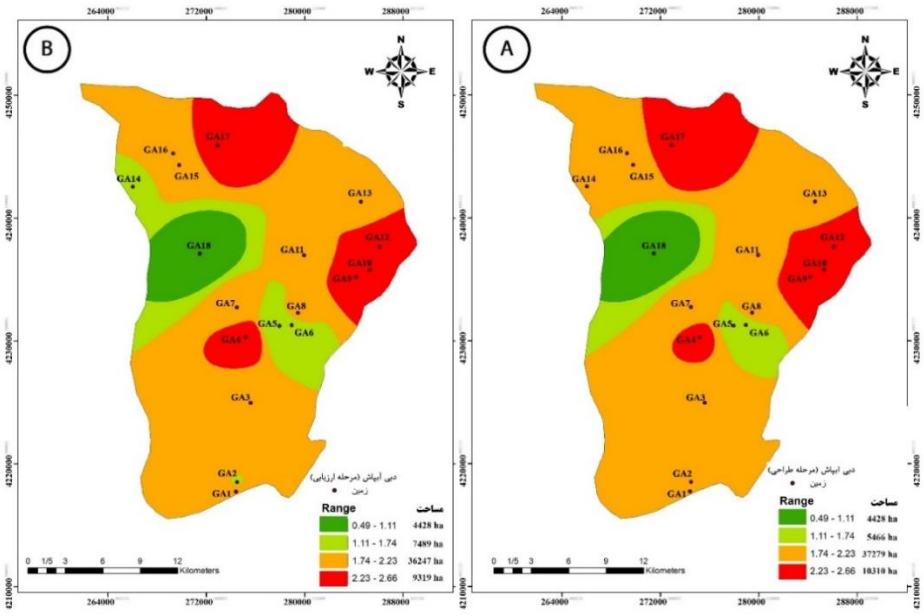


شکل ۳- تغییرات فشار مرحله طراحی (A) و مرحله ارزیابی (B) در دشت اردبیل

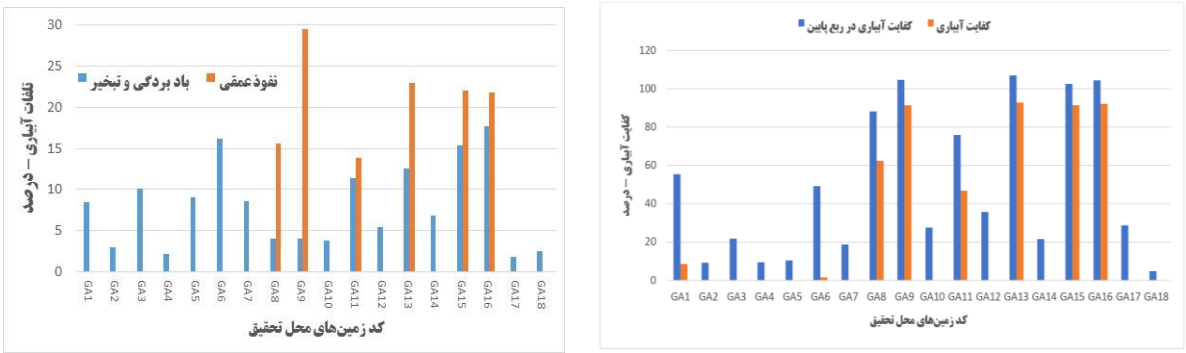
تأثیر مثبت وجود این تغییرات در دامنه مجاز، در تغییرات دبی دشت مشاهده می‌شود که مطابق نتایج شکل (٤) مغایرت حداقلی در دبی ایجاد شده است؛ به عبارت دیگر، کلاس‌بندی تغییرات دبی به صورت ۰/٤۹-۱/۱۱، ۱/۱۱-۱/۷٤، ۱/۷٤-۲/۲۳ و ۲/۲۳-۲/٦٦ لیتر بر ثانیه انجام که درصد مساحت اختصاص یافته برای هر کلاس دبی، در مراحل طراحی و اجرا به ترتیب، ۸ و ۱۰،۸ و ۱۳، ٦٥ و ٦۳، ۱۷ و ۱٦ درصد برآورد شد که تغییرات جزئی مشاهده می‌شود. علاوه بر وجود مغایرت جزئی این کلاس‌بندی نشان داد که در مرحله اجرا حدود ۸۰ درصد

دبی در دشت بیش‌تر از ۱/۷٤ لیتر بر ثانیه است. در شکل (۵) کفایت آبیاری در سامانه‌های مورد مطالعه و در ربع پایین ارایه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین مقدار شاخص کفایت آبیاری مربوط به مزرعه GA13 با مقدار ۹۳ درصد و کم‌ترین مقدار شاخص کفایت آبیاری مربوط به زمین‌های GA4، GA3،GA2 ، GA5، GA7، GA10، GA12، GA14، GA17 و GA18 با مقدار صفر است. این مقدار کم باعث ایجاد تنش بسیار زیادی در گیاه می‌شود، لذا برای کاهش این تنش می‌توان زمان آبیاری و یا دور آبیاری را افزایش داد.

کفایت آبیاری در ربع پایین، سامانه‌های GA13،GA9 ، GA15 و GA16 بیش‌تر از ۱۰۰ درصد است که نشان دهنده این است که زمین بیش از نیازش آب دریافت کرده و در این زمین‌ها تلفات نفوذ عمقی قابل پیش‌بینی است، بنابراین می‌توان با کاهش مدت زمان آبیاری از تلفات نفوذ عمقی جلوگیری کرد و بازده را تا حد بازده پتانسیل ربع پاییین افزایش داد. کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) در اقلید فارس و میخک بیرانوند و همکاران (۱۳۹۳)، در خرم‌آباد به نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

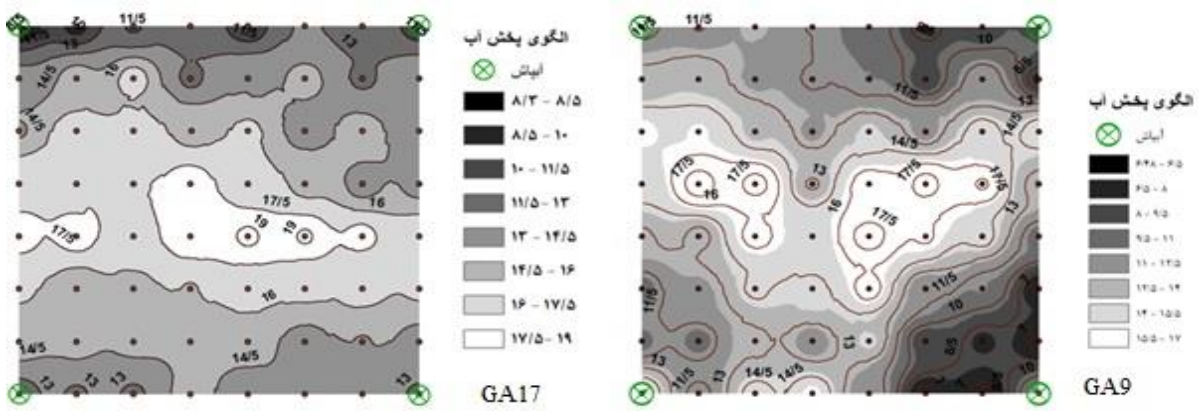


شکل ۴ - تغییرات دبی مرحله طراحی (A) و مرحله ارزیابی (B) در دشت اردبیل



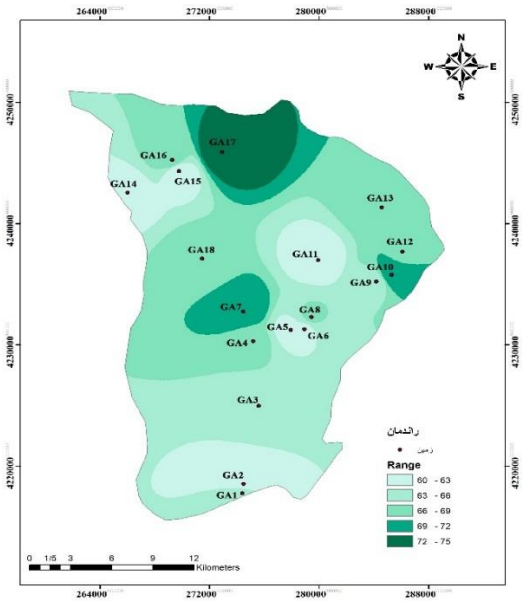
شکل ۵- کفایت و تلفات آبیاری در سامانه‌های مورد ارزیابی

محاسبات مربوط به تلفات آبیاری (شکل ۵) نشان داد که در سامانه GA9 حدود ۲۹ درصد آب بکار گرفته شده در سامانه آبیاری، صرف تلفات نفوذ عمقی شده است که بیش‌تر از بقیه‌ی سامانه‌های آبیاری بود. در مجموع تلفات حاصل از تبخیر و بادبردگی و نفوذ عمقی سامانه GA16 با مقدار تقریبی ۳۹ درصد دارای بیش‌ترین مقدار تلفات نسبت به بقیه سامانه‌های آبیاری بود که می‌توان عامل این امر را بیش‌تر بودن مقدار فشار، فاصله زیاد لاترال‌ها و کم بودن قطر روزنه آبپاش‌ها (ملاحظات میدانی) دانست. با مقایسه کفایت آبیاری در ربع پایین، با تلفات آبیاری می‌توان دریافت که در زمین GA9 میزان کفایت بیش‌تر از ۱۰۰ درصد می‌باشد. این مقدار نشان می‌دهد که زمین بیش از نیاز آب دریافت نموده و باعث شده است که تلفات نفوذ عمقی درصد بیش‌تری نسبت به سایر زمین‌ها داشته باشد. برای زمین‌های GA15،GA13 و GA16 نیز به دلیل کفایت آبیاری بیش‌تر از ۱۰۰ درصد، تلفات نفوذ عمقی در این زمین‌ها نسبت به سایر زمین‌ها بیش‌تر می‌باشد. در تحقیقی که کاظمی و همکاران (۱۳۹۸)، بر روی ارزیابی سیستم‌های آبیاری در شهرستان اقلید انجام دادند، نیز نتایج مشابهی برای برخی از زمین‌های زراعی به‌دست آمد. الگوی پاشش آب توسط آبپاش‌ها متأثر از عواملی از قبیل، فاصله لاترال‌ها، مقدار فشار، قطر روزنه‌ها، سرعت و جهت وزش باد است و به نوعی می‌توان گفت که الگوی پاشش تعیین کننده کیفیت فنی سامانه آبیاری می‌باشد؛ بنابراین الگوی پاشش دو زمین در شرایط مناسب پاشش (GA17) و نامناسب پاشش (GA9) ارائه شده است (شکل ٦). همانطور که مشاهده می‌شود توزیع آب در زمین GA17 از شرایط بهتری برخوردار است که عامل این امر را می‌توان به دلیل طراحی صحیح و فواصل مناسب آبپاش‌ها دانست.



شکل۶- الگوی پخش آب در اطراف لوله جانبی مورد آزمایش سامانه‌های GA17 (مناسب) و GA9 (نامناسب)

زمین ۹ و زمین ۱۷ از نظر دبی و فشار طراحی تقریبا در شرایط یکسانی قرار دارند. فاصله آبپاش‌ها در زمین GA9 بصورت شبکه ۲۲*۲۲ و در زمین GA7 بصورت ۲۰*۲۰ می‌باشد. با توجه به این اطلاعات می‌توان دریافت که فاصله نامناسب آبپاش‌ها در زمین GA9 میتواند عامل نامناسب بودن الگوی پخش آب گردد. با توجه به الگوی پخش، عمق آب دریافتی در مرکز به دلیل همپوشانی ٤ آبپاش در حال کار، بیش‌تر است و هرچه از مرکز فاصله گرفته شود، عمق آب دریافتی کم‌تر می‌شود. از دیگر عوامل نامناسب بودن الگوی پخش در زمین GA9 را می‌توان به فشار پایین سامانه در حین اجرا نسبت به طراحی دانست. کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی مشابه علت پخش نامناسب را مربوط به فشار کم سامانه نسبت به طراحی دانست. در پژوهشی دیگر که توسط سالم (۱۳۸۹) انجام شد نتایج نشان داد کاهش فاصله استقرار آبپاش‌ها باعث افزایش ضرایب یکنواختی در سامانه‌های آبیاری کلاسیک ثابت می‌شود. راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ) برای دشت محاسبه و مشخص شد که مقدار آن در دامنه ٦٠ تا ٧٥ درصد متغیر است (شکل ۷).



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی تغییرات شاخص AELQ در دشت اردبیل

این درحالی است که طبق اطلاعات موجود، طراحی بر اساس راندمان ۷۵ درصد در دشت اردبیل انجام شده است. با توجه به اینکه راندمان کل سامانه معیار طراحی است، بنابراین اگر این شاخص در دشت را به‌عنوان یک معیار برای قضاوت برای ارزیابی عملکرد در نظر گرفته شود، مشخص می‌شود که بخش‌های کوچکی دارای راندمانی حدود راندمان طراحی است. علت کاهش راندمان در کل دشت را می‌توان مشکلات طراحی، اجرا و بهره‌برداری به صورت توأمان دانست (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه موارد مختلف مربوط به طراحی، اجرا و بهره برداری در مزارع

نوع مشکل	درصد عدم رعایت	تعداد زمین‌های رعایت نشده	تعداد زمین‌های رعایت شده	پارامترها
طراحی	۸۳/۳۳	۱۵	۳	فشار تولید شده پمپ
بهره‌برداری	۸۳/۳۳	۱۵	۳	الگوی نصب آبپاش فعال
بهره‌برداری	۶۶/۶۷	۱۲	۶	تعداد آبپاش فعال مجاز روی لترال
اجرایی	۵۵/۵۶	۱۰	۸	فاصله آبپاش ها
بهره‌برداری	۵۵/۵۶	۱۰	۸	الگوی کشت
بهره‌برداری	۵۰	۹	۹	ساعت آبیاری
بهره‌برداری	۲۲/۲۲	۴	۱۴	تعداد آبپاش فعال در کل مزرعه
اجرایی	۵/۵۶	۱	۱۷	نوع آبپاش ها
اجرایی	۰	۰	۱۸	نوع پمپ
اجرایی	۰	۰	۱۸	فیزیک شبکه (قطر و جنس لوله)
اجرایی	۰	۰	۱۸	چیدمان اجزای شبکه یا layout

همانگونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، کلیه پمپ‌های نصب شده طبق مشخصات مرحله طراحی (نوع پمپ) بوده اما فشار تولیدی پمپ در ۸۳ درصد از مزارع با فشار طراحی مغایرت نشان داد که طبق جدول ٦ این تغییرات در دامنه ٤/٥٤ تا ۱۷/۷۸ درصد قرار داشت. مشکلات زمان اجرا نیز می‌تواند عامل کاهش راندمان باشد که در بررسی‌های انجام شده مشخص شد، مهم‌ترین مشکل در این بخش عدم رعایت فاصله آبپاش‌ها در اجرا و به نسبت خیلی کم‌تر، نوع آبپاش بود. علاوه بر آن در بخش بهره‌برداری مشکل اساسی عدم رعایت الگوی نصب آبپاش‌ها و تعداد مجاز روی هر لاترال بود. همچنین، در شرایط بهره‌برداری عدم رعایت الگوی

کشت، ساعت آبیاری و تعداد آبپاش فعال کل مزرعه مشکلات سامانه‌های آبیاری دشت اردبیل بود. همچنین به صورت خلاصه برخی مشکلات اصلی و راه‌حل‌های پیشنهادی در قالب جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸- برخی مشکلات و راه‌حل در اراضی ارزیابی شده

شماره سامانه	مشکلات	پیشنهاد و راهکار
GA1,9	عدم رعایت آبپاش فعال و مجاز روی لترال – الگوی نصب نامناسب آبپاش‌های فعال	نصب یک آبپاش* بر روی هر لاترال– استفاده از آبپاش‌های فعال به تعدادی که طراحی شده است.
GA3,4,5,6,13,14,15,18 GA 2,7,16	عدم رعایت فشار تولید شده توسط پمپ، الگوی کشت، آبپاش فعال و مجاز روی لترال – فاصله نامناسب آبپاش‌ها	رعایت الگوی کشت مورد استفاده در طراحی– استفاده از آبپاشی که متناسب با فاصله اجرا شده لاترال‌ها و مشخصات پمپ است (با نظر طراح)
GA8,17	فشار تولید شده توسط پمپ، ساعت آبیاری	فشار تولیدی پمپ در محدوده مجاز است، تنها توصیه به رعایت ساعت آبیاری
GA10,11,12	ساعت آبیاری، فاصله نامناسب آبپاش‌ها	رعایت ساعت آبیاری طبق طراحی– انتخاب مجدد آبپاش متناسب با فاصله لاترال‌های اجرا شده (با نظر طراح)

*منظور آبپاشی است که در دفترچه‌های طراحی معرفی شده است

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تعداد ۱۸ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دشت اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در محل پژوهش در هر سه مرحله طراحی، اجرا و بهره‌برداری مشکلاتی وجود دارد و عامل کاهش پارامترهای ارزیابی هستند. تقریبا ۱۰ درصد مشکلات مربوط به طراحی، ٤٥ درصد از مشکلات مربوط به قسمت اجرا و ٤٥ درصد مربوط به بهره‌برداری این سامانه‌ها می‌باشند. انتخاب نوع پمپ در بخش طراحی، عدم رعایت فاصله آبپاش‌ها در حین اجرا و در زمان بهره‌برداری، عدم رعایت الگوی نصب آبپاش‌ها، تعداد مجاز آبپاش روی هر لاترال، الگوی کشت و ساعت آبیاری مشکلات مشاهده شده بودند. بنابر این با در نظر گرفتن نتایج این پژوهش و مشاهدات میدانی در محل این پژوهش که عمده مشکلات در بخش بهره‌برداری مشاهده شد، پیشنهاد می‌شود که فقط به تعداد آبپاش‌های در نظر گرفته در طراحی در کل مزرعه استفاده شود. همچنین اساس طراحی در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت– آبپاش متحرک، فعالیت تنها یک آبپاش روی هر لاترال است، بنابراین ضمن رعایت الگوی کشت و ساعت آبیاری طبق برنامه‌ریزی آبیاری روی هر لاترال تنها یک آبپاش قرار گیرد. طبق بررسی‌های میدانی برخی مشکلات از قبیل مغایرت نوع آبپاش، تغییر ساعات آبیاری متناسب با الگوی کشت، الگوی نصب آبپاش‌ها فعال و تغییر الگوی کشت به دلیل عدم آموزش کافی کشاورز و رها شدن سامانه بعد از تحویل به بهره‌بردار اتفاق می‌افتد. بنابراین ضروریست ضمن آموزش اولیه کشاورزان، آموزش و نظارت مستمر بر فعالیت سامانه‌های نوین مورد توجه بیش‌تر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مصوب و دفاع شده در دانشگاه محقق اردبیلی استخراج شده است. نویسندگان این مقاله از همه اساتید، کارشناسان و مسئولین اداره‌ها و همه افرادی که در ارتقاء این پژوهش یاری دادند تشکر می‌نمایند.

فهرست منابع

۱. بهرامی م.، خواجه‌ای ف.، دیندارلو ع. و دستورانی م. ۱۳۹٦. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در برخی از دشت‌های استان فارس، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲٤ (۱): ۳۱۱ تا ۳۱۷.

۲. برادران هزاوه، ف. ۱۳۸۵، ارزیابی فنی سامانه های آبیاری تحت فشار اجرا شده در شهرستان اراک. پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳. جعفری ع.، سلطانی ه.، رضوانی م. و قدمی فیروزآبادی ع. ۱۳۹٦. ارزیابی و مقایسه اقتصادی سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در زراعت سیب‌زمینی در استان همدان، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱ (۲): ۱۹٦ تا ۲۰۵.

٤. رستم‌زاده ه.، اسدی ا. و جعفرزاده ج. ۱۳۹٤. بررسی سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت اردبیل، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲ (۱): ۳۱ تا ٤۲.

۵. رئوف م.، حسینی ی. و نظری گیگلو ف. ۱۳۹۷. ارزیابی سامانه کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و مدل‌سازی تلفات تبخیر و بادبردگی در آبپاش مدل ADF25 در منطقه مغان، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۷ (٤): ۱۱۷ تا ۱۳۳.

٦. سالم ا. ۱۳۸۹. ارزیابی و مقایسه سامانه های آبیاری بارانی چرخدار و کلاسیک ثابت اجرا شده در دشت قروه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران.

۷. ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت فشار، نشریه شماره ۲۸٦، ۱۳۸۳، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

۸. علیزاده ا. ۱۳۹۰. طراحی سامانه‌های آبیاری، دانشگاه امام رضا، مشهد.

۹. فاریابی ا.، معروف‌پور ع. و قمرنیا ه. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان کردستان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱٤ (٥٤): ۱تا۱۵.

۱۰. قاسم‌زاده مجاوری، ف، ۱۳۷۷، ارزیابی سیستم‌های آبیاری مزارع، آستان قدس رضوی.

۱۱. قربانی ب. ۱۳۹۷. بررسی، مقایسه و شبیه‌سازی رواناب در خاک‌های سبک و سنگین تحت شرایط آبیاری بارانی با ماشین تفنگی، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۸ (۳۲): ۱٤۵تا ۱۵۵.

۱۲. کاظمی س.، برومندنسب س. و ایزدپناه ز. ۱۳۹۸. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک (AMBOO,VYR155) در شهرستان اقلید- فارسی، نشریه علوم و مهندسی آبیاری، ٤۲ (۱): ۱۸۱تا۱۹٦.

۱۳. مولایی ز. ، معروف پور ع.و ملکی ع. ۱۳۹۵، بررسی و ارزیابی فنی برخی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت کوهدشت، مجله پژوهش آب ایران، ۱۰(۲۱): ۱۲۵.

۱٤. میخک بیرانوند ز.، برومند نسب س.، ایزد پناه ز. و ملکی ع.۱۳۹۳. بررسی بازده آبیاری سامانه‌های آبیاری بارانی در منطقه خرم آباد، نشریه مدیریت آب و آبیاری، ٤ (۲): ۱۹۱تا ۲۰۲.

۱۵. وزیری، ژ؛ انتصاری، محمد؛ حیدری، نادر، ۱۳۸۷، تبخیر- تعرق گیاهان، کمیته ملی آبیاری زهکشی ایران.

۱٦. نادری ن.، قدمی فیروزآبادی ع. و فرومدی م. ۱۳۹۷. ارزیابی فنی سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۳): ٤۲۹ تا ٤۳۹.

17. Abshiro, F.K. and Singh, P., 2018. Evaluation of Irrigation Scheduling for Sprinkler Irrigation System under Existing Condition in Beles Sugar Development Project, Ethiopia. *Irrigat Drainage Sys Eng*, *7*(208), p.2.

18. Cao, X., Zeng, W., Wu, M., Guo, X. and Wang, W., 2020. Hybrid analytical framework for regional agricultural water resource utilization and efficiency evaluation. *Agricultural Water Management*, *231*, p.106027.

19. Dechmi, F., Playán, E., Cavero, J., Faci, J.M. and Martínez-Cob, A., 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays). *Irrigation Science*, *22*(2), pp.67-77.
20. Fang, Q., Zhang, X., Shao, L., Chen, S. and Sun, H., 2018. Assessing the performance of different irrigation systems on winter wheat under limited water supply. *Agricultural Water Management*, *196*, pp.133-143.
21. Faryabi, A., Maroufpoor, E., Ghamarnia, H. and Yamin Moshrefi, G., 2020. Comparison of classical sprinkler and wheel move irrigation systems in Dehgolan plain, north- west Iran. Irrigation and Drainage, 69(3), pp.352-362.
22. Keller, J. and Bliesner, R.D., 1990. Trickle irrigation planning factors. In *Sprinkle and Trickle Irrigation* (pp. 453-477). Springer US.
23. Keller, J. and Bliesner, R.D., 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation Von Nostrand-Reinhold New York.
24. López-Mata, E., Tarjuelo, J.M., De Juan, J.A., Ballesteros, R. and Domínguez, A., 2010. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agricultural Water Management*, *98*(1), pp.190-198.
25. Maroufpoor, S., Maroufpoor, E. and Khaledi, M., 2019. Effect of farmers' management on movable sprinkler solid-set systems. *Agricultural Water Management*, *223*, p.105691.
26. Merkley, G.P. and Allen, R.G., 2004. Sprinkle and trickle irrigation lectures. *Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University Logan, Utah*, *285p*.
27. Merriam, J.L. and Keller, J., 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management.*
28. Nair, S., Maas, S., Wang, C. and Mauget, S., 2013. Optimal field partitioning for centerpivot irrigated cotton in the Texas High Plains. *Agronomy Journal*, *105*(1), pp.124-133.
29. Neissi, L., Albaji, M. and Nasab, S.B., 2020. Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. *Agricultural Water Management*, *231*, p.106004.
30. Omran, E.S.E. and Negm, A.M. eds., 2020. Technological and Modern Irrigation Environment in Egypt: Best Management Practices & Evaluation. Springer Nature.
31. Saccon, P., 2018. Water for agriculture, irrigation management. *Applied soil ecology*, *123*, pp.793-796.
32. Stambouli, T., Martínez-Cob, A., Faci, J.M., Howell, T. and Zapata, N., 2013. Sprinkler evaporation losses in alfalfa during solid-set sprinkler irrigation in semiarid areas. *Irrigation Science*, *31*(5), pp.1075-1089.
33. Topak, R., Suheri, S., Ciftci, N. and Acar, B., 2005. Performance evaluation of sprinkler irrigation in a semi-arid area. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *8*(1), pp.97-103.
34. Yan, H., Hui, X., Li, M. and Xu, Y., 2020. Development in sprinkler irrigation technology in China. *Irrigation and Drainage*.

Technical Evaluation of Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems in Ardabil Plain

M. Mohamadi, J. Azizi Mobaser[1], and M. Raoof

Graduate Student, Department of Water Engineering , Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
mehranmohammadi1109@gmail.com
Assistant Professor, .Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
ja.mobaser22@gmail.com
Associate Professor. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
majidraoof2000@yahoo.co.uk

Received: April 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

In order to know the technical status of the irrigation systems and determine the amount of achievement of the objectives of the design stage, it is necessary to evaluate these systems.In this study, 18 classic fixed sprinkler irrigation systems with mobile sprinklers implemented in different parts of Ardabil plain in the summer of 2019 were evaluated. For this purpose, criteria such as Christiansen Uniformity Coefficient (CU), Distribution Uniformity (DU), Potential Application Efficiency of Low Quarter (PELQ),and Actual Application Efficiency of Low Quarter(AELQ),were used at both block and system scales.After measurements and collection of the required information, these criteria were calculated. The mean values of the criteria were for the blocks were 83.46%, 74.96%, 68.93% and 67.94%, respectively, and for the systems, they were82.32%, 73.43%, 65.71% and 66.70%, respectively. In addition, Wind Drift Losses (WDEL), Deep Percolation losses (DP) and irrigation adequacy (ADirr) were found to be, 7.95%, 6.97%and 27.08%, respectively. Results and field studies showed that low values of PELQ and AELQ were affected by inappropriate spacing of sprinklers, lower pressure compared to design pressure, high pressure changes in the system and simultaneous use of large number of sprinklers. In addition, inaccurate management in operation, land topography and long lengths of pipes are effective factors in reducing the actual performance indicators of irrigation systems in Ardabil plain. Among the suggested recommendations are a revision of the designs, due consideration of the land slope, change in the type of sprinklers, or even change in the orifice of the sprinklers.

Keywords: Potential Use Efficiency, ChristiansenUniformity Coefficient, PELQ, AELQ

[1]-Corresponding author: Department of Water Engineering Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.