

مقاله علمی-پژوهشی

## ارزیابی هیدرولیکی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک برخی از مزارع دشت قروه، استان کردستان

پیمان طهماسبی<sup>۱</sup>، بختیار کریمی<sup>۲</sup>، حمید زارع ایبانه<sup>۳\*</sup>، هیرش قدرشناس<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۳

### چکیده:

محدودیت منابع آب توسعه کشاورزی را محدود کرده است. سامانه‌های آبیاری بارانی می‌توانند بهره‌وری آب را افزایش دهند، اما طراحی ضعیف، بهره‌برداری نامناسب و نگهداری ناقص باعث کاهش کارایی و تلفات آب می‌شود. طراحی دقیق، مدیریت صحیح و نگهداری اصولی، سه ستون اصلی بهبود عملکرد و پایداری این سامانه‌ها هستند. هدف از این پژوهش ارزیابی و چگونگی طراحی و بهره‌برداری در برخی از سامانه‌های آبیاری بارانی دشت قروه در استان کردستان است. در این پژوهش، هشت سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌ها متحرک در دشت قروه به‌عنوان نمونه مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای سنجش عملکرد این سامانه‌ها، شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع آب (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ)، راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ)، تلفات ناشی از تبخیر و بادبردگی (WDEL)، تلفات نفوذ عمقی (DP) و کفایت آبیاری (AD<sub>III</sub>) مورد استفاده قرار گرفت. میانگین مقادیر این شاخص‌ها برای هشت مزرعه مورد بررسی به‌ترتیب ۷۱/۶۷، ۶۱/۶۶، ۵۲/۴۵، ۵۲/۰۷، ۹/۵۴، ۲۲/۷۸ و ۶۸/۳۱ درصد تعیین شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تمامی سامانه‌ها دارای راندمان کاربرد پایینی بوده و یکنواختی توزیع آب در آن‌ها کمتر از محدوده توصیه‌شده توسط مریام و کلر (۱۹۷۸) است. از سوی دیگر، به دلیل کم‌آبی، در تمامی مزارع به جز مزرعه A5، راندمان پتانسیل و راندمان واقعی کاربرد برابر بود. پایین بودن راندمان پتانسیل کاربرد عمدتاً ناشی از طراحی و اجرای نامناسب سامانه‌های آبیاری بود که مهم‌ترین عامل آن، فشار کاری نامطلوب سامانه‌ها تشخیص داده شد. استفاده هم‌زمان از بیش از یک آبیاش روی هر لوله فرعی و به‌کارگیری آبیاش‌هایی با مدل‌ها و مشخصات متفاوت، در کنار طراحی و اجرای نامناسب و بهره‌برداری ننگهداری غیر اصولی، از مهم‌ترین دلایل کاهش یکنواختی توزیع آب به‌شمار می‌آیند. به‌طور کلی، نتایج بررسی‌ها نشان داد که با وجود مشکلات متعدد در طراحی و اجرای سامانه‌ها، اصلی‌ترین عامل پایین بودن عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک در دشت قروه، مدیریت، نگهداری و بهره‌برداری غیر اصولی از این سامانه‌ها بود.

**واژه‌های کلیدی:** پتانسیل کاربرد، تلفات نفوذ عمقی، شدت پاشش، کفایت آبیاری، یکنواختی توزیع

### مقدمه

آب به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین منابع طبیعی، از مهم‌ترین

چالش‌های قرن حاضر برای بشر محسوب می‌شود و نقش بسزایی در شکل‌دهی به تحولات سیاسی، اقتصادی و زیست‌محیطی در سطح جهانی دارد (طهماسبی، ۱۴۰۳). در دهه‌های اخیر، بسیاری از کشورهای جهان با بحران فزاینده کمبود منابع آب مواجه شده‌اند؛ بحرانی که به دلیل رشد جمعیت، توسعه اقتصادی و تغییرات اقلیمی، به تدریج دامنه آن به سایر مناطق جهان گسترش یافته است. بر اساس گزارش توسعه جهانی آب سازمان ملل متحد (۲۰۲۴)، تقریباً نیمی از جمعیت جهان برای حداقل بخشی از سال با کمبود شدید آب روبه‌رو هستند، و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، تقاضای جهانی برای آب شیرین ۴۰ درصد بیش از عرضه باشد، که این امر تهدیدی جدی برای امنیت غذایی و توسعه اقتصادی جهانی محسوب می‌شود. (Biswas et al., 2025). در نتیجه یکی از پرستفاده‌ترین منابع

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
- ۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
- ۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
- ۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گرایش آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

\*- نویسنده مسئول: (Email: zare@basu.ac.ir)

DOI: [10.22034/ijidj.2026.554220.2635](https://doi.org/10.22034/ijidj.2026.554220.2635)

بهره‌برداری و سازگاری این سامانه‌ها با شرایط اقلیمی متنوع کشور است. بررسی علمی عملکرد سامانه‌های اجرا شده در سطوح مختلف، نه تنها امکان شناسایی نارسایی‌ها و نقاط ضعف موجود را فراهم می‌آورد، بلکه بستری برای ارائه راه‌کارهای مدیریتی و فنی در جهت بهبود راندمان آبیاری ایجاد می‌کند. در این میان، ارزیابی عملکرد به‌عنوان رویکردی نظام‌مند و تحلیلی، نقش مؤثری در سیاست‌گذاری منابع آب و بهینه‌سازی بهره‌وری کشاورزی ایفا می‌نماید؛ نقشی که با افزایش فشار بر منابع آبی، بیش از پیش برجسته و حیاتی می‌شود (Lorenzini and De Wrachien, 2005). هدف غایی از فرایند ارزیابی عملکرد، دستیابی به حداکثر کارایی و اثربخشی سامانه از طریق اتخاذ راه‌کارهای مدیریتی بهینه و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های واقعی و تحلیل‌پذیر است. در واقع، ارزیابی عملکرد به‌عنوان ابزاری راهبردی، بستر لازم را برای پیش، بازنگری و ارتقاء فرآیندهای اجرایی فراهم می‌سازد تا عملکرد سامانه‌ها نه تنها بهینه گردد، بلکه با اهداف کلان بهره‌وری منابع و پایداری توسعه نیز هم-راستا باشد (Akbari et al., 2007). بنابراین، ارزیابی سامانه آبیاری بارانی پس از طراحی و اجرا، با هدف سنجش عملکرد واقعی آن در مزرعه و بررسی جنبه‌های فنی و مدیریتی، ضروری است.

شیخ اسماعیلی (۱۳۸۵)، با هدف تعیین مقدار بهینه فشار آب در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک تحت شرایط مختلف باد، پژوهشی در جنوب شرقی استان خوزستان انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بهترین ضریب یکنواختی توزیع آب در این سامانه، با فشار عملکرد حدود ۴۵ متر حاصل می‌شود و افزایش سرعت باد و تغییرات فشار کاری سامانه آبیاری منجر به کاهش ضریب یکنواختی می‌گردد. سی و سی‌مده و بایزیدی (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای جامع سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در منطقه مهاباد را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد میانگین ضریب یکنواختی کریستین سن ۴/۶۶٪، یکنواختی توزیع ۲/۵۲ درصد و بازده کاربرد واقعی و بالقوه ربع پایین هر دو برابر با ۸/۴۵٪ بود. تلفات تبخیر و بادبردگی و نفوذ عمقی به ترتیب ۲/۱۲٪ و ۴/۱۳٪ بوده که مجموع تلفات سامانه را به ۶/۲۵٪ می‌رساند. کاهش راندمان و یکنواختی آبیاری عمدتاً ناشی از ضعف در طراحی سامانه و تأثیرات باد گزارش شده است که ضرورت بهبود طراحی و مدیریت سامانه آبیاری را برجسته می‌کند. دهقانیان و همکاران (۱۳۹۷) در ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در استان فارس نشان دادند که تبدیل آبیاری سطحی به بارانی باعث کاهش ۴۲ درصدی مصرف آب در محصولات صیفی شد. میانگین تلفات بادبردگی ۱۶ درصد و یکنواختی پخش آب ۶۳ درصد بود که سامانه‌ها را در سطوح غیرقابل قبول تا نسبتاً خوب طبقه‌بندی قرار داد. همچنین، میانگین راندمان پتانسیل کاربرد ۵۲ درصد برآورد شد و ضعف طراحی، اجرای

طبیعی، منابع آبی است که برای انسان و همه موجودات زنده امری ضروری است (Ahmaed et al., 2024). بخش کشاورزی هم‌چنان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب شیرین در سطح جهان به‌شمار می‌رود. بر اساس گزارش توسعه جهانی آب سازمان ملل متحد (۲۰۲۵)، حدود ۷۲ درصد از کل برداشت‌های آب شیرین به مصارف کشاورزی اختصاص دارد. این نسبت در کشورهای با درآمد پایین حتی به ۹۰ درصد می‌رسد، که نشان‌دهنده وابستگی بالای این کشورها به منابع آبی برای تأمین امنیت غذایی است (UN Water., 2025; World Bank., 2025). بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از ارکان اساسی توسعه پایدار، از طریق تولید مواد غذایی، حفظ از سرمایه‌های ملی، ایجاد اشتغال، مشارکت در تولید ناخالص داخلی و توسعه صادرات غیرنفتی، نقشی بنیادین در تأمین امنیت غذایی و ارتقای شاخص‌های اقتصادی کشور ایفا می‌نماید (ناصری و نیکان‌فر، ۱۳۹۷). در سوی مقابل، رشد روزافزون جمعیت و افزایش رقابت میان بخش‌های مختلف در بهره‌برداری از منابع آبی، ضرورت ارتقاء سطح تولید غذا در اراضی فاریاب را دوچندان کرده است (Wu et al., 2025). بر این اساس، مدیریت علمی و کارآمد منابع کشاورزی، به-ویژه آب آبیاری در شرایط کنونی از اهمیت راهبردی برخوردار بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در برقراری توازن میان عرضه و تقاضای مواد غذایی ایفا می‌کند (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۳).

صرفه‌جویی در مصرف آب، از مؤثرترین راه‌کارهای حفاظت از منابع آبی به‌شمار می‌رود. در این راستا، ارتقای راندمان مصرف و به‌کارگیری شیوه‌های بهینه مدیریت آب در مزارع، رویکردی کارآمد و راهبردی برای دستیابی به بهره‌برداری پایدار از منابع محدود آبی محسوب می‌شود (حیدری، ۱۳۹۷). در میان روش‌های گوناگون آبیاری، سامانه آبیاری بارانی به‌عنوان یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین گزینه‌ها شناخته می‌شود که با هدف افزایش راندمان کاربرد آب و کاهش تلفات ناشی از آبیاری طراحی شده است. این سامانه با شبیه‌سازی بارش طبیعی، امکان توزیع یکنواخت‌تر آب را فراهم ساخته و از این طریق سهم مؤثری در صرفه‌جویی منابع آب و بهبود بهره‌وری در واحد سطح ایفا می‌کند (نادری و همکاران، ۱۳۹۷). از سوی دیگر، سامانه‌های آبیاری بارانی به‌دلیل انعطاف‌پذیری در طراحی و قابلیت انطباق با شرایط مختلف زراعی، برای گستره وسیعی از گیاهان زراعی و باغی، انواع خاک‌های قابل کشت، و اغلب اقلیم‌های کشاورزی از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک، روشی مؤثر و قابل اتکا محسوب می‌شوند. همچنین ضمن افزایش یکنواختی توزیع آب، قابلیت استفاده در زمین‌های با توپوگرافی نامنظم را نیز دارا هستند (Keller and Bliesner, 1990). اگرچه در سال‌های اخیر سامانه‌های آبیاری بارانی توانسته‌اند به‌عنوان جایگزینی نوین برای سامانه‌های سنتی آبیاری سطحی مطرح شوند، اما توسعه کمی و ارتقاء کیفی آن‌ها هم‌چنان نیازمند ارزیابی جامع وضعیت طراحی،

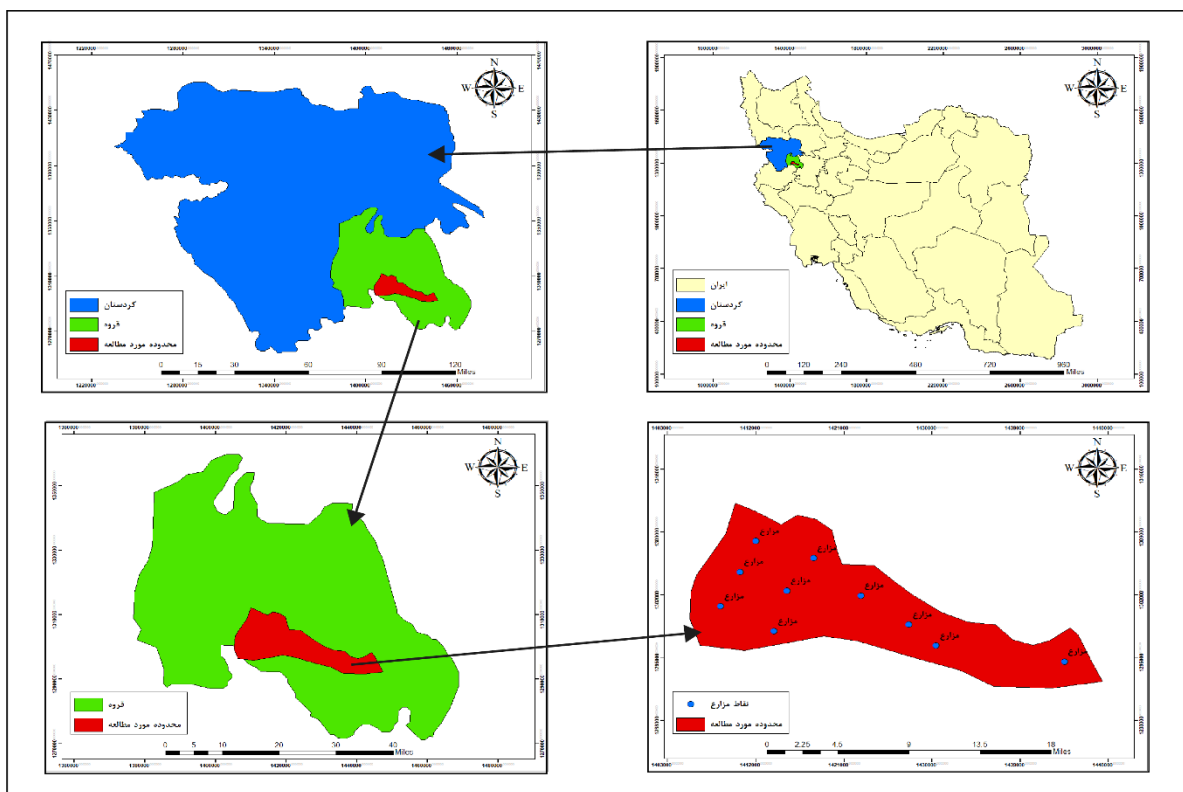
باوی و همکاران به منظور تعیین میزان تلفات تبخیر و باد در سامانه‌های آبیاری بارانی تحت شرایط متفاوت آب‌وهوایی و فشار عملکرد، پژوهشی در منطقه امیدیه انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش تلفات تبخیر و باد در سیستم‌های آبیاری بارانی هستند (Bavi et al., 2011). عبدالحمید و همکاران با هدف ارزیابی میدانی و بهینه‌سازی طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی، تأثیر ارتفاع و فشار آبپاش را بر یکنواختی توزیع آب بررسی کردند. در این مطالعه، ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) با استفاده از روش اندازه‌گیری ظروف مندرج و سه ارتفاع مختلف آبپاش (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ متر) تحت فشارهای ۱۰ تا ۲۰ متر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد ارتفاع ۰/۷۵ متر در تمامی فشارها بالاترین یکنواختی پخش را داشته و مناسب‌ترین گزینه برای طراحی دقیق و بهره‌وری بالای سامانه آبیاری است (Abdelhamid et al. 2025). در چارچوب توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار در کشور، اجرای پروژه‌های متعددی در استان کردستان از جمله شبکه آبیاری بارانی در دشت قروه صورت گرفته است، به‌گونه‌ای که هم‌اکنون بیش از ۲۱ هزار هکتار از اراضی آبی این منطقه تحت پوشش سامانه‌های آبیاری بارانی قرار دارند (اداره آب منطقه‌ای استان کردستان) که بخش عمده آن‌ها از نوع کلاسیک ثابت با آبپاش‌های متحرک می‌باشد. با توجه به گذشت چند سال از بهره‌برداری این سامانه‌ها، ارزیابی عملکرد آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است تا ضمن شناسایی مشکلات فنی و عملیاتی، بتوان تجربیات به‌دست‌آمده را در بهینه‌سازی مصرف آب، افزایش راندمان آبیاری و طراحی پروژه‌های آینده به‌کار گرفت. از این‌رو هدف این پژوهش بررسی وضعیت فعلی سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دشت قروه و ارائه راه‌کارهایی برای ارتقای کارایی و بهره‌وری آن است، به‌گونه‌ای که نتایج حاصل بتواند مبنای تصمیم‌گیری‌های علمی و مدیریتی در توسعه پایدار سامانه‌های آبیاری تحت فشار در منطقه قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها:

این پژوهش در مزارع واقع در دشت شهرستان قروه، از توابع استان کردستان، واقع در ۹۳ کیلومتری شرق شهر سنندج انجام شد. مختصات جغرافیایی منطقه بر اساس داده‌های سامانه موقعیت‌یاب جهانی برابر با عرض جغرافیایی  $35^{\circ}48'$  و طول جغرافیایی  $47^{\circ}10'35$  می‌باشد و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۱۸۵۰ متر است. بر پایه داده‌های آماری سازمان هواشناسی کشور طی دوره ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۰، میانگین بارندگی سالیانه منطقه بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (رحمتی و همکاران، ۱۴۰۴). از نظر اقلیمی، منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با

غیراصولی، تجهیزات بی‌کیفیت و آبیاری در شرایط باد از دلایل اصلی عملکرد پایین سامانه‌ها عنوان کردند. دهقانی‌سانج و همکاران (۱۳۹۸) عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در استان‌های اصفهان و فارس را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد میانگین تلفات تبخیر و بادبردگی به‌ترتیب ۱۹٪ و ۱۶٪، ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) ۶۳٪ و ۷۶٪، یکنواختی توزیع (DU) ۵۵٪ و ۶۴٪، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ) ۴۵٪ و ۵۳٪، و راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین (AELQ) ۳۸٪ و ۴۶٪ در استان‌های اصفهان و فارس گزارش شد. دادودمقامی و همکاران (۱۳۹۹) عملکرد ۱۰ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک را در استان مرکزی بررسی کردند و میانگین درصدی شاخص  $Cut=71/8$ ،  $DU_t=60/6$ ،  $PELQ_t=48/7$  و  $AELQ_t=48/5$  را گزارش کردند. نتایج نشان داد سامانه‌ها از نظر فنی ضعیف بوده و مشکلاتی چون طراحی نادرست و کیفیت پایین تجهیزات داشتند. همچنین کم‌آبیاری در بخشی از مزارع مشاهده شد که نیازمند بهبود مدیریت است. یونسی و همکاران (۱۴۰۱) در دشت قزوین عملکرد دو سامانه آبیاری تحت فشار (لینیر) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) در کشت گندم و کلزا به‌ترتیب برابر با ۸۹/۳۸ و ۷۶/۸۵ درصد و یکنواختی توزیع آب (DU) به‌ترتیب ۸۲/۹۲ و ۷۰/۳۱ درصد بود. با این حال، راندمان پتانسیل کاربرد (PELQ) و راندمان واقعی (AELQ) در هر دو سامانه کم‌تر از محدوده قابل قبول گزارش شد که بیان‌گر ضعف مدیریت بهره‌برداران و ضرورت ارتقاء بهره‌برداری فنی در این سامانه‌ها است. نادری و قدمی فیروزآبادی (۱۴۰۲) در ارزیابی سامانه‌های آبیاری سنتریپوت استان سمنان، میانگین راندمان پتانسیل کاربرد ۶۹/۱، راندمان واقعی کاربرد ۶۷/۲، یکنواختی توزیع ۷۶/۷، ضریب یکنواختی ۸۲/۱ و تلفات تبخیر و بادبردگی ۷/۶ درصد گزارش کردند. بر این اساس نتایج نشان داد که وجود اشکالات فنی و کم‌آبیاری در برخی مزارع، منجر به کاهش راندمان شده و رعایت زمان‌بندی مناسب آبیاری و آموزش بهره‌برداران، نقش مؤثری در بهبود کارایی سیستم آبیاری دارد. محمدی و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهشی به ارزیابی ۱۵ سامانه آبیاری قطره‌ای باغ‌های پسته شهرستان کرمان پرداخت. نتایج نشان داد که بیش از ۸۷٪ سامانه‌ها دارای پتانسیل رسوب‌گذاری آب بودند. میانگین دبی قطره‌چکان‌ها ۳/۹ لیتر در ساعت، ضریب یکنواختی پخش آب ۳/۸۳، ضریب یکنواختی آماری ۷/۸۵، راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پائین ۱/۶۷، ضریب کاهش راندمان ۹۰ و راندمان کاربرد کم-ترین چارک ۳/۷۴ درصد محاسبه کردند که بیان‌گر عملکرد نسبتاً مطلوب سامانه‌ها است. مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد شامل عدم مهارت کافی بهره‌برداران، گرفتگی قطره‌چکان‌ها به دلیل کیفیت پائین آب، شستشوی ناکافی فیلترها و فشار پایین در سامانه‌ها عنوان شد.

زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است. موقعیت جغرافیایی استان کردستان، محدوده دشت قروه و مزارع مورد مطالعه در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت استان کردستان در کشور، شهرستان قروه در استان کردستان و مزارع مورد ارزیابی در شهرستان قروه

جدول ۱- مشخصات سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک منطقه مورد بررسی

مدل آبیاش	شدت پخش آبیاش‌ها (میلی‌متر در ساعت)	فواصل آبیاش‌ها (متر در متر)	مدت زمان آبیاری (ساعت)	دور آبیاری (روز)	منبع آب آبیاری	کشت موجود	کد مزرعه
ZK30	۱۲/۲۶	۲۵ × ۲۵	۴	۸	چاه	گندم	A1
ZK30	۱۰/۹۴	۲۵ × ۲۵	۴	۹	چاه	گندم	A2
ZK30	۹/۷۹	۲۵ × ۲۵	۴	۸	چاه	گندم	A3
ZK30	۱۲/۱۵	۲۵ × ۲۵	۴	۷	چاه	گندم	A4
ZK30	۱۳/۶۱	۲۳ × ۲۳	۵	۷	چاه	گندم	A5
ZM22							
آبیاش‌های پلاستیکی*	۱۱/۷۰	۲۴ × ۲۵	۶	۶	چاه	یونجه	B
AMBO و ZK30	۱۲/۲۶	۲۵ × ۲۷	۵	۷	چاه	سیب‌زمینی	C1
ZK30							
آبیاش‌های پلاستیکی*	۱۰/۶۴	۲۳ × ۲۵	۴	۷	چاه	سیب‌زمینی	C2

\*آبیاش‌های پلاستیکی مورد استفاده بی‌نام و نشان معروف به آبیاش‌های عراقی بودند.

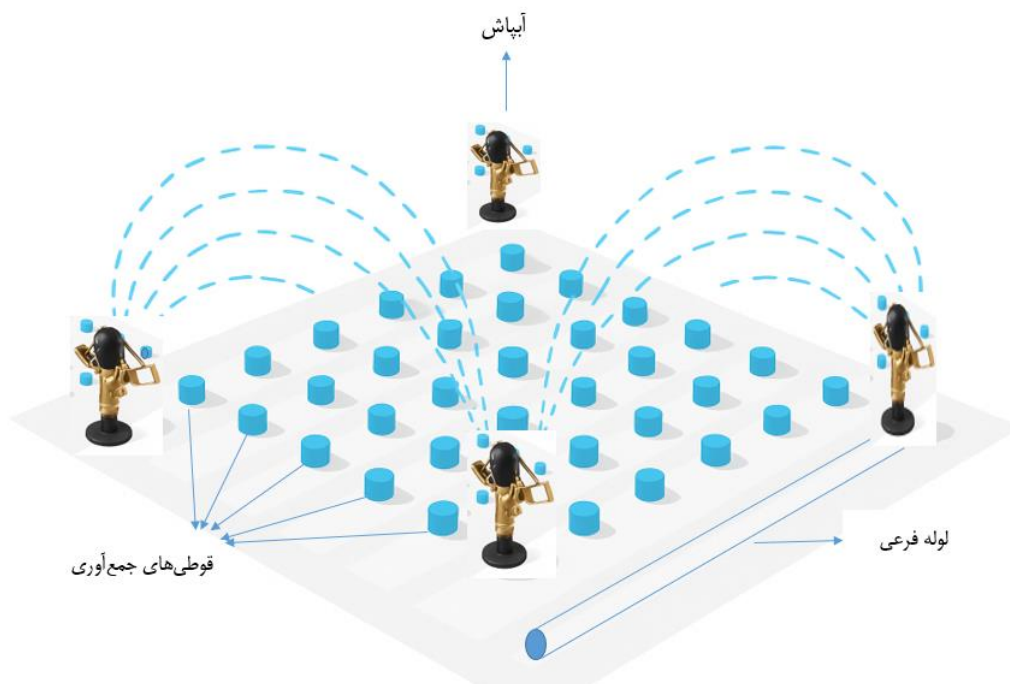
شد. انتخاب مزارع با در نظر گرفتن معیارهایی نظیر گذراندن حداقل یک فصل زراعی از زمان بهره‌برداری و دارا بودن دفترچه طراحی و

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ بر روی ۸ مزرعه مجزئ به سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک انجام

در لوله‌های فرعی ارزیابی شدند. فشار موجود در نقاط مختلف مزرعه با استفاده از فشارسنج در محل اتصال آبیاش‌ها اندازه‌گیری گردید؛ به‌گونه‌ای که آبیاش نزدیک به سامانه دارای بیش‌ترین فشار و آبیاش دورتر (آبیاش بحرانی) دارای کم‌ترین فشار بود. دبی آبیاش‌ها نیز به روش حجمی و با استفاده از ظرف ۲۰ لیتری و در سه تکرار برای هر آبیاش اندازه‌گیری شد. به‌منظور انتخاب محل مناسب برای استقرار آبیاش‌ها، با توجه به توپوگرافی هر مزرعه، موقعیتی برگزیده شد که فشار متوسط سامانه در آن محل برقرار باشد. به‌عنوان نمونه، در زمین‌های مسطح یا با شیب بسیار کم، محل آزمایش در اواسط لوله‌های فرعی (لاترال) انتخاب شد و آزمایش بین دو آبیاش واقع در میانه لوله فرعی (لاترال) صورت گرفت. پس از تعیین محل مناسب، مساحت فضای بین دو لوله فرعی با استفاده از متر پارچه‌ای و میخ چوبی به شبکه‌ای با ابعاد ۳×۳ متر تقسیم گردید و قوطی‌های جمع‌آوری آب با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۴/۵ سانتی‌متر مطابق شکل ۲ در شبکه استقرار یافتند (Keller and Bliessner, 1990).

جواز صادره از سازمان جهاد کشاورزی استان صورت گرفت. برای ارزیابی سامانه‌های آبیاری، ابتدا اطلاعات اولیه شامل توپوگرافی، مشخصات منبع تأمین آب، سامانه پمپاژ، آرایش لوله‌های اصلی، نیمه‌اصلی و جانبی، دور آبیاری، نوع آبیاش‌ها و سایر مشخصات فنی جمع‌آوری گردید جدول ۱ مشخصات سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک را نشان می‌دهد.

همچنین داده‌های مربوط به فشار و دبی در نقاط مختلف شبکه، فاصله بین آبیاش‌ها و الگوهای پوشش آبیاری ثبت و تحلیل شد. در هر یک از مزارع، در روز آبیاری و پیش از آغاز آن، نمونه‌برداری خاک با استفاده از مته خاک از عمق‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متر انجام شد. نمونه‌های دست‌نخورده برای تعیین ظرفیت زراعی (FC) و جرم مخصوص ظاهری و نمونه‌های دست‌خورده برای تعیین بافت خاک، جرم مخصوص حقیقی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آماده شدند. پیش از اجرای آزمایش یکنواختی توزیع آب آبیاری، رطوبت خاک محل آزمایش اندازه‌گیری گردید تا کمبود رطوبتی خاک (SMD) محاسبه شود. در ادامه، متغیرهای هیدرولیکی سامانه شامل فشار حداکثر، فشار متوسط، فشار حداقل و دبی آبیاش‌ها



شکل ۲- نحوه قرار گرفتن آبیاش‌ها و ترتیب قرار گرفتن جمع‌آوری آب در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک

کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک مورد آزمایش به مدت یک ساعت فعال گردید و سپس خاموش شد. در پایان، حجم آب جمع‌آوری شده در هر قوطی با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری و در فرم‌های ویژه ثبت گردید. داده‌های جمع‌آوری شده پس از تکمیل

همچنین، برای اندازه‌گیری میزان تبخیر در طول مدت آبیاری آزمایش، یک قوطی دارای حجم مشخص پر از آب به‌عنوان شاهد دور از آبیاش‌ها فعال در شرایط مشابه با سایر قوطی‌های اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گرفت. پس از استقرار تجهیزات، سامانه آبیاری بارانی

$D_{rz}$ ، عمق توسعه ریشه برحسب سانتی‌متر؛  $\rho_b$ ، جرم مخصوص خاک بر حسب گرم در سانتی‌متر مکعب و  $FC$ ، درصد وزنی رطوبت در حد ظرفیت زراعی می‌باشند. در ادامه، برای ارزیابی جامع عملکرد سامانه آبیاری و محاسبه شاخص‌های مرتبط، از معادلات زیر بهره‌گیری شد.

$$CU_S = CU_t \left[ \frac{1 + \left( \frac{P_{min}}{P} \right)^{0.5}}{2} \right] \quad (7)$$

$$DU_S = DU_t \left[ \frac{1 + 3 \left( \frac{P_{min}}{P} \right)^{0.5}}{4} \right] \quad (8)$$

$$PELQ_S = (1 - ER) \times PELQ_t \quad (9)$$

$$ER = 0.2 \times \left( \frac{P_{Max} - P_{min}}{P} \right) \quad (10)$$

$$AELQ_S = (1 - ER) \times AELQ_t \quad (11)$$

$$WDEL = \frac{D_r - \bar{D}}{D_r} \times 100 \quad (12)$$

$$D_p = \frac{\bar{D} - SMD}{D_r} \times 100 \quad (13)$$

$$D_p = \frac{V_{Z1} - (SMD \times A_{Irr} \times S_m S_l)}{q \times t_{tt}} \times 100 \quad (14)$$

$$A_{Irr} = \frac{N_i}{N} \times 100 \quad (15)$$

$$V_{Z1} = \sum_{i=1}^{i: D_i \geq SMD} (D_i \times A_i) \times S_l \times S_m \quad (16)$$

که در این معادلات ۷ تا ۱۵، نمایه‌های  $CU_S$ ،  $DU_S$ ،  $PELQ_S$ ،  $AELQ_S$ ،  $ER$ ،  $WDEL$ ،  $D_p$  و  $A_{Irr}$  به ترتیب بیان‌گر ضریب یکنواختی کریستیان‌سن، یکنواختی توزیع آب، راندمان کاربرد واقعی در ربع پایین، ضریب کاهش راندمان، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین، تلفات تبخیر بادبردگی، رابطه ۱۳ و ۱۴ به ترتیب درصد نفوذ عمقی برای حالت آبیاری کامل و ناقص و کفایت آبیاری هستند. این شاخص‌ها برای کل سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک محاسبه می‌شوند و همگی بر حسب درصد گزارش می‌گردند. همچنین نمایه‌های  $V_{Z1}$  حجم آب نفوذ یافته که از رابطه ۱۶ قابل محاسبه است (مترمکعب)، در این روابط  $q$  دبی متوسط آبیاش (مترمکعب در ثانیه)  $S_m$  فاصله لوله‌های فرعی (لاترال) از هم-دیگر (متر) و  $s_l$  فاصله آبیاش‌های قرار گرفته روی لوله فرعی از یکدیگر (متر)،  $t_{tt}$  مدت زمان‌ها آبیاری (ثانه) و  $P_{min}$  و  $P_{max}$  به ترتیب، مقادیر فشار حداکثر، حداقل و متوسط سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک (بار) محاسبه می‌باشند. همچنین فشار حداقل از طریق مانومتر نصب‌شده در کنار آبیاش‌های مورد آزمون اندازه‌گیری گردید، فشار حداکثر توسط فشارسنج ایستگاه به‌دست آمد و فشار متوسط نیز با میانگین‌گیری از دو مقدار مذکور محاسبه شدند.

## نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمایش کیفیت آب مزارع دشت قروه را نشان می‌دهد. منبع تأمین آب در تمامی سامانه‌های آبیاری بارانی

عملیات صحرائی برای انجام محاسبات و تعیین شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های ارزیابی این پژوهش بر اساس معادلات ۱ تا ۱۶ جهت ارزیابی هم‌بلوک آزمایشی و هم‌کل سامانه آبیاری ارائه‌شده محاسبه شدند (Merriam and Keller., 1978).

$$CU_t = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |D_i - \bar{D}|}{\bar{D} \times N} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$DU_t = \frac{\bar{D}_{LQ}}{\bar{D}} \times 100 \quad (2)$$

$$PELQ_t = \frac{q_l}{D_r} \times 100 \quad (3)$$

$$AELQ_t = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \quad (4)$$

در شرایطی که میانگین یک‌چهارم عمق آب ذخیره‌شده در خاک بیش‌تر از مقدار آبی باشد که برای افزایش رطوبت خاک از وضعیت موجود تا رسیدن به ظرفیت زراعی مورد نیاز است، بخش مازاد آب از ناحیه ریشه عبور کرده و به لایه‌های زیرین خاک نفوذ می‌کند. این پدیده موجب افزایش تلفات نفوذ عمقی شده و در نتیجه راندمان واقعی آبیاری کاهش می‌یابد. برای اصلاح این موضوع، در روابط محاسباتی به جای استفاده از میانگین یک‌چهارم عمق آب ذخیره‌شده در ناحیه ریشه، از کمبود رطوبتی خاک (SMD) بهره گرفته می‌شود. کمبود رطوبتی خاک نشان‌دهنده‌ی میزان آبی است که باید به خاک اضافه شود تا رطوبت آن از وضعیت موجود به سطح ظرفیت زراعی برسد. بنابراین، با جایگزینی SMD در رابطه (۴)، میزان راندمان کاربرد آب دقیق‌تر محاسبه می‌شود و اثر تلفات نفوذ عمقی نیز به‌طور واقعی‌تری در نظر گرفته خواهد شد.

$$AELQ_t = \frac{SMD}{D_r} \times 100 \quad (5)$$

$$SMD = \frac{(FC - M) \times D_{rz} \times \rho_b}{100} \quad (6)$$

در معادلات بالا نمایه‌های  $CU_t$ ،  $DU_t$ ،  $PELQ_t$  و  $AELQ_t$  به ترتیب بیان‌گر مقادیر ضریب یکنواختی کریستیان‌سن (Coefficient of Uniformity)، یکنواختی توزیع آب (Distribution of Uniformity)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایینی (Application Efficiency of Low Quarter) و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایینی (Potential Efficiency of Low Quarter) هستند. تمامی این شاخص‌ها در بلوک آزمایشی محاسبه شده و بر حسب درصد بیان می‌گردند. این شاخص‌ها معیارهای اصلی برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و کارایی سامانه‌های آبیاری بارانی محسوب می‌شوند. و نمایه‌های  $D_i$  عمق آب جمع‌شده در هر قوطی بعد از آزمایش برحسب میلی‌متر؛  $\bar{D}$ ، میانگین آب جمع‌شده در قوطی‌ها بر حسب میلی‌متر؛  $N$ ، تعداد قوطی‌های مورد استفاده؛  $\bar{D}_{LQ}$ ، میانگین یک‌چهارم کم‌ترین آب جمع‌شده در قوطی‌ها بر حسب میلی‌متر؛  $D_r$ ، میانگین یک‌چهارم کم‌ترین عمق آب ذخیره‌شده در ناحیه ریشه بر حسب میلی‌متر؛  $D_r$  متوسط عمق آب آبیاری اندازه‌گیری شده از سز نازل بر حسب میلی‌متر؛  $q_l$  متوسط کم‌ترین یک‌چهارم عمق آب نفوذ یافته بر حسب میلی‌متر؛  $M$ ، درصد وزنی رطوبت خاک قبل از آبیاری؛

کشاورزان) می‌باشد که بر کارایی کلی سامانه‌های آبیاری بارانی تأثیر مستقیم دارد. در جدول ۳ اطلاعات مربوط به فشار، تغییرات فشار و ضریب کاهنده راندمان در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک برای مزارع مورد مطالعه آورده شده است. به‌طور کلی، سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک، بر اساس فشار کاری طراحی (Designed Operating Pressure) حدود ۴۰ متر ستون آب (۴ بار) طراحی و بهره‌برداری می‌شوند (Keller and Bliesner, 1990). همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده شد، متوسط فشار موجود در سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه تنها در مزرعه‌ی A5 در محدوده‌ی فشار طراحی قرار داشته است، در حالی که در سایر سامانه‌ها فشار متوسط کم‌تر یا بیش‌تر از مقدار طراحی بوده است. این موضوع بیان‌گر آن است که شرایط واقعی عملکرد سامانه با شرایط طراحی انطباق کامل ندارد و یا وجود نوسانات فشار می‌تواند ناشی از عدم رعایت اصول هیدرولیکی در طراحی سامانه باشد. همچنین احتمال می‌رود در مرحله‌ی بهره‌برداری یا تنظیم شبکه، افت‌های هیدرولیکی (Hydraulic Losses) به‌درستی کنترل نشده باشد و این امر موجب ایجاد عدم تعادل در توزیع فشار در شبکه آبیاری شده است. از دیدگاه هیدرولیکی، پایداری فشار در شبکه‌های آبیاری بارانی از عوامل کلیدی در تضمین یکنواختی توزیع آب به شمار می‌رود. بر اساس استانداردهای طراحی، دامنه تغییرات فشار در شبکه نباید از ۲۰ درصد فشار متوسط آبیاش‌ها تجاوز کند تا سطح قابل قبولی از یکنواختی پخش آب حفظ شود (Merriam and Keller, 1978). نتایج ارزیابی میدانی نشان داد که تنها در سامانه‌های A1، A2 و C1 نوسانات فشار در محدوده‌ی مجاز قرار دارند، در حالی که در سایر سامانه‌ها مقدار تغییرات فشار از حد مجاز فراتر رفته است. این انحراف از محدوده‌ی مجاز بیان‌گر وجود عدم تعادل هیدرولیکی (Hydraulic Imbalance) در شبکه است. چنین وضعیتی معمولاً ناشی از افت‌های موضعی فشار (Localized Head Losses) در اثر طراحی نامناسب لوله‌ها، انتخاب نادرست قطر روزه آبیاش، یا نگره‌داری ناکافی سامانه در مرحله بهره‌برداری است. افزایش دامنه‌ی تغییرات فشار موجب می‌شود بخشی از آبیاش‌ها در فشارهای کم‌تر از مقدار طراحی عمل کنند و بخشی دیگر در فشارهای بالاتر قرار گیرند، که این وضعیت منجر به کاهش یکنواختی پخش (Uniformity Coefficient) و در نهایت افت راندمان کاربرد آب (Application Efficiency) در مقیاس مزرعه می‌شود. بنابراین، کنترل دقیق فشار در شبکه و رعایت اصول طراحی هیدرولیکی از پیش‌شرط‌های اساسی در پایداری عملکرد و افزایش کارایی سامانه‌های آبیاری بارانی محسوب می‌شود. به علاوه، در بیش‌تر سامانه‌ها به علت پایین بودن فشار متوسط کارکرد نسبت به فشار طراحی، دبی خروجی آبیاش‌ها (Sprinkler Discharge Rate) کم‌تر از مقادیر مندرج در دفترچه مشخصات فنی تجهیزات (Product

کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک مورد مطالعه این منطقه، منابع زیرزمینی (چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق) بوده است. بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه و مطابق با معیارهای خاک‌شناسی آمریکا (USSL)، کیفیت آب نمونه‌برداری‌شده تمامی مزارع در کلاس C2-S1 قرار گرفت. این نتایج بیان‌گر آن است که آب دارای شوری متوسط (C2) و سدیم کم (S1) می‌باشد و از نظر کاربرد در سامانه‌های آبیاری بارانی، محدودیت عملی جدی وجود ندارد (Richards., 1954). بنابراین کیفیت آب موجود برای بهره‌برداری در شرایط فعلی مناسب ارزیابی می‌شود. با این حال، قرار گرفتن آب در کلاس C2 نشان می‌دهد که در صورت عدم مدیریت صحیح آبیاری و زهکشی، خطر تجمع املاح در خاک و بروز مشکلات شوری در بلندمدت وجود دارد. از سوی دیگر، با توجه به وابستگی کامل سامانه‌های آبیاری بارانی دشت قروه به منابع آب زیرزمینی، افت سطح آب و افزایش غلظت املاح می‌تواند در آینده کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد (طهماسبی و زارع ایبانه، ۱۴۰۴). از این رو، پایش مستمر کیفیت آب آبخوان‌ها و اتخاذ راه‌کارهای مدیریتی مثل اعمال تنظیم دور و عمق آبیاری امری ضروری به نظر می‌رسد تا کارایی و پایداری سامانه‌های آبیاری بارانی در دشت قروه حفظ شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در روش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری بارانی، انتخاب نوع آبیاش باید بر اساس نرخ نفوذ نهایی آب در خاک صورت گیرد. بدین معنا که هرگاه شدت پاشش آبیاش‌ها (Application Rate) از سرعت نفوذ نهایی خاک (Infiltration Rate) فراتر رود، بخشی از آب آبیاری توانایی نفوذ به داخل خاک را نداشته و منجر به ایجاد روان‌آب سطحی می‌گردد. شدت پاشش آبیاش‌ها تحت تأثیر عواملی هم‌چون نوع و بافت خاک، شیب و پستی‌وبلندی زمین، مدیریت آبیاری، ویژگی‌های هیدرولیکی آبیاش‌ها و نوع محصول زراعی است. بنابراین، به‌منظور دستیابی به کارایی بالا و یکنواختی مطلوب توزیع آب در آبیاری بارانی، انطباق بین شدت پاشش و سرعت نهایی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Keller and Bliesner, 1990). با مقایسه سرعت نفوذ نهایی خاک از جدول ۳ با شدت پاشش آبیاش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که شدت پاشش آبیاش‌ها بر روی زمین کم‌تر از سرعت نفوذ نهایی در خاک است بنابراین در هیچ یک از مزارع رواناب سطحی ایجاد نشد. بررسی‌ها نشان داد که در برخی از مزارع مورد مطالعه، دو مدل متفاوت از آبیاش‌ها به‌طور هم‌زمان در یک سامانه آبیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این موضوع می‌تواند موجب ناهمگنی در الگوی توزیع آب و کاهش یکنواختی آبیاری گردد. همچنین نتایج حاصل از داده‌های میدانی نشان داد که در اکثر مزارع دور آبیاری و ساعات بهره‌برداری از سامانه‌ها در بین کشاورزان، حتی برای محصولات زراعی مشابه، دارای تفاوت است (جدول ۱). این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از تفاوت در مدیریت مزرعه، دسترسی به منابع آب و سطح دانش فنی بهره‌برداران

Uniformity) و راندمان کل سامانه ( Overall System Efficiency) شده است. در مجموع، کمبود فشار در بخش‌های مختلف شبکه نه تنها موجب کاهش شعاع پاشش و افت پوشش آبیاری می‌گردد، بلکه توزیع مکانی آب در سطح مزرعه را نیز غیریکنواخت می‌سازد. بنابراین، مدیریت و کنترل فشار در محدوده‌ی بهینه طراحی، از الزامات کلیدی برای پایداری عملکرد هیدرولیکی و ارتقای راندمان کل سامانه آبیاری بارانی است.

(Technical Catalogue) بوده است یکی از دلایل کاهش فشار و دبی آبیاش‌ها می‌تواند عمر کارکرد طولانی آبیاش‌ها باشد. با افزایش عمر تجهیزات، خوردگی نازل‌ها، فرسودگی قطعات مکانیکی و کاهش عملکرد هیدرولیکی آبیاش‌ها رخ می‌دهد که این امر منجر به کاهش دبی خروجی، کاهش شعاع پاشش و افت یکنواختی توزیع آب می‌شود. این پدیده باعث کاهش شعاع پاشش (Sprinkler Wetted Radius) و در نتیجه کاهش یکنواختی کاربرد آب (Application)

جدول ۲- آنالیز کیفیت آب مزارع مورد مطالعه

کد مزرعه	هدایت الکتریکی (mmhos cm <sup>-1</sup> )	اسیدیته (pH)	سدیم	کلسیم	مگنزیوم	تی کربنات	کربنات	کلر	نسبت سدیم-کلر	طبقه بندی
بر حسب میلی اکی والان در لیتر										
A1	۰/۴۸۸	۷/۶۵	۱/۵۶	۳/۰۹	۰/۷۴	۴/۹۰	۰	۰/۲۴	۱/۱۲	C2-S1
A2	۰/۴۳۶	۷/۹۵	۲/۳۷	۳	۰/۶۱	۴/۷۰	۰	۰/۲۷	۱/۷۶	C2-S1
A3	۰/۴۹۳	۷/۴۵	۰/۳۹	۲/۹۵	۰/۵۲	۴/۶۰	۰	۰/۲۱	۰/۲۹	C2-S1
A4	۰/۴۵۴	۷/۵۶	۰/۷۹	۴/۵۹	۱/۰۸	۴/۴۹	۰	۰/۹۳	۰/۴۶	C2-S1
A5	۰/۳۸۶۷	۷/۷۰	۰/۶۳	۱/۶	۳/۰۹	۵/۷۳	۰	۰/۲۷	۰/۴۱	C2-S1
B	۰/۴۸۰	۷/۳۲	۱/۹۲	۲/۲۹	۰/۸۱	۳/۸۶	۰	۰/۳۰	۱/۵۶	C2-S1
C1	۰/۴۲۸	۸	۱/۰۳	۴/۰۱	۱/۲۱	۵/۸۰	۰	۰/۳۰	۰/۶۳	C2-S1
C2	۰/۴۴۳	۸/۰۵	۲/۲۴	۴/۲۱	۱/۲۲	۵/۵۸	۰	۰/۸۱	۱/۳۵	C2-S1

جدول ۳- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

کد مزارع	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری (g <sub>r</sub> cm <sup>-3</sup> )	هدایت الکتریکی (mmhos cm <sup>-1</sup> )	اسیدیته خاک اشباع خاک	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	نقطه پژمردگی (%)	نفوذ پذیری نهایی (mm h <sup>-1</sup> ) <sup>۱</sup>	کمبود رطوبتی خاک (mm)
A1	لومی	۱/۳۹	۰/۶۴	۸	۲۴/۴۹	۱۳/۳۷	۱۴-۱۶	۲۹
A2	لوم-شنی	۱/۳۲	۰/۸۲	۸/۲۲	۲۴/۶۳	۱۳/۱۴	۱۴-۱۶	۲۸
A3	لومی	۱/۴۴	۰/۶۵	۷/۹۵	۲۶/۹۰	۹/۴۴	۱۴-۱۶	۳۰
A4	لومی	۱/۳۸	۰/۸۰۱	۸/۱۰	۲۷/۳۵	۱۲/۸۵	۱۴-۱۶	۲۸
A5	لوم-رسی	۱/۳۵	۰/۶۷۲	۷/۹۰	۳۲/۲۸	۱۱/۶۵	۱۴-۱۶	۳۲
B	لومی-رسی	۱/۳۱	۱/۵۵	۷/۸۹	۲۶/۲۷	۱۳/۷۲	۱۴-۱۶	۴۴
C1	لومی-شنی	۱/۴۰	۰/۸۵	۸/۳۰	۲۵/۱۹	۱۱/۸۲	۱۴-۱۶	۳۵
C2	لومی-شنی	۱/۴۹	۱/۱۵	۸/۴۰	۲۷/۲۷	۲۷/۱۱	۱۴-۱۶	۳۷

<sup>۱</sup> به منظور تعیین سرعت نفوذ نهایی خاک، آزمون نفوذ با نفوذسنج حلقوی انجام شد. در این آزمون، حلقه در خاک نصب و با آب پر گردید و کاهش ارتفاع آب در فواصل زمانی مشخص اندازه گیری شد. داده‌ها تا رسیدن نرخ نفوذ به حالت پایدار ثبت گردید و میانگین مقادیر ثابت شده به عنوان سرعت نفوذ نهایی محاسبه شد. این مقدار بر اساس نسبت کاهش ارتفاع آب به زمان، بر حسب میلی‌متر بر ساعت تعیین گردید.

جدول ۳- پارامترهای آبدهی، فشار و تغییرات فشار در سامانه‌های مورد ارزیابی

کد مزارع	آبدهی آبپاش (Lit s <sup>-1</sup> )	فشار حداکثر (bar)	فشار حداقل (bar)	فشار متوسط (bar)	تغییرات فشار سامانه (%)	ضریب کاهنده راندمان (ER)
A1	۱/۸۵	۳/۸	۳/۳	۳/۵۵	۱۴/۰۸	۰/۰۲۸
A2	۱/۶۰	۴	۳/۶	۳/۸۰	۱۰/۵۳	۰/۰۲۱
A3	۲	۴/۲	۲/۹	۳/۵۵	۳۶/۶۲	۰/۰۷۳
A4	۱/۷۶	۳/۶	۲/۶	۳/۱۰	۳۲/۲۶	۰/۰۶۵
A5	۲/۲۹	۴/۹	۳/۱۸	۴/۰۴	۴۲/۵۷	۰/۰۸۵
B	۱/۸۹	۵/۵	۳/۱۵	۴/۳۲	۵۴/۳۳	۰/۱۰۸
C1	۱/۸۵	۳/۷	۳/۱۰	۳/۴۰	۱۷/۶۵	۰/۰۳۴
C2	۲/۱۳	۴	۲/۹۵	۳/۴۸	۳۰/۲۲	۰/۰۶۱

نشان داد که علت اصلی افت شاخص‌های CU و DU، ناپایداری فشار در شبکه و ضعف در طراحی و بهره‌برداری سامانه‌ها بوده است. عواملی مانند استفاده از چند نوع آبپاش روی یک لوله فرعی، عدم عمود بودن رایزرها، ارتفاع بیش از حد پایه‌های آبپاش، کمبود فشار کاری، استفاده بیش از ظرفیت از تعداد آبپاش‌ها، فاصله‌گذاری نامناسب آبپاش‌ها و نوسانات شدید فشار در شبکه از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش یکنواختی توزیع آب شناخته شدند. بررسی داده‌های جدول ۴ نیز این مسئله را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که در بیش‌تر سامانه‌ها فشار متوسط موجود کم‌تر از فشار طراحی بوده است؛ موضوعی که به‌صورت مستقیم باعث کاهش شعاع پاشش و افت هم‌پوشانی (آبپاش‌ها) نوارهای آبیاری شده است. از منظر بهره‌برداری و مدیریت مزرعه، ضعف‌های قابل توجهی مشاهده گردید. برخی بهره‌برداران از چندین نوع آبپاش با مدل‌ها و مشخصات متفاوت در یک سامانه استفاده کرده‌اند. برای نمونه، ترکیب هم‌زمان آبپاش‌های شرکت سایم ایتالیا (Ambo)، مدل‌های ZK30 و ZM22 ساخت شرکت پروت آلمان، و آبپاش‌های پلاستیکی موسوم به "آبپاش‌های بی‌نام و نشان" موجب ایجاد ناهمگنی هیدرولیکی در شبکه شده است. چنین ترکیبی منجر به اختلاف در منحنی‌های دبی-فشار و تغییر شعاع پاشش بین آبپاش‌ها می‌شود که در نهایت، پدیده توزیع غیریکنواخت آب در سطح مزرعه را تشدید می‌کند. علاوه بر آن، مشاهده شد که در بسیاری از سامانه‌ها از تجهیزات غیراستاندارد و کم‌کیفیت نظیر پایه‌های آبپاش و شیرهای خودکار استفاده شده است. کیفیت پایین این اجزا، به‌ویژه نشت در شیرهای خودکار، سبب افت محسوس فشار در کل سامانه و هدررفت قابل توجه آب گردیده است. در برخی موارد نیز مشاهده شد که آبپاش‌های تنظیم‌شونده (Part-Circle) که در حاشیه مزارع استفاده می‌کردند در کنار آبپاش‌های تمام‌دور (Full-Circle) در وسط مزرعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، که این عدم هم‌خوانی در نوع پاشش، خود عامل مهم دیگری در کاهش ضریب یکنواختی پخش (Distribution Uniformity) بوده

(کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸)، مطالعات انجام‌شده در شهرستان اقلید، استان فارس نشان داد که تمامی سامانه‌های آبیاری بررسی شده (۱۰۰٪) دارای اختلاف فشار بیش از حد مجاز بوده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این اختلاف فشار عمدتاً ناشی از تلفات انرژی هیدرولیکی در مسیر لوله‌ها است، که بیش‌ترین میزان آن در محل اتصالات و اتصالات فرعی شبکه رخ می‌دهد. این مسئله بیان‌گر اهمیت کنترل افت‌های موضعی و بهینه‌سازی طراحی و نگهداری خطوط لوله برای حفظ یکنواختی فشار و عملکرد بهینه سامانه‌های آبیاری بارانی است. در سامانه‌های آبیاری بارانی، افت‌های هیدرولیکی به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند: افت‌های اصلی (Major Losses) که در طول لوله‌های مستقیم رخ می‌دهند و افت‌های جزئی (Minor Losses) که ناشی از تغییر مسیر جریان، شامل زانوها، اتصالات، شیرها و انشعابات است. عدم توجه به افت‌های جزئی می‌تواند باعث انتخاب پمپ نامناسب، کاهش یکنواختی فشار و افت کارایی سامانه شود. محاسبه درست این افت‌ها برای طراحی بهینه، کاهش هزینه‌ها و عملکرد بهتر سامانه ضروری است (Tagwi et al., 2022).

نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ نشان داد که مقادیر ضریب یکنواختی (CU) و یکنواختی توزیع (DU) در تمامی سامانه‌های آبیاری بررسی‌شده، پایین از محدوده توصیه‌شده توسط کلر و مریام است (67% ≤ DU ≤ 80% و 81% ≤ CU ≤ 87%). این مقادیر پایین به‌روشنی بیان‌گر آن است که پدیده عدم یکنواختی پخش آب در تمامی مزارع وجود داشته و سامانه‌ها از عملکرد هیدرولیکی مطلوب برخوردار نبودند. شاخص DU به‌عنوان شاخص حساس نسبت به تغییرات فشار و دبی، تصویری دقیق از وضعیت یکنواختی ارائه می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که کاهش این شاخص در صورت تأمین آبیاری کافی برای کل مزرعه، منجر به افزایش تلفات عمقی (Deep Percolation Losses) و در نتیجه کاهش راندمان مصرف آب می‌شود. درواقع، مقادیر کم‌تر از ۶۷ درصد از دیدگاه مهندسی و عموم، غیرقابل قبول محسوب می‌شوند. تحلیل داده‌ها و مشاهدات میدانی

آمدند که بیان‌گر عملکرد ضعیف سامانه‌ها از منظر طراحی هیدرولیکی و مدیریت بهره‌برداری است. پایین بودن مقدار PELQ می‌تواند نتیجه‌ی دو عامل اصلی: نخست، نواقص فنی در طراحی، اجرا و انتخاب آبیاش‌ها که منجر به توزیع غیریکنواخت آب می‌شود؛ و دوم، مدیریت ناکارآمد بهره‌برداری و نگهداری شامل تنظیم نادرست فشار کاری، زمان‌بندی نامناسب آبیاری و عدم سرویس دوره‌ای سامانه آبیاری بارانی مورد مطالعه باشد. بررسی داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهد که در اغلب سامانه‌های آبیاری بارانی مورد مطالعه، نفوذ عمقی آب قابل‌توجه بوده و در نتیجه، میزان کفایت آبیاری در محدوده‌ای پایین و غیرقابل‌قبول قرار دارد. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، بیش‌تر مزارع از کفایت آبیاری نامطلوبی برخوردار بوده‌اند؛ به‌ویژه در مزرعه‌ی A3 که تنها حدود ۲۵ درصد از سطح آبیاری شده توانسته است به اندازه‌ی کمبود رطوبتی خاک یا بیش‌تر از آن آب دریافت کند. این وضعیت حاکی از عملکرد ضعیف سامانه در تأمین نیاز آبی گیاه و توزیع غیریکنواخت آب در سطح مزرعه است. علت اصلی پایین بودن کفایت آبیاری را می‌توان به کاهش یکنواختی توزیع آب در سامانه‌های آبیاری نسبت داد؛ عاملی که پیش‌تر نیز در ارزیابی‌های هیدرولیکی به آن اشاره شده بود. در مجموع، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک در دشت قره‌رو از نظر کارایی و راندمان هیدرولیکی در وضعیت مطلوبی قرار ندارند. از این‌رو، بازننگری در طراحی، تنظیم فشار کاری به محدوده‌ی بهینه، و ارتقای مهارت‌های مدیریتی بهره‌برداران ضروری است تا ضمن کاهش تلفات آبی ناشی از تبخیر، بادبردگی و نفوذ عمقی، توزیع آب یکنواخت‌تر و بهره‌وری مصرف آب در منطقه افزایش یابد.

است. با توجه به نتایج تحلیل سامانه‌های آبیاری بارانی و عوامل مؤثر بر کاهش یکنواختی پخش آب، می‌توان نتیجه گرفت که برای ارتقای عملکرد هیدرولیکی این سامانه‌ها، بازطراحی شبکه بر مبنای فشار واقعی بهره‌برداری و به‌کارگیری آبیاش‌های هم‌مدل با مشخصات فنی سازگار ضروری است. علاوه بر این، کاهش افت‌های طولی و موضعی از طریق استفاده از لوله‌ها و اتصالات استاندارد و تنظیم دقیق فواصل و آرایش آبیاش‌ها بر اساس شعاع پاشش واقعی، نقش بسزایی در افزایش یکنواختی توزیع دارد. در نهایت، بهبود مدیریت بهره‌برداری، پایش مستمر فشار و دبی، و اجرای برنامه‌های منظم نگهداری و آموزش بهره‌برداران می‌تواند ضمن ارتقای راندمان کاربرد آب، پایداری عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی را در بلندمدت تضمین کنند. بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۵، مشاهده شد که در اغلب مزارع مورد بررسی، به‌دلیل اعمال کم‌آبیاری (Deficit Irrigation)، مقادیر راندمان کاربرد واقعی (AELQ) و راندمان کاربرد پتانسیل (PELQ) یکسان بوده‌اند. تنها در مزرعه‌ی A5، به‌علت وقوع تلفات نفوذ عمقی قابل‌ملاحظه (Deep Percolation)، مقدار راندمان کاربرد واقعی کم‌تر از راندمان کاربرد پتانسیل به‌دست آمد. راندمان کاربرد (Application Efficiency) صرفاً بیان‌گر بخشی از حجم آب آبیاری است که در ناحیه‌ی ریشه‌ی گیاه ذخیره شده و در فرآیند تبخیر-تعرق مؤثر (ET) مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ از این‌رو این شاخص نمی‌تواند به‌تنهایی معیاری از کافی بودن آب آبیاری را نشان دهد. مطابق با معیارهای ارائه‌شده توسط مریام و کلر (Merriam & Keller, 1978) دامنه‌ی قابل‌قبول برای شاخص‌های PELQ و AELQ بین ۶۵ تا ۸۵ درصد تعیین شده است. با این‌حال، در مطالعه‌ی حاضر مقادیر هر دو شاخص پایین‌تر از حد استاندارد به‌دست

جدول ۵- نتایج شاخص‌های ارزیابی سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک در مزارع مختلف

کد مزارع	CUs (%)	DUs (%)	PELQs (%)	AELQs (%)	WDEL (%)	DP (%)	ADirr (%)
A1	۷۷/۵۸	۷۴/۹۲	۶۳/۱۶	۶۳/۱۶	۹	۲۶	۵۵
A2	۷۰/۰۱	۶۱/۰۱	۵۰/۷۳	۵۰/۷۳	۱۵	۲۰	۶۲
A3	۶۲/۶۹	۵۲/۶۳	۴۷/۷۵	۳۸/۷۵	۱۰	۵	۲۵
A4	۷۴/۷۱	۶۲/۲۹	۵۵/۱۲	۵۵/۱۲	۱۰	۲۵	۷۴
A5	۷۱/۷۱	۶۸/۷۱	۵۵/۸۰	۴۴/۸۲	۸	۳۵	۹۸
B	۶۹/۵۰	۶۰/۶۴	۵۰/۰۴	۵۰/۰۴	۷/۲۲	۱۵	۶۲
C1	۷۰	۵۲/۵۱	۴۸	۴۸	۱۲	۱۵	۹۵/۵۰
C2	۷۳/۹۷	۶۰/۵۹	۴۸/۹۸	۴۳/۲۲	۵/۱۹	۲۲	۷۲
میانگین	۷۱/۶۸	۶۱/۶۶	۵۲/۴۵	۵۱/۰۷	۹/۵۴	۲۲/۷۸	۶۸/۳۱

که پژوهش‌گران یادشده، سامانه‌های گوناگون آبیاری بارانی را مورد مطالعه قرار داده‌اند؛ با این‌حال، مقادیر ارائه‌شده در این جدول صرفاً به سامانه‌های کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک مربوط می‌شود تا

جدول ۶ نتایج ارزیابی سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک در مطالعه مذکور را در مقایسه با یافته‌های سایر پژوهش‌گران در مناطق مختلف کشور نشان می‌دهد. شایان ذکر است

می‌رود. به صورت کلی، مقایسه‌ی تطبیقی نتایج نشان می‌دهد که عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی مورد مطالعه در دشت قروه نسبت به مقادیر گزارش شده در سایر مناطق کشور پایین‌تر از سطح بهینه توصیه شده توسط منابع فنی مریام و کلر ( Merriam and Keller, 1978) است؛ امری که ضرورت بازنگری در طراحی، تنظیم فشار کاری و بهبود مدیریت بهره‌برداری را در این منطقه بیش از پیش برجسته می‌سازد.

امکان مقایسه‌ی مستقیم فراهم گردد. تحلیل مقادیر جدول نشان می‌دهد که شاخص‌های یکنواختی CU و DU و راندمان کاربرد PELQ و AELQ در سامانه‌های مورد بررسی در دشت قروه، در مقایسه با بسیاری از مطالعات مشابه، در سطح پایین‌تری قرار دارند. این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط اقلیمی، کیفیت طراحی و اجرا، و نحوه‌ی بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌ها باشد. علاوه بر این، تنظیم نامناسب فشار کاری خطوط جانبی و آبیاش‌ها و نبود نگهداری منظم تجهیزات نیز از عوامل مؤثر در افت عملکرد سامانه‌ها به‌شمار

جدول ۶- ارزیابی تطبیقی پارامترهای کارایی و یکنواختی سامانه‌های آبیاری بارانی در دشت قروه و پژوهش‌های منتخب ایران

پارامترهای ارزیابی (%)	مزارع مورد بررسی در مطالعه مذکور	فاریابی و همکاران (۱۳۸۹)	مشرقی و همکاران (۱۳۹۰)	مجد سلیمی و همکاران (۱۳۹۴)	دهقانی سانیچ و همکاران (۱۳۹۸)	بختیاری و همکاران (۱۳۹۹)	حنیف میریلوج و همکاران (۱۳۹۹)	سالیمی و همکاران (۱۳۹۹)
CU	حداقل	۶۲/۶۹	۴۸/۲۹	۶۴/۰۴	۵۵/۸۴	۴۷	۴۹/۱۰	۶۸/۹۰
	متوسط	۷۱/۶۸	۶۶/۰۴	۸۰/۵۷	۶۵/۵۰	۶۰/۶۰	۷۶/۱۰	۷۹/۲۰
	حداکثر	۷۷/۵۸	۷۷/۵۹	۹۱/۱۵	۷۱/۹۰	۷۱	۸۶/۴۰	۸۹/۵۰
DU	حداقل	۵۲/۵۱	۳۵/۵۴	۴۶/۸۰	۴۴/۳۴	۵۸	۳۷/۵۰	۵۵/۶۰
	متوسط	۶۱/۶۶	۵۰/۶۲	۷۲/۱۲	۵۱/۵۲	۶۳	۶۵/۱۰	۷۰/۶۰
	حداکثر	۷۴/۹۲	۶۴/۱۰	۸۷/۲۷	۶۰/۱۳	۸۳	۷۸/۸۰	۸۵/۶۰
PELQ	حداقل	۴۸	۳۰/۲۰	۳۷/۹۷	۴۴/۷۰	۳۹/۴۹	۲۱/۳۰	۳۴/۱۰
	متوسط	۵۲/۴۵	۴۴/۸۰	۶۴/۵۸	۳۷/۲۶	۴۹	۴۴/۹۰	۵۰/۵۵
	حداکثر	۶۳/۱۶	۵۵/۷۷	۸۳/۳۴	۵۳/۲۳	۶۷/۳۰	۶۷/۳۰	۶۷
AELQ	حداقل	۳۸/۷۵	۳۰/۲۰	۳۷/۹۷	۴۴/۷۰	۱۲/۱۷	۲۲/۲۳	۲۹
	متوسط	۵۰/۰۷	۴۴/۷۸	۵۶/۳۹	۳۷/۲۶	۳۸	۴۷/۶۰	۳۹/۴۰
	حداکثر	۶۳/۱۶	۵۵/۰۲	۷۵/۲۶	۵۳/۲۳	۶۰/۱۱	۶۸/۵۰	۴۹/۸۰
AD <sub>Int</sub>	حداقل	۲۵	۲۸	-	۲۲	-	۵۳/۹۰	-
	متوسط	۶۸/۳۱	۶۸	-	۴۳	-	۷۸/۲۰	-
	حداکثر	۹۵/۵۰	۱۰۰	-	۶۰	-	۹۱/۸۰	-
WDEL	حداقل	۸	۲/۲۹	۳/۳۱	۴/۸	-	۱۲/۲۰	۹/۲۰
	متوسط	۹/۵۴	۱۱/۳۲	۱۰/۰۵	۸/۹	-	۲۲/۱۰	۲۴/۳۵
	حداکثر	۱۰	۱۷/۱۰	۱۸/۵۷	۱۳	-	۲۶/۵	۳۹/۵

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت آب و خاک مزارع دشت قروه از نظر شاخص‌های شیمیایی و فیزیکی در محدوده مجاز قرار داشته و از نظر طبقه‌بندی USSL در کلاس C2-S1 طبقه‌بندی می‌شوند؛ بنابراین، محدودیتی از نظر کیفیت آب برای استفاده در سامانه‌های آبیاری بارانی وجود ندارد. با این حال، ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک نشان داد که این سامانه‌ها از نظر عملکرد هیدرولیکی و راندمان آبی در شرایط مطلوبی قرار ندارند. مقادیر شاخص‌های یکنواختی توزیع آب CU و DU و راندمان‌های کاربرد واقعی و پتانسیل در ربع پایین AELQ و PELQ پایین‌تر از محدوده توصیه‌شده توسط مریام و کلمر (Merriam & Keller, 1978) به دست آمدند که نشان‌دهنده ضعف عملکرد سامانه‌های آبیاری است. این وضعیت عمدتاً ناشی از نواقص طراحی، اجرای غیراصولی، و به‌ویژه ضعف در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌های آبیاری است. همچنین با توجه به شرایط طراحی و استانداردهای موجود، فواصل و جانمایی آبیاش‌ها آبیاری مطابق با سرعت باد غالب و محدودیت‌های اقتصادی و عملیاتی منطقه تعیین می‌شوند (علیزاده، ۱۳۹۰). ولی اصلی‌ترین اصل طراحی فواصل آبیاش‌ها بر اساس سرعت باد غالب منطقه و استانداردهای توصیه‌شده سازمان‌های آب و کشاورزی است تا هم‌پوشانی مناسب و یکنواختی آبیاری حفظ شود. با این حال، برای بهبود یکنواختی و راندمان، راه‌کارهای فنی مانند کاهش فاصله بین نازل‌ها، اصلاح زاویه و ارتفاع نصب آبیاش‌ها، بهبود تنظیم فشار سامانه و استفاده از هم‌پوشانی مناسب آبیاش‌ها می‌تواند در طراحی‌های آبی مد نظر قرار گیرد تا عملکرد سامانه آبیاری در شرایط محیطی متغیر ارتقاء یابد. به طور کلی، بهبود کارایی سامانه‌های آبیاری در منطقه مستلزم بازنگری در طراحی‌های موجود، آموزش بهره‌برداران و به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی و فنی مناسب جهت کاهش تلفات آب و افزایش یکنواختی توزیع آن می‌باشد. از این رو با توجه به ارزیابی منطقه پیشنهاد می‌شود:

(۱) بازنگری و بهینه‌سازی طراحی شبکه‌های آبیاری بارانی

❖ اصلاح طراحی هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری، شامل تعیین قطر مناسب لوله‌ها، توزیع فشار یکنواخت و انتخاب نوع و شعاع آبیاش‌ها، می‌تواند کیفیت توزیع آب را بهبود بخشد و راندمان سامانه را افزایش دهد.

(۲) تنظیم فشار کاری در محدوده بهینه سامانه‌ها

❖ کنترل فشار کاری در لوله‌ها و آبیاش‌ها باعث کاهش نوسان فشار و جلوگیری از پراکندگی نامتناسب آب می‌شود. این کار به افزایش راندمان واقعی کاربرد و کاهش اتلاف آب کمک

می‌کند.

(۳) انتخاب آبیاش‌های متناسب با شرایط هیدرولیکی و اقلیمی

❖ اصولاً در هنگام طراحی انتخاب آبیاش‌ها بر اساس عرف منطقه است از این رو استفاده از آبیاش‌هایی که با شرایط منطقه، دبی و فشار سامانه هماهنگ هستند، از هدررفت آب جلوگیری کرده و توزیع یکنواخت آب در مزرعه را تضمین می‌کند.

(۴) هماهنگی زمان‌بندی آبیاری

❖ برنامه‌ریزی مناسب زمان و مدت آبیاری به کاهش اتلاف آب و بهبود یکنواختی آبیاری کمک می‌کند. این کار همچنین از فشار اضافی روی سامانه جلوگیری کرده و بهره‌وری را افزایش می‌دهد.

(۵) آموزش بهره‌برداران در نگهداری و بهره‌برداری اصولی

❖ آموزش عملی بهره‌برداران درباره نگهداری سامانه‌ها، رفع نشت‌ها، تنظیم فشار و عملکرد صحیح آبیاش‌ها نقش مهمی در پایداری و افزایش کارایی سامانه‌ها آبیاری دارد.

(۶) نظارت دوره‌ای بر عملکرد هیدرولیکی و راندمان سامانه‌های

آبیاری

❖ پایش منظم شاخص‌های یکنواختی و راندمان کاربرد واقعی و پتانسیل، به شناسایی مشکلات عملکردی کمک کرده و امکان اصلاح به موقع سامانه را فراهم می‌کند.

## منابع

حیدری، ن. ۱۳۹۷. مسائل و چالش‌های صرفه‌جویی واقعی آب از طریق افزایش بهره‌وری آب و کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری (یادداشت فنی). فصلنامه آب و توسعه پایدار. (۲)۵: ۱۷۵-۱۶۹.

داوودمقامی، د.، بختیاری، س.، محسنی موحد، س. ا. و مقدسی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در استان مرکزی، مجله پژوهش آب ایران. ۱۴(۳۶): ۱۸-۹.

دهقانی سانج، ح.، نخجوانی مقدم، م. ح.، فرزاد نیا، م. و دهقانیان، ا. ۱۳۹۸. بررسی کارایی و عملکرد سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مزارع (مطالعه موردی: استان‌های اصفهان و فارس)، مجله آبیاری و زهکشی ایران، (۳): ۶۰۳-۶۱۳.

دهقانیان، س. ا.، دهقانی سانج، ح. و نخجوانی مقدم، م. ح. ۱۳۹۷. ارتقاء اثربخشی و عملکرد سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در منطقه فارس، نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۴(۲): ۳۷-۴۸.

سالمی، ح. ر.، رضوانی، س. م.، قدمی فیروزآبادی، ع. و ابراهیمی

- نادری، نا،، قدمی فیروزآبادی، ع و فرومدی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی فنی سیستم‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۲(۳): ۴۳۹-۴۳۹.
- یونسی، مم م، و گمرکچی، ا ی. ۱۴۰۱. ارزیابی هیدرولیکی دو سامانه آبیاری بارانی (لینیر) در طول فصل زراعی در دشت قزوین، نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۲(۸۵): ۵۹-۷۴.
- Abdelhamid, M. A., Abdelkader, T. K., Sayed, H. A., Zhang, Z., Zhao, X. and Atia, M. F. 2025. Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture. Scientific Reports. 15(1): 11761.
- Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W. and Gieske, A. 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. Agricultural water management. 88(1-3): 99-109.
- Bavi, A., Kashkuli, H. A., Boroomand, S., Naseri, A. and Albaji, M. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions.
- Biswas, A., Sarkar, S., Das, S., Dutta, S., Choudhury, M. R., Giri, A. and Paul, D. 2025. Water scarcity: A global hindrance to sustainable development and agricultural production—A critical review of the impacts and adaptation strategies. Cambridge Prisms: Water. 3: e4.
- Keller, J. and Bliesner, R. D. 1990. Layout of Set Sprinkler Systems. In Sprinkle and Trickle Irrigation (pp. 123-132). Springer US.
- Keller, J. and Bliesner, R. D. 1990. Sprinkle and trickle irrigation.
- Lorenzini, G. and De Wrachien, D. 2005. Performance assessment of sprinkler irrigation systems: A new indicator for spray evaporation losses. Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage. 54(3): 295-305.
- Maroufpoor, S., Maroufpoor, E. and Khaledi, M. 2019. Effect of farmers' management on movable sprinkler solid-set systems. Agricultural Water Management. 223: 105691.
- Merriam, John L., and Jack Keller. 1978. Farm irrigation system evaluation: a guide for management: 271-pp.
- Richards, L. A. (Ed.). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). US Government Printing Office.
- Tagwi, D., Senzanje, A. and Lagerwall, G. 2022. New Approaches to the Determination of Minor Frictional Losses in Irrigation Systems (Doctoral
- پاک، ن، ع. ۱۳۹۹. بررسی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی (کلاسیک ثابت و آبفشان غلتان) در برخی مزارع استان های اصفهان و همدان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۰(۳): ۲۷۷-۲۸۸.
- سی و سه مرده، م، و بایزیدی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی فنی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان غربی - مهاباد، فصلنامه مهندسی منابع آب. ۴(۸): ۶۳-۷۶.
- شیخ اسماعیلی، ا. ۱۳۸۵. بررسی تلفات تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آپاش متحرک. در: همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- طهماسبی، پ. ۱۴۰۳. اصول مدیریت منابع آب. انتشارات قلم محقق، صفحه ۳-۱.
- طهماسبی، پ. و زارع ایبانه، ح. ۱۴۰۴. تحلیل تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر نوسانات تراز سطح آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قروه- دهگلان استان کردستان پژوهش آب در کشاورزی.
- کاظمی، س.، برومندنسب، س. و ایزدپناه، ز. ۱۳۹۸. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آپاش متحرک (AMBOO, VYR155) در شهرستان اقلید- فارس، نشریه علوم و مهندسی آبیاری. ۴۲(۲): ۱۸۱-۱۹۶.
- مجد سلیمی، ک.، صلواتیان، س ب، و امیری، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک اجرا شده در باغ‌های چای استان گیلان. آب و خاک. ۲۹(۲): ۳۳۶-۳۴۹.
- محمدی، ا.، نقدی، و ن.، کهنوجی، م. و عطرحیان، ح. ۱۴۰۴. ارزیابی عملکرد سامانه های آبیاری قطره ای باغ های پسته (منطقه مورد مطالعه: باغ های پسته تحت پوشش طرح سیماب استان کرمان)، مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۶(۵۹): ۷۲-۸۸.
- مشرقی، گ.، معروف‌پور، ع.، قمرنیا، هو. ۱۳۹۰. ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی لوله چرخدار دشت دهگلان، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۵(۱): ۹۲-۱۰۳.
- میربلوچ، مح.، دلبری، م، و پیری، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک با آپاش متحرک در شهرستان خاش. مدیریت آب و آبیاری. ۱۰(۱): ۳۱-۴۴.
- نادری، ن. و قدمی فیروزآبادی، ع. ۱۴۰۲. بررسی عملکرد سیستم های آبیاری ستیریوت و بهره وری مصرف آب در برخی از مزارع استان سمنان، مجله مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۳(۵۲): ۱۴۹-۱۶۴.

World Bank. 2025. Strains on freshwater resources impact food production and water consumption. <https://blogs.worldbank.org/en/opendata/strains-freshwater-resources-impact-food-production-water-consumption>

Wu, H., Yue, Q., Guo, P. and Xu, X. 2025. Exploiting the potential of carbon emission reduction in cropping-livestock systems: Managing water-energy-food nexus for sustainable development. *Applied Energy*. 377: 124443.

dissertation, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg).

Tagwi, D., Senzanje, A. and Lagerwall, G. 2022. New Approaches to the Determination of Minor Frictional Losses in Irrigation Systems (Doctoral dissertation, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg).

UN Water. 2025. United Nations World Water Development Report 2025. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2025>

## Hydraulic Evaluation of Classic Solid-Set Sprinkler Irrigation Systems with Portable Sprinklers in Selected Farms of Qorveh Plain, Kurdistan Province

P. Tahmasebi<sup>1</sup>, B. Karimi<sup>1</sup>, H. Zare Abyaneh<sup>3\*</sup>, and H. Qadarshenas<sup>4</sup>

Received: Oct.19, 2025

Accepted: Jan.03, 2026

### Abstract:

Water scarcity has limited the expansion of agricultural development. Sprinkler irrigation systems can enhance water use efficiency; however, poor design, improper operation, and inadequate maintenance reduce their performance and increase water losses. Accurate design, proper management, and regular maintenance are the three main pillars for improving the performance and sustainability of these systems. The aim of this study was to evaluate the hydraulic performance, design quality, and operation of several sprinkler irrigation systems in Qorveh Plain, Kurdistan Province. Eight classic solid-set sprinkler irrigation systems equipped with portable sprinklers were selected and evaluated. To assess their performance, the Christiansen's Uniformity Coefficient (CU), Distribution Uniformity (DU), Potential Low Quarter Application Efficiency (PELQ), Actual Low Quarter Application Efficiency (AELQ), Wind Drift and Evaporation Losses (WDEL), Deep Percolation Losses (DP), and Adequacy of Irrigation (ADirr) indices were determined. The average values of these indices for the eight farms were 71.67%, 61.66%, 52.45%, 52.07%, 9.54%, 22.78%, and 68.31%, respectively. The results indicated that all systems had low application efficiency, and the water distribution uniformity was below the recommended range proposed by Merriam and Keller (1978). Furthermore, due to water shortages, the potential and actual application efficiencies were equal in all farms except for farm A5. The low potential application efficiency was mainly attributed to improper design and construction, with the most critical factor being unsuitable operating pressure. The simultaneous use of more than one sprinkler per lateral line and the use of sprinklers with different models and specifications, along with poor system design, installation, operation, and maintenance, were the main causes of reduced distribution uniformity. Overall, the results revealed that despite multiple design and implementation issues, the primary reason for the poor performance of the classic solid-set sprinkler irrigation systems with portable sprinklers in Qorveh Plain was improper management, maintenance, and operation.

**Keywords:** Deep percolation losses, Distribution uniformity, Irrigation adequacy, Potential application efficiency, Sprinkler intensity

1- Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

1- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

4- M.Sc. Graduate in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(\*- Corresponding Author Email: [zare@basu.ac.ir](mailto:zare@basu.ac.ir))