

## ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری کلاسیک ثابت در اسدآباد همدان

حمید زارع ایبانه<sup>۱</sup> و سجاد زیوری عارف

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

zareabyaneh@gmail.com

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

Sajad.zivari.aref@gmail.com

### چکیده

برای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت با آبیاش متحرک، تعداد ۱۰ سامانه تحت مدیریت زارعین با کشت‌های گندم (یک مزرعه)، سیب‌زمینی (شش مزرعه) و یونجه (سه مزرعه) انتخاب شدند. میانگین شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد آب و راندمان واقعی آب، برای تمامی مزارع به ترتیب ۷۵/۲۶٪، ۵۶/۷۶٪، ۴۵/۴٪ و ۳۴/۶۵ درصد به دست آمدند. دامنه تغییرات راندمان پتانسیل کاربرد آب بین ۲۳/۴۷-۷۴/۱۹ درصد، راندمان واقعی آب بین ۲۸/۵۲-۴۸/۲۱٪، یکنواختی توزیع بین ۳۸/۱٪ - ۷۲/۷۹٪ و ضریب یکنواختی کریستیانسن بین ۴۹/۶۵ - ۸۵/۱۳ درصد بودند. میانگین تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه‌های آبیاری ۲۸/۹ درصد، میانگین تلفات عمقی آب آبیاری ۳۱ درصد و میانگین درصد کفایت آبیاری ۹۰/۵ درصد محاسبه شدند. مقدار دو شاخص ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن و یکنواختی توزیع در ۹۰ درصد از سامانه‌ها، کمتر از مقادیر توصیه شده بودند. در ۳۰ درصد از سامانه‌ها به علت آبیاری کمتر از نیاز آبی واقعی گیاه، راندمان واقعی با راندمان پتانسیل کاربرد برابر بود. طراحی نامناسب سامانه‌ها، استفاده هم-زمان بیش از یک آبیاش، ضعف مدیریت بهره‌برداران و استفاده از لوازم فرسوده و غیراستاندارد، از مهم‌ترین دلایل پایین بودن یکنواختی توزیع آب و راندمان پتانسیل کاربرد آب است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در اکثر طرح‌های مورد مطالعه، راندمان عملکرد سامانه‌ها کمتر از حد انتظار است. نتایج این پژوهش نشان داد طراحی و اجرای صحیح سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت زمانی مفید است که بهره‌برداری از این سامانه‌ها نیز مناسب و کارآمد باشد.

واژه‌های کلیدی: راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین، راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین، ضریب یکنواختی کریستیانسن، تلفات آبیاری بارانی.

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

\*- دریافت: مرداد ۱۳۹۵ و پذیرش: شهریور ۱۳۹۶

## مقدمه

باد و عدم دقت در طراحی‌های انجام شده، دانسته است. رضوانی و جعفری (۱۳۸۳) عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی مزارع سیب‌زمینی همدان را بررسی کردند. نتایج نشان داد پایین بودن راندمان پتانسیل کاربرد ناشی از پایین بودن یکنواختی توزیع و ضریب یکنواختی است که زارعین نسبت به رفع کمبود فشار سامانه و دبی آبپاش‌ها به دلایل اقتصادی نظیر استفاده از وسایل ارزان قیمت، مستعمل و بی کیفیت، اهتمام جدی ندارند. برادران هزاوه (۱۳۸۴) با ارزیابی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار شهرستان اراک نشان داد سامانه‌های آیفشان غلطان در مقایسه با سامانه‌های کلاسیک ثابت از ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع ربع پایین و راندمان پتانسیل ربع پایین بیشتری برخوردارند. از نظر باوی و همکاران (۲۰۰۹) زیادی سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع هوا در امیدیه خوزستان دو عامل مهم در میزان تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده این منطقه هستند.

فاریابی (۱۳۸۸) دلیل اصلی پایین بودن عملکرد در آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان (کردستان) را مدیریت نامناسب استفاده از سامانه‌های آبیاری مانند عدم تامین فشار مناسب و بهره‌برداری ضعیف در همه قسمت‌های یک سامانه به‌واسطه دانش پایین کشاورزان عنوان کرده است. مجدسلیمی و همکاران (۱۳۹۴) میانگین ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد ربع پایین در شش سامانه آبیاری کلاسیک باغ‌های چای استان گیلان را به‌ترتیب برابر ۶۵، ۵۲، ۴۴ و ۴۴ درصد ارزیابی نمودند که از مقادیر توصیه شده مریام و کلر (۱۹۷۸) کمتر است. پیرا و همکاران (۲۰۰۲) عوامل موثر بر بازده سامانه‌های آبیاری را مناسب بودن فشار آبپاش‌ها و فاصله آن‌ها، کم بودن تغییرات فشار سامانه‌ها، صحیح بودن اطلاعات طراحی، آبیاری در زمان مناسب نظیر آبیاری شبانه یا آبیاری در ساعات خنک روز، تعمیر و نگهداری سامانه‌های آبیاری و برخی راه‌کارهای دیگر دانستند. در ارزیابی

راندمان آبیاری، شاخصی مهم جهت ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت شرایط کمبود آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک است. راندمان آبیاری تاثیرپذیری زیادی از مدیریت سامانه‌های آبیاری دارد، به‌طوری‌که نقش به‌سزایی در کارایی و سوددهی سامانه‌های آبیاری از دیدگاه اقتصادی دارد (پلایان و متوس، ۲۰۰۶). ساده‌ترین راه برای افزایش راندمان آبیاری در سیستم‌های آبیاری اجرا شده، انجام ارزیابی عملکرد سامانه‌ها و در صورت لزوم، تغییر روش‌های مدیریت آبیاری است. تغییر روش‌های آبیاری به‌همراه مدیریت بهینه سامانه‌ها موجب صرفه‌جویی در آب مصرفی به‌واسطه تامین نیاز آبی به‌موقع گیاه و در برخی موارد، افزایش کمیت و کیفیت محصول می‌شود. برخی از متخصصان مدرن‌سازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار نظیر به‌کارگیری ماشین‌های آبیاری دورانی به‌جای سامانه‌های ثابت به‌دلیل کارایی مصرف آب بالاتر و استفاده از فرصت‌های مدیریتی مانند آبیاری شبانه به دلیل کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی را در افزایش بازده آبیاری موثر دانسته‌اند (پلایان و ماتوس، ۲۰۰۶). از نظر مریام و کلر (۱۹۷۸) و لورنزی و دوارچین (۲۰۰۵) ارزیابی، تحلیل اندازه‌گیری‌های منظم و دوره‌ای از یک سامانه آبیاری برای آشکارسازی مشکلات و عیوب احتمالی عملکرد آن است. به‌بیانی دیگر، ارزیابی کاربرد با صرفه‌تر و با بازدهی بیشتر برای دستیابی به پتانسیل واقعی یک سامانه آبیاری جهت تصمیم‌گیری در خصوص ادامه روش مدیریتی و یا تغییر آن است (قاسم‌زاده‌مجاوری، ۱۳۷۷).

ابراهیمی (۱۳۸۵) حداقل و حداکثر راندمان پتانسیل کاربرد آب آبیاری در ربع پایین ۱۲ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت و آیفشان غلطان در استان خراسان را به‌ترتیب ۴۵ و ۶۷ درصد و حداقل و حداکثر ضریب یکنواختی توزیع آب را ۵۳ و ۷۵ درصد گزارش نمود. ایشان علت پایین بودن میزان یکنواختی سامانه‌ها را دو عامل وزش

مورد نیاز ارزیابی، صورت گرفت. جدول ۱، مشخصات کلی سیستم‌های کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک را به تفکیک محصول، آرایش، دور و ساعت آبیاری و نیز نوع آبیاری، نشان می‌دهد.

برای ارزیابی، فهرستی از اطلاعات و داده‌های اولیه مربوط به مزرعه نظیر مساحت زمین، نوع کشت، عمق توسعه ریشه، نقشه توپوگرافی و سامانه آبیاری (مانند ایستگاه پمپاژ، لوله‌های آبیاری، مشخصات آبیاری‌ها و مشخصات سامانه‌های آبیاری) از کشاورزان و بهره‌برداران تهیه شدند. اطلاعات به دست آمده با مشخصات سامانه‌های آبیاری در دفترچه طراحی مطابقت داده شد تا تغییرات ایجاد شده نظیر استفاده از آبیاری‌ها و اتصالات غیراستاندارد و مستعمل، تغییر در سیستم پمپاژ و نوع پمپ، به کارگیری هم-زمان چند آبیاری و عدم مشابهت آن‌ها از سوی کشاورزان نسبت به دفترچه‌های طراحی هر سامانه‌های آبیاری مشخص گردد. همچنین از اطلاعات کسب شده در انتخاب لترال دارای توپوگرافی مناسب به عنوان نماینده سامانه مورد ارزیابی نیز استفاده گردید. سه نمونه خاک دست نخورده از سه لایه ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر از هر مزرعه تهیه و پس از توزین به آزمایشگاه آب و خاک اداره جهاد کشاورزی اسدآباد ارسال گردید. از این نمونه‌ها، برخی اطلاعات مربوط به خاک به دست آمد. کمبود رطوبت خاک<sup>۱</sup> (SMD)، در زمان آبیاری تا عمق حداکثر توسعه ریشه از تفاضل وزن نمونه‌های خشک شده با وزن نمونه‌ها در حالت رطوبت ظرفیت زراعی محاسبه گردید. بافت خاک با اندازه-گیری درصد ذرات شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری از مثلث بافت خاک تعیین شد. جرم ویژه ظاهری خاک ( $\rho_b$ )، برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب از نسبت جرم نمونه خاک خشک (MS)، دست نخورده برحسب گرم به حجم نمونه ( $V_T$ ) برحسب سانتی‌متر مکعب به دست آمد. درصد اشباع نمونه‌های خاک به روش خشک کردن در آون

اشرف و همکاران (۱۳۹۴) بهتر بودن عملکرد هیدرولیکی سامانه آبیاری بارانی دوار در مقایسه با سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک گزارش گردید. در این تحقیق ضریب یکنواختی ۶۵/۵۲ درصد و راندمان پتانسیل ربع پایین ۴۷/۵ درصد در سامانه کلاسیک ثابت و ضریب یکنواختی و راندمان پتانسیل ربع پایین در سامانه بارانی دوار به ترتیب ۸۸/۳۶ و ۷۴/۲۸ درصد اندازه‌گیری شد. در تحقیقی دیگر ارزیابی انجام شده در چهار سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک در منطقه خرم‌آباد حاکی از تلفات زیاد آب نفوذ یافته و تلفات تبخیر و بادبردگی بود (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۳). مقادیر بازده پتانسیل کاربرد، بازده واقعی کاربرد، تلفات پاششی و نفوذ عمقی در ارزیابی فوق به ترتیب ۴۵/۷۱، ۸۱/۶۴، ۱۳/۲ و ۳۰/۰۹ درصد به دست آمدند.

در راستای توسعه کاربرد روش‌های آبیاری تحت-فشار طرح‌های زیادی در استان همدان از جمله در دشت اسدآباد اجرا شده که عمده آن‌ها، سامانه‌های کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک هستند. ارزیابی و شناخت مسایل و مشکلات آن‌ها به کمک برخی شاخص‌های مربوط به عملکرد سامانه‌های آبیاری نظیر: ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی و پتانسیل ربع پایین در کشت‌های مختلف زراعی از اهداف اصلی این تحقیق است. در این راستا کشاورزان می‌توانند با انجام چنین ارزیابی‌هایی نسبت به رفع مشکلات مزارع خود در مقیاس محلی و منطقه‌ای به منظور مدیریت بهتر به کارگیری سامانه‌های آبیاری عمل نمایند.

## مواد و روش‌ها

عملیات مزرعه‌ای برای ارزیابی وضعیت کارکرد و بهره‌برداری ۱۰ سامانه آبیاری بارانی از دشت اسدآباد استان همدان طی دو ماه اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۹۴، به واسطه بی پوشش بودن زمین‌های زراعی و امکان برداشت داده‌های

<sup>1</sup> Soil moisture deficit

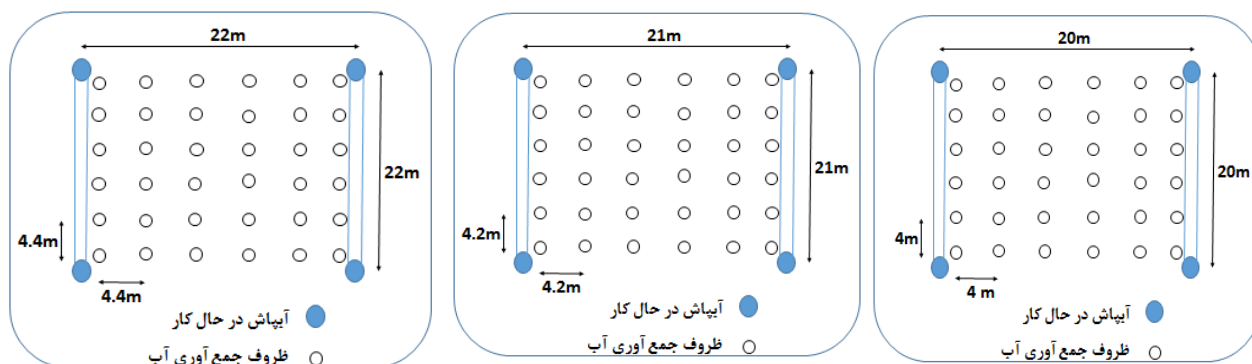
با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به دست آمد (غلامعلی‌زاده آهنگر، ۱۳۸۶). سرعت نفوذ نهایی خاک‌ها از دفترچه‌های طراحی استخراج گردید. فشار آبیاش‌ها با فشارسنج دارای لوله پیتو و دبی آبیاش‌ها با هدایت آب آنها از طریق یک لوله رابط به یک ظرف مدرج با حجم ۴۰ لیتر، به روش حجم-سنجی اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- برخی مشخصات سیستم‌های آبیاری در زمان ارزیابی

سامانه	محصول	آرایش شبکه (m×m)	دور آبیاری (روز)	ساعت آبیاری	مدل آبیاش	تاریخ ارزیابی	مدت آزمایش	سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)	درجه حرارت
۱	سیبزمینی	۲۲×۲۲	۷	۵	AMBO	۹۳/۲/۱۹	۲۰:۱۳-۱۲:۳۰	۲/۹	۲۰/۵
۲	گندم	۲۱×۲۱	۱۰	۴	AMBO	۹۳/۲/۲۸	۱۴:۲۰-۱۵:۲۰	۲/۹	۳۷/۱
۳	سیبزمینی	۲۰×۲۰	۷	۴	AMBO	۹۳/۳/۱۲	۱۵-۱۶	۲/۹	۳۲/۷
۴	سیبزمینی	۲۲×۲۲	۷	۴	AMBO	۹۳/۳/۱۳	۱۳:۴۵-۱۴:۴۵	۲/۱۶	۳۳/۳
۵	یونجه	۲۱×۲۱	۹	۶	AMBO	۹۳/۳/۱۵	۱۱:۰۵-۱۲:۰۵	۲/۹	۳۲/۸
۶	سیبزمینی	۲۰×۲۰	۷	۴	ZM22	۹۳/۳/۱۷	۱۴:۱۰-۱۵:۱۰	۳/۶۲	۳۲/۷
۷	سیبزمینی	۲۰×۲۰	۷	۷	ZM22	۹۳/۳/۲۰	۱۴-۱۵:۱۰	۳/۶۲	۳۲/۷
۸	یونجه	۲۰×۲۰	۹	۴	AMBO	۹۳/۳/۲۲	۱۵-۱۶	۲/۱۶	۳۱/۶
۹	یونجه	۲۲×۲۲	۹	۷	AMBO	۹۳/۳/۲۹	۱۴-۱۵:۱۰	۱/۴۵	۳۰
۱۰	سیبزمینی	۲۲×۲۲	۷	۵	AMBO	۹۳/۳/۳۰	۱۴:۱۵-۱۵:۲۵	۲/۱۶	۳۲/۶

جمع‌آوری آب به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و قطر ۹/۶ سانتی‌متر در دو طرف آبیاش و در امتداد لترال مطابق شکل ۱ جانمایی گردید (لمیستر و همکاران، ۲۰۰۷).

برای تعیین یکنواختی توزیع آب، محل مناسبی از سامانه آبیاری با فشار متوسط براساس توپوگرافی مزرعه و نظر کارشناسی انتخاب گردید. آن‌گاه شبکه‌ای از قوطی‌های



شکل ۱- شماتیک چیدمان قوطی‌های جمع‌آوری آب برای ارزیابی سامانه‌های آبیاری در سه آرایش مختلف

قوطی‌ها پس از حدود یک ساعت کار سامانه به ترتیب با خطکش و استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. مقدار تبخیر با استقرار یک قوطی با حجم مشخصی از آب، دور از آبیاش‌ها و در شرایط مشابه آزمایش اندازه‌گیری شد و نمودارهای هم عمق مطابق شکل ۲ در آرایش شبکه‌های مختلف رسم گردید (تارجولو و همکاران، ۱۹۹۹). سرعت باد، دمای هوا

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است اندازه شبکه قوطی‌های استقرار یافته برای آرایش ۲۰\*۲۰ متر مربع برابر ۴\*۴ متر مربع، آرایش ۲۱\*۲۱ متر مربع، ۴/۲\*۴/۲ متر مربع و برای آرایش ۲۲\*۲۲ متر مربع، ۴/۴\*۴/۴ متر مربع است. برای اطلاع از سرعت پخش آب از آبیاش و حجم آب آبیاری، مقادیر عمق و حجم آب

CU ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن (درصد)، DU یکنواختی توزیع در ربع پایین (درصد)،  $D_i$  عمق آب در هر قوطی (میلی متر)،  $\bar{D}$  متوسط عمق آب قوطی‌ها (میلی متر)، n تعداد قوطی‌ها،  $D_q$  متوسط عمق آب در یک چهارم کمترین مقادیر اندازه‌گیری شده در قوطی‌ها (میلی متر)،  $P_{min}$  حداقل فشار سامانه (بار)،  $P_{mean}$  میانگین فشار سامانه (بار)، اندیس t برای بلوک آزمایش و اندیس S برای سامانه آبیاری است.

رابطه بین ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) و توزیع یکنواختی (DU) در اراضی که ۹۰ درصد مساحت آن‌ها به اندازه کافی آبیاری شده باشد به صورت  $DU - CU = 100 - 0.63(100 - CU)$  است (عیوضی حسن‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۲). برای اصلاح ضرایب رابطه فوق در شرایط منطقه اسدآباد ابتدا رابطه فوق به صورت  $DU - CU = a(100 - CU)$  و به شکل کلی  $Y = aX$  بازنویسی گردید. سپس داده‌های CU و DU حاصل برای بلوک و سامانه در قالب معادله کلی به ترتیب روی محورهای عمودی و افقی در محیط اکسل انتقال یافته و مدل خطی بر داده‌ها برازش یافت. با تعیین شیب خط برازش یافته به داده‌ها و حل معکوس آن، معادلات جدید CU بر حسب DU با ضرایب اصلاح شده برای منطقه به دست آمد.

راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ) و راندمان واقعی در ربع پایین اراضی (AELQ) برای بلوک آزمایشی از روابط ۳ و برای سامانه آبیاری از روابط ۴، به دست آمد (میرام و کلر، ۱۹۷۸).

$$\left\{ \begin{array}{ll} AELQ_t = \frac{D_q}{D_r} \times 100 & D_q \leq SMD \\ AELQ_t = \frac{SMD}{D_r} \times 100 & otherwise \end{array} \right. \quad (3)$$

$$SMD = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i) \times D_z \times \rho_b}{100}$$

$$PELQ_t = \frac{D_{lq}}{D_r} \times 100$$

و سایر پارامترهای هواشناسی در روز آزمایش از ایستگاه سینوپتیک اسدآباد واقع در دشت فوق و در فاصله متوسط ۵ کیلومتری مزارع اخذ گردید. برای تعیین یکنواختی پخش آب در مزرعه، از شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع در ربع پایین استفاده گردید. ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن (CU) براساس انحراف از میانگین آب قوطی‌ها و یکنواختی توزیع (DU) بر اساس انحراف از میانگین مقدار آب جمع‌آوری شده در ربع پایین قوطی‌های مستقر در بخشی از سامانه انتخاب شده که برای انجام اندازه‌گیری‌ها به عنوان بلوک آزمایش از روابط ۱، به دست آمدند. همچنین با توجه به اختلاف فشار آن بخش از سامانه انتخاب شده برای اندازه‌گیری‌ها با کل سیستم آبیاری، نسبت به تعدیل و تسری نتایج به سامانه آبیاری از روابط ۲، محاسبه گردید (کریستیانسن، ۱۹۴۲ و قاسم‌زاده مجاوره‌ای، ۱۳۷۷). لازم به ذکر است تمامی اندازه‌گیری‌ها و تعدیل‌ها به تفکیک هر یک از سامانه‌های آبیاری انجام شدند.

$$\left\{ \begin{array}{l} CU_t = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |D_i - \bar{D}|}{n \times \bar{D}} \right) \times 100 \\ DU_t = \frac{D_q}{D} \times 100 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} CU_s = CU_t \left[ \frac{1 + \left( \frac{P_{min}}{P_{mean}} \right)^{0.5}}{2} \right] \\ DU_s = DU_t \left[ \frac{1 + 3 \left( \frac{P_{min}}{P_{mean}} \right)^{0.5}}{4} \right] \end{array} \right. \quad (2)$$

که در آن‌ها:

$$\left\{ \begin{array}{l} WDEL = \frac{D_r - \bar{D}}{D_r} \times 100 \\ DP = \frac{\bar{D} - SMD}{D_r} \times 100 \end{array} \right. \quad \text{for full irrigation}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} DP = \frac{V_{zi} - (SMD \times A_{D_{irr}} \times S_l \times S_m)}{q \times T_{irr}} \times 100 \\ V_{zi} = \sum_{i=1}^{D_i \geq SMD} D_i = (D_i \times A_i) \times S_l \times S_m \end{array} \right. \quad \text{for deficit irrigation}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} PELQ_s = (1 - ER) \times PELQ_t \\ AELQ_s = (1 - ER) \times AELQ_t \\ ER = \frac{0.2 \times (P_{max} - P_{min})}{P_{mean}} \end{array} \right. \quad (4)$$

AELQ راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پائین اراضی (درصد)، PELQ راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین اراضی (درصد)،  $D_r$  متوسط عمق آب آبیاری اندازه‌گیری شده از سر نازل (میلی‌متر)، SMD کمبود رطوبت خاک (میلی‌متر)،  $\theta_{FC}$  درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی،  $\theta_i$  درصد وزنی رطوبت خاک قبل از آبیاری،  $D_z$  عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)،  $\rho_b$  جرم ویژه ظاهری خاک (گرم بر سانتی-متر مکعب)،  $D_{iq}$  میانگین عمق آب نفوذ یافته در ربع پایین (میلی‌متر) وقتی  $D_{iq} \leq SMD$ ،  $P_{max}$  حداکثر فشار سامانه (بار) و ER ضریب کاهش راندمان است.

(۵)  $V_{zi}$  کل حجم آب نفوذی ( $m^3$ )،  $q$  دبی کل آبیاری ( $m^3/s$ )،  $T_{irr}$  مدت زمان آبیاری (ثانیه)،  $S_l$  فاصله آبیاری روی لوله جانبی (متر)،  $S_m$  فاصله لوله‌های جانبی روی لوله اصلی (متر)،  $A_i$  درصد مساحتی که توسط هر یک از قوطی‌های جمع‌آوری آب پوشیده شده و  $D_i$  عمق آب جمع شده در قوطی‌ها است.

### نتایج و بحث

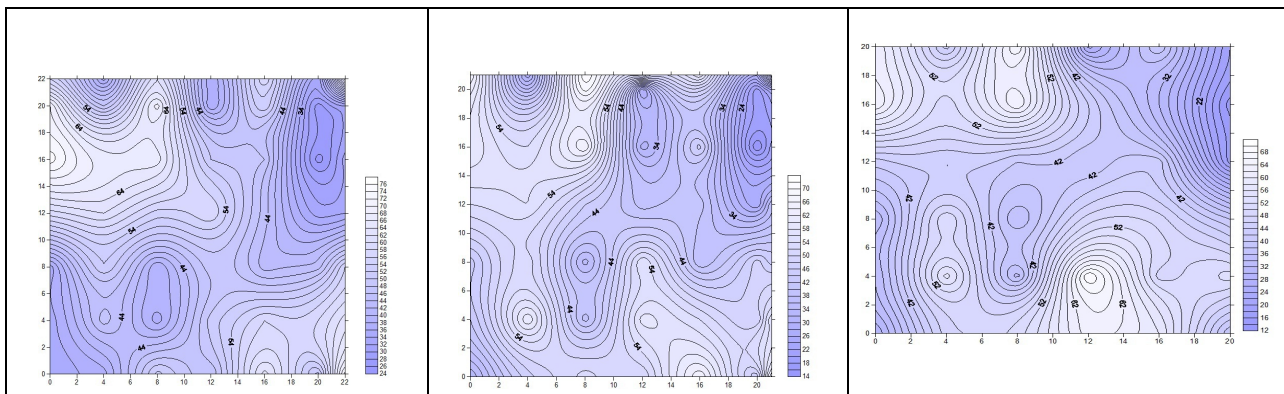
خلاصه‌ای از نتایج آزمایش خاک به تفکیک هر یک از سامانه‌های آبیاری، در جدول ۲، آمده است. به همین ترتیب سه نمونه از منحنی‌های هم‌عمق آب آبیاری سه سامانه ۱، ۲ و ۳ نیز در شکل ۲ ترسیم شده است.

درصد تلفات تبخیر و باد (WDEL) و درصد تلفات نفوذ عمقی (DP) نیز برای هر سامانه‌های آبیاری از مجموعه رابطه ۵، محاسبه شدند (قاسم‌زاده مجاوره‌ای، ۱۳۷۷).

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های مربوط به خاک مزارع مورد ارزیابی

سامانه	درصد اشباع	اندازه ذرات (درصد)			بافت	جرم ویژه ظاهری ( $g/cm^3$ )	کمبود رطوبتی خاک (mm)	نفوذپذیری نهائی* (mm/h)
		شن	سیلت	رس				
۱	۳۱	۱۳/۲۸	۵۱/۴۴	۳۵/۲۸	SICL	۱/۲۸	۳۲	۸
۲	۲۱/۲	۳۰	۳۳/۸۴	۳۶/۱۶	CL	۱/۴	۲۴	۹
۳	۳۸	۲۴	۲۸/۴۳	۳۲/۷۲	CL	۱/۴	۲۸	۸
۴	۴۱	۲۵/۰۴	۳۸/۵۶	۴۶/۴	C	۱/۳	۳۸	۵
۵	۲۵	۳۷/۸	۳۸/۲۸	۲۳/۹۲	L	۱/۴	۳۶	۵
۶	۴۹	۳۱/۷۶	۳۸/۱۲	۳۰/۱۲	CL	۱/۳۶	۳۶	۸
۷	۴۴	۴۳/۷۶	۳۶/۶۲	۱۹/۶۲	L	۱/۴	۳۶	۱۳
۸	۳۶	۴۳/۷۶	۳۶/۶۲	۱۹/۶۲	C	۱/۳	۳۲	۵
۹	۲۱/۲	۳۷/۲۸	۴۵/۸۴	۱۶/۸۸	L	۱/۴	۲۴	۱۳
۱۰	۳۳	۴۱/۲۴	۳۸/۵۶	۲۰/۲	L	۱/۴	۳۶	۵

\* استخراجی از دفترچه طراحی



شکل ۲- نمودارهای هم عمق در شبکه‌های مختلف از راست ۲۰\*۲۰ سیستم ۳، ۲۱\*۲۱ سیستم ۲ و ۲۲\*۲۲ سیستم ۱

نفوذپذیری نهایی خاک در جدول ۲، بیان‌گر بیشتر بودن شدت پخش نسبت به مقادیر نفوذپذیری نهایی در همه سامانه‌های آبیاری (به‌جزء سامانه ۸) است و لذا انتظار رواناب سطحی در حین عملیات آبیاری وجود دارد. لیکن در انجام آزمایشات مزرع‌ای، چنین مشکلی در سطح مزارع مشاهده نشد که می‌تواند نشان‌دهنده انتخاب برخی اطلاعات اولیه نامناسب برای طراحی باشد. عدم اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک در شرایط مزرع‌ای و اکتفا نمودن به مقادیر میانگین سرعت نفوذ استخراج شده از روی بافت خاک در منابع و متون علمی، نتایج معتبری را ارایه نمی‌دهد. نفوذپذیری یکی از عوامل موثر در انتخاب مناسب سامانه آبیاری بارانی است که معمولاً طراحان به‌منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های طراحی از جداول بافت خاک بهره می‌گیرند. عدم مشاهده رواناب در سطح مزارع، در حین آزمایش آبپاش به‌واسطه فزونی سرعت پخش آب از آبپاش مطابق جدول ۳ در مقایسه با سرعت نفوذ آب به خاک (جدول ۲) نشان‌دهنده به‌کارگیری اطلاعات نامناسب نفوذپذیری است که برخی پژوهشگران نیز آن را گزارش نموده‌اند (مجدسلیمی و همکاران، ۱۳۹۴ و پلایان و ماتئوس، ۲۰۰۶). مطابق اطلاعات دفترچه‌های طراحی، متوسط فشار آبپاش‌ها در سامانه‌های مورد ارزیابی ۴۵-۴۰ متر است در حالی‌که اندازه‌گیری‌ها در جدول ۳ نشان داد فشار آبپاش‌های دو سامانه ۷ و ۱۰، مطلوب بود و فشار مابقی آبپاش‌ها از فشار

جدول ۲، نتایج مربوط به اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی خاک است که نشان می‌دهد ۴۰ درصد بافت-های خاک در دسته لوم، ۵۰ درصد در دسته رس و رسی - لومی و ۱۰ درصد هم در دسته سیلتی لوم رس قرار دارند. مقادیر نفوذپذیری نهایی خاک مربوط به هر سامانه از اطلاعات دفترچه طراحی استخراج گردید که تهیه آن‌ها با استناد به دفترچه از روی جداول مربوط به بافت خاک بوده است.

به‌عنوان یک نتیجه کلی از شکل ۲ می‌توان دریافت که بیشترین ریزش آب از آبپاش‌ها و بیشترین تلفات عمقی آب به محل استقرار آبپاش‌ها (اطراف آبپاش) تعلق دارد. به‌عبارت دیگر اراضی بین آبپاش‌ها به‌علت نوسانات فشار کارکرد سیستم که عمدتاً از کمتر از مقدار توصیه شده نیز است آب کمتری دریافت نموده‌اند. البته در هر سه آرایش عمق آب جمع‌آوری شده در قوطی‌های سمت راست بین ۲۲ تا ۳۴ میلی‌متر و در سمت چپ ۵۲ تا ۶۴ میلی‌متر است که نشان‌دهنده نقش عامل باد در عدم توزیع یکسان آب از آبپاش‌ها است.

از جدول ۳، ملاحظه می‌گردد کمترین مقدار شدت پخش آب معادل ۹/۸ میلی‌متر بر ساعت به آبپاش آمو در سامانه آبیاری ۱ و بیشترین شدت پخش آب معادل ۱۵/۵ میلی‌متر بر ساعت نیز به آبپاش آمو از سامانه آبیاری ۵، تعلق دارد. مقایسه شدت پخش آب از آبپاش‌ها با مقادیر

یک لوله فرعی ۶۳ میلی‌متری در حال کار بود و فشار سامانه در برخی نقاط به مقدار ۱۳ درصد بیشتر از فشار طراحی بود. در برخی سامانه‌ها هم آبیاش‌های تنظیم شونده در کنار آبیاش‌های تمام دور به‌کار گرفته شده بودند. در برخی سامانه‌ها مانند سامانه‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۹، وجود مشکلات طراحی عاملی بود تا حداکثر فشار آبیاش‌ها و حتی فشار سر پمپ کمتر از فشار مورد نیاز آبیاش‌ها باشد. کم بودن فشار آبیاش‌ها سبب کم شدن دبی و قطر پاشش آبیاش‌ها نسبت به مقادیر توصیه شده بود.

مورد نیاز کمتر است. کمبود متوسط فشار آبیاش‌ها و زیاد بودن تغییرات فشار، نمایان‌گر مشکلات مدیریتی و بهره‌برداری ضعیف به‌دلیل عدم آشنایی کشاورزان به دانش آبیاری و ضعف اقتصادی در تعویض قطعات فرسوده است. در همین راستا رضوانی و جعفری (۱۳۸۳) دلایل اقتصادی را یکی از عوامل پایین بودن راندمان سامانه‌های آبیاری بارانی و عدم اهمیت دادن به آن از سوی بهره‌برداران در منطقه همدان گزارش نمودند. چنان‌که در بازدیدها مشاهده گردید، در دو سامانه ۷ و ۸، دو آبیاش به‌طور هم‌زمان روی

جدول ۳- پارامترهای مربوط به فشار و دبی سامانه‌های مورد ارزیابی

سامانه	آبیاش	متوسط دبی آبیاش‌ها (L/S)		تغییرات دبی (درصد)	شدت پخش آب (میلی‌متر بر ساعت)	فشار آبیاش‌ها (بار)		تغییرات فشار (درصد)	
		اندازه‌گیری	طراحی			حداقل متوسط	حداکثر		
۱	AMBO	۲/۲۲	۱/۹۸	-۱۲/۱۲	۹/۸	۳/۶	۳/۹	۴/۳	۱۶/۹
۲	AMBO	۲/۲۲	۱/۹۸	-۱۲/۱۲	۱۱/۷۵	۳/۵	۳/۶۵	۳/۸	۷/۸۹
۳	AMBO	۲/۲۲	۱/۹	-۱۶/۸۴	۱۱	۳/۱	۳/۳	۳/۶	۱۳/۸۹
۴	AMBO	۲/۲۲	۱/۸۲	-۲۱/۹۸	۱۰/۲۵	۳	۳/۲	۳/۵	۱۴/۲۹
۵	AMBO	۲/۲۲	۱/۹۲	-۱۵/۶۳	۱۵/۵	۳/۵	۳/۷	۳/۹	۱۰/۲۶
۶	ZM22	۲	۱/۸۸	-۶/۳۸	۱۳	۳/۶	۳/۹	۴/۳	۱۶/۲۹
۷	ZM22	۲	۱/۹۴	-۳/۰۹	۱۴/۴۳	۳/۹	۴/۴	۵/۱	۲۳/۵۳
۸	AMBO	۲/۲۲	۱/۹۶	-۱۳/۲۷	۱۲	۳/۳	۳/۸	۴/۴	۲۵/۰
۹	AMBO	۲/۲۲	۱/۹۲	-۱۵/۶۳	۱۴/۷۱	۳/۴	۳/۶	۳/۹	۱۲/۸۲
۱۰	AMBO	۲/۲۲	۲/۱۷	-۲/۳۰	۱۳/۶	۳/۹	۴/۲	۴/۶	۱۵/۲۲

جدول ۴- پارامترهای ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی در مزارع مختلف

سامانه	سامانه* (درصد)				بلوک** (درصد)				ER	WDEL	DP	AD <sub>irr</sub>	AD <sub>irr</sub> / ۴
	AELQ	PELQ	DU	CU	AELQ	PELQ	DU	CU					
۱	۳۷/۳۶	۳۸/۵۳	۶۵/۳۷	۷۵/۷۴	۳۸/۷۶	۳۹/۹۷	۶۷/۳۵	۹۹/۴	-۰/۰۴	۴۰/۶۵	۲۰/۵۹	۱۰۳/۱۲	۹۵/۹۲
۲	۳۲/۴۵	۴۳/۴۲	۶۷/۰۳	۸۵/۱۲	۳۳/۱۱	۴۴/۱۵	۶۸/۰۹	۸۶/۰۲	-۰/۰۲	۲۵/۱۵	۳۱/۷۳	۱۳۳/۲۳	۹۵/۹۲
۳	۳۱/۲۳	۳۱/۲۳	۵۷/۷۳	۷۳/۸۵	۳۲/۵۳	۳۲/۵۳	۵۹/۰۹	۷۵/۰	-۰/۰۳	۴۴/۹۴	۲۰/۰۲	۹۲/۸۶	۸۸/۹
۴	۲۳/۴۷	۲۳/۴۷	۳۸/۰۹	۶۵/۴۹	۲۴/۲۳	۲۴/۲۳	۳۹/۰۲	۶۶/۵۵	-۰/۰۳	۳۷/۹۲	۴/۵۴	۴۲/۱۱	۶۵/۳۱
۵	۳۲/۴۴	۵۹/۷۸	۶۸/۴۵	۷۸/۶۶	۳۳/۱۱	۵۹/۷۸	۶۹/۸۹	۷۹/۷۵	-۰/۰۲	۱۴/۴۷	۵۲/۴۲	۱۸۰/۵۶	۱۰۰
۶	۴۸/۲۱	۵۲/۲۳	۷۲/۷۹	۷۹/۷۱	۵۰/۰	۵۴/۱۷	۷۵/۰	۸۱/۳	-۰/۰۴	۲۷/۷۸	۲۲/۲۲	۱۰۸/۳۳	۹۱/۶۷
۷	۲۸/۵۲	۵۴/۷۸	۶۹/۱۱	۷۸/۶۵	۳۰/۱۶	۵۷/۹۴	۷۲/۲۸	۸۱/۰۲	-۰/۰۶	۱۹/۸۴	۵۰	۱۹۲/۱۱	۱۰۰
۸	۳۰/۶۵	۳۰/۶۵	۵۱/۴	۷۱/۲۷	۳۲/۵۳	۳۲/۵۳	۵۴/۱۷	۷۳/۷۸	-۰/۰۶	۳۹/۹۴	۱۵/۰۱	۸۱/۲۵	۷۵
۹	۴۰/۰۴	۷۴/۱۹	۵۹/۸۷	۷۴/۷۶	۴۱/۱۸	۷۶/۳۱	۶۱/۱۶	۷۵/۸۳	-۰/۰۳	۱۰/۸۸	۵۹/۷	۱۸۵/۲۹	۹۷/۹۶
۱۰	۴۲/۱۶	۴۵/۶۷	۵۵/۷۹	۶۹/۳۱	۴۳/۶۱	۴۷/۲۴	۵۷/۳۵	۷۰/۵۹	-۰/۰۳	۱۷/۶۳	۳۸/۷۶	۱۰۸/۳۳	۹۳/۸۸
میانگین	۳۴/۶۵	۴۵/۴	۵۶/۷۶	۷۵/۲۶	۳۵/۹۲	۴۶/۸۹	۶۲/۳۴	۷۸/۹۲	-۰/۰۳	۲۸/۹۲	۳۱	۱۲۲/۷۳	۹۰/۴۶

\* و \*\* به ترتیب کل و بخشی از سامانه مورد ارزیابی



مطابق جدول ۴، دبی تمامی آبپاش‌ها بین ۲ تا حدود ۲۲ درصد از دبی کاتالوگ هر آبپاش کمتر بود. مشابه چنین مسایل و مشکلاتی در یافته‌های فاریابی (۱۳۸۸) و مجدسلیمی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش شده است. در جدول ۴، مقادیر ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن، یکنواختی توزیع آب، راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی برای بلوک‌های آبیاری و سامانه‌های آبیاری آمده‌اند. همچنین در این جدول مقادیر تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL)، نفوذ عمقی (DP) و کفایت آبیاری ( $AD_{irr}$ ) برای سامانه‌های مورد ارزیابی آورده شده‌اند. مقادیر متوسط دو شاخص یکنواختی پخش آب (CU) و یکنواختی توزیع آب (DU) در بلوک آزمایش به ترتیب ۷۸/۹۲ و ۶۲/۳۴ و برای سامانه آبیاری ۷۵/۲۶ و ۵۶/۷۶ درصد به دست آمدند. کمترین مقدار DU در بلوک آزمایش ۳۹/۰۲ درصد، در سامانه آبیاری ۳۸/۰۹ درصد و کمترین مقدار CU در بلوک آزمایش ۶۶/۵۵ درصد و در سامانه آبیاری ۶۵/۴۹ درصد محاسبه شد که به سامانه ۴، تعلق دارد. از طرفی رابطه اصلاح شده CU بر حسب DU برای بلوک آبیاری (DU- $100-0.455(100-CU)$ ) و برای سامانه آبیاری (DU- $100-0.619(100-CU)$ ) با لحاظ مقادیر  $CU > 70\%$  به دست آمد. مقادیر CU بلوک و سامانه آبیاری با اعمال مقادیر میانگین DU محاسبه شده از جدول ۴ در دو رابطه بالا به ترتیب ۸۲/۸۷ و ۷۳/۲۳ درصد به دست آمد. با عنایت به متفاوت بودن مقادیر DU هر بلوک و سامانه می‌توان نتیجه گرفت که ضرایب CU وابسته به شرایط بلوک آبیاری است. علاوه بر آن ضرایب CU هر سامانه نیز ضمن متفاوت بودن با سامانه‌های دیگر از مقادیر CU هر بلوک تاثیرپذیری دارند. مشخصات هواشناسی مربوط به سامانه شماره ۴ در جدول ۱، نشان می‌دهد سرعت باد و دمای هوا در زمان ارزیابی به ترتیب ۲/۱۶ متر بر ثانیه و ۳۳/۳ درجه سانتی‌گراد بوده که بیشترین دما نسبت به دمای زمان آزمایش سایر سامانه‌ها بوده است. دبی اندازه‌گیری شده از آبپاش سامانه ۴،

مطابق ارقام جدول ۴، به مقدار ۲۲ درصد از دبی طراحی کمتر بود که در مقایسه با سایر آبپاش‌ها از بیشترین تغییرات کاهشی دبی برخوردار بود. سرعت باد نیز عامل مهمی در یکنواختی توزیع آب است. زیرا تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاع لگاریتمی بوده و با افزایش ارتفاع آبپاش‌ها، سرعت باد و اثرات آن به شدت افزایش می‌یابد. بنابراین جابجایی زمان آبیاری به ساعات خنک با شرایط باد آرام و تا حدودی کوتاه کردن ارتفاع آبپاش‌ها، می‌تواند در افزایش یکنواختی توزیع آب تاثیر داشته باشد. میانگین ارتفاع آبپاش‌ها، در منطقه یک متر است که با در نظر گرفتن شیر خودکار، اگر ارتفاع آن از سطح زمین به ۸۰ سانتی‌متر کاهش یابد یکنواختی توزیع آب تا حدی بهبود خواهد یافت. از آنجایی که کشت غالب منطقه و مزارع مورد ارزیابی گندم (رقم غالب)، سبب‌زمینی و یونجه است که ارتفاعی کمتر از ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر دارند و با توجه به وجود زاویه پاشش ۲۲/۵ درجه‌ای است مشکلی در شعاع پاشش آبپاش ایجاد نخواهد کرد. بایزیدی و سی‌وسه مرده (۱۳۹۰) نیز در ارزیابی سامانه‌های آبیاری منطقه آذربایجان غربی افزایش یکنواختی توزیع آب در مقابل کاهش ارتفاع آبپاش را پیشنهاد نموده‌اند. در سامانه شماره ۲، تغییرات فشار در محدوده مجاز می‌باشد ولی کمبود فشار در این سامانه و دیگر سامانه‌ها براساس متوسط فشار آبپاش‌ها مشهود است (جدول ۴). براساس گزارش سی‌وسه مرده و بایزیدی (۱۳۹۰)، علت پایین بودن میانگین یکنواختی توزیع سه سامانه آبیاری بارانی در یک مطالعه موردی برای شهرستان مهاباد در استان آذربایجان غربی، طراحی ضعیف، سرعت زیاد باد و کمبود فشار ذکر شده است. مجدسلیمی و همکاران (۱۳۹۴) هم در ارزیابی‌های خود علاوه بر دلایل فوق، از عدم آب‌بندی اتصالات، فرسودگی لوله‌ها، آبپاش‌ها و استفاده غیراصولی و نامناسب از سامانه‌ها در پایین بودن یکنواختی توزیع و یکنواختی پخش کریستیانسن یاد کرده‌اند.

راندمان پتانسیل کاربرد تفاوت دارد. چنین تفاوتی بیان‌گر این موضوع است که هر چند راندمان پتانسیل کاربرد پایین است، اما بهره‌برداران نیز تلاشی در حداکثر بهره‌برداری از سامانه‌های خود ندارند. برخی از دلایل کم بودن راندمان پتانسیل کاربرد آب را می‌توان در پایین بودن مقدار ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن، تلفات نفوذ عمقی، یکنواختی توزیع پایین و فرسوده‌گی سامانه‌ها دانست (مجدسلیمی، ۱۳۹۴ و برادران هزاوه، ۱۳۸۴). راندمان پایین پتانسیل کاربرد نشان‌دهنده ضعف در طراحی و اجرای سامانه می‌باشد که در برخی مواقع مسایل اقتصادی نیز سبب این کاهش می‌گردد. هم‌چنین مطابق نتایج جدول ۴، راندمان پتانسیل کاربرد سه سامانه ۳، ۴، ۸ و حتی سامانه ۱، ضمن کم بودن با راندمان واقعی برابر بود. یکسان بودن مقادیر راندمان پتانسیل کاربرد با راندمان واقعی برای هر یک از سامانه‌ها بیان‌گر آبیاری کمتر از نیاز گیاه است. از طرفی، کمبود آب در فصل مورد ارزیابی مشهود بود که این موضوع باعث آبیاری کمتر از نیاز سامانه‌های مذکور می‌گردید. کمبود منابع آب باعث بروز کم‌آبیری آگاهانه از سوی مدیر و یا غیرآگاهانه به دلیل شرایط اجبار در مزارع شده که این امر باعث بالا رفتن راندمان پتانسیل می‌شود.

جدول ۴، کفایت آبیاری را نیز برای سامانه‌های مورد ارزیابی نشان می‌دهد که نشان‌دهنده وجود نفوذ عمقی زیاد به مقدار متوسط ۳۱ درصد و کفایت آبیاری در ربع پایین متوسط سامانه‌ها ۹۰/۴۶ درصد ذکر گردید که نسبتاً قابل قبول است. در سامانه شماره ۴، کفایت آبیاری ۶۵/۳۱ درصد است که نشان می‌دهد تنها ۶۵ درصد از مساحت مزرعه، حداقل به اندازه کمبود رطوبت خاک آب دریافت کرده است. وضعیت کفایت آبیاری در سامانه‌های ۳ و ۸ نیز ۸۸/۹ و ۷۵ درصد به‌دست آمد که مقادیر قابل قبولی طبق مطالعات مریام و کلر (۱۹۷۸) نیستند. علت اصلی این موضوع نیز پایین بودن یکنواختی توزیع آب در برخی سامانه‌ها، تلفات تبخیر و باد، فشار کارکرد پایین سیستم و

بررسی‌های جزئی‌تر نشان می‌دهد در ۵۰ درصد از سامانه‌ها مقدار  $DU \leq 80$  از محدوده توصیه شده  $67 \leq DU \leq 80$  درصد و در ۹۰ درصد از سامانه‌ها، مقدار  $CU$  از محدوده توصیه شده  $87 \leq CU \leq 81$  درصد توسط مریام و کلر (۱۹۷۸) کمتر است. کم بودن ضریب یکنواختی از مقدار ۷۰ درصد نشان‌دهنده عدم توزیع نرمال داده‌های آزمایش و قرینه نبودن اندازه‌گیری‌ها نسبت به مقدار میانگین است (مجدسلیمی و همکاران ۱۳۹۴). از کم بودن مقادیر  $DU$  و  $CU$  می‌توان تشخیص داد که سامانه‌های مورد ارزیابی به دلایل وجود باد و گرمای هوا در زمان آزمایش، عدم تامین فشار مورد نیاز آبیاری‌ها به‌واسطه تغییرات زیاد فشار، نامناسب بودن اطلاعات اولیه طراحی مانند خصوصیات نفوذپذیری خاک، برخی عوامل مدیریتی نظیر نامناسب بودن زمان آبیاری و عدم تعویض قطعات فرسوده از یکنواختی پخش کمتری برخوردارند (اشرف و همکاران، ۱۳۹۴ و پریا و همکاران، ۲۰۰۲ و باوی و همکاران، ۲۰۰۹).

مطابق نتایج جدول ۴، مقدار متوسط راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی در بلوک آبیاری به‌ترتیب ۶۷/۸۹ و ۳۵/۹۲ درصد و در سامانه آبیاری ۴/۴۵ درصد و ۳۴/۶۵ درصد بود. در تمام سامانه‌های آبیاری به‌جز سامانه ۹، راندمان پتانسیل کاربرد آب غیرقابل قبول است. در سامانه آبیاری شماره ۹، وجود نفوذ عمقی بیش از حد، آبیاری بی-موقع از سوی کشاورز در زمان مرطوب بودن زمین به‌واسطه دانش پایین آبیاری، عامل کاهش ۴۶ درصدی  $AELQ$  از  $PELQ$  بود. مریام و کلر (۱۹۷۸) مقدار راندمان پتانسیل کاربرد مناسب را در محدوده ۶۵ تا ۸۵ درصد اعلام کرده‌اند. بر این اساس، در ۹۰ درصد از سامانه‌ها، راندمان مناسب نیست. جدول ۴، نشان می‌دهد راندمان پتانسیل کاربرد در بلوک‌های آزمایش و سامانه‌های آبیاری ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ از حد مجاز ۶۵ درصد کمتر است. مقایسه مقادیر میانگین  $PELQ$  و  $AELQ$  در همه سامانه‌های آبیاری مورد بررسی نشان می‌دهند میانگین راندمان واقعی ۳۱ درصد با

تأمین نکردن دبی مورد نیاز جهت انجام آبیاری است. مقایسه مقادیر کفایت آبیاری در یک چهارم کمترین مقادیر اندازه-گیری شده نشان می‌دهد در سامانه‌های ۱، ۲، ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۰ کفایت آبیاری یک چهارم بیش از ۱۰۰ درصد است که نشانه بیش آبیاری است. از دیگر مشکلات مدیریتی که در سامانه‌های مورد ارزیابی مشاهده شد، استفاده از آبیاری‌های معیوب در بعضی مزارع و وجود نشت زیاد آب از بعضی از شیر خودکارهای مورد استفاده بود.

### نتیجه‌گیری

بررسی‌های مزرعه‌ای نشان داد مقادیر نفوذپذیری نهایی خاک با استناد به دفترچه‌های طراحی از روی جداول مربوط به بافت خاک بوده و در هیچ‌یک از طرح‌ها، نفوذپذیری اندازه‌گیری نشده است. به‌گونه‌ای که مقایسه شدت پخش آب از آبیاری‌ها با مقادیر نفوذپذیری نهایی خاک می‌تواند به رواناب سطحی در حین عملیات آبیاری بیانجامد. لیکن در انجام آزمایشات مزرعه‌ای، چنین مشکلی در سطح مزارع مشاهده نشد که می‌تواند نشان‌دهنده انتخاب برخی اطلاعات اولیه نامناسب برای طراحی باشد.

مقادیر متوسط دو شاخص یکنواختی پخش آب (CU) و یکنواختی توزیع آب (DU) در سامانه‌های آبیاری ۷۵/۲۶ و ۵۶/۷۶ درصد به‌دست آمد. با توجه به محدوده ۸۰-۶۷ درصد توصیه شده برای DU و ۸۷-۸۱ درصد برای CU می‌توان اظهار داشت که سامانه‌های مورد بررسی از دیدگاه یکنواختی وضعیت مطلوبی ندارند. بررسی راندمان‌ها نشان داد مقدار متوسط راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان

واقعی در سامانه‌های آبیاری ۴۵/۴ درصد و ۳۴/۶۵ درصد بودند. مقایسه مقادیر میانگین PELQ و AELQ در همه سامانه‌های آبیاری بیان‌گر تفاوت ۳۱ درصدی میانگین راندمان واقعی با راندمان پتانسیل کاربرد است. چنین تفاوتی نشان‌دهنده پایین بودن راندمان پتانسیل کاربرد و عدم تلاش بهره‌برداران در حداکثر بهره‌برداری از سامانه‌ها است. از طرفی پایین بودن مقادیر AELQ در هر یک از سامانه‌های آبیاری نیز بیان‌گر مشکلات مدیریتی است که می‌تواند به-دلیل وجود اختلاف فشار باشد. لیکن موضوع مدیریت نامناسب به‌عنوان یک عامل مهم در پایین بودن کارایی، در مطالعه اکثر پژوهشگران و نتایج این پژوهش آمده است. به-هر حال بهره‌برداران می‌توانند با رعایت برخی اصول اولیه، سطح بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری بارانی را ارتقاء بخشند. لذا لازم است تا ضمن استفاده از یک آبیاری روی هر لوله فرعی، از استفاده هم‌زمان آبیاری بیش از تعداد ذکر شده در دفترچه طراحی و به‌کارگیری آبیاری‌های متنوع از کارخانجات مختلف دوری گردد. هم‌چنین به‌کارگیری آبیاری‌های تنظیم شونده، محدود به حواشی مزارع باشد. با انجام بازدیدهای منظم، نسبت به تعویض آبیاری‌ها و اتصالات معیوب و فرسوده، تمیز نمودن و شستشوی لوله-های فرعی از مواد اضافی اقدام نمایند. اصل عدم انجام آبیاری در ساعاتی از شبانه روز که سرعت باد و تبخیر زیاد است، رعایت شود. مدت زمان آبیاری و دور آبیاری مطابق دفترچه طراحی باشد و از جابجایی لوله‌ها و آبیاری‌ها خودداری گردد.

### فهرست منابع

۱. ابراهیمی، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد روش‌های آبیاری تحت فشار در استان خراسان. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، ۱۲ (۳): ۵۷۷-۵۸۹.

۲. اشرف، ن.، میرزایی اصلی شیرکوهی، ف. و آ.، محمد بیگی. ۱۳۹۴. ارزیابی هیدرولیکی سیستم‌های آبیاری بارانی دورانی و کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک (مطالعه موردی مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶ (۲): ۴۱-۳۱.
۳. برادران هزاوه، ف. ۱۳۸۴. ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده در شهرستان اراک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴. بیرانوند، ز. برومندنسب، س.، ایزدپناه، ز. و ملکی. ع. ۱۳۹۳. بررسی بازده آبیاری سیستم‌های آبیاری بارانی در منطقه خرم‌آباد. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۴ (۲): ۱۹۱-۲۰۲.
۵. مجدسلیمی ک. صلواتیان، س. ب. و امیری، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک اجرا شده در باغ‌های چای استان گیلان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹ (۲): ۳۴۹-۳۳۶.
۶. رضوانی، س. جعفری، ع. و ۱۳۸۳. بررسی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی اجرا شده در مزارع سیب‌زمینی استان همدان تحت مدیریت زارعین. مجموعه مقالات کارگاه فنی آبیاری بارانی توانمندی‌های و چالش‌ها، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ۹۷: ۲۱-۳۰.
۷. فاریابی، ا. ۱۳۸۸. بررسی وارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا شده در دشت دهگلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه کردستان، ۱۴۶ ص.
۸. قاسم‌زاده مجاوری، ف. ۱۳۷۷. ارزیابی سیستم‌های آبیاری مزرعه. انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۲۹ صفحه.
۹. عیوضی حسن آبادی، م. س برومند نسب، ا سلطانی محمدی، ز ایزد پناه. ۱۳۹۲. تعیین ضرایب اصلاحی روابط ضریب یکنواختی (CU) و یکنواختی توزیع (DU) برای منطقه اهواز، دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم.
۱۰. سی‌سه‌مرده، م. و بایزیدی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان غربی - مهاباد. مجله مهندسی منابع آب. ۴ (۸): ۶۳-۷۶.
11. Bavi, A., Kashkuli, H.A., Broomand, S., Naseri, A. and Albaji, M. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. *Journal of Applied Sciences* 9(3): 597-600.
12. Dechmi, F., Playa'n, E., Caverro, J., Faci. and Martinez, A. 2003a. Wind effect on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). *Irrigation science*, 22: 67-77.
13. Lemeister, C., Pochop, L., Kerr, G., Wulff, Sh.S. and Johnson, Drew. 2007. Evaluating the Catch-Can test for measuring lawn sprinkler application rates. *Journal of the American Water Resources Association*. Vol. 43, No. 4: 938-946.
14. Lorenzini G., and De Wrachien D. 2005. Performance assessment of sprinkler irrigation systems: A new indicator for sprsy evaporation losses. *Irrigation and Drainage*, 54: 295-305.
15. Merriam, J.L. and J. Keller. 1978. *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Dept. of Agric. and Irrig. Eng. Utah State Univ., Logan, Utah.
16. Pereira L.S., Oweis T, Zairi A, 2002b. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manag.* 57: 175-206.
17. Playa'n E. and Mateos L., 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*. 80 (1-3): 100-116.

18. Tarjuelo, J.M., Ortega, J.F., Montero, J. and De Juan, J.A. Modeling evaporations and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid condition. *Agric Water Management*, pp 263-284.