نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۷، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۲، ص. ۱۴۱-۱۲۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 17, Apr.-May. 2023, p. 129-141

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه‌های آبیاری بارانی تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف بهره‌برداری (مطالعه موردی: طرح چغاهروشی خرم‌آباد)

سعید زمانی سپهوند[۱]، حسن ترابی پوده[۲]، علی‌حیدر نصرالهی[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۳

چکیده

تلفات تبخیر و بادبردگی سبب کاهش مقدار آب ورودی به خاک و تغییر الگوی پاشش می‌شود که این موضوع سبب تغییر پارامترهایی مانند ضریب یکنواختی (CU) ، یکنواختی توزیع آب (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پایین اراضی (PELQ)، راندمان واقعی در چارک پایین (AELQ) و راندمان کل (ET) آبیاری می‌گردد. پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در اراضی زراعی دشت چغاهروشی در شهرستان خرم‌آباد انجام شد. عوامل موردمطالعه شامل نوع محصول (F1: مزرعه تحت کشت چغندرقند و F2: مزرعه تحت کشت پیاز)، ارتفاع آب‌پاش (L1: ۷۵ سانتی‌متر و L2: ۱۰۰ سانتی‌متر) و زمان آبیاری (T1: صبح، T2: عصر و T3: شب) با سه تکرار بود. تلفات تبخیر و بادبردگی در مزرعه تحت کشت چغندرقند حدود ۰/۹۵ درصد از مزرعه پیاز بیشتر بود که این سبب کاهش سایر پارامترها از جمله ضریب یکنواختی (۵/۰۶ درصد) و راندمان کل (۵ درصد) در مزرعه چغندرقند نسبت به مزرعه پیاز شد. با افزایش ارتفاع آب‌پاش، تلفات تبخیر و بادبردگی حدود ۱/۵۶ درصد افزایش یافت. کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در مزرعه چغندرقند در شب نسبت به صبح و عصر به ترتیب ۲/۱ و ۵/۶ درصد بود. ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در مزرعه چغندرقند در شب به ترتیب ۵/۸ و ۶/۵ درصد نسبت به آبیاری در صبح بیشتر بود. افزایش مقادیر این پارامترها نسبت به زمان عصر به ترتیب ۱۱/۳ و ۱۴/۹ درصد بود. تغییر زمان آبیاری در مزرعه پیاز اثر بیشتری روی بهبود شاخص‌های راندمان آبیاری نسبت به مزرعه چغندرقند داشت. علت آن افزایش بیشتر تلفات در صبح (۴ درصد) و عصر (۶/۵ درصد) نسبت به آبیاری شبانه در مزرعه پیاز بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، تلفات تبخیر، راندمان پاششی، زمان آبیاری، ضریب یکنواختی

مقدمه

تأمین آب موردنیاز بخش کشاورزی، برای دستیابی به امنیت غذایی، یکی از سیاست‌های اساسی در هر کشوری است. با توجه به اینکه بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب در کشورهای جهان است، کاهش مصرف آب برای حفظ منابع آب در کنار توسعه کشاورزی بسیار حیاتی است. اهمیت این موضوع در کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک دوچندان است. بر اساس آمار منتشرشده، حدود ۹۰ درصد از منابع آب کشور ایران در بخش کشاورزی مصرف می‌شود که سهم تلفات آب در این بخش بسیار بالا است (یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ مرسلی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷). ازاین‌رو، با کاهش تلفات می‌توان علاوه بر تأمین نیاز غذایی کشور، به پایداری منابع آب کمک کرد.

در سال‌های اخیر حدود ۲/۵ میلیون هکتار از اراضی تحت کشاورزی کشور به سامانه‌های نوین آبیاری مجهز شده‌اند (بی‌نام، ۱۴۰۱). گرچه سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار راندمان بالایی دارند و هدف از این سرمایه‌گذاری جلوگیری از هدر رفت آب و افزایش بهره‌وری از آن است، اما باید توجه داشت درصورتی‌که این سامانه‌ها، حتی در صورت طراحی صحیح، به‌صورت نامناسب مورد بهره‌برداری قرار گیرد میزان تلفات افزایش یافته و راندمان آبیاری کاهش می‌یابد. این مهم توسط محققان مختلف موردبررسی قرار گرفته و گزارش شده است. به‌عنوان مثال مولایی و همکاران (۱۳۸۹) تعدادی از

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران
۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران
(*- نویسنده مسئول: ایمیل: nasrolahi.a@lu.ac.ir (Email:
** مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی است.
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.1.11.5

سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک در شهرستان کوهدشت را مورد ارزیابی قرار دادند. این محققان بیان کردند که کلیه سیستم‌ها دارای راندمان پایین‌تر از مقادیر قابل‌انتظار بود. فاریابی و همکاران (۱۳۸۹) سامانه‌های آبیاری بارانی در دشت دهگلان را موردبررسی قرار داده و گزارش کردند که متوسط ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پایین و راندمان واقعی در چارک پایین مزارع به ترتیب برابر ۶۶ ،۵۰/۶ ، ۴۴/۸ و ۴۳/۸ درصد بود. طالبی و همکاران (۱۳۹۲) سامانه‌های آبیاری بارانی در شهرستان شوش را مورد ارزیابی قرار داده و بیان کردند که عواملی مانند وزش باد غالب در منطقه و برخی مشکلات مدیریتی عامل کاهش راندمان آبیاری در این سامانه‌ها بود. میخک بیرانوند و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی چهار سامانه آبیاری بارانی در شهرستان خرم‌آباد پرداختند. ایشان مقادیر پتانسیل کاربرد، بازده کاربرد، بازده ترکیبی و بازده واقعی کاربرد آب را به ترتیب ۴۷/۲۱، ۵۶/۸۲، ۵۹/۸۶ و ۴۵/۷۱ درصد گزارش کردند. میربلوچ و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی هشت سامانه آبیاری بارانی کلاسیک در شهرستان خاش پرداختند. در مطالعات این محققان، ضریب یکنواختی کریستین سن ۷۶/۱ درصد، یکنواختی توزیع ۶۵/۲ درصد، راندمان واقعی کاربرد ۴۳/۳ درصد و راندمان پتانسیل چارک پایین ۴۴/۹ درصد به دست آمد.

عوامل متعددی در بروز تلفات آب سامانه‌های آبیاری بارانی شناسایی و ارائه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به تلفات تبخیر و بادبردگی اشاره کرد. در زمان پاشش آب از آبپاش، مقداری از آب تحت تأثیر عوامل محیطی از دسترس گیاه خارج شده و به سطح خاک نمی‌رسد. این بخش به‌عنوان تلفات تبخیر و بادبردگی شناخته می‌شود (Playan et al., 2005; Sanchez et al., 2011). این نوع تلفات به‌خصوص در سامانه‌های آبیاری بارانی توسط محققان مختلف گزارش شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیقات میربلوچ و همکاران (۱۳۹۸) اشاره کرد. این محققان تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه‌های آبیاری بارانی در شهرستان خاش را حدود ۲۲/۱ درصد گزارش کردند. باد و رطوبت نسبی هوا به‌عنوان دو عامل مهم بر تلفات تبخیر و بادبردگی هستند که اکثر محققان به این عوامل اشاره کرده‌اند (Sanchez et al., 2011; Darko *et al*., 2017). از طرف دیگر، گرچه رطوبت هوا در سطح مزرعه سبب کاهش تبخیر و تلفات می‌گردد لیکن باد می‌تواند رطوبت هوا در مزرعه را جابجا کرده و به افزایش تلفات تبخیر نیز کمک کند (شیخ اسماعیلی، ۱۳۹۱). علاوه بر این، باد سبب بر هم زدن الگوی توزیع پاشش آب‌پاش‌ها می‌گردد. درنتیجه عوامل مؤثر بر الگوی توزیع شامل ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پایین، راندمان واقعی کاربرد در چارک پایین و راندمان کل نیز تحت این عامل قرار می‌گیرد (عیوضی حسن‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۲). طالبی و همکاران (۱۳۹۲) اثر باد بر کاهش راندمان‌های آبیاری در شهرستان شوش را بررسی و گزارش کردند که بر اثر وزش باد غالب منطقه، ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، راندمان واقعی در ربع پائین اراضی و راندمان کاربرد نسبت به شرایط طراحی بسیار پایین بود. اوجاقلو و همکاران (۱۳۹۶) اثر سرعت باد بر عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در استان زنجان را مورد ارزیابی قرار دادند. کمترین و بیشترین راندمان کاربرد واقعی چارک پایین در شرایط باد ملایم به ترتیب برابر با ۴۱/۵ و ۶۱/۸ و در شرایط باد تند به ترتیب برابر با ۱۷/۳ و ۴۶/۴ درصد به دست آمد. متوسط راندمان کاربرد واقعی چارک پایین سامانه در شرایط باد ملایم و تند به ترتیب برابر با ۵۰/۹ و ۲۹/۵ درصد تعیین شد. این راندمان در ۱۱ سامانه در شرایط باد ملایم بیش از ۴۵ درصد و در شرایط باد تند در ۷ مزرعه کمتر از ۳۵ درصد به دست آمد. رئوف و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی سامانه آبیاری کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک پرداختند. این محققان با مدل‌سازی تلفات تبخیر و بادبردگی، سرعت باد را به‌عنوان مؤثرترین عامل معرفی کردند. ایشان کمبود فشار بخار اشباع را به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین عامل بر تلفات تبخیر و باد بردگی بیان کردند. میزان تلفات تبخیر و بادبردگی اندازه‌گیری شده در این تحقیق بین ۶ تا ۳۴ درصد بود.

یاکوبی و همکاران در ارزیابی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک متحرک در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک منطقه مدجرای تونس، با آبپاش IR30 و آرایش‌های ۱۲×۱۲، ۱۸×۱۲ و ۱۸×۱۸ متر و با فشار کارکرد ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلو پاسکال گزارش کردند که آرایش ۱۲×۱۲ متر در شرایط باد با سرعت کمتر از چهار متر بر ثانیه و فشار کارکرد ۲۰۰ الی ۴۰۰ کیلو پاسکال، بهترین عملکرد را از نظر ضریب یکنواختی داشت. همچنین در این سیستم، برای دستیابی به ضریب یکنواختی بالای ۷۵ درصد، آبیاری باید در شرایط باد با سرعت بیشتر از چهار متر بر ثانیه متوقف شود (Yacoubi et al., 2010). اگرچه عوامل باد و رطوبت نسبی توسط بهره‌برداران قابل‌تغییر نیست، لیکن می‌توان با تغییر عواملی که در دست بهره‌بردار است اثر شرایط اقلیمی را به حداقل رساند. تغییر ارتفاع آب‌پاش و زمان آبیاری ازجمله عواملی است که برای دستیابی به هدف معرفی شده است. سراج رضایی و حسن نیا (۱۳۹۳) اثر سرعت‌های مختلف باد را در زمان‌های مختلف بر عملکرد آب‌پاش‌های ضربه‌ای در شهرستان تبریز مطالعه کردند. این محققان نشان دادند که بین سرعت‌های باد روز و شب در فصل بهار اختلاف نسبتاً قابل‌توجهی وجود داشت. آبیاری شبانه ضریب یکنواختی پخش آبپاش‌های مورداستفاده در آزمایش را به‌طور متوسط ۳/۴۶ درصد نسبت به آبیاری در روز افزایش داد. این محققان بیان کردند که آبیاری شبانه در ماه‌های فصل بهار به دلیل کاهش تلفات بادبردگی و در ماه‌های فصل تابستان به دلیل کاهش تلفات تبخیر نسبت به آبیاری در اوقات روز قابل توصیه است. همچنین در این تحقیق اثر افزایش ارتفاع آب‌پاش بر تلفات تبخیر و بادبردگی

موردبررسی قرار گرفت. این محققان بیان کردند که به علت افزایش خط مسیر جریان و افزایش سرعت باد در ارتفاع بیشتر، تلفات تبخیر و بادبردگی با افزایش ارتفاع آب‌پاش بیشتر شد. کریمی و همکاران (۱۳۹۵) با ارزیابی تلفات تبخیر و بادبردگی در سیستم آبیاری بارانی شبانه و روزانه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان نشان داد که ارتفاع آبپاش، زمان آبیاری و اثر متقابل ارتفاع آبپاش و زمان آبیاری بر تلفات تبخیر و بادبردگی اثر معنی‌دار داشت. درصد تلفات تبخیر و بادبردگی در روز و شب به ترتیب برابر ۲۲/۵۳ و ۶/۹۴ به دست آمد. بیشائو و اولمانا به ارزیابی تأثیر ارتفاع رایزر بر روی آبیاری بارانی در کشور اتیوپی پرداختند. این محققان دو ارتفاع رایزر و سه سرعت باد را بررسی کردند. این محققان گزارش کردند که ضریب یکنواختی در شرایط کاهش ارتفاع آب‌پاش و سرعت باد از ۷۱ به ۸۱ درصد افزایش یافت. یکنواختی توزیع نیز از ۵۶ به ۷۵ درصد تغییر یافت (Bishaw and Olumana, 2015).

بر اساس آمار منتشرشده، سطح اراضی کشاورزی استان لرستان ۵۵۶۵۹۴ هکتار است که ۱۴۶۷۰۶ هکتار از این اراضی آبی می‌باشند (بی‌نام، ۱۴۰۱). حدود ۶۵۰۰ هکتار از اراضی آبیاری تحت‌فشار اجراشده در سطح استان لرستان به شهرستان خرم‌آباد اختصاص دارد که تحت شرایط باد و تغییرات رطوبت در طول فصل زراعی از راندمان پایینی برخوردار هستند. با توجه به‌مرور منابع، لازم است شرایط مناسب برای کاهش تبخیر و بادبردگی در شبکه‌های آبیاری این شهرستان بررسی‌شده و روش مناسب برای کاهش آن تعیین شود. لذا، هدف این تحقیق بررسی سه عامل ارتفاع آب‌پاش، زمان آبیاری و نوع مزرعه بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی و سایر پارامترهای متأثر از این تلفات است. نوآوری این تحقیق نیز بررسی این سه عامل به‌صورت هم‌زمان است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در اراضی زراعی دشت چغاهروشی واقع در شهرستان خرم‌آباد واقع در مختصات جغرافیایی ۲۴‘ ۴۸° طول شرقی و ۴۷‘ ۳۳° عرض شمالی و ارتفاع ۱۱۵۸ متر از سطح دریا انجام شد. شبکه‌ی آبیاری چغاهروشی به مساحت ۲۶۶ هکتار در این دشت واقع شده و زمین‌های زراعی آن تحت شبکه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آب‌پاش متحرک قرار دارد. این طرح در سال ۱۳۹۶ به بهره‌برداری رسید و کلیه آب‌پاش‌های مورداستفاده در آن از نوع دو نازله ویسپار با فواصل ۲۵×۲۵ متر است. آب موردنیاز این شبکه از رودخانه خرم‌آباد با مشخصات نشان داده شده در جدول (۱) تأمین می‌شود. فشار موردنیاز توسط ایستگاه پمپاژ با ده عدد پمپ (۵ پمپ ۱۰۰/۳ WKL و ۵ پمپ۱۰۰/۴ WKL) با دبی ۱۲۰ مترمکعب در ساعت و ارتفاع ۶۵ و ۸۲ متر تأمین می‌شود.

برای دستیابی به هدف پژوهش، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با عوامل نوع زمین (F1: مزرعه تحت کشت چغندرقند و F2: مزرعه تحت کشت پیاز)، ارتفاع آب‌پاش (L1: ۷۵ سانتی‌متر و L2: ۱۰۰ سانتی‌متر) و زمان آبیاری (T1: صبح، T2: عصر و T3: شب) با سه تکرار انجام شد. مشخصات مزارع موردمطالعه در جدول (۲) نشان داده شده است. زمان‌های اشاره در صبح، عصر و شب به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ساعات ۱۰، ۱۷ و ۲۲ هستند.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

EC (dS/m)	TDS (Mg/lit)	PH	CO_3 (Meq/l)	HCO_3 (Meq/l)	Cl (Meq/l)	SO_4 (Meq/l)	Mg +Ca (Meq/l)	Na (Meq/l)
۰/۸۲	۴۰۷	۷/۴۸	۰	۴/۹	۱/۵	۱/۶	۶/۲	۱/۸

جدول ۲- مشخصات مزارع موردمطالعه

نام روستا	نام کشاورز	نوع کشت	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت اراضی (هکتار)
چغاهروشی	اسماعیل صفاری	پیاز	۱۱۵۸	۲۱۶
چغاهروشی	عزت اله رحیمی	چغندرقند	۱۱۵۸	۵۰

این پژوهش بر اساس آیین نامه ارزیابی سیستم‌های آبیاری (Bloomer, 2008) و دستورالعمل شماره S۳۳۰/۱ انجمن مهندسین امریکا (ASAE, 1999) انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری دبی آبپاش از یک گالن ۱۶ لیتری مدرج، دو قطعه شیلنگ به طول دو متر و یک عدد کرنومتر استفاده شد. دو شیلنگ به دو سر نازل آبپاش متصل و محکم شدند. سپس آب خروجی از آبپاش به داخل سطل هدایت گردید. سپس زمان جمع‌آوری آب در داخل سطل یادداشت شد. جهت اطمینان از مقادیر دبی اندازه‌گیری شده در هر تکرار، دبی سه مرتبه قرائت شد و میانگین آن مورداستفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری تلفات تبخیر و بادبردگی از ۱۲۸ عدد قوطی نمونه‌برداری با قطر دهانه ۱۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر در شبکه‌ای مربعی ۳×۳ مترمربع در اطراف هر آب‌پاش قرار داده شد. برای چینش قوطی‌ها در

اطراف آب‌پاش از یک متر نواری ۳۰ متری، چند عدد میخ چوبی و سه کارگر در مزرعه استفاده شد. در ابتدا، با استفاده از متر نواری، خطوط عمود بر بال آبیاری تعیین گردید. سپس خطوط عمود بر بال آبیاری به فواصل سه متری تقسیم شد. بدین نحو دو سر خطوط موازی بال آبیاری مشخص گردید. قوطی‌های نمونه‌برداری در مسیر خط موازی بال آبیاری به فاصله سه متر از هم چیده شدند. قوطی‌های نمونه‌برداری در دو طرف بال آبیاری به فاصله ۱/۵ متر از لوله جانبی قرار گرفتند. پس از آماده شدن مقدمات برای هر تکرار، آبپاش فعال می‌گردید و در پایان هر بازه زمانی مقدار آب جمع‌آوری‌شده در هر ظرف با ثبت موقعیت مکانی دقیق آن به کمک استوانه مدرج ۵۰۰cc سنجش می‌گردید. انجام آزمایش برای هر تکرار به مدت ۶۰ دقیقه طول کشید. با توجه به اینکه، بر اثر تبخیر سطح آب داخل قوطی‌های نمونه‌برداری اندکی کمتر از میزان آب واقعی دریافت شده توسط خاک است، سه قوطی اندازه‌گیری از ابتدای آزمایش دور از آبپاش‌ها و در شرایطی مشابه سایر قوطی‌های نمونه‌برداری قرار داده شد. در انتهای هر تکرار، حجم آب باقی‌مانده در آن‌ها اندازه‌گیری گردید و میانگین تفاوت حجم آب اولیه و نهایی موجود در آن‌ها به‌عنوان مقدار آب تبخیر شده از قوطی‌های نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. بعد از غیرفعال کردن آبپاش، حجم آب جمع شده در قوطی‌های نمونه‌برداری به‌وسیله‌ی استوانه‌ی مدرج با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

برای بررسی اثر تبخیر و بادبردگی، هفت پارامتر تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL)، راندمان پاششی (EP)، ضریب یکنواختی کریستان‌سن (CU)، یکنواختی توزیع آب در چارک پایین (DU)، راندمان کل (ET)، راندمان واقعی کاربرد در چارک پایین (AELQ) و راندمان پتانسیل کاربرد آب در چارک پایین (PELQ) موردبررسی قرار گرفت. این پارامترها برحسب درصد بیان می‌گردند و به ترتیب در رابطه‌های (۱) الی (۷) تعیین شده‌اند (کیانی، ۱۳۷۸؛ عرفانیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ Merriam and Keller, 1978).

$$WDEL=\frac{q_s\times t-(a\sum_{i=1}^{N}Z_i)}{q_s\times t}\times 100 \quad (۱)$$

$$EP=(1-WDEL)\times 100 \quad (۲)$$

$$CU=(1-\frac{\sum_{i=1}^{N}\left|D_i-\overline{D}\right|}{\overline{D}\times N})\times 100 \quad (۳)$$

$$DU=\frac{\overline{D}_q}{\overline{D}}\times 100 \quad (۴)$$

$$ET=EP\times CU \quad (۵)$$

$$AELQ=\frac{D_q}{D_r}\times 100 \quad or \quad AELQ=\frac{SMD}{D_r}\times 100 \quad (۶)$$

$$PELQ=\frac{D_q}{D_r}\times 100 \quad (۷)$$

در این روابط، Di عمق آب جمع شده در قوطی iام برحسب میلی‌متر، $\overline{D}$ متوسط عمق‌های آب جمع شده در قوطی‌ها برحسب میلی‌متر، N تعداد قوطی‌ها، D_q متوسط عمق آب در یک‌چهارم کمترین مقدار اندازه‌گیری شده برحسب میلی‌متر، q_s دبی آبپاش برحسب لیتر بر ثانیه، t زمان آزمایش برحسب ثانیه، a سطح زمین معرف هر قوطی برحسب مترمربع و D_r متوسط آب آبیاری اندازه-گیری شده از سر نازل (میلی‌متر) است. در رابطه‌ی (۶)، راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین درواقع بیانگر راندمان حقیقی کل سیستم بوده و بهتر می‌تواند مشکلات سیستم را بیان نماید. راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین معمولاً بر اساس متوسط عمق آب در چارک پایین اندازه‌گیری می‌شود. ولی درصورتی‌که میانگین یک‌چهارم عمق آب قابل ذخیره در خاک بیشتر از مقدار آب موردنیاز جهت رساندن رطوبت خاک از وضع موجود به ظرفیت زراعی باشد، تلفات نفوذ عمقی وجود داشته و راندمان واقعی کاهش می‌یابد. بنابراین، بهتر است به‌جای میانگین یک‌چهارم عمق آب ذخیره‌شده در ناحیه ریشه، از کمبود رطوبت خاک (SMD) استفاده کرد. درواقع SMD میزان آبی است که باید به خاک داد تا رطوبت به ظرفیت زراعی برسد. جهت محاسبه‌ی SMD، رطوبت نمونه خاک قبل از زمان آبیاری و رطوبت ظرفیت زراعی به روش وزنی تعیین شد. بدین منظور، با استفاده از ترازوی دیجیتال قابل‌حمل، توزین نمونه‌های مرطوب خاک در مزرعه انجام گرفت. پس از بازگشت از مزرعه نمونه خاک در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. سپس رطوبت خاک با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$\theta=\frac{W_w-W_d}{W_d}\times 100 \quad (۸)$$

در این رابطه، θ رطوبت وزنی (درصد)، Ww جرم خاک مرطوب (گرم) و Wd جرم خاک خشک (گرم) است. مقدار SMD به‌صورت زیر تعیین شد:

$$SMD=\frac{fc-\theta}{100}\times\rho_b\times r \quad (۹)$$

که در این رابطه، SMD کمبود رطوبت خاک (میلی‌متر)، fc رطوبت در ظرفیت زراعی (درصد)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و r عمق ریشه مؤثر (میلی‌متر) است. بدین منظور، هر مزرعه شش نمونه خاک برای تعیین کمبود مجاز رطوبتی انتخاب شد. نتایج به‌دست‌آمده به همراه سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

شماره مزرعه	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته (-)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	نسبت جذبی سدیم	ظرفیت زراعی ($w.w^{-1}$)	کمبود مجاز رطوبتی (mm)
مزرعه ۱	۰/۶۱	۷/۸	۳۸	۳۵	۲۷	لوم‌رسی	۱/۵۲	۲۰/۷۲	۱/۶۶
مزرعه ۲	۰/۵۹	۷/۶	۳۸	۳۵	۲۶	لوم‌رسی	۱/۴۵	۲۲/۳۲	۱/۹۸

پارامترهای اقلیمی رطوبت هوا، درجه حرارت، سرعت و جهت باد در طول آزمایش اندازه‌گیری شد. داده‌های اقلیمی از ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد واقع در نزدیکی محل انجام آزمایش اخذ شدند. داده‌های سرعت باد ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع 10 متری ثبت شده بوده که با استفاده از رابطه‌ی (۱۰) به ارتفاع ۲ متری تبدیل شد (کیانی، ۱۳۷۸).

$$V_2 = 0.725 \times V_{10} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه، V_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری و V_{10} سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری است. مشخصات پارامترهای اقلیمی در زمان انجام آزمایش در جدول (۴) نشان داده شده است. پس از جمع‌آوری کلیه داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار EXCEL دسته‌بندی آن‌ها انجام شد. سپس از نرم‌افزار SAS برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با آزمون دانکن و رسم رگرسیون بین تلفات تبخیر و بادبردگی و پارامترهای اقلیمی استفاده شد.

جدول ٤- آمار هواشناسی اداره هواشناسی شهرستان خرم‌آباد برای مزرعه موردمطالعه در زمان آزمایش

تاریخ	ساعت آزمایش	میانگین دما (°C)	رطوبت (٪)	جهت باد (درجه)	سرعت باد (m/s)	تاریخ	ساعت آزمایش	میانگین دما (°C)	رطوبت (٪)	جهت باد (درجه)	سرعت باد (m/s)
	۱۰:۰۰	۲۹	۱۵	غرب‌وشمال‌غربی	۱/۴۵		۱۰:۰۰	۳۳	۱۴	شمال	۰/۷۳
۱۴۰۰/۳/۹	۱۷:۰۰	۳۵/۸	۸	غرب‌وشمال‌غربی	۲/۹	۱۴۰۰/۵/۸	۱۷:۰۰	۳۸/۹	۸	جنوب‌غربی	۴/۳۵
	۲۲:۰۰	۲۴/۶	۲۰	غرب‌وجنوب‌غربی	۱/۴۵		۲۲:۰۰	۲۸/۸	۲۱	شمال	۱/۴۵
	۱۰:۰۰	۲۹/۲	۱۴	غرب	۲/۱۸		۱۰:۰۰	۳۲/۳	۲۳	شمال	۰
۱۴۰۰/۳/۱۷	۱۷:۰۰	۳۴/۱	۹	غرب	۲/۹	۱۴۰۰/۵/۱۸	۱۷:۰۰	۳۹	۱۱	شمال‌شرقی	۳/۶۳
	۲۲:۰۰	۲۶	۱۱	غرب‌وجنوب‌غربی	۲/۱۸		۲۲:۰۰	۳۰	۲۱	شمال	۰/۷۳
	۱۰:۰۰	۲۹/۲	۱۵	غرب	۱/۴۵		۱۰:۰۰	۳۱/۹	۲۰	شمال	۰
۱۴۰۰/۳/۲۲	۱۷:۰۰	۳۷/۸	۷	غرب‌وشمال‌غربی	۵/۰۸	۱۴۰۰/۵/۲۲	۱۷:۰۰	۳۹/۸	۷	غرب	۲/۹
	۲۲:۰۰	۲۸/۱	۱۲	شمال شرقی	۰/۷۳		۲۲:۰۰	۲۹	۱۵	شمال	۰
	۱۰:۰۰	۳۵/۴	۱۵	غرب‌وشمال‌غربی	۱/۴۵		۱۰:۰۰	۳۰/۶	۲۱	شمال‌غربی	۰/۷۳
۱۴۰۰/۳/۲۹	۱۷:۰۰	۴۱/۱	۷	جنوب	۴/۳۵	۱۴۰۰/۵/۲۹	۱۷:۰۰	۳۴/۸	۱۲	شمال	۰/۷۳
	۲۲:۰۰	۲۹/۸	۱۸	غرب	۱/۴۵		۲۲:۰۰	۲۷/۵	۲۹	شمال‌غربی	۲/۱۸
	۱۰:۰۰	۳۳/۵	۱۲	شمال غربی	۱/۴۵		۱۰:۰۰	۳۰/۸	۱۷	شمال	۱/۴۵
۱۴۰۰/۴/۶	۱۷:۰۰	۳۸/۳	۸	شمال غربی	۲/۱۸	۱۴۰۰/۶/۵	۱۷:۰۰	۳۹/۸	۷	شمال‌غربی	۴/۳۵
	۲۲:۰۰	۳۱/۲	۱۴	شمال غربی	۱/۴۵		۲۲:۰۰	۲۸/۶	۱۱	جنوب‌شرقی	۲/۱۸
	۱۰:۰۰	۳۱/۸	۱۲	شمال غربی	۱/۴۵		۱۰:۰۰	۲۹/۲	۲۰	غرب	۱/۴۵
۱۴۰۰/۴/۱۵	۱۷:۰۰	۳۸/۳	۷	غرب‌وشمال‌غربی	۳/۶۳	۱۴۰۰/۶/۱۳	۱۷:۰۰	۳۶/۸	۸	غرب	۷/۲۵
	۲۲:۰۰	۲۸/۲	۱۷	شمال غربی	۱/۴۵		۲۲:۰۰	۲۵/۵	۱۰	جنوب‌غربی	۲/۱۸
	۱۰:۰۰	۳۴/۸	۱۲	شمال	۰/۷۳		۱۰:۰۰	۳۲	۱۱	شرق	۲/۱۸
۱۴۰۰/۴/۲۳	۱۷:۰۰	۳۹/۱	۹	جنوب غربی	۴/۳۵	۱۴۰۰/۶/۱۹	۱۷:۰۰	۳۶/۶	۸	غرب	۵/۸
	۲۲:۰۰	۳۲/۲	۱۳	غرب‌وشمال‌غربی	۱/۴۵		۲۲:۰۰	۲۵/۴	۱۷	شمال غربی	۱/۴۵
	۱۰:۰۰	۳۸/۵	۱۳	شرق	۱/۴۵						
۱۴۰۰/۴/۲۹	۱۷:۰۰	۴۰/۸	۱۰	شمال غربی	۱/۴۵						
	۲۲:۰۰	۳۳/۶	۱۷	شمال	۰						

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع آب‌پاش بر تلفات تبخیر و بادبردگی، راندمان پاششی، ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، راندمان کل، راندمان واقعی کاربرد آب در چارک پایین و راندمان پتانسیل کاربرد آب در چارک پایین در سطح احتمال یک درصد (P-Value≤0.01) اثر معنی‌دار داشت (جدول ۵). زمان آبیاری نیز بر این پارامترها در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار نشان داد (P-Value≤0.01). نوع مزرعه بر پارامترهای تلفات تبخیر و بادبردگی و راندمان پاشش در سطح پنج درصد (P-Value≤0.05) و بر سایر پارامترها در سطح یک درصد اثر معنی‌دار داشت (P-Value≤0.01). اثر متقابل این پارامترها بر هیچ‌کدام از پارامترهای موردبررسی اثر معنی‌دار نشان نداد.

جدول ۵- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	WDEL	EP	CU	DU	ET	AELQ	PELQ
تکرار	۰/۳۶^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۰/۴۴^{ns}	^{ns}۰/۱۹	۰/۲۸ ^{ns}	۴/۱۱^{ns}	۷/۴۴^{ns}
ارتفاع آب‌پاش	۳۰/۲۵ **	۳۰/۲۵**	۲۹۴/۶۹**	۳۰۶/۲۵**	۳۳۷/۹۵**	۱۹۱/۳۶**	۱۱۰/۲۵**
زمان آبیاری	۱۱۱/۰۳ **	۱۱۱/۰۳**	**۴۲۰/۱۱	۳۹۶/۷۸**	۵۹۷/۴۲**	۲۶۹/۳۶**	۲۵۸/۶۹**
نوع مزرعه	۸/۰۲*	۸/۰۲*	۲۳۰/۰۳**	۲۴۰/۲۵**	۲۲۷/۵۱**	۴۶/۶۹**	۶۱/۳۶**
نوع مزرعه × ارتفاع آب‌پاش	^{ns}۰/۶۹	^{ns}۰/۶۹	**۱۷/۳۶	*۶/۲۵	**۱۷/۲۲	^{ns}۰/۰۳	^{ns}۰/۰۳
نوع مزرعه × زمان آبیاری	^{ns}۲/۵۳	^{ns}۲/۵۳	^{ns}۰/۷۷	^{ns}۱	^{ns}۳/۲۸	^{ns}۲/۶۹	^{ns}۰/۵۳
ارتفاع آب‌پاش× زمان آبیاری	^{ns}۰/۰۸۳	^{ns}۰/۰۸	^{ns}۳/۱۱	۴/۳۳*	^{ns}۱/۳۷	^{ns}۲/۱۹	^{ns}۵/۰۸
نوع مزرعه × ارتفاع آب‌پاش × زمان آبیاری	^{ns}۱/۶۹	^{ns}۱/۶۹	^{ns}۰/۱۱	**۷	^{ns}۰/۵۶	^{ns}۲/۱۹	^{ns}۰/۶۹
خطا	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۵۳	۱/۰۷	۱/۸	۴/۱۴	۳/۳۲
درصد ضریب تغییرات	۸/۰۶	۱/۳۵	۱/۸۹	۱/۷۶	۲/۳۸	۴/۱۸	۳/۳۴

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و * معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و ns عدم معنی‌داری است.

نوع مزرعه

تلفات تبخیر و بادبردگی در مزرعه تحت کشت چغندرقند حدود ۰/۹۵ درصد از مزرعه پیاز بیشتر بود و این موضوع سبب شد راندمان پاششی در مزرعه چغندرقند ۰/۹۵ درصد از مزرعه پیاز کمتر شود (جدول ۶). گرچه تلفات تبخیر و بادبردگی زیاد بود، لیکن نسبت به مشاهدات سایر محققان در ایران از وضعیت به نسبت بهتری برخوردار بود. کیانی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کرد که در برخی سامانه‌های آبیاری این تلفات بیشتر از ۲۰ درصد بود. با توجه به تلفات در سامانه‌های مورد مطالعه، سایر پارامترها از جمله ضریب یکنواختی و راندمان کل به ترتیب به میزان ۵/۰۶ و ۵/۰ درصد در مزرعه چغندرقند کمتر از مزرعه پیاز بود. ضریب یکنواختی به عنوان شاخصی مهم برای ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی به شمار می‌رود، به همین دلیل توجه به عوامل موثر بر کاهش مقدار آن از اهمیت زیادی برخوردار است (گلیج و همکاران، ۱۳۹۸؛ Maroufpoor et al., 2020). شرایط مزارع در خصوص بادگیربودن و نوع کشت متفاوت بود. بنابراین طبیعی است که مقادیر پارامترها در این دو مزرعه متفاوت باشد. این نتایج با مطالعات فوکایدز مطابقت داشت. این محقق نیز گزارش کرد که سرعت باد عامل مهمی در کاهش یکنواختی شبکه‌های آبیاری است و قابل مهار نیست. بنابراین پیشنهاد کرد که این عامل در خصوص تعیین فاصله‌ی مناسب آب‌پاش‌ها حتماً قبل از اجرا در نظر گرفته شود (Phocaides, 2000). این توصیه‌ها توسط سایر محققان از جمله تارجولو و همکاران و آکار و سوینجر نیز ارائه شده است (Tarjuelo et al., 1999; Acar and Sevincer, 2020). لیکن این موضوع در مزارع تحت مطالعه مورد توجه قرار نگرفته بود. از طرفی، سطح پوشش برگ‌های پیاز نسبت به چغندرقند کمتر است. بنابراین آب بیشتری به سطح خاک می‌رسد. این موضوع سبب افزایش پارامترهای موردمطالعه مانند ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع و راندمان کل شد. با این‌وجود، در هر دو مزرعه مقدار ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع از مقدار توصیه‌شده مریام و کلر کمتر بود. این محققان محدوده‌های ۸۰ ≤ DU ≤ ۶۷ ٪ و ۸۷ ٪ ≤ CU ≤ ۸۱ ٪ را برای یکنواختی توزیع و ضریب یکنواختی توصیه کردند (Merriam and Keller, 1978). این امر به دلیل وزش بادهای شدید در منطقه است که در زمان طراحی به این موضوع توجه نشده بود. این مشکل در زمان طراحی و اجرا با کاهش فواصل لاترال‌ها یا تغییر آرایش شبکه می‌توانست حل شود.

جدول ٦- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری (برحسب درصد) در دو مزرعه چغندرقند و پیاز

نام مزرعه	WDEL	EP	CU	DU	ET	AELQ	PELQ
چغندرقند	۱۴/۷۸b	۸۵/۲۲b	۶۲/۹۴b	۵۶/۳۹b	۵۳/۷۵b	۴۷/۵b	۵۳/۲۲b
پیاز	۱۳/۸۳a	۸۶/۱۷a	۶۸a	۶۱/۵۶a	۵۸/۷۵a	۴۹/۷۸a	۵۵/۸۳a

حروف مشترک در هر ردیف، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشترک، نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار بودن بین میانگین‌های پارامترها در سطح آزمایش است.

ارتفاع آب‌پاش

با کاهش ارتفاع آب‌پاش از ۱۰۰ به ۷۵ سانتی‌متر در مزرعه چغندرقند، تلفات تبخیر و بادبردگی را به میزان ۱/۵۶ درصد کاهش داد (جدول ۷). این موضوع سبب افزایش سایر پارامترهای موردمطالعه شد به‌طوری‌که نسبت به ارتفاع آب‌پاش ۱۰۰ سانتی‌متر معنی‌دار شدند. افزایش راندمان پاشش و راندمان کل در شرایط استفاده از ارتفاع آب‌پاش ۷۵ سانتی‌متر به ترتیب ۱/۵۶ و ۴/۷۴ درصد بود. میزان افزایش ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، راندمان واقعی و پتانسیل در چارک پایین در شرایط کاهش ارتفاع آب‌پاش از ۱۰۰ به ۷۵ سانتی‌متر نیز به ترتیب ۵/۰، ۴/۷۴، ۴/۵۶ و ۳/۵۶ درصد بود. مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب یکنواختی در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر (۶۵/۱۱ درصد) با ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر (۶۰/۷۸ درصد) و مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب یکنواختی در این دو ارتفاع نشان داد که کاهش ارتفاع آب‌پاش به توزیع بهتر آب در خاک کمک می‌کند. با کاهش ارتفاع آب‌پاش در مزرعه پیاز، شرایط مشابهی مشاهده شد. تلفات تبخیر و بادبردگی در شرایط کاهش ارتفاع آب‌پاش از ۱۰۰ به ۷۵ سانتی‌متر ۲/۱۱ درصد بود که این موضوع سبب افزایش راندمان پاشش به همین میزان شد. میزان افزایش ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در شرایط مذکور به ترتیب ۷/۱۲ و ۶/۶۷ درصد و افزایش راندمان واقعی و پتانسیل در چارک پایین به ترتیب ۴/۶۷ و ۳/۴۵ درصد بود. این نتایج با مشاهدات سراج رضایی و حسن نیا (۱۳۹۳) مطابقت داشت. این محققان نیز اثر افزایش ارتفاع آب‌پاش بر تلفات تبخیر و بادبردگی را بررسی کرده و گزارش کردند به علت افزایش خط مسیر جریان و افزایش سرعت باد در ارتفاع بیشتر، تلفات تبخیر و بادبردگی با افزایش ارتفاع آب‌پاش بیشتر شد. دغاغله و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش کردند که در شرایط باد ملایم می‌توان از ارتفاع آب‌پاش تا ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده کرد که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. این محققان پیشنهاد کردند که در شرایط بادهای شدید بهتر است ارتفاع آب‌پاش تا ۸۰ سانتی‌متر کاهش یابد.

جدول ۷- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده (برحسب درصد) در ارتفاع آبپاش

ارتفاع آب‌پاش	WDEL	EP	CU	DU	ET	AELQ	PELQ
مزرعه چغندرقند							
۷۵ سانتی‌متر	^{a}۱۴	۸۶^{a}	۶۵/۱۱^{a}	۵۸/۸۹^{a}	^{a}۵۶/۱۲	۴۹/۷۸^{a}	۵۵^{a}
۱۰۰ سانتی‌متر	۱۵/۵۶^{b}	۸۴/۴۴^{b}	۶۰/۷۸^{b}	۵۳/۸۹^{b}	۵۱/۳۸^{b}	۴۵/۲۲^{b}	۵۱/۴۴^{b}
مزرعه پیاز							
۷۵ سانتی‌متر	a۱۲/۷۸	۸۷/۲۲a	۷۱/۵۶a	۶۴/۸۹a	a۶۲/۵۳	۵۲/۱۱a	۵۷/۵۶a
۱۰۰ سانتی‌متر	۱۴/۸۹ b	۸۵/۱۱b	۶۴/۴۴b	۵۸/۲۲b	۵۵/۰۲b	۴۷/۴۴b	۵۴/۱۱b

حروف مشترک در هر ردیف، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشترک، نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار بودن بین میانگین‌های پارامترها در سطح آزمایش است.

زمان آبیاری

در بین زمان‌های مختلف آبیاری در مزرعه چغندرقند، بیشترین تلفات تبخیر و بادبردگی در عصر و کمترین تلفات تبخیر و بادبردگی در شب مشاهده شد (جدول ۸). کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در این مزرعه در شب نسبت به دو زمان صبح و عصر به ترتیب ۲/۱ و ۵/۶ درصد بود. این نتایج با مشاهدات شیخ اسماعیلی (۱۳۹۱) مطابقت داشت. این محقق گزارش کرد که با آبیاری شبانه می‌توان تلفات تبخیر و بادبردگی را در جنوب خوزستان از ۲۶/۸ درصد به ۲ درصد کاهش داد. ازاین‌رو، راندمان پاشش در زمان شب نسبت به دو زمان دیگر بیشتر بود. افزایش ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در مزرعه چغندرقند در زمان شب به ترتیب ۵/۸ و ۶/۵ درصد نسبت به آبیاری در صبح بیشتر بود. افزایش مقادیر این پارامترها نسبت به زمان عصر به ترتیب ۱۱/۳ و ۱۴/۹ درصد بود. عمده‌ی کشاورزان آبیاری مزارع چغندرقند را در صبح و عصر انجام می‌دهند که این موضوع سبب کاهش راندمان کل به ترتیب ۶/۵ و ۱۳/۲ درصد نسبت به آبیاری شب می‌شود. مقایسه‌ی راندمان کل در مزرعه پیاز نیز همین نتایج را نشان داد. اختلاف راندمان کل در زمان شب نسبت به صبح و عصر به ترتیب ۸/۲ و ۱۵/۱ درصد بود. مقایسه‌ی این نتایج با مزرعه چغندرقند نشان داد که تغییر زمان آبیاری در مزرعه پیاز اثر بیشتری نسبت به مزرعه چغندرقند داشت. علت آن افزایش بیشتر تلفات در

صبح (۴ درصد) و عصر (۶/۵ درصد) نسبت به آبیاری شبانه در مزرعه پیاز بود. این نتایج با مشاهدات یاکوبی و همکاران مطابقت داشت. این محققان نیز نشان دادند که تلفات تبخیر و بادبردگی در شب نسبت به روز به ترتیب از ۲۴ به ۷ درصد کاهش و یکنواختی آبیاری از ۵۰ درصد در روز به ۶۴ درصد در شب افزایش یافت (Yacoubi et al., 2010). در هر دو مزرعه، میانگین یک‌چهارم عمق آب ذخیره‌شده بیشتر از کمبود رطوبت خاک شد. بنابراین راندمان واقعی کاربرد کمتر از راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پایین بود. پایین بودن راندمان واقعی کاربرد در چارک پایین بیانگر مشکلات مدیریتی است و تفاوت اختلاف آن با راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پایین ابعاد این مشکلات را نمایان‌تر کرد.

جدول ۸- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده (برحسب درصد) در زمان‌های مختلف آبیاری

زمان آبیاری	WDEL	EP	CU	DU	ET	AELQ	PELQ
مزرعه چغندرقند							
صبح	b۱۴/۳۳	b۸۵/۶	b۶۲/۸	b۵۶/۱	b۵۳/۸	b۴۸/۸	b۵۳/۳
عصر	a۱۷/۸۳	c۸۲/۲	c۵۷/۳	c۵۱/۰	c۴۷/۱	c۴۲/۵	c۴۸/۵
شب	c۱۲/۱۷	a۸۷/۷	a۶۸/۶	a۶۲/۰	a۶۰/۳	a۵۱/۱	a۵۷/۸
مزرعه پیاز							
صبح	b۱۴/۳۳	b۸۵/۶	b۶۸/۰	b۶۱/۶	b۵۸/۳	b۵۰/۳	b۵۶/۳
عصر	a۱۶/۸۳	c۸۳/۱	c۶۱/۸	c۵۵/۵	c۵۱/۴	c۴۴/۵	c۵۰/۶
شب	c۱۰/۳۳	a۸۹/۶	a۷۴/۱	a۷۴/۱	a۶۶/۵	a۵۴/۵	a۶۰/۵

حروف مشترک در هر ردیف، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشترک، نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار بودن بین میانگین‌های پارامترها در سطح آزمایش است.

اثرات متقابل

مقایسه کلیه پارامترهای موردمطالعه در جدول (۹) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، تیمار L2T2 (ارتفاع آب‌پاش ۱۰۰ سانتی‌متر و آبیاری عصر) بدترین شرایط از نظر تلفات تبخیر و بادبردگی در هر دو مزرعه بود. کمترین تلفات تبخیر و بادبردگی (۹/۷ درصد) در تیمار F1L1T3 بود. البته تیمار F2L1T3 نیز از تلفات تبخیر و بادبردگی کمی برخوردار بود لیکن اختلاف این تیمار نسبت به F1L1T3 حدود ۱/۳ درصد بود. اختلاف تلفات تبخیر و بادبردگی در تیمار F1L1T3 نسبت به بیشترین تلفات محاسبه‌شده در این تحقیق (در تیمار L2T2 در هر دو مزرعه) حدود ۸/۶ درصد به دست آمد. تیمارهای F1L1T1، F1L2T3 با میزان تلفات تبخیر و بادبردگی بین ۱۳/۷-۱۳/۳ درصد از نظر آماری در یک گروه قرار داشتند. این نتایج نشان داد که در مزرعه چغندرقند، آبیاری شبانه با آب‌پاش ۱۰۰ سانتی‌متری از تلفات مشابه با آبیاری صبح با آب‌پاش ۷۵ سانتی‌متری برخوردار است. این نتایج در مزرعه پیاز مشاهده نشد و علت آن اثرپذیری بیشتر زمان آبیاری بر تغییرات تلفات تبخیر و بادبردگی بود.

جدول ۹- اثر متقابل نوع مزرعه، زمان آبیاری و ارتفاع آبپاش بر پارامترهای موردمطالعه (برحسب درصد)

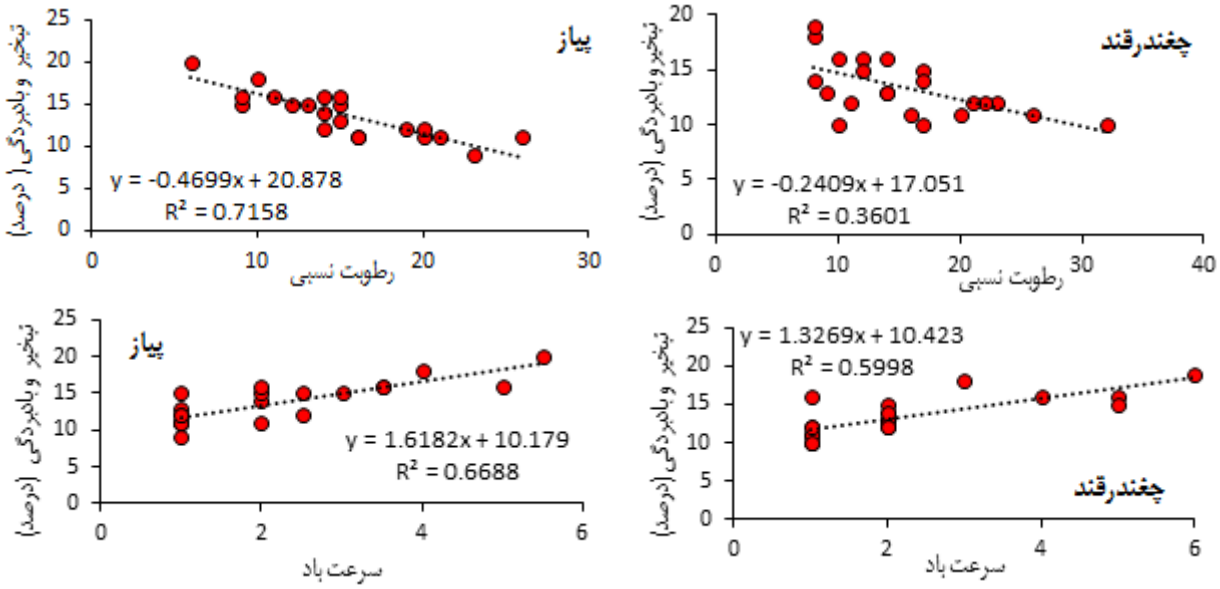
مزرعه	ارتفاع آبپاش (سانتی‌متر)	زمان آبیاری	WDEL	EP	CU	DU	ET	AELQ	PELQ
F1	L1	T1	۱۳/۷ d	۸۶/۳ c	۶۵ d	۵۹/۷cd	۵۶/۱۳ e	۵۳/۳۳ b	۵۷ d
		T2	۱۷/۳ b	۸۲./۷f	۶۰ e	۵۳/۳ e	۴۹/۶۳ h	۴۵/۶۷ d	۵۰/۳۳ g
		T3	۱۱ e	۸۹ b	۷۰/۳ b	۶۳/۷ b	۶۲/۶ b	۵۳/۳۳ b	۶۰ b
	L2	T1	۱۵ c	۸۵ d	۶۰/۷ e	۵۲/۷ f	۵۱/۵۳ g	۴۵/۳۳ d	۵۱ g
		T2	۱۸/۳ a	۸۱/۷ f	۵۴/۷ g	۴۸/۷ h	۴۴/۶j	۳۹/۶۷ f	۴۶/۶۷ h
		T3	۱۳/۳ d	۸۶/۷ c	۶۷ c	۶۰/۳ c	۵۸ d	۴۷/۳۳ c	۵۵/۶۷ e
F2	L1	T1	۱۳/۳ d	۸۶/۷ c	۷۱/۳ b	۶۴/۳ b	۶۱/۸۷ c	۵۲/۶۷ b	۵۸/۳۳ c
		T2	۱۵/۳ c	۸۴/۷ d	۶۶ c	۶۰ c	۵۵/۸۷e	۴۷/۶۷ c	۵۳ f
		T3	۹/۷ f	۹۰/۳ a	۷۷/۳ a	۷۰/۳ a	۶۹/۸۷ a	۵۶/۶۷ a	۶۲ a
	L2	T1	۱۵/۳c	۸۴/۷ d	۶۴/۷ d	۵۹ d	۵۴/۷۷ f	۴۸ c	۵۵ e
		T2	۱۸/۳ a	۸۱/۷ f	۵۷/۷ f	۵۱ g	۴۷/۱ i	۴۱ e	۴۶/۶۷ h
		T3	۱۱ e	۸۹ b	۷۱ b	۶۴/۷ b	۶۳/۲ b	۵۳ b	۵۹/۶۷ b

حروف مشترک در هر ردیف، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشترک، نمایانگر وجود اختلاف معنی‌دار بودن بین میانگین‌های پارامترها در سطح آزمایش است.

رابطه‌ی تلفات با پارامترهای هواشناسی

در شکل (۱)، رابطه‌ی بین تلفات تبخیر و بادبردگی با پارامترهای رطوبت نسبی و سرعت باد نشان داده شده است. بین رطوبت نسبی و تلفات تبخیر و بادبردگی رابطه‌ی معکوس وجود داشت. این رابطه بین سرعت باد و تلفات تبخیر و بادبردگی مستقیم بود. شیب خط در معادله‌ی به‌دست‌آمده برای دو محصول چغندرقند و پیاز نشان داد که مزرعه تحت کشت پیاز به تغییرات رطوبت نسبی از حساسیت بیشتری برخوردار بود. این نتایج برای سرعت باد حاکی از این بود که تغییرات سرعت باد اثر بیشتری بر تغییرات تلفات تبخیر و بادبردگی در مزرعه پیاز داشت. بنابراین گرچه تلفات تبخیر و بادبردگی در شرایط آزمایش در مزرعه پیاز کمتر بود، لیکن اگر سرعت باد بیشتر از شرایط اندازه‌گیری شده باشد (جدول ۴)، تلفات تبخیر و بادبردگی در مزرعه پیاز بیشتر از چغندر خواهد بود. کلر و بلیسنر نیز افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی و کاهش یکنواختی توزیع آب در سامانه‌های آبیاری بارانی را به دلیل حساسیت سامانه آبیاری نسبت به شرایط اقلیمی بیان کرد (Keller and Bliesner, 1990).

بر اساس جدول (۴)، به دلیل کمتر بودن سرعت باد در شب، میزان تلفات تبخیر و بادبردگی در این زمان کمتر از صبح و عصر بود. این نتایج با مشاهدات سایر محققان از جمله رئوف و همکاران (۱۳۹۷)، دارکو و همکاران (۲۰۱۷) و دچمی و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت داشت (Darko et al., 2017; Dechmi et al., 2003). مقدار رطوبت نسبی در شب نسبت به دو زمان دیگر بیشتر بود؛ لذا این پارامتر نیز بر کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی و افزایش راندمان آبیاری در شب مؤثر بود. این موضوع توسط رئوف و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش شده است. ایشان با ارزیابی سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و تعیین تلفات تبخیر و باد بردگی در منطقه دامغان اعلام نمودند که کمبود فشار بخار اشباع بر تلفات تبخیر و بادبردگی مؤثر بوده است. علاوه بر این دو عامل، فاصله‌ی آب‌پاش‌ها نیز در کاهش راندمان آبیاری اثر داشت. فاصله‌ی آب‌پاش‌ها در این طرح ۲۵×۲۵ متر بود که این موضوع سبب شد میزان آب دریافت شده توسط خاک در انتهای طول پاشش کمتر از حد انتظار باشد. میانگین قطر پاشش آبپاش‌ها بین ۱۸ تا ۲۱ متر بود که سرعت باد این مشکل را تشدید می‌کرد. به‌طوری‌که در بعضی اندازه‌گیری‌ها قوطی‌های نمونه‌برداری در انتهایی طول پاشش خالی بود. فوکایدز برای رفع اثر سرعت باد بر کاهش یکنواختی توزیع پیشنهاد کرد که در شرایط وزش بادهای آرام تا متوسط، بهتر است فاصله آب‌پاش‌ها از ۶۵ درصد قطر پاشش تجاوز نکند. این محقق گزارش کرد که در شرایط وزش بادهای شدید فاصله آب‌پاش‌ها می‌بایست کمتر از ۵۰ درصد قطر پاشش در نظر گرفته شود (Phocaides, 2000). سایر محققان از جمله معروف‌پور و همکاران نیز توجه به تعیین فاصله‌ی آب‌پاش‌ها را نسبت به سایر شرایط حاکم بر سامانه‌ی آبیاری موثرتر بیان کردند (Maroufpoor et al., 2020). گرچه کاهش فواصل آب‌پاش‌ها می‌تواند به رفع این مشکل کمک کند، لیکن باید بر اساس توجه به مسائل اقتصادی نیز باشد (باوی و همکاران، ۱۳۸۷).



شکل ۱- اثر متقابل نوع مزرعه، زمان آبیاری و ارتفاع آبپاش بر پارامترهای موردمطالعه (برحسب درصد)

ازاین‌رو، پارامتراهای راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد آب در چارک پایین کمتر از مقادیر توصیه‌شده توسط میریام و کلر باشد (Merriam and Keller, 1978). این نتایج با مشاهدات سایر محققان ازجمله پلی‌یان و همکاران (۲۰۰۵)، رحمت‌آبادی و همکاران(۱۳۹۱) و عرفانیان و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت داشت (Playan et al., 2005). زارع ابیانه و زیوری (۱۳۹۶) مقادیر راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد آب در چارک پایین در شهرستان همدان را به ترتیب در محدوده‌ی ۵۵/۷-۳۱/۱ و ۵۲/۵-۲۸/۳ درصد گزارش کردند که نسبت به تحقیق حاضر کمتر بود. این محققان کاهش این دو پارامتر را متأثر از سرعت باد دانستند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر نوع مزرعه، ارتفاع آب‌پاش و زمان آبیاری بر تلفات تبخیر و بادبردگی در آبیاری بارانی موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین تلفات تبخیر و بادبردگی با سرعت باد رابطه‌ی مستقیم وجود داشت. رابطه‌ی بین تلفات تبخیر و بادبردگی و رطوبت هوا معکوس بود. نوع محصول با اثرگذاری روی دریافت آب توسط خاک به افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی و کاهش پارامترهایی مانند ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع و راندمان کل مؤثر باشد. با افزایش ارتفاع آب‌پاش، سهم تلفات تبخیر و بادبردگی بیشتر شد. بهترین زمان آبیاری شب بود و پس از آن صبح تعیین گردید. علت آن، کاهش سرعت باد و افزایش رطوبت نسبی در این دو زمان نسبت به عصر بود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که بهره‌برداران در صورت امکان آبیاری را در شب انجام دهند و درصورتی‌که این کار برای ایشان مقدور نیست؛ زمان صبح نسبت به عصر ارجحیت دارد. همچنین با کاهش ارتفاع آب‌پاش میزان راندمان آبیاری را افزایش دهند. در صورت آبیاری عصر، به‌منظور کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی، حتماً از رایزرهای ۷۵ سانتی‌متر استفاده شود.

منابع

اگدرنژاد، ا.، ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. مدیریت آب در کشاورزی. ۵ (۲-۱۰): ۶۴-۵۳.

اوجاقلو، ح.، بیگدلی. ز. و شیردلی، ع. ۱۳۹۶. بررسی اثر سرعت باد بر عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در استان زنجان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۷ (۲۸): ۹۷-۱۰۷.

باوی، م.، کشکولی، ح. و برومند نسب، س. ۱۳۸۷. تأثیر عوامل جوی و هیدرولیکی بر ضرایب یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی در منطقه امیدیه. مجله پژوهش آب ایران. ۲ (۲): ۵۹-۵۳.

بی‌نام، ۱۴۰۱. مرکز ملی آمار ایران. دسترسی در www.amar.org.ir.

دغاغله، م.، خدادادی دهکردی، د.، نوروزی اقدم، ا. و اگدرنژاد، ا. ۱۳۹۷. ضریب یکنواختی توزیع آب در سه نوع آپاش تحت سرعت باد و ارتفاع مختلف پایه آب‌پاش در شهرستان اهواز. بوم‌شناسی گیاهان زراعی. ۱۴ (۱): ۱۹-۹.

رحمت آبادی، و.، برومندنسب، س.، سخایی راد، ح. و باوی، ع. ۱۳۹۱. تلفات تبخیر و باد دو نوع آبپاش تک نازله و سه نازله در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شرایط اقلیمی اهواز. آبیاری و زهکشی ایران. ۶ (۴): ۲۷۲-۲۶۵.

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 (۴): ۱۱۷-۱۳۳.

زارع ابیانه، ح. و زیوری عارف، س. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری کلاسیک ثابت در همدان. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱ (۴): ۵۳۵-۵۲۴.

سراج رضایی، ی.، و حسن نیا، ر. د. ۱۳۹۳. تحلیل خصوصیات باد در شب و روز و تأثیر آن بر عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی. آبیاری و زهکشی ایران. ۲ (۸): ۳۱۱-۳۲۴.

شیخ اسماعیلی، ا. ۱۳۹۱. بررسی اثرات باد و فشار آب بر تلفات تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شرایط گرم و نیمه خشک. آبیاری و زهکشی ایران. ۲ (۶): ۸۷-۹۲.

طالبی، ر.، دهان زاده، ب. و هوشمند، ع. ۱۳۹۲. ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک شهرستان شوش، اولین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه.

عرفانیان، م. علیزاده، ا.، موسوی بایگی، م.، انصاری، ح. و باغانی، ج. ۱۳۸۷. مطالعه پتانسیل اثرات تبخیر و بادبردگی بر کارایی سیستم‌های آبیاری بارانی در دشت‌های کشاورزی استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی. علوم و صنایع کشاورزی (ویژه آب و خاک). ۲۲ (۱): ۱۶۱-۱۷۲.

عیوضی‌حسن‌آبادی، م.، برومند نسب، س.، سلطانی محمدی، ا. و ایزدپناه، ز. ۱۳۹۲. تعیین ضرایب اصلاحی روابط ضریب یکنواختی CU و یکنواختی توزیع DU در منطقه اهواز. دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. ۴-۶.

فاریابی، ا. معروف پور، ع. و قمرنیا، ه.، ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی سیستم های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در دشت دهگلان کردستان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۵۴): ۷-۱.

کریمی، ب.، محمدی نسب، آ. و عبدی، چ. ۱۳۹۵. ارزیابی تلفات تبخیر و بادبردگی در سیستم آبیاری بارانی شبانه و روزانه. آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۱۰): ۱۳۵-۱۳۸.

کیانی، ع. ۱۳۷۸. ارزیابی روش‌های آبیاری بارانی معمولی در منطقه گرگان و گنبد. نشریه شماره ۸۴۷/۷۸ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.

گلیج، ح.، ترابی‌پوده، ح.، منصوری، ر. و صادقی، م. ۱۳۹۸. تخمین یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO). مهندسی منابع آب. ۴۰(۱): ۱۳۶-۱۲۹.

مرسلی، ا، حیدری، ن، زارع، ع. و حاتمی، ح. ۱۳۹۶. بررسی نقش فرایندها در ارتقای بهرهوری آب کشاورزی ایران، پژوهش‌های آب در کشاورزی. ۳۱ (۲): ۱۸۰-۱۶۳.

موسوی بایگی، م.، علیزاده، ا .، عرفانیان، م.، انصاری، ح . و باغانی، ج. ۱۳۸۶. بررسی اثرات عوامل اقلیمی و سیستمی بر تلفات آب در آبیاری بارانی. علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک. ۲۲ (۱): ۲۱۲-۲۰۵.

مولایی، ز.، معروف پور، ع . و ملکی، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی معادلات یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب. کرمان، ۹ و ۱۰ بهمن.

میربلوچ، م.ح.، دلبری، م. و پیری، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد سیستم های آبیاری بارانی کلاسیک با آب‌پاش متحرک در شهرستان خاش. مدیریت آب و آبیاری. ۱۰ (۱): ۳۱-۴۴.

میخک بیرانوند، ز.، برومند نسب، س.، ایزدپناه، ز. و ملکی، ع. ۱۳۹۳. بررسی بازده آبیاری سیستم‌های آبیاری بارانی در منطقه خرم آباد، مدیریت آب و آبیاری. ۴ (۲): ۱۹۱-۲۰۲.

یعقوب‌زاده، م.، احمدی، م.، سیدکابلی، ح.، زمانی، غ. و امیرآبادی‌زاده، م. ۱۳۹۶. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص‌های ETDI و SPI، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴ (۴): ۶۱-۴۳.

Acar, B. and Sevincer, B. 2020. Water distribution uniformity of sprinkler irrigation systems for different design and environmental condtinios. International Journal of Agricultural and Economic Development. 8(2): 8-16.

ASAE Standards. 1999. ANSI/ASAE S330.1, Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. 836-838.

Bishaw, D. and Olumana, M. 2015. Evaluating the effect of operating pressure and riser height on irrigation water application under different wind conditions in ETHIOPI. Asian Business Consortium. 41- 48.

Bloomer, D. 2008. Code of practice for irrigation evaluation. Irrigation New Zealand Inc.

Darko, R. O., Shouqi, Y., Junping, L., Haofang, Yan. and Xingye, Zh. 2017. Overview of advances in improving uniformity and water use efficiency of sprinkler irrigation. Agricultural and Biological Engineering. 10 (2): 1-15.

Dechmi F., Playan E., Cavero J., Faci J.M. and Martinez- Cob A. 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and corn yied. Irrigation Science. 22 (2): 67-77.

Keller, J. and R.D. Bliesner. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. 652 pp.

Maroufpoor, S., Shiri, J. and Maroufpoor, E. 2020. Modeling the sprinkler water distribution uniformity by data-driven methods based on effective variables. Agricultural Water Management. 215: 63-73.

Merriam, J. L. and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management, Dept. of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State Univ,. Logan, Utah.

Phocaides, A. 2000. Technical handbook on pressurized irrigation techniques. Food and Agriculture Organization of the United Nation- FAO. pp. 101.

Playan, E., Salvador, R., Faci, J.M., and Zapata, N. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. Agricultural Water Management 76: 139-159.

Sanchez I. Zapata N. Faci J.M. and Martinez-Cob A. 2011. The spatial variability of the wind in a sprinkler irrigated district: Implications for irrigation management. Biosystems Engineering. 109: 65-76.

Tarjuelo, J. M., Montero, J., Honrubia, F. T., Ortiz, J. J. and Ortega, J. F. 1999. Analysis of uniformity of sprinkler irrigation in a semi-arid area. Agricural Water Management. 40: 315-331.

Yacoubi, S., Zayani, K., Zapata, N., Zairi, A., Slatni, A,. Salvador, R. and Playan, E. 2010. Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield. Bio systems Engineering, 107(1): 25-35.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 17, Apr.-May. 2023, p. 129-141

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۷، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۲، ص. ۱۴۱-۱۲۹

Estimation of Wind Drift and Evaporation Losses of Sprinkler Irrigation Systems under the Influence of Different Exploitation Managements (Case Study: Choghahoroshi Khorramabad Plain)

S. Zamani Sepahvand[1], H. Torabi podeh[2], A. Heidar Nasrolahi[3*]
Recived: Aug.26, 2022 Accepted: Nov.24, 2022

Abstract

Evaporation and wind loss causes a decrease in the amount of water entering the soil and a change in the spraying pattern, which changes parameters such as uniformity coefficient (CU), water distribution uniformity (DU), potential efficiency of application in the lower quartile of land (PELQ), actual efficiency in Lower quartile (AELQ) and total efficiency (ET) are irrigated. The current research was conducted in a factorial way in the agricultural year of 2020-2021 in the agricultural lands of Chaghahroshi plain in Khoram Abad city. The studied factors include land type (F1: sugar beet field and F2: onion field), sprinkler height (L1: 75 cm and L2: 100 cm) and irrigation time (T1: morning, T2: evening and T3: night) with three repetitions. Evaporation and wind loss in the sugar beet field was about 0.95% more than the onion field, which caused the decrease of other parameters including uniformity coefficient (5.06%) and total efficiency (5%) in the sugar beet field compared to It became an onion farm. With the increase of sprinkler height, evaporation losses and wind blowing increased by 1.56%. The reduction of evaporation and wind loss in the sugar beet field at night compared to morning and evening was 2.1% and 5.6%, respectively. The increase of uniformity coefficient and uniformity of distribution in the sugar beet field at night was 5.8 and 6.5%, respectively, more than irrigation in the morning. The increase in the values of these parameters compared to evening time was 11.3 and 14.9 percent, respectively. Changing the irrigation time in the onion field had a greater effect on improving the irrigation efficiency indicators than the sugar beet field. The reason for that was the increase in losses in the morning (4%) and evening (6.5%) compared to night irrigation in the onion field.

Key words: Evaporation losses, Irrigation time, Rain irrigation, Spraying efficiency, Uniformity coefficient.

1- Master student, Department of Water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran
2- Asociate Professor, Department of Water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran
(*- Corresponding Author Email: nasrolahi.a@lu.ac.ir)