نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۶، بهمن - اسفند ۱۴۰۱، ص. ۱۱۳۵-۱۱۲۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 16, Feb.-Mar. 2023, p. 1124-1135

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثر کم‌آبیاری موجی و یک در میان بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای

اکبر مهری[۱]، امیر سلطانی‌محمدی*[۲]، حامد ابراهیمیان[۳] و سعید برومندنسب[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری موجی و یک در میان بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ ، پژوهشی در دشت جایدر شهرستان پلدختر طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. طرح آماری پژوهش، طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی بود که شامل دو فاکتور در پنج و سه سطح بود: فاکتورA (پنج روش آبیاری جویچه‌ای) شامل آبیاری معمولی یا سنتی (C)، آبیاری موجی با نسبت‌های قطع و وصل جریان یک به یک (S_1) و دو به یک (S_2) تا زمان تکمیل پیشروی، آبیاری یک در میان ثابت (FF) و آبیاری یک در میان متغیر (AF) و همچنین فاکتورB (سه رژیم آبیاری) شامل ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_{100})، ۸۰ درصد نیاز آبی (I_{80}) و ۶۰ درصد نیاز آبی (I_{60}) است. لذا تعداد تیمارهای آزمایشی ۱۵ و تعداد تکرارها نیز ۳ تکرار بود. نتایج تحقیق نشان داد که در مقایسه با تیمار شاهد (CI_{100})، بیشترین و کمترین صرفه‌جویی در مصرف آب مربوط به تیمارهای آبیاری AFI_{60} و S_2I_{100} برابر ۵۰/۲ و ۹/۶ درصد بود. بیشترین راندمان کاربرد آب، کمترین تلفات رواناب سطحی و نفوذ عمقی تیمارهای تحقیق، مربوط به تیمار آبیاری AFI_{60} به‌ترتیب با مقادیر ۷۵/۷، ۲۲/۴ و ۱/۹ درصد بود. بیشترین عملکرد محصول (وزن دانه و وزن کل بلال‌ها) مربوط به تیمار آبیاری S_2I_{100} با مقادیر ۶۲۰۲ و ۸۰۶۴ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد که نسبت به تیمار شاهد ۴/۹۷ و ۵/۱۳ درصد افزایش یافت. بیشترین بهره‌وری آب برای وزن دانه و وزن کل بلال‌ها مربوط به تیمار آبیاری S_1I_{60} به‌ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد که نسبت به تیمار شاهد ۴۷ و ۴۱/۸ درصد افزایش داشت و به‌عنوان مناسب‌ترین روش کم‌آبیاری ذرت در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، بهره‌وری آب، راندمان کاربرد آب، کم‌آبیاری

مقدمه

ذرت دارای نیاز آبی بالا است و به‌دلیل عملکرد بالا در واحد سطح به‌عنوان سلطان غلات معروف است و از لحاظ سطح زیرکشت در بین گیاهان زراعی دنیا پس از گندم و برنج مقام سوم و از نظر میزان عملکرد پس از نیشکر مقام دوم را به خود اختصاص داده است (پارسا و همکاران، ۱۴۰۰). تلاش‌های پژوهشگران کشاورزی تاکنون عمدتا به افزایش تولید در واحد سطح معطوف بوده و میزان تولید به‌ازای واحد نهاده از جمله آب مصرفی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، در صورتی که در شرایط محدودیت منابع آب و فراوانی نسبی اراضی قابل کشت (شرایط حاکم بر اکثر مناطق ایران) هدف اصلی بایستی بیشتر متمرکز بر بالابردن تولید به‌ازای واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از این منابع باشد (صمصامی‌پور، ۱۳۹۵). یکی از روش‌های مدیریت آبیاری سطحی، آبیاری جویچه‌ای یک در میان (ثابت و متغیر) است. در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت، جویچه‌های آبیاری شده در طول فصل رشد ثابت می‌ماند، اما در آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر (متناوب)، جویچه‌ها به‌صورت یک در میان آبیاری می‌شوند، به این ترتیب که در یک آبیاری دو جویچه کناری و در آبیاری بعدی فقط جویچه وسط آبیاری می‌شود (دهقانی و پناهی، ۱۳۹۶). یکی از جدیدترین روش‌های نوین آبیاری سطحی برای افزایش راندمان کاربرد آب، روش موجی است که در آن به‌جای انتقال پیوسته آب به زمین از جریان منقطع آب استفاده می‌شود. در مقایسه با روش سنتی، در این روش آب با سرعت بیشتری روی زمین به حرکت در آمده و در نتیجه اختلاف زمان نفوذ در ابتدا و انتهای جویچه به حداقل مقدار ممکن رسیده و نفوذ آب در

۱- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲- دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۴- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: (Email: a.soltani@scu.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.6.5.2

طول جویچه توزیع یکنواخت‌تری دارد (پرندین، ۱۳۹۸). در آبیاری موجی، در صورت استفاده از دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت، ممکن است امواج در یکدیگر ادغام شده و سبب کاهش تاثیرات ناشی از پیشرفت موج شوند و مرحله پیشروی تکمیل نشود و همچنین دوره‌ای که بسیار طولانی باشد سبب آبیاری بیش از حد مزرعه در طی مرحله پیشروی خواهد شد، بالاخره اینکه زمان‌بندی امواج باید به‌نحوی صورت گیرد که امواج مجزا در مرحله پیشروی به روی هم نیافتاده ولی در مرحله بعد از پیشروی این ادغام صورت گیرد (ناظمی و همکاران، ۱۳۹۸). کم‌آبیاری استراتژی بهینه برای گسترش سطح کشت و تولید محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب می‌باشد که با اعمال زمان مناسب تنش آبی، حذف آبیاری‌های کم‌بازده وکاهش میزان حجم آبیاری در هر نوبت آبیاری بدون اثر منفی بر سود خالص باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود (ناصری و دهقانی سانیج، ۱۳۹۶). معصومی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به منظور بررسی تاثیر کم‌آبیاری یک در میان متناوب بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای سینکل کراس ۷۰۴ نشان دادند کم‌آبیاری یک در میان متناوب (متغیر) بر صفات وزن دانه بلال، عملکرد دانه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت، همچنین برای رسیدن به بهره‌وری ، وزن دانه و عملکرد بیشتر، نیازی به آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) نیست و با اعمال کم‌آبیاری به‌صورت تامین ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه می‌توان به مقدار عملکرد حداکثر رسید. صمصامی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری یک در میان متناوب بر عملکرد ذرت پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب به‌علت آبیاری کامل در مرحله انتهایی رشد ذرت (مرحله زایشی) اتفاق افتاد. آبیاری یک در میان متناوب در مرحله ابتدایی رشد (مرحله رویشی) و آبیاری کامل در مرحله انتهایی رشد ذرت بهترین و مناسب‌ترین گزینه از لحاظ مدیریت آبیاری بود. دهقانی و پناهی (۱۳۹۶) در تحقیقی نشان دادند که بهره‌وری مصرف آب ذرت دانه‌ای در آبیاری جویچه‌ای یک در میان و آبیاری معمولی به‌ترتیب ۱/۱ و ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است، لذا روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان روشی کارآمد و موثر در جهت افزایش عملکرد و بهره‌وری آب می‌باشد. کریمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی اثر قطع آبیاری بر عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ را بررسی کردند. نتایج نشان داد کمترین حساسیت به قطع آبیاری در مراحل اولیه و مرحله آخر دوره رشد گیاه اتفاق افتاد و تأخیر در آبیاری تا سه هفته هم اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت، ولی در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه، حتی دو هفته قطع آبیاری هم باعث خسارت قابل توجه به عملکرد دانه می‌شود و نباید با مشکل کم‌آبی و یا تأخیر در آبیاری مواجه گردد. میرشکار نژاد و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر تاریخ کاشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و راندمان مصرف آب در ذرت دانه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که انتخاب تاریخ کاشت زودهنگام و پرهیز از آبیاری‌های مازاد بر نیاز گیاه برای دستیابی به حداکثر عملکرد بهینه و بهبود راندمان مصرف آب حائز اهمیت می‌باشند. میزان نیاز خالص آبیاری ذرت در کشور حدود ۶۸۰۰ مترمکعب در هکتار است که اگر راندمان کل آبیاری را بین ۴۳ تا ۴۷ درصد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴) در نظر بگیریم، نیاز ناخالص آبیاری ذرت بین ۱۴۵۰۰ تا ۱۵۸۰۰ مترمکعب در هکتار است. ناظمی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی اثر آبیاری موجی بر راندمان کاربرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در آبیاری موجی بهره‌وری آب بر اساس وزن کل بلال‌ها مقدار ۰/۶۹ کیلوگرم در متر مکعب و بر اساس وزن دانه مقدار ۰/۵۴ کیلوگرم در متر مکعب بوده و بهره‌وری را نسبت به آبیاری سنتی (معمولی) به‌ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۰۶ کیلوگرم در مترمکعب افزایش داد. راندمان کاربرد آب نیز به‌طور متوسط برای آبیاری سنتی ۳۲/۳ درصد و برای آبیاری موجی ۳۶ درصد بود. در پژوهشی به‌منظور بررسی روش‌های کم‌آبیاری ذرت، نتایج نشان داد که سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان در مقایسه با روش سنتی (معمولی)، در افزایش عملکرد و راندمان مصرف آب موثر بود (Sobhani et al., 2017). در تحقیقی به‌منظور یافتن طول و شدت جریان مناسب فارو در آبیاری موجی در ازبکستان نتایج نشان داد که با دبی ورودی پائین، کوتاه کردن طول جویچه می‌تواند یک روش موثر برای صرفه‌جوئی آب باشد و در مقابل لازم است که متناسب با نرخ جریان ورودی بالا طول فارو گسترش یابد (Junya et al., 2019). جیوردانو و همکاران با بررسی رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری ذرت در آمریکا نشان دادند که با اعمال ۶۷ درصد نیاز آبی نسبت به شرایط آبیاری کامل، بیشترین بهره‌وری (۱/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب) حاصل شده و هفت درصد بیشتر از بهره‌وری تیمار آبیاری کامل بوده است. آبیاری کامل با ۱/۴۲، تیمار ۳۳ درصد نیاز آبی با ۱/۲۱ و شرایط دیم با ۰/۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (Giordano et al., 2019). اسپنسر و همکاران در بررسی تاثیر آبیاری موجی بر مقدار آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب در مزرعه ذرت با خاک رسی در دره می‌سی‌سی‌پی آمریکا به این نتیجه رسیدند که برنامه‌ریزی آبیاری موجی با سنسورهای رطوبتی باعث کاهش تقاضای آب زیرزمینی، بهبود عملکرد ذرت، افزایش بهره‌وری مصرف آب و افزایش بازده خالص هزینه‌های آبیاری می‌شود (Spencer et al., 2019). ژانگ و همکاران پژوهشی با عنوان بهینه‌سازی عملکرد ذرت دانه‌ای و مصرف آب انجام دادند، تیمارها شامل چهار سطح آبیاری (۳۶۰، ۴۸۰، ۶۰۰ و ۷۲۰ میلی‌متر) و پنج تراکم بوته (۷/۵، ۹، ۱۰/۵، ۱۲ و ۱۳/۵ بوته در مترمربع) بود. نتایج نشان داد که سطح ترکیبی ۶۰۰ میلی‌متر و تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، بالاترین عملکرد (۲۱ تا ۲۱/۲ تن در هکتار) را داشت.

(Zhang et al., 2021). جمع‌بندی نتایج تحقیقات قبلی نشان داد که امکان صرفه‌جویی در مصرف آب با استفاده از آبیاری موجی و اعمال تکنیک‌هایی مانند کم‌آبیاری یک در میان جویچه‌ها بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد گیاه وجود دارد. با توجه به ضرورت بررسی رفتار گیاه نسبت به استراتژی کم‌آبیاری، اهمیت کشت ذرت دانه‌ای و مصارف آن در تولید روغن مایع خوراکی و تامین خوراک دام و طیور و نظر به چالش‌های موجود در کشور و منطقه در رابطه با محدودیت منابع آب، این تحقیق با هدف بررسی اثر کم‌آبیاری جویچه‌ای موجی و یک در میان بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای انجام شد که به نظر می‌رسد با توجه به بررسی منابع موجود، این تحقیق حداقل در استان لرستان یک پژوهش نو باشد که به منظور افزایش بهره‌وری آب، به بررسی توامان کم‌آبیاری در روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری می‌پردازد، بنابراین ضرورت انجام پژوهش موضوعیت می‌یابد و انجام این تحقیق نیاز به استفاده از روش‌های بهبود افزایش بهره‌وری آب کشاورزی را بیش از پیش مورد توجه قرار داده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دشت جایدر شهرستان پلدختر واقع در جنوب‌غربی استان لرستان و در موقعیت طول جغرافیایی ۴۷ درجه و۴۱ دقیقه و عرض جغرافیایی۳۳ درجه و ۶ دقیقه و ارتفاع ۶۸۶ متر از سطح دریا انجام گرفت. منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک با مشخصات تابستان‌های خشک و زمستان‌های معتدل است. میانگین بلندمدت بارندگی در منطقه ۴۱۴ میلی‌متر است. نمونه‌گیری از خاک مزرعه از نوع نمونه دست‌نخورده با استفاده از سیلندر نمونه‌برداری در دو عمق۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت که پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اندازه گیری بافت خاک به روش هیدرومتر، تعیین کلاس بافت خاک بر اساس روش USDA (وزارت کشاورزی آمریکا) و جرم مخصوص ظاهری خاک به روش سیلندر انجام شد. رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی‌دائم به‌ترتیب در مکش‌های ۳۳۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و غشای فشاری اندازه‌گیری شد. میزان شوری عصاره گل اشباع به کمک دستگاه EC متر، میزان مواد آلی خاک بر اساس روش اکسایش، میزان فسفر قابل جذب بر اساس روش اولسن و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان پتاسیم قابل جذب بر اساس روش آمونیم‌استات و به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر انجام شد (تاندون، ۱۳۸۱). نفوذپذیری نهایی خاک با استفاده از روش ورودی و خروجی تعیین گردید. خصوصیات شیمیائی و فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کربن آلی (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰ -۳۰	۱/۰۱	۷/۸۹	۱/۰۲	۶/۷	۲۳۶
۳۰-۶۰	۰/۹۹	۷/۸۳	۰/۷۱	۳/۸	۲۳۷

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (سانتی‌متر)	نفوذپذیری نهایی خاک (سانتی‌متر بر ساعت)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت پژمردگی (درصد حجمی)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	درصد وزنی ذرات خاک			نوع بافت خاک
					شن	سیلت	رس	
۰ -۳۰	۱/۲	۳۷	۱۹	۱/۲۷	۲۱	۴۱	۳۸	Clay loam
۳۰-۶۰		۳۶	۱۸	۱/۲۶	۲۱	۴۰	۳۹	Clay loam

پس از شخم زدن زمین توسط گاوآهن و زدن دو دیسک عمود بر هم و خردشدن کلوخه‌ها، زمین توسط ماله تسطیح و با فاروئر جوی و پشته ایجاد شد و ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ به‌میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و تراکم حدود ۸۰ هزار بوته در هکتار با عمق کاشت ۶-۴ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها در ردیف ۲۰ سانتی‌متر با بذرکار پنوماتیک کشت شد. تنک‌کردن گیاه به‌صورت دستی صورت گرفت. برای جلوگیری از تاثیر جویچه‌های مختلف بر یکدیگر و در نظر گرفتن حاشیه، سورگوم دانه‌ای در حاشیه طرح کشت شد. برای مبارزه با علف‌های هرز (در زمان ۲ تا ۴ برگی) و از بین بردن آفت کرم ساقه‌خوار و برگ‌خوار ذرت از علف‌کش نیکوسولفورون و حشره‌کش فوزالون به مقدار دو لیتر در هکتار استفاده شد. بر اساس نتایج آنالیز خاک، میزان مصرف کودهای اوره (ازت)، سوپر فسفات

تریپل، سولفات پتاسیم و کود دامی تعیین شد، غیر از اوره (ازت)، بقیه کودها قبل از کشت به خاک اضافه گردید. نیتروژن مورد نیاز گیاه ذرت (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) طی دوره رشد قابل کاربرد است (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹). ده درصد ازت مورد نیار به‌صورت دستی در مرحله قبل از کاشت و ۹۰ درصد دیگر به صورت مساوی در مراحل هفت‌برگی، ساقه‌رفتن و سنبله زدن به گیاه داده شد. طرح آماری مربوط به پژوهش، طرح فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور در پنج و سه سطح است: فاکتور A (پنج روش آبیاری جویچه‌ای) شامل آبیاری سنتی یا معمولی (C)، آبیاری موجی با نسبت‌های قطع و وصل جریان یک به یک (S_1) و دو به یک (S_2) تا زمان تکمیل پیشروی، آبیاری یک در میان ثابت (FF) و آبیاری یک در میان متغیر (AF) و همچنین فاکتورB (سه رژیم آبیاری) شامل ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_{100})، ۸۰ درصد نیاز آبی (I_{80}) و ۶۰ درصد نیاز آبی (I_{60}) است، بنابراین تعداد تیمارهای تحقیق ۱۵ و تعداد تکرارها نیز ۳ تکرار بود. لذا تعداد جویچه‌های احداث شده (کرت‌های آزمایشی) ۴۵ عدد بود. در این مطالعه، تیمارهای آبیاری معمولی با CI_{100}، CI_{80} و CI_{60}، آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان یک به یک با S_1I_{100}، S_1I_{80} و S_1I_{60}، آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان دو به یک با S_2I_{100}، S_2I_{80} و S_2I_{60}، آبیاری یک در میان ثابت با FFI_{100}، FFI_{80} و FFI_{60} و آبیاری یک در میان متغیر با AFI_{100}، AFI_{80} و AFI_{60} نشان داده شده است.

با توجه به طول، عرض و مشخصات هندسی جویچه‌ها و همچنین دبی و سایر پارامترها فرکانس موج طوری تنظیم شد که در طول دوره پیشروی بین ۳ تا ۷ موج وجود داشته باشد. نسبت تناوب و مدت زمان قطع و وصل جریان در تیمارهای مختلف در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- نسبت تناوب و مدت زمان قطع و وصل جریان در تیمارهای آبیاری موجی (هفت نوبت آبیاری موجی)

تیمار آبیاری	مدت زمان وصل جریان (دقیقه)	مدت زمان قطع جریان (دقیقه)	نسبت وصل جریان به قطع جریان	زمان تناوب جریان (دقیقه)	نسبت تناوب	تعداد موج	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	زمان هر نوبت آبیاری (دقیقه)
S_1I_{100}	۶	۶	۱ به ۱	۱۲	۱:۲	۳	۸۷۱۷	۳۶
S_2I_{100}	۶	۱۲	۱ به ۲	۱۸	۱:۳	۳	۸۷۶۹	۵۴
S_1I_{80}	۶	۶	۱ به ۱	۱۲	۱:۲	۴	۷۴۰۰	۴۸
S_2I_{80}	۶	۱۲	۱ به ۲	۱۸	۱:۳	۵	۷۴۰۳	۹۰
S_1I_{60}	۶	۶	۱ به ۱	۱۲	۱:۲	۶	۶۲۷۳	۷۲
S_2I_{60}	۶	۱۲	۱ به ۲	۱۸	۱:۳	۷	۶۲۷۷	۱۲۶

به منظور رشد یکنواخت مزرعه، آبیاری اول تا سوم تمام تیمارها به‌صورت معمولی انجام شد. کم‌آبیاری یک ماه پس از کاشت بذر و در زمان هفت‌برگی شدن تیمارها (آبیاری چهارم) اعمال شد. از زمان کاشت بذر تا برداشت محصول ده نوبت مزرعه آبیاری شده که تعداد آبیاری بدون اعمال تنش‌خشکی (کم‌آبیاری) سه نوبت و هفت نوبت کم‌آبیاری تیمارها اعمال شد. در مجموع ۴۵ جویچه در مزرعه شامل ۱۵ جویچه آزمایشی و ۳۰ جویچه محافظ ایجاد شد که اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز تیمارهای تحقیق (دبی ورودی، رواناب و زمان پیشروی) در جویچه‌های آزمایشی انجام گرفت.جویچه‌های جانبی (محافظ) به‌منظور ایجاد شرایط واقعی حرکت آب در اطراف جویچه آزمایشی (آبیاری معمولی) و در یک طرف جویچه‌های خشک (آبیاری یک در میان ثابت) در نظر گرفته شد. در آبیاری یک در میان متناوب جای جویچه‌های تر و خشک بعد از هر آبیاری تغییر می‌کند. طول جویچه‌ها ۱۲۰ متر، فاصله جویچه‌ها ۷۵ سانتی‌متر است. شیب طولی و عرضی مزرعه به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۸۵ و ۰/۰۰۲۲ بوسیله دوربین نقشه‌برداری نیوو تعیین گردید. آب توسط لوله پلی‌اتیلن از یک حلقه چاه عمیق به ابتدای مزرعه منتقل و به‌منظور کنترل دقیق حجم آب آبیاری تیمارها از کنتور سه اینچ استفاده شد. در هر رویداد آبیاری، ابتدا نیاز خالص آب آبیاری تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، محاسبه و سپس برای هر یک از تیمارهای دیگر با سطوح مختلف آب، نیاز آبیاری محاسبه شد. آنالیز شیمیایی کیفیت آب چاه به‌شرح جدول (۴) می‌باشد.

جدول ٤- متوسط آنالیز شیمیایی خصوصیات کیفی آب چاه

غلظت کاتیون‌ها (میلی‌اکی والانت در لیتر)		غلظت آنیون‌ها (میلی‌اکی والانت در لیتر)		pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	TDS (میلی‌گرم در لیتر)	SAR	سختی کل (میلی‌گرم در لیتر)
کلسیم	۳	کربنات	۰					
منیزیم	۲/۶	بی‌کربنات	۳/۵۵					
سدیم	۱/۵	کلر	۲/۵	۷/۸	۰/۹۵	۶۱۷	۰/۸	۲۸۰
پتاسیم	۱/۵	سولفات	۲/۵					
مجموع	۸/۶	مجموع	۸/۵۵					

برای محاسبه نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد گیاه از رابطه (۱) استفاده شد (Allen et al., 2005)

$$ETC=K_C\times K_P \times E_{Pan} \quad (۱)$$

ETC نیاز آبی خالص گیاه (میلی‌متر در روز)، K_C ضریب گیاهی ذرت ، K_P ضریب تشتک تبخیر کلاس A، E_{Pan} میزان تبخیر از تشتک کلاس A بر حسب میلی‌متر در روز (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پلدختر در نزدیکی محل اجرای طرح). در طول دوره رشد گیاه بارندگی موثر اتفاق نیفتاد. ضریب تشت کلاس A به‌طور متوسط ۰/۷ در نظر گرفته شد. تمام تیمارها با دور آبیاری ثابت پنج روز (مرسوم درمنطقه) آبیاری شدند. دوره رشد گیاه ذرت دانه‌ای ۱۴۱ روز بود که دوره ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب ۲۷، ۲۷، ۵۱ و ۳۶ روز به طول انجامید (Allen et al., 1998). ضریب گیاهی (K_C) در چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌طور متوسط به‌ترتیب ۰/۵۵، ۰/۹۴، ۱/۱۵ و ۰/۶ بدست آمد (Allen et al., 1998)

زمان قطع آبیاری طبق رابطه (۲) محاسبه شد (Walker and Skogerboe, 1987):

$$T_{\mathrm{CO}} = T_t + T_{\mathrm{n}} - T_{\mathrm{r}} \quad (۲)$$

T_{CO} زمان قطع جریان (دقیقه)، T_t زمان پیشروی (دقیقه)، T_{n} زمان لازم برای نفوذ مقدار خالص آب مورد نیاز (دقیقه) و T_{r} زمان پسروی (دقیقه) است. اما در جویچه‌های انتها باز و شیب دار (شیب کافی) می‌توان زمان پسروی را صفر فرض کرد.

$$T_{\mathrm{CO}} = T_t + T_{\mathrm{n}} \quad (۳)$$

چون شیب زمین ۰/۸۵ درصد و انتها جویچه‌ها باز بود در این تحقیق از زمان پسروی صرفنظر گردید.

t_n زمان لازم برای نفوذ مقدار خالص آبیاری از طریق معادله نفوذ کوستیاکوف لوئیس (رابطه ۴) محاسبه گردید (Hanson et al., 1993):

$$I_n = \mathrm{k}(t_n)^a + f_\circ t_n \quad (۴)$$

که در آن I_n مقدار خالص آب مورد نیاز جهت نفوذ بر حسب میلی‌متر، t_n فرصت نفوذ و a،k و $f_\circ$ ضرایب معادله نفوذ هستند. از روش ورودی و خروجی در تعیین سرعت نفوذ نهایی آب در خاک (Walker and Skogerboe, 1987) و از داده های زمان پیشروی جریان و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (L و 0.5L) در تعیین ضرایب a و k استفاده شد (Elliot and walker, 1982). برای اندازه‌گیری دبی ورودی و رواناب تیمارهای آزمایشی از فلوم wsc تیپ دو و یک استفاده شد. زمان پیشروی آب با تقسیم طول جویچه‌ها به فواصل ۱۰ متری و میخ‌کوبی نقاط اندازه‌گیری شد. برداشت محصول در اواخر دهه سوم تیرماه سال ۱۴۰۰ به روش دستی انجام شد. با حذف ردیف‌های کناری در هر تکرار به منزله اثر حاشیه، نمونه‌برداری فقط از ردیف‌های وسط انجام شد و برای اطمینان بیشتر، گیاهان ابتدا و انتهای ردیف های وسطی در آمارگیری، نمونه‌برداری و محاسباتی منظور نشدند و نمونه‌برداری از وسط خط کاشت میانی هر جویچه انجام شد. با توجه به خطای نمونه‌برداری و عدم قطعیت مزرعه‌ای، چهار نمونه تصادفی در هر تیمار ملاک و مبنای نمونه‌گیری محسوب گردید که بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و پس از اندازه‌گیری رطوبت و کم کردن ۱۴ درصد آن (ناظمی و همکاران، ۱۳۹۸) که مبنای محاسبه عملکرد محصول ذرت است رطوبت موجود در محصول، عملکرد واقعی محصول و بهره وری آب بدست آمد و محاسبات مربوط به هر تیمار به کل مزرعه تعمیم داده شد. بعد از توزین بلال‌های برداشت شده، دانه‌های بلال به صورت دستی از چوب آنها جدا گردید و اندازه‌گیری‌های لازم (رطوبت نمونه‌ها، طول بلال، تعداد بلال، تعداد ردیف دانه‌ها، تعداد دانه در ردیف، وزن دانه و وزن کل بلال‌ها) صورت پذیرفت.

مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی آبیاری به‌شرح زیر محاسبه قابل محاسبه است (Mazarei et al., 2020):

بهره‌وری آب

$$\mathrm{WP}=\frac{\mathrm{Y}}{\mathrm{I}} \quad (۵)$$

در این رابطه WP بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، Y عملکرد محصول (وزن دانه و وزن کل بلال‌ها) بر حسب کیلوگرم در هکتار و I مقدار آب مصرفی در طول فصل زراعی شامل آبیاری و بارندگی بر حسب متر مکعب در هکتار است.

راندمان کاربرد آب

$$\mathrm{E_a} = \frac{\mathrm{V_{rz}}}{\mathrm{V_{in}}} \quad (۶)$$

در این رابطه E_{a} راندمان کاربرد آب، V_{rz} آب ذخیره شده در منطقه ریشه (مترمکعب) و V_{in} کل مقدار آب وارد شده به مزرعه

(مترمکعب) است.

نسبت رواناب سطحی

$$TWR=\frac{D_{ro}}{D_{app}} \quad (۷)$$

TWR *نسبت رواناب سطحی*، D_{ro} متوسط عمق رواناب که به صورت پایاب در انتهای مزرعه جریان دارد (میلی‌متر). D_{app} متوسط عمق آب به کار برده شده یا عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر) است.

نسبت نفوذ عمقی

$$DPR=\frac{D_{dp}}{D_{app}} \quad (۸)$$

در این رابطه DPR نسبت نفوذ عمقی، D_{dp} متوسط عمق آب که به زیر منطقه ریشه نفوذ می‌کند (میلی‌متر)، D_{app} متوسط عمق آب به کار برده شده یا عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر) است. حجم کل آب آبیاری، متوسط راندمان کاربرد آب، میانگین تلفات رواناب سطحی و نفوذ عمقی تیمارهای طرح در طول فصل رشد ذرت دانه‌ای در جدول (۴) ارائه شده است. به منظور انجام مقایسه تیمارهای مختلف پارامتر های عملکرد شامل رطوبت، طول بلال‌ها، وزن دانه بلال‌ها، وزن هزار دانه و وزن کل بلال‌ها و بهره‌وری آب نسبت به وزن دانه و وزن کل بلال‌ها تجزیه واریانس (Anova) انجام شد. برای بدست آوردن جدول تجزیه واریانس، تجزیه آماری و نتایج آزمون‌های آماری از نرم افزار SAS استفاده شد. آزمون مقایسه میانگین تیمارها به روش LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار آزمون دانکن) انجام شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش تیمار CI_{100} به‌عنوان تیمار شاهد محسوب شد. بر اساس جدول (۵)، در بین تیمارهای طرح، کمترین و بیشترین حجم آب آبیاری در تیمارهای AFI_{60} و S_2I_{100} با مقادیر ۵۴۴۲ و ۹۸۶۹ مترمکعب در هکتار است که نسبت به تیمار شاهد (۱۰۹۱۶ مترمکعب در هکتار)، ۵۰/۲ و ۹/۶ درصد کاهش داشت. مقادیر بیشتر آب استفاده شده هر تیمار به‌ویژه در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری معمولی و موجی، به‌علت تلفات نفوذ عمقی آب در مرحله پیشروی است. ارقام جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین راندمان کاربرد آب تیمارهای آزمایشی متعلق به تیمارهای AFI_{60} و S_2I_{100} برابر ۷۵/۷ و ۳۵/۵ درصد است که نسبت به تیمار شاهد (۳۲/۲ درصد) ۴۳/۵ و ۳/۳ درصد بیشتر است. رواناب سطحی و نفوذ عمقی تیمار شاهد به‌ترتیب ۶۲/۴ و ۵/۴ درصد است. در تیمار AFI_{60} میزان تلفات رواناب سطحی و نفوذ عمقی به‌ترتیب برابر ۲۲/۴ و ۱/۹ درصد است که نسبت به تیمار شاهد ۴۰ و ۳/۵ درصد کمتر بود. همچنین تلفات رواناب سطحی و نفوذ عمقی تیمار S_2I_{100} به‌ترتیب ۵۹/۳ و ۵/۲ درصد است که نسبت به تیمار شاهد ۳/۱ و ۰/۲ درصد کمتر بود. متوسط راندمان کاربرد آب در تیمارهای آبیاری معمولی، موجی با نسبت قطع و وصل جریان یک به یک و دو به یک، یک در میان ثابت و متغیر به‌ترتیب ۳۷/۹، ۴۲/۵، ۴۲، ۶۱/۷ و ۶۴/۲ درصد است. بنابراین متوسط راندمان آبیاری موجی (۴۲/۲ درصد) و یک در میان (۶۳ درصد) است که نسبت به روش معمولی به‌ترتیب حدود ۴/۳ و ۲۵/۱ درصد بیشتر است. بهداروندی و همکاران (۱۳۹۵) و پناهی (۱۳۹۲) در تحقیقی نشان دادند آبیاری جویچه‌ای یک در میان، به‌دلیل مصرف آب کمتر و راندمان کاربرد آب بیشتر، از لحاظ اقتصادی مقرون بصرفه است ولی برای اجرای آن بایستی مدیریت مناسبی اعمال نمود. در پژوهش ناظمی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی اثر آبیاری موجی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای، راندمان کاربرد آب آبیاری موجی نسبت به آبیاری معمولی ۳/۷ درصد بیشتر بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد و نشان‌دهنده برتری آبیاری موجی نسبت به آبیاری معمولی است.

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین روش‌ها و رژیم‌های آبیاری و همچنین تیمارهای آبیاری در جدول ۶ تا ۹ ارائه شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶)، در روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری و همچنین اثر متقابل روش و رژیم آبیاری (تیمارهای آبیاری)، طول بلال‌ها و وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری دارد ولی وزن دانه بلال‌ها، وزن کل بلال‌ها، بهره‌وری آب نسبت به وزن دانه و وزن کل بلال‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار است، همچنین درصد رطوبت در فاکتور A (روش آبیاری) در سطح پنج درصد معنی‌دار، در رژیم آبیاری و در تیمارهای مختلف آبیاری تفاوت معنی‌دار نیست. بر اساس نتایج مقایسه میانگین به روش LSD در سطح پنج درصد (جدول ۷)، بیشترین عملکرد محصول بر اساس وزن دانه و وزن کل بلال‌ها مربوط به روش آبیاری C به‌ترتیب با مقادیر ۵۹۲۶ و ۷۶۹۲ کیلوگرم در هکتار است که این برتری (وزن دانه بلال‌ها) نسبت به روش آبیاری S_1 تفاوت معنی‌داری ندارد. همچنین در رژیم‌های مختلف آبیاری (جدول ۸)، بیش ترین عملکرد محصول بر اساس وزن دانه و وزن کل بلال‌ها مربوط به رژیم آبیاری ۱۰۰درصد به‌میزان ۵۵۷۶ و ۷۱۹۶ کیلوگرم در هکتار است. بیشترین عملکرد محصول (وزن دانه و وزن کل بلال‌ها)(جدول ۹)، مربوط به تیمار S_2I_{100}به‌ترتیب با مقادیر ۶۲۰۲ و ۸۰۶۴ کیلوگرم در هکتار است که نسبت به تیمار شاهد (CI_{100}) عملکرد محصول بر اساس وزن دانه و وزن کل بلال‌ها به‌ترتیب ۲۹۴ و ۳۹۴ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. کیانی و صابری (۱۳۹۳) در بررسی عملکرد و مصرف آب ذرت شیرین در شیوه‌های مختلف کم‌آبیاری به این نتیجه رسیدند که اختلاف عملکرد دانه ذرت در تیمارهای آبیاری کامل و یک در میان معنی‌دار بود و آبیاری یک در میان جویچه ها در مقایسه با آبیاری کامل رواناب کمتری داشت. در این تحقیق، عملکرد دانه ذرت (جدول ۷) در روش‌های معمولی، یک در میان ثابت و متغیر به‌ترتیب ۵۹۲۶،

۳۷۳۰ و ۴۲۱۷ کیلوگرم در هکتار بود. متوسط رواناب تیمارهای آبیاری معمولی و یک در میان ثابت و متغیر به‌ترتیب ۵۷، ۳۴/۶ و ۳۲/۹ درصد بود که با نتایج تحقیق مذکور تطابق دارد. قبادی و همکاران (۱۳۹۴) درپژوهشی نشان دادند که بیشترین و کمترین میزان عملکرد ذرت دانه‌ای به‌ترتیب در تیمارهای بدون تنش آبی (آبیاری کامل) و تنش آبی شدید (۴۰ درصد کم آبیاری) به‌دست آمد. همچنین در پژوهش عالی نژادیان بیدآبادی و همکاران (۱۳۹۵) به منظور بررسی عملکرد تیمارهای مختلف کم‌آبیاری ذرت دانه‌ای، کمترین و بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای ۶۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در این پژوهش، کمترین و بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی با مقادیر ۴۶۰۴ و ۵۵۷۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد.

جدول ۵- میانگین حجم آب آبیاری، متوسط راندمان کاربرد، رواناب سطحی و نفوذ عمقی تیمارهای طرح در طول دوره رشد محصول

تیمارآبیاری	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)	راندمان کاربرد آب (درصد)	رواناب سطحی (درصد)	نفوذ عمقی (درصد)
CI_{100}	۱۰۹۱۶	۳۲/۲	۶۲/۴	۵/۴
CI_{80}	۹۴۰۹	۳۷/۶	۵۷/۴	۵
CI_{60}	۸۱۵۲	۴۴/۱	۵۱/۴	۴/۵
S_1I_{100}	۹۸۱۷	۳۶/۲	۵۸/۷	۵/۱
S_1I_{80}	۸۵۰۰	۴۲	۵۳/۴	۴/۶
S_1I_{60}	۷۳۷۳	۴۹/۲	۴۶/۷	۴/۱
S_2I_{100}	۹۸۶۹	۳۵/۵	۵۹/۳	۵/۲
S_2I_{80}	۸۵۰۳	۴۱/۶	۵۳/۸	۴/۶
S_2I_{60}	۷۳۷۷	۴۸/۹	۴۷/۰	۴/۱
FFI_{100}	۶۹۷۹	۴۹/۲	۴۶/۷	۴/۱
FFI_{80}	۶۱۷۴	۶۲/۲	۳۴/۸	۳
FFI_{60}	۵۵۰۸	۷۳/۶	۲۲/۴	۲/۱
AFI_{100}	۶۸۰۴	۵۱/۲	۴۴/۹	۳/۹
AFI_{80}	۶۰۳۶	۶۵/۸	۳۱/۵	۲/۷
AFI_{60}	۵۴۴۲	۷۵/۷	۲۲/۴	۱/۹

جدول۶- تجزیه واریانس پارامترهای عملکرد و بهره‌وری آب محصول ذرت دانه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	فاکتور	درصد رطوبت	طول بلال‌ها	وزن دانه بلال‌ها	وزن هزار دانه	وزن کل بلال‌ها	بهره‌وری آب بر اساس وزن دانه بلال‌ها	بهره‌وری آب بر اساس وزن کل بلال‌ها
بلوک	۲	SS	۰/۱۰۴۰	۰/۰۰۹۶	۵۳۴	۱/۴	۱۵۱۰۵	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۰
		F	۵/۵ns	۰/۶۶ns	۸/۵۱**	۰/۵۶ns	۹/۳۱**	۲۶/۳۸**	۵/۳**
فاکتورA (روش آبیاری)	۴	SS	۰/۰۶۱۴	۰/۰۰۵۹	۱۰۳۱۹۱۰۲	۶	۱۶۲۲۳۲۹۵	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۶۹
		F	۳/۲۷*	۰/۴۰ns	۱۶۴۴۲۹**	۲/۳۵ns	۹۹۹۷/۵۵**	۲۴۷/۳۶**	۹۱/۲۵**
فاکتورB (رژیم آبیاری)	۲	SS	۰/۰۲۴۷	۰/۰۰۶۲	۳۶۱۵۶۶۲	۱/۲	۵۸۸۹۳۳۶	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۸۵
		F	۱/۳۱ns	۰/۴۳ns	۵۷۶۱۳/۶**	۰/۴۷ns	۳۶۲۹/۲۸**	۹۷/۳۳**	۴۵/۹۳**
اثر متقابل فاکتور A* B	۸	SS	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۷۹	۴۰۸۵۱۴	۰/۵۴۰۳۸۸۸۹	۶۵۶۶۷۹	۰/۰۱۵۱۴۵	۰/۰۲۳۷
		F	۰/۵۳ns	۱/۲۳ns	۶۵۰۹/۴۴**	۰/۲۱ns	۴۰۴/۶۸**	۳۰۵/۸۱**	۱۲۸/۵۰**
خطا	۲۸	SS	۰/۰۱۸۸	۰/۰۱۴۵	۶۲/۷۶	۲/۶	۱۶۲۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱۸۵

* معنی دار در سطح ۵ درصد ** معنی دار در سطح ۱ درصد ns فاقد اختلاف معنی دار SS میانگین مربعات خطا

مقایسه میانگین روش‌های مختلف آبیاری نشان داد که بیش‌ترین بهره‌وری آب نسبت به وزن دانه بلال‌ها و وزن کل بلال‌ها (جدول ۷) مربوط به روش آبیاری S_1 به‌ترتیب با مقادیر ۰/۶۷ و ۰/۸۶ کیلوگرم برمتر مکعب است که در بهره‌وری آب بر اساس وزن کل بلال‌ها، برتری آبیاری S_1 نسبت به روش‌های آبیاری S_2 و AF معنی دار نیست. بیشترین بهره‌وری مصرف آب بر اساس وزن دانه بلال‌ها (جدول ۸)، در رژیم‌های آبیاری ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی به میزان ۰/۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. برای رژیم‌های آبیاری بیشترین بهره‌وری مصرف آب بر اساس وزن کل بلال‌ها در تامین ۸۰ درصد نیاز آبی (I_{80}) به‌میزان ۰/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد که این برتری نسبت به رژیم آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی (I_{60}) تفاوت معنی‌داری ندارد. در تیمارهای آبیاری (جدول ۹) بیشترین بهره‌وری آب برای وزن دانه و وزن کل بلال‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به تیمار آبیاری S_1I_{60} و کمترین بهره‌وری آب برای وزن دانه و وزن کل بلال‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۵۱ و ۰/۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به تیمارهای آبیاری CI_{100} و FFI_{60} است. در بررسی روش‌های مختلف کم‌آبیاری ذرت، روش آبیاری یک در میان با ۷۵ درصد نیاز آبی دارای راندمان کاربرد و بهره‌وری آب بیشتر نسبت به آبیاری معمولی بود (Sobhani et al., 2017). دهقانی و پناهی (۱۳۹۶) در تحقیقاتی نشان دادند که آب مصرفی ذرت دانه‌ای در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت نسبت به آبیاری کامل ۶۶ درصد بوده است و بهره‌وری مصرف آب در آبیاری جویچه‌ای یک در میان بیشتر از روش معمولی است. لذا روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت روشی موثر و کارآمد برای افزایش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب است. صمصامی پور و همکاران (۱۳۹۴) و احمدوند و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به منظور بررسی کم‌آبیاری ذرت، افزایش بهره‌وری آب در روش جویچه‌ای یک در میان متناوب را نسبت به روش معمولی گزارش نمودند. در این مطالعه بهره‌وری آب (بر اساس وزن دانه و وزن کل بلال‌ها) در روش آبیاری AF در مقایسه با روش معمولی به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۶ کیلوگرم بر متر مکعب بیشتر بود که با نتایج مطالعات این محققین همخوانی دارد.

جدول ۷- نتایج آزمون مقایسه میانگین پارامترهای عملکرد، بهره‌وری آب برای روش‌های مختلف آبیاری در سطح پنج درصد

روش آبیاری	درصد رطوبت	طول بلال‌ها (سانتی‌متر)	وزن دانه بلال‌ها (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	وزن کل بلال‌ها (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب بر اساس بلال‌ها (کیلوگرم بر مترمکعب)	وزن دانه	بهره‌وری آب بر اساس وزن کل بلال‌ها (کیلوگرم بر مترمکعب)
C	۱۷/۵۶A	۱۸/۷ A	۵۹۲۶ A	۳۸۳/۸ C	۷۶۹۲ A	۰/۶۱ C		۰/۷۹ B
S_1	۱۷/۵۳ A	۱۸/۸ A	۵۹۲۵ A	۳۸۴/۹ ABC	۷۵۸۵ B	۰/۶۷A		۰/۸۶ A
S_2	۱۷/۴۸ A	۱۸/۷ A	۵۸۵۵ B	۳۸۵/۴ AB	۷۴۹۸ C	۰/۵۷ E		۰/۸۵ A
FF	۱۷/۳۴ AB	۱۸/۷ A	۳۷۳۰ D	۳۸۳/۹ BC	۴۸۵۰ E	۰/۵۹ D		۰/۷۶ C
AF	۱۷/۴۶ B	۱۸/۸ A	۴۲۱۷ C	۳۸۵/۵ A	۵۵۱۳ D	۰/۶۶ B		۰/۸۵ A

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در آزمون دانکن می باشد.

جدول۸- نتایج آزمون مقایسه میانگین پارامترهای عملکرد، بهره وری آب برای رژیم های مختلف آبیاری در سطح پنج درصد

رژیم آبیاری	درصد رطوبت	طول بلال‌ها (سانتی متر)	وزن دانه بلال‌ها (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)	وزن کل بلال‌ها (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب بر اساس وزن دانه بلال‌ها (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب بر اساس وزن کل بلال‌ها (کیلوگرم بر مترمکعب)
I_{100}	۱۷/۵۲ A	۱۸/۷ A	۵۵۷۶ A	۳۸۵ A	۷۱۹۶ A	۰/۶۲ B	۰/۸۰ B
I_{80}	۱۷/۴۵ A	۱۸/۷ A	۵۲۱۱ B	۳۸۴/۶ A	۶۷۳۲ B	۰/۶۵ A	۰/۸۴ A
I_{60}	۱۷/۴۵ A	۱۸/۸ A	۴۶۰۴ C	۳۸۴/۶ A	۵۹۵۵ C	۰/۶۵ A	۰/۸۳ A

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در آزمون دانکن می باشد.

جدول ۹- نتایج آزمون مقایسه میانگین پارامترهای عملکرد، بهره‌وری آب برای تیمارهای مختلف آبیاری در سطح پنج درصد

تیمار آبیاری	درصد رطوبت	وزن دانه بلال (کیلوگرم در هکتار)	وزن کل بلال (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب بر اساس وزن دانه بلال‌ها (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب بر اساس وزن کل بلال‌ها (کیلوگرم بر مترمکعب)
CI_{100}	۱۷/۶ A	۵۹۰۸ E	۷۶۷۰ D	۰/۵۱ J	۰/۶۷ G
S_1I_{100}	۱۷/۶ A	۶۱۲۵ C	۷۷۴۰ C	۰/۶۰ HI	۰/۷۶ F
S_2I_{100}	۱۷/۴ A	۶۲۰۲ A	۸۰۶۴ A	۰/۶۱ H	۰/۷۹ E
FFI_{100}	۱۷/۴ A	۴۵۷۹ J	۵۹۱۶ I	۰/۶۳ F	۰/۸۲ D
AFI_{100}	۱۷/۶ A	۵۰۶۷ I	۶۵۸۸ H	۰/۷۲ B	۰/۹۳ B
CI_{80}	۱۷/۵ A	۶۱۵۳ B	۷۹۸۶ B	۰/۶۳ G	۰/۸۲ D
S_1I_{80}	۱۷/۵ A	۵۹۱۲ E	۷۶۷۹ CD	۰/۶۷ DE	۰/۸۷ C
S_2I_{80}	۱۷/۵ A	۶۰۸۸ D	۷۶۲۷ D	۰/۶۹ BC	۰/۸۷ C
FFI_{80}	۱۷/۳ A	۳۶۸۳ L	۴۸۰۷ K	۰/۵۸ I	۰/۷۵ F
AFI_{80}	۱۷/۴ A	۴۲۱۸ K	۵۵۶۰ J	۰/۶۸ EF	۰/۸۹ C
CI_{60}	۱۷/۶ A	۵۷۱۷ G	۷۴۲۱ E	۰/۶۸ CD	۰/۸۸ C
S_1I_{60}	۱۷/۵ A	۵۷۳۸ F	۷۳۳۵ F	۰/۷۵ A	۰/۹۵ A
S_2I_{60}	۱۷/۵ A	۵۲۷۵ H	۶۸۰۴ G	۰/۶۹ BC	۰/۸۹ BC
FFI_{60}	۱۷/۳ A	۲۹۲۷ N	۳۸۲۷ M	۰/۵۱ J	۰/۶۷ G
AFI_{60}	۱۷/۴ A	۳۳۶۴ M	۴۳۹۰ L	۰/۵۹ I	۰/۷۸ F

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در آزمون دانکن می‌باشد.

نتیجه‌گیری

متوسط راندمان آبیاری موجی (۴۲/۲ درصد) و یک در میان (۶۳ درصد) بدست آمد که نسبت به روش معمولی به‌ترتیب حدود ۴/۳ و۲۵/۱ درصد بیشتر بود. روش‌های آبیاری موجی و به‌ویژه یک در میان می‌تواند راندمان آبیاری سطحی را تا حد قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشیده و آن را افزایش دهد و در شرایط محدودیت منابع آب، مناسب‌ترین روش‌های آبیاری هستند. نتایج نشان داد که در روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری و همچنین تیمارهای آبیاری، وزن دانه بلال‌ها، وزن کل بلال‌ها، بهره‌وری آب نسبت به وزن دانه و وزن کل بلال‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. کمترین حجم آب آبیاری تیمارهای طرح، مربوط به تیمار AFI_{60} بود که نسبت به تیمار شاهد ۵۰/۲ درصد کاهش داشت. بیشترین عملکرد محصول (وزن دانه و وزن کل بلال‌ها) مربوط به تیمار آبیاری S_2I_{100} بود که نسبت به تیمار شاهد، عملکرد محصول ۴/۹۷ و ۵/۱۳ درصد افزایش یافت، همچنین بیشترین بهره‌وری آب برای وزن دانه و وزن کل بلال‌ها مربوط به تیمار آبیاری S_1I_{60} بود که بهره‌وری آب را نسبت به تیمار شاهد ۴۷ و ۴۱/۸ درصد افزایش داد، بنابراین عملا تیمار با مصرف آب کمتر یا عملکرد بیشتر بهره‌وری بالایی ندارد، بنابراین، در نظر گرفتن عملکرد محصول و حجم آب آبیاری بصورت توامان، برای افزایش بهره‌وری آب ضرورت دارد. با توجه به اهمیت فراوان آب به‌عنوان کمیاب‌ترین نهاده کشاورزی، افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. تیمار آبیاری S_1I_{60} برای افزایش بهره‌وری آب به‌عنوان مناسب‌ترین روش کم‌آبیاری ذرت در منطقه مورد مطالعه توصیه می‌گردد. با توجه به بروز خشکسالی‌های مستمر و بحران فزاینده آب در کشور، الگوبرداری از این پژوهش به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب توصیه می‌شود.

قدردانی

بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه(GN:SCU.WI1400.273) برای تامین هزینه‌های پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

احمدوند، م.، شریفی‌پور، م. و نصرالهی، ع.ح. ۱۴۰۰. اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری جویچه‌ای یک در میان بر بهره‌وری ذرت علوفه‌ای در شرایط اقلیمی خرم آباد. مجله علوم مهندسی آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز. ۴۴ (۳): ۱۴۳-۱۲۹.

بهداروندی، ح.، برومندنسب، س. و اسلامی، ح. ۱۳۹۵. تاثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر بر روی راندمان و حجم مصرف آب در کشت ذرت دانه‌ای در شمال خوزستان. ششمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.

پارسا، س.، خزایی‌تبار، ح.، شهیدی، ع. و محمودی، س. ۱۴۰۰. تاثیر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای.

مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۴ (۲): ۳۳۰-۳۲۱.

پرندین، م. ا. ۱۳۹۸. تاثیر برهم کنش استراتژی‌های کم‌آبیاری و آبیاری موجی بر عملکرد ذرت دانه‌ای در منطقه اسلام‌آباد غرب. پایان‌نامه دکتری، رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ۱۹۹ صفحه.

تاندون، اچ. ال. اس. ۱۳۸۱. روش‌های تجزیه خاک‌ها، گیاهان، آب ها و کودها. ترجمه توللی، ح. و سمنانی، ا. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۲۱۹ ص.

پناهی، م. ۱۳۹۲. تاثیر روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در منطقه کرج. دومین همایش توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم، همدان.

دهقانی، م. و پناهی، م. ۱۳۹۶. اثر آبیاری یک در میان جویچه‌ای ثابت برروی ذرت در اصفهان. پانزدهمین کنکره علوم خاک ایران، اصفهان.

قبادی، ر.، شیرخانی، ع. و جلیلیان، ع. ۱۳۹۴. بررسی اثرات تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب و نیتروژن گیاه ذرت دانه‌ای (سینگل کراس ۷۰۴). نشریه زراعت. ۱۰۶: ۸۷-۷۹.

صمصامی‌پور، م.، افراسیاب، پ.، امداد، م.، دلبری، م. و کاراندیش، ف. ۱۳۹۴. ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای در مدیریت آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶ (۱): ۱۸-۱۱.

صمصامی‌پور، م.، امداد، م. ر.، افراسیاب، پ. و دلبری، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر کم‌آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب در مراحل مختلف رشد ذرت. مجله مهندسی منابع آب. ۶۶-۵۷.

عالی‌نژادیان‌بیدآبادی، ا.، جورونی، ا.، برزگر، ع. و ملکی، ع. ۱۳۹۵. تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب بر اساس دانه ذرت و تغییرات رطوبتی خاک، مجله مدیریت آب و آبیاری. شماره ۴۷-۵۹:۴۷.

عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۴. راندمان آبیاری و تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران. گزارش فنی شماره ۴۸۴۹۶. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی، ۴۵ صفحه.

کریمی، ع.، قبادی، م. ا. و نصرتی، ا. ۱۳۹۸. بررسی اثر قطع آبیاری بر عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی۱۲۰۴: ۱۱۶۳-۱۱۵۱.

کیانی، ع. و صابری، ع. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد و مصرف آب در ذرت شیرین تحت شیوه‌های مختلف کم‌آبیاری در دو الگوی کشت. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. (۶): ۱۷۲-۱۵۵.

معصومی، ت.، قربانی جاوید، م. و نظری‌فر، م. ح. ۱۳۹۴. تاثیر کم‌آبیاری متناوب بر عملکرد و اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۸ (۴): ۸۱۶-۸۱۰ .

ملکوتی، ج. غیبی، م. ن. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی موثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور، نشر آموزش کشاورزی. ۱۱: ۴۵-۳۸.

میرشکارنژاد، ب.، پاکزاد، ف.، امیری، ا.، اردکانی، م.ر. و ایلکایی، م.ن. ۱۳۹۹. تاثیر تاریخ کاشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و راندمان مصرف آب در ذرت دانه‌ای .نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۳۰۲: ۵۵۷-۵۴۷.

ناصری، ا. و دهقانی‌سانیچ، ح. ۱۳۹۶. راهنمای مدیریت آبیاری ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی مغان. نشریه شماره ۵۲۷۴۸ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.

ناظمی، ا.ح.، پرندین، م.ا.، صدرالدینی، ع.ا. و قمرنیا، ه. ۱۳۹۸. اثرات آبیاری موجی بر راندمان کاربرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در ایستگاه اسلام‌آباد غرب. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳ (۳): ۳۶۹-۳۵۳.

Allen, R.G., Preira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, Italy.

Allen, R.G., Clemmens, A.J., Burt, C.M., Solomon, K. and T. O'Halloran. 2005. Prediction accuracy for projectwide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineer, 131: 24-36

Elliot, R.L., Walker, W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans. ASAE 25 (2): 396–400.

Giordano, M., Scheierling, S.M., Tréguer, D.O., Turral, H. and McCornick, P.G. 2019. Moving beyond 'more crop per drop': insights from two decades of research on agricultural water productivity. International Journal of Water Resources Development, 1-25.

Hanson, B.R., Prichard, T.L. and Schulbach, H. 1993. Estimating furrow infiltration. Agricultural Water Management. 24 (4): 281–298.

Junya, O., Hiroshi, I., Yulia, I., Yoshinobu, K. and Haruyuki, F. 2019. Suitable inflow rate and furrow length for simplified surge flow irrigation. Paddy and water Environment. 185–193(2019).

Mazarei, R., Soltani Mohammadi, A., Naseri, A.A., Ebrahimian, H. and Izadpanah, Z. 2020. Optimization of furrow irrigation performance of sugarcane fields based on inflow and geometric parameters using WinSRFR in Southwest of Iran. Agricultural Water Management. 228: 105899.

Sobhani, P., Aghayari, F. and Paknejad, F. 2017. The effect of different irrigation methods on yield and yield components of maize. 5th international conference new ideas in agriculture, environment and tourism. Iran, Tehran, 30 Julay 2017.

Spencer, G.D., Krutz, L.J., Falconer, L.L., Henry, W.B., Henry, C.G., Larson, E.J., Pringle III, H.C., Bryant, C.J. and Atwill, R.L. 2019. Technologies for Furrow Irrigated Corn that Decrease Water Use and Improve Yield and On Farm Profitability. Crop Management. Published May. 23: 2019.

Walker, W.R. and Skogerboe, G.V. 1987. Surface Irrigation:' Theory and Practice'. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Zhang, G., Ming, B., Shen, D., Xie, R., Hou, P., Xue, J. Wang, K. and Li, S. 2021. Optimizing Grain Yield and Water Use Efficiency Based on the Relationship between Leaf Area Index and Evapotranspiration. Agriculture Journal. 11: 313. https://doi.org/10.3390/agriculture11040313.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 16, Feb.-Mar. 2023, p. 1124-1135

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۶، بهمن - اسفند ۱۴۰۱، ص. ۱۱۳۵-۱۱۲۴

Investigation the Effect of Surge and Alternate Deficit Irrigation on Yield and Water Productivity of Grain Maize

A. Mehri[1], A. Soltani Mohammadi[2]*, H. Ebrahimian[3], S. Boroomand Nasab [4]
Recived: Jul.14, 2022 Accepted: Sep.18, 2022

Abstract

In order to investigate the effect of surge and alternate deficit irrigation on yield and water productivity of grain maize variety SC704, a research was done in Jaydar plain of Poldakhtar city during the 2021-2022. The statistical design of the research was factorial in a randomized complete block which included two factors at 5 and 3levels. Factor A (five furrow irrigation methods) including conventional irrigation (C), surge irrigation with on/off cycle ratios of 1 and o.5 (S_1 and S_2, respectively) until advance time is complete, fixed alternate irrigation (FF) and variable alternate irrigation (AF) as well as factor B (three irrigation regimes) including 100% water requirement (I_{100}), 80% water requirement (I_{80}) and 60% water requirement (I_{60}). The number of experimental treatments was 15 and the number of replications was 3. The results showed that compared to the control treatment (CI_{100}), the highest and lowest water consumption savings related to irrigation treatments AFI_{60} and S_2I_{100} were equal to 50.2 and 9.6%.The highest water use efficiency, the lowest surface runoff losses and the deep penetration of research treatments are related to AFI_{60} irrigation treatment respectively with values of 75.7, 22.4 and 1.9%. The highest yield (grain weight and total weight of ears) was related to S_2I_{100} irrigation treatment with values of 6202 and 8064 kg / ha, which increased by 4.97 and 5.13% compared to the control treatment. The highest water productivity for grain weight and total weight of ears was related to S_1I_{60} irrigation treatment respectively equal to 0.75 and 0.95 kg / m3 , which increased by 47 and 41.8% compared to the control treatment and it was suggested as the most appropriate method of maize irrigation in the study area.

Keywords: Deficit irrigation, Furrow irrigation, Water efficiency, Water productivity

1- PhD students, Depratment of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, respectively

2- Associate Professors, Depratment of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, respectively

3- Associate Professor, Department of Irrigation and Development Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

4- Professors, Depratment of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, respectively