نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۹۰-۷۳

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2 Autumn and Winter 2023, 73-90

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی اقتصادی عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط کم‌آبیاری موجی و یک‌درمیان

اکبر مهری[۱]، امیر سلطانی محمدی*[۲]، حامد ابراهیمیان[۳] و سعید برومند نسب[۴]

چکیده

به‌منظور ارزیابی اقتصادی رفتار گیاه ذرت دانه‌ای نسبت به استراتژی کم‌آبیاری موجی و یک‌درمیان، 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. فاکتور A (پنج روش آبیاری جویچه‌ای) شامل آبیاری معمولی یا سنتی (C)، آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان یک‌به‌یک تا زمان تکمیل پیشروی (S1) آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان دو به یک تا زمان تکمیل پیشروی (S_2)، آبیاری یک‌درمیان ثابت (FF) و آبیاری یک‌درمیان متغیر (AF) و همچنین فاکتور B (سه رژیم آبیاری) شامل ۱۰۰ درصد نیازآبی (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 نشان داد در روش‌های آبیاری، بیش‌ترین سود ناخالص و خالص نسبت به مقدار آب مصرفی، مربوط به روش آبیاری موجی S1 به‌ترتیب با مقادیر ۲۰/۲۴ و ۹/۸۷ هزار ریال بر مترمکعب است. در رژیم‌های مختلف آبیاری، بیش‌ترین سود ناخالص و خالص نسبت به مقدار آب مصرفی به ترتیب مربوط به (I_{80}) با مقدار ۱۹/۴۶ هزار ریال بر مترمکعب و (I_{100}) با مقدار ۸/۲۹ هزار ریال بر مترمکعب تعیین شد. نهایتاً برای تیمارهای مختلف آبیاری، بیش‌ترین سود ناخالص و خالص نسبت به مقدار آب مصرفی مربوط به تیمار آبیاری S_1I_{60} به ترتیب با مقادیر ۲۲/۵۳ و ۱۰/۷۰ هزار ریال بر مترمکعب بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، سود ناخالص و خالص، کم‌آبیاری، نیاز آبی

مقدمه

ذرت از لحاظ سطح زیر کشت 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، همچنین این گیاه منبع غنی از روغن و پروتئین است که بین ۸ تا ۱۵ درصد پروتئین مورد نیاز دنیا را تأمین می‌کند (پارسا و همکاران، ۱۴۰۰). تنوع موارد مصرف (تغذیه انسان، دام و طیور، مصارف صنعتی و دارویی)، تنوع ارقام و هیبریدهای موجود، خواص مختلف زراعی مطلوب و بهره‌برداری اقتصادی خوب و سازگاری بالای ذرت با شرایط مختلف آب و هوایی باعث شده سالیانه قسمت اعظمی از اراضی دنیا به کشت این گیاه ارزشمند اختصاص یابد (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). افزایش عملکرد ذرت مستلزم شناخت روش‌های مدیریتی مناسب است که ازجمله مهم‌ترین آن‌ها روش و رژیم مناسب آبیاری است (نادری و همکاران، ۱۳۹۶). به‌دلیل حساسیت ذرت به کم‌آبی، یکی از مشکلات زارعین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فراهم ساختن شرایط مطلوب خصوصاً تأمین آب کافی در طول دوره رشد است (بهداروندی و همکاران، ۱۳۹۵). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که باعث افزایش بازده استفاده از اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود و بهره‌وری مصرف آب و درآمد

[۱] دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۲] دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز (* نویسنده مسئول: a.soltani@scu.ac.ir)
[۳] دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۴] استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱
DOR: 20.1001.1.24764531.1401.9.2.6.9

خالص زارع را افزایش می‌دهد (دهقانی و پناهی، ۱۳۹۶). یکی از روش‌های مدیریت آبیاری سطحی، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان (ثابت و متغیر) است. در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت، جویچه‌های آبیاری شده در طول فصل رشد ثابت می‌ماند، اما در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر (متناوب)، جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان آبیاری می‌شوند، به این ترتیب که در یک آبیاری دو جویچه کناری و در آبیاری بعدی فقط جویچه وسط آبیاری می‌شود (Ayana, 2011).

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 می‌آید و درنتیجه اختلاف زمان نفوذ در ابتدا و انتهای جویچه به حداقل مقدار ممکن رسیده و نفوذ آب در طول جویچه توزیع یکنواخت‌تری دارد (Walker and Skogerboe, 1987).

در آبیاری موجی ازآنجایی‌که جبهه پیشروی موج سریع‌تر از جبهه پس‌روی است، در صورت استفاده از دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت، ممکن است امواج در یکدیگر ادغام‌شده و سبب کاهش تأثیرات ناشی از پیشرفت موج شوند و مرحله پیشروی تکمیل نشود و همچنین دوره‌ای که بسیار طولانی باشد سبب آبیاری بیش‌ازحد مزرعه در طی مرحله پیشروی خواهد شد، بالاخره اینکه زمان‌بندی امواج باید به نحوی صورت گیرد که امواج مجزا در مرحله پیشروی به روی‌هم نیفتاده ولی در مرحله بعد از پیشروی این ادغام صورت گیرد (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۸۵). کم‌آبیاری استراتژی بهینه برای گسترش سطح کشت و تولید محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب است که با اعمال زمان مناسب تنش آبی، حذف آبیاری‌های کم بازده و کاهش میزان حجم آبیاری در هر نوبت آبیاری بدون اثر منفی بر سود خالص باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود (ناصری و دهقانی سانیج، ۱۳۹۶). کوشش‌های اقتصادی انسان همواره به‌گونه‌ای بوده است که حداکثر نتیجه را از حداقل تلاش‌ها و امکانات بدست آورد. به‌طورکلی و به عبارتی ساده بهره‌وری به میزان و چگونگی استفاده از نهاده‌ها یا عوامل تولید در یک فرآیند تولید ویژه، یک دوره معین یا محدوده جغرافیایی مشخص برای دستیابی به اهداف تعیین‌شده، مربوط است؛ بنابراین ارتقای سطح بهره‌وری هدفی ارزشمند محسوب می‌شود. با اندازه‌گیری شاخص‌های بهره‌وری در زمان‌ها و مکان‌های مختلف، می‌توان روند تغییرات این شاخص‌ها را مشخص نموده و راهکارهای مناسبی برای ارتقای آن در آینده تدوین نمود.

بهره‌وری آب کشاورزی از دیدگاه‌های مختلفی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، معمول‌ترین این دیدگاه‌ها بهره‌وری از دیدگاه فیزیکی، بهره‌وری از دیدگاه مالی و بهره‌وری از دیدگاه اشتغال است. بهره‌وری بر اساس دیدگاه فیزیکی، به معنای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب است اما بهره‌وری از دیدگاه مالی، به معنای کسب سود بیشتر به ازای واحد حجم آب است و بهره‌وری از دیدگاه اشتغال، به معنای ایجاد اشتغال بیشتر به ازای واحد حجم آب است (سیدان و متقی، ۱۳۹۸). بهره‌وری آب در ایران طی یک دهه گذشته ۰/۷ تا ۱ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است درحالی‌که میزان بهره‌وری آب در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه به‌ترتیب ۳ و ۲ کیلوگرم بر مترمکعب است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس برنامه‌ریزی‌های بلندمدت تا سال ۱۴۰۴ بهره‌وری آب کشاورزی در کشور باید به حداقل ۲ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب افزایش یابد (کشاورز و دهقانی سانیج، ۱۳۹۱).

در تحقیق دهقانی و پناهی (۱۳۹۶) بهره‌وری مصرف آب ذرت دانه‌ای در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان و آبیاری معمولی ۱/۱ و ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است، لذا روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان روشی کارآمد و مؤثر در جهت افزایش عملکرد و بهره‌وری آب است.

نادری و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش بهینه‌سازی اقتصادی کم‌آبیاری جویچه‌ای ذرت علوفه‌ای، نشان دادند که بیشترین سود خالص از کاربرد ۵۳۵ میلی‌متر برای عمق خالص آبیاری (۷۹ درصد عمق خالص در آبیاری کامل)، طول جویچه ۸۵ متر، دبی ورودی ۰/۳۹ لیتر در ثانیه و زمان قطع جریان ۲۱۰ دقیقه حاصل شد. کریمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثر قطع آبیاری بر

عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ پرداختند. نتایج نشان داد که مراحل اولیه و مرحله آخر دوره رشد دارای کمترین حساسیت به قطع آبیاری بود و تأخیر در آبیاری تا سه هفته هم اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه ندارد، ولی در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه حتی دو هفته قطع آبیاری هم باعث کاهش عملکرد دانه و خسارت قابل‌توجه خواهد شد و نباید با مشکل کم‌آبی و یا تأخیر در آبیاری مواجه گردد.

ناظمی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی ارزیابی اقتصادی عملکرد ذرت دانه‌ای در استراتژی آبیاری موجی و کم‌آبیاری طی دو سال زراعی نشان دادند که در روش‌های آبیاری، بیش‌ترین سود ناخالص و خالص نسبت به مقدار آب مصرفی در سال اول کشت به ترتیب ۶/۴۶ و ۲/۸۴ هزار ریال بر مترمکعب و در سال دوم کشت به ترتیب ۶/۴۹ و ۲/۶۲ هزار ریال بر مترمکعب در روش آبیاری S1-2 بدست آمد. همچنین در رژیم‌های مختلف آبیاری بیشترین سود ناخالص و خالص نسبت به مقدار آب مصرفی در سال اول کشت به‌ترتیب ۶/۹۸ و ۳/۵۰ هزار ریال بر مترمکعب و در سال دوم کشت نیز به‌ترتیب ۶/۹۱ و ۳/۲۰ هزار ریال بر مترمکعب در رژیم آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی بدست آمد. میرشکارنژاد 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 زود هنگام و پرهیز از آبیاری‌های مازاد بر نیاز گیاه برای دستیابی به حداکثر عملکرد و درآمد بهینه و بهبود راندمان مصرف آب حائز اهمیت می‌باشند.

پایرو و همکاران گزارش دادند که مقادیر مختلف آب فصلی در تیمارهای عمق آب آبیاری به میزان قابل‌توجهی تولید ماده خشک و اجزای عملکرد ذرت را تحت تأثیر قرار می‌دهد و کم آبیاری باعث بهبود درآمد کشاورزان در حد متوسط تا بالا می‌شود و از طریق بهینه‌سازی مصرف آب می‌توان آب ذخیره‌شده را برای مصارف شرب و کشاورزی استفاده نمود (Payero et al., 2008). هرناندز و همکاران میزان عملکرد ذرت را از ۸۲۵۰ تا ۱۰۷۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری مصرف آب را بین ۱/۲ تا ۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب در مکزیک گزارش کردند (Hernandez et al., 2010).

کلیدزیک و همکاران در ارزیابی اقتصادی آبیاری ذرت دانه‌ای در لهستان طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ نشان دادند که در سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای نسبت به روش‌های آبیاری سطحی با افزایش سطح زیر کشت هزینه‌ها کاهش و سودآوری محصول بیشتر می‌شود (Kledzik et al., 2017).

اسپنسر و همکاران در بررسی تأثیر 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 رطوبت باعث کاهش تقاضای آب زیرزمینی، بهبود عملکرد ذرت، افزایش بهره‌وری مصرف آب و افزایش بازده خالص هزینه‌های آبیاری می‌شود (Spencer 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 مترمکعب) حاصل‌شده و ۷ 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 مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (Giordano et al., 2019).

با توجه به اهمیت کشت ذرت دانه‌ای در کشور و مصارف آن در تولید روغن مایع خوراکی، تغذیه دام و طیور و مصارف صنعتی و با توجه به چالش‌های موجود در کشور و منطقه در رابطه با محدودیت منابع آب و همچنین تلاش برای کسب درآمد بیشتر از مقدار مشخصی از منابع، این تحقیق باهدف بررسی ارزیابی اقتصادی کم‌آبیاری جویچه‌ای موجی و یک‌درمیان بر عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای که نیاز آبی بالایی دارد در دشت جایدر شهرستان پلدختر انجام گردید.

مواد و روش‌ها

موقعیت و شرایط آب و هوایی مزرعه آزمایشی

این تحقیق در دشت جایدر شهرستان پلدختر واقع در جنوب‌غربی استان لرستان و در موقعیت طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۶ دقیقه و ارتفاع ۶۸۶ متر از سطح دریا انجام گرفت. مزرعه دارای آب‌وهوای گرم و خشک با مشخصات تابستان‌های خشک و زمستان‌های معتدل است. میانگین بلندمدت بارندگی در منطقه ۴۱۴ میلی‌متر است.

ویژگی‌های شیمیائی و فیزیکی خاک محل آزمایش

نمونه‌گیری از خاک مزرعه از نوع نمونه دست‌نخورده با استفاده از سیلندر نمونه‌برداری در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت که پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اندازه‌گیری 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 پژمردگی دائم به ترتیب 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 قابل‌جذب بر اساس روش اولسن و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان پتاسیم قابل‌جذب بر اساس روش آمونیم‌استات و به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر انجام شد (تاندون، ۱۳۸۱). نفوذپذیری نهایی خاک با استفاده از روش ورودی و خروجی و استفاده از فلوم فایبرگلاس WSC تیپ‌های دو و یک تعیین گردید. خصوصیات شیمیائی و فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی در جدول‌های (۱) و (۲) و همچنین متوسط آنالیز شیمیایی خصوصیات کیفی آب در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک منطقه موردمطالعه

عمق خاک سانتی‌متر	هدایت الکتریکی عصاره اشباع دسی زیمنس بر متر	pH	کربن آلی درصد	فسفر قابل‌جذب میلی‌گرم بر کیلوگرم	پتاسیم قابل‌جذب 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 مزرعه آزمایشی

عمق خاک سانتی‌متر	نفوذپذیری نهایی 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

جدول ۳- تجزیه شیمیایی کیفیت آب چاه

غلظت کاتیون‌ها میلی اکی والانت در لیتر		غلظت آنیون‌ها میلی اکی 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					

عملیات زراعی

پس از مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز و آماده‌سازی زمین برای عملیات کاشت، با شخم زدن زمین توسط گاوآهن و زدن دو دیسک عمود بر هم و خرد شدن کلوخه‌ها، زمین توسط ماله تسطیح و با فاروئر جوی و پشته ایجاد شد. در تاریخ ۲۱ اسفند ۱۳۹۹ ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با حداقل خلوص ۹۸ درصد و حداقل قوه نامیه ۸۸ درصد به میزان 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. طول جویچه‌ها ۱۲۰ متر، فاصله جویچه‌ها ۷۵ سانتی‌متر و عرض پائینی، میانی و بالایی جویچه‌ها به‌ترتیب ۱۰، ۲۵ و ۴۱ سانتی‌متر بود. شیب طولی و عرضی مزرعه به‌ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۰/۲۲ درصد به‌وسیله دوربین نقشه‌برداری نیوو تعیین گردید. تنک‌کردن گیاه به‌صورت دستی صورت گرفت. اغلب اتفاق می‌افتد که تیمارها (مثلاً در رقابت منابع نوری و غذایی) یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند که این امر سبب نقصان عملکرد تیمارهای مجاور می‌شود (Playan and Mateos, 2016)، بنابراین در این تحقیق برای جلوگیری از تأثیر 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 در چهار مرحله قبل از کاشت، مرحله هفت‌برگی، مرحله ساقه‌رفتن و مرحله سنبله‌زدن قابل کاربرد است (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹). ده درصد ازت موردنیاز به‌صورت دستی در مرحله قبل از کاشت و ۹۰ درصد دیگر به‌صورت مساوی در مراحل هفت‌برگی، ساقه‌رفتن و سنبله‌زدن به گیاه داده شد.

نوع طرح آزمایشی

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 نسبت قطع و وصل جریان یک‌به‌یک تا زمان تکمیل پیشروی (S_1)، آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان دو به یک تا زمان تکمیل پیشروی (S_2) ، آبیاری یک‌درمیان ثابت (FF) و آبیاری یک‌درمیان متغیر (AF) و همچنین فاکتور B (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 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 یک‌به‌یک با S_1I_{100}، S_1I_{80} وS_1I_{60}، آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان دو به یک با S_2I_{100}، S_2I_{80} وS_2I_{60}، آبیاری یک‌درمیان ثابت با FFI_{100}، FFI_{80} و FFI_{60} و آبیاری یک‌درمیان متغیر با AFI_{100}، AFI_{80} و AFI_{60} نشان داده شده است. با توجه به اینکه تعداد امواج زیاد سبب عدم یکنواختی توزیع آب و امواج کمتر ممکن است منجر به آبیاری زیاد و ایجاد رواناب بیش‌ازحد می‌شود، در این تحقیق 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 مدت‌زمان قطع و وصل جریان در تیمارهای مختلف در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ٤- نسبت تناوب و مدت زمان قطع و وصل جریان در تیمارهای مختلف 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	مدت زمان آبیاری دقیقه
S_1I_{100}	۶	۶	۱ به ۱	۱۲	۱:۲	۳	۹۸۱۷	۳۶
S_2I_{100}	۶	۱۲	۱ به ۲	۱۸	۱:۳	۳	۹۸۶۹	۵۴
S_1I_{80}	۶	۶	۱ به ۱	۱۲	۱:۲	۴	۸۵۰۰	۴۸
S_2I_{80}	۶	۱۲	۱ به ۲	۱۸	۱:۳	۵	۸۵۰۳	۹۰
S_1I_{60}	۶	۶	۱ به ۱	۱۲	۱:۲	۶	۷۳۷۳	۷۲
S_2I_{60}	۶	۱۲	۱ به ۲	۱۸	۱:۳	۷	۷۳۷۷	۱۲۶

برنامه‌ریزی آبیاری

به‌منظور 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 ۷ نوبت کم‌آبیاری تیمارها اعمال شد. در مجموع ۴۵ جویچه در مزرعه شامل ۱۵ جویچه آزمایشی و ۳۰ جویچه محافظ ایجاد شد که اندازه‌گیری پارامترهای موردنیاز 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 (در آبیاری معمولی) و در یک طرف جویچه‌های خشک (آبیاری یک‌درمیان ثابت) در نظر گرفته شد. لازم به یادآوری است که در آبیاری یک‌درمیان متناوب جای جویچه‌های تر و خشک بعد از هر آبیاری تغییر می‌کند.

نیاز خالص آبیاری تیمارهای آزمایشی

برای محاسبه نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد از رابطه (۱) استفاده شد (Allen et al., 1998)

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

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 برحسب میلی‌متر در روز (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پل‌دختر در نزدیکی محل اجرای طرح). در طول دوره رشد گیاه بارندگی مؤثر اتفاق نیفتاد. ضریب تشت کلاس A به‌طور متوسط ۰/۷ در نظر گرفته شد. تمام تیمارها با دور آبیاری ثابت پنج روز (مرسوم در منطقه) 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.

ضریب گیاهی (K_C) در چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌طور متوسط به‌ترتیب ۰/۵۵، ۰/۹۴، ۱/۱۵ و ۰/۶ بود.

زمان قطع جریان و زمان آبیاری

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

$$T_{CO} = T_t + T_n - T_r \qquad (۲)$$

T_{CO} زمان قطع جریان (دقیقه)، T_t زمان پیشروی (دقیقه)، T_n زمان لازم برای نفوذ مقدار خالص آب موردنیاز (دقیقه) و T_r زمان پسروی (دقیقه) است. اما در جویچه‌های انتها باز و شیب‌دار (شیب کافی) می‌توان زمان پسروی را صفر فرض کرد.

$$T_{CO} = T_t + T_n \qquad (۳)$$

در این تحقیق، چون شیب زمین ۰/۸۵ درصد و انتها جویچه‌ها باز بود 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)

$$In = k\,(tn)^a + f_0 tn \qquad (۴)$$

که در آن I_n مقدار خالص آب موردنیاز جهت نفوذ برحسب میلی‌متر، t_n فرصت نفوذ و a،k و f۰ ضرایب معادله نفوذ هستند. از روش ورودی و خروجی در تعیین سرعت نفوذ نهایی آب در خاک (Walker and Skogerboe, 1987) و از داده‌های 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). آب توسط لوله پلی‌اتیلن از یک حلقه چاه عمیق به ابتدای مزرعه منتقل شد و به‌منظور کنترل دقیق حجم آب آبیاری تیمارها از کنتور ۳ اینچ استفاده شد. برای اندازه‌گیری دبی ورودی و رواناب تیمارهای آزمایشی از فلوم WSC تیپ دو یک استفاده شد. زمان پیشروی آب با تقسیم طول جویچه‌ها به فواصل ۱۰ متری و میخ‌کوبی نقاط اندازه‌گیری شد. حداکثر دبی غیر فرسایشی جویچه‌های آزمایشی با استفاده از رابطه تجربی (Booher, 1976) مقدار ۰/۷ لیتر در ثانیه تعیین شد.

هنگام برداشت محصول به روش دستی، با حذف ردیف‌های کناری در هر تکرار به‌منزله اثر حاشیه، نمونه‌برداری فقط از ردیف‌های وسط انجام شد و برای اطمینان بیشتر، گیاهان ابتدا و انتهای ردیف‌های 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 آن‌که مبنای محاسبه عملکرد محصول ذرت است، رطوبت موجود در محصول، عملکرد واقعی محصول و بهره‌وری آب بدست آمد و محاسبات مربوط به هر تیمار به کل مزرعه تعمیم داده شد.

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب

این شاخص برای نهاده آب در کشاورزی استفاده می‌شود و در واقع نسبت مقدار محصول تولید شده، نسبت به حجم آب مصرف شده است. بنابراین هر چه این نسبت بیشتر باشد نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب است

$$CPD = \frac{C}{D} \qquad (۵)$$

در این رابطه CPD بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، C مقدار محصول تولیدشده (کیلوگرم) و D مقدار آب مصرف‌شده (مترمکعب) است.

محاسبه سود ناخالص و خالص تیمارهای آزمایشی

برای محاسبه سود ناخالص تیمارها، مقادیر عملکرد در قیمت تضمینی خرید ذرت در سال ۱۴۰۰ توسط وزارت جهاد کشاورزی (به ازای هر کیلوگرم ۳۰۰۰۰ ریال) ضرب شد. برای

محاسبه سود خالص حاصل‌شده باید هزینه‌های صورت گرفته (هزینه ثابت و متغیر) برای تولید محصول در اختیار باشد.

$$C_t = w_p \times w + C_p \times C_m \quad (۶)$$

$$C_T = C_S + C_t \quad (۷)$$

$$NB = B - C_T \quad (۸)$$

در این روابط C_t هزینه متغیر (هزار ریال در هکتار)، w_p آب بهاء (هزار ریال بر مترمکعب)، w مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)، C_p هزینه برداشت (هزار ریال بر کیلوگرم)، C_m وزن دانه برداشت‌شده (کیلوگرم در هکتار)، C_T کل هزینه‌ها (هزار ریال در هکتار)، C_S هزینه ثابت (هزار ریال در هکتار)، NB و B سود خالص و سود ناخالص (هزار ریال در هکتار) است.

سود ناخالص به ازای واحد حجم آب، میزان سود ناخالص نسبت به مقدار آب مصرف شده است (Rodrigues and Pereira, 2009).

$$BPD = \frac{B}{D} \quad (۹)$$

این رابطه BPD سود ناخالص به ازای واحد حجم آب (هزار ریال بر مترمکعب)، B سود ناخالص (هزار ریال در هکتار) و D مقدار آب مصرف‌شده (مترمکعب در هکتار) است.

سود خالص به ازای واحد حجم آب، میزان سود خالص نسبت به مقدار آب مصرف شده است (Rodrigues and Pereira, 2009).

$$NBPD = \frac{NB}{D} \quad (۱۰)$$

در این رابطه NBPD سود خالص به ازای واحد حجم آب (هزار ریال بر مترمکعب)، NB سود خالص (هزار ریال در هکتار) و D مقدار آب مصرف‌شده (مترمکعب در هکتار) است. اگر هدف افزایش بهره‌وری مصرف آب از دیدگاه اقتصادی باشد، می‌توان گفت سود خالص به ازای واحد حجم آب یا سود خالص در قطره یکی از بهترین شاخص‌ها برای سنجش بهره‌وری آب کشاورزی است.

شکل عمومی روابط بهینه‌سازی درآمد خالص (آب مصرفی) به‌صورت زیر است (English et al., 1996).

$$Y(W) = a_1 + b_1 W + c_1 W^2 \quad (۱۱)$$

$$C(W) = a_2 + b_2 W \quad (۱۲)$$

در این رابطه‌ها Y(w) عملکرد محصول، C(w) هزینه و w حجم آب مصرفی است. برای بدست آوردن تابع هزینه که تابع خطی است بایستی کل هزینه‌های ثابت تولید و هزینه متغیر را بدست آورد. تابع هزینه را می‌توان به‌صورت زیر تعریف نمود.

$$C(W) = a_2 + b_2 W + c_2 . Y(W) \quad (۱۳)$$

محاسبات آماری

جهت مقایسه سود ناخالص و خالص به ازای واحد حجم آب، تجزیه واریانس (Anova) انجام شد. برای بدست آوردن جدول تجزیه واریانس، تجزیه آماری و اخذ نتایج آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شد. آزمون مقایسه میانگین تیمارها به روش LSD انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به هزینه‌های ثابت و متغیر تولید یک هکتار ذرت دانه‌ای در استان لرستان (جدول ۵) و هزینه‌های ثابت و متغیر تیمارهای آزمایشی (جدول ۶) سود ناخالص و خالص، مقادیر عملکرد و هزینه و درآمد تیمارهای آزمایشی نسبت به مقدار آب مصرفی در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۵ - هزینه تولید یک هکتار ذرت در استان لرستان در سال ۱۴۰۰

	هزینه‌های تولید	واحد	قیمت واحد هزار ریال	تعداد	قیمت کل هزار ریال
هزینه‌های ثابت	شخم	عدد	۲۰۰۰	۲	۴۰۰۰
	دیسک	عدد	۱۱۲۵	۲	۲۲۵۰
	کولتیواتور	عدد	۱۱۲۵	۱	۱۱۲۵
	سایر عملیات تسطیح	عدد	۱۱۲۵	۱	۱۱۲۵
	بذر و ضدعفونی بذر	کیلوگرم	۲۰۰	۲۰	۴۰۰۰
	بذرکاری	عدد	۲۰۰۰	۱	۲۰۰۰
	کود و ریزمغذی‌ها	عدد	۱۲۵۰۰	۱	۱۲۵۰۰
	کودپاشی	عدد	۷۵۰	۳	۲۲۵۰
	سموم	عدد	۱۰۰۰۰	۱	۱۰۰۰۰
	سم‌پاشی	عدد	۱۱۲۵	۵	۵۶۲۵
	حمل‌ونقل	عدد	۲۵۰۰	۱	۲۵۰۰
	کارگری	عدد	۱۲*۱۱۲۵	۱	۱۳۵۰۰
	کمباین	هکتار	۲۰۰۰۰	۱	۲۰۰۰۰
جمع هزینه‌های ثابت					۸۰۸۷۵
هزینه‌های متغیر	آب بهاء	مترمکعب	۰/۱۸۴	--	--
	برداشت محصول، حمل‌ونقل و ...	کیلوگرم	۰/۹	--	--

بر اساس نتایج پژوهش، تیمار آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان دو به یک با ۱۰۰ درصد تأمین نیاز گیاه (S_2I_{100}) بالاترین عملکرد (۵۹۹۱ کیلوگرم در هکتار) را نسبت به سایر تیمارها دارد؛ اما مقایسه عملکرد به این شیوه روش مناسبی نیست، زیرا سایر پارامترها مانند راندمان و هزینه در این ارقام دخیل نیستند ازاین‌رو مقادیر عملکرد، هزینه و درآمد برای تیمارهای آزمایشی محاسبه و در جدول (۷) آورده شده است. در ستون عملکرد واحد آب مصرفی (بهره‌وری) جهت بهینه‌سازی ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد تیمار آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان دو به یک و ۸۰ درصد نیاز آبی (S_2I_{80}) با نسبت درآمد خالص به هزینه ۱/۰۱، عملکرد ۵۸۷۵ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری ۰/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب، دارای بهترین توجیه اقتصادی است. برخی از تیمارها (مانند تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری یک‌درمیان ثابت و متغیر) سود خالصی کمتری را دارا بودند، علت آن افزایش میزان تبخیر و تعرق است، میزان آب آبیاری نتوانسته نیاز گیاه را تأمین کند و گیاه نتوانسته از ذخیره رطوبتی موجود در خاک به‌خوبی استفاده کند. کمترین حجم آب آبیاری تیمارها (۵۴۴۲ مترمکعب در هکتار) مربوط به تیمار (AFI_{60}) است. عملاً تیمار با عملکرد بیشتر (S_2I_{100}) یا مصرف آب کمتر (AFI_{100}) بهره‌وری بالایی ندارد. بیشترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار S_1I_{60} است (جدول ۷) و به‌عنوان مناسب‌ترین روش کم‌آبیاری ذرت در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود، بنابراین در نظر گرفتن عملکرد محصول و حجم آب آبیاری به‌صورت توامان، برای افزایش بهره‌وری آب ضرورت دارد. در پژوهش ناصری و همکاران (۱۳۹۹) در مدیریت آبیاری جویچه‌ای ذرت دانه‌ای در دو شیوه دبی پیوسته و کاهش دبی، عملکرد دانه بین ۵/۵ تا ۱۰/۶ تن در هکتار و بیشترین بهره‌وری آب برابر ۱/۲۵ کیلوگرم در مترمکعب در شیوه کاهش دبی بدست آمد. در پژوهش ناظمی و همکاران (۱۳۹۸) بیش‌ترین BPD و NBPD برای دو سال کشت ذرت دانه‌ای در روش آبیاری S_2 و رژیم آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی حاصل شد و نسبت درآمد خالص به هزینه تولید برابر ۱/۰۳ و ۰/۸۶ شد.

جدول ۶- هزینه‌های ثابت و متغیر ذرت دانه‌ای تیمارهای آزمایشی

تیمار آبیاری	کل حجم آب داده‌شده مترمکعب در هکتار	وزن دانه بلال‌ها با کسر رطوبت	هزینه‌های متغیر		هزینه ثابت هزار ریال در هکتار	کل هزینه‌ها هزار ریال در هکتار
			هزینه آب بهاء	هزینه برداشت، حمل و		
CI_{100}	۱۰۹۱۶	۵۶۹۵	۲۰۰۹	۵۱۲۶	۸۰۸۷۵	۸۸۰۰۹
CI_{80}	۹۴۰۹	۵۹۳۸	۱۷۳۱	۵۳۴۴	۸۰۸۷۵	۸۷۹۵۰
CI_{60}	۸۱۵۲	۵۵۱۱	۱۵۰۰	۴۹۶۰	۸۰۸۷۵	۸۷۳۳۵
S_1I_{100}	۹۸۱۷	۵۹۰۵	۱۸۰۶	۵۳۱۵	۸۰۸۷۵	۸۷۹۹۶
S_1I_{80}	۸۵۰۰	۵۷۰۵	۱۵۶۴	۵۱۳۵	۸۰۸۷۵	۸۷۵۷۴
S_1I_{60}	۷۳۷۳	۵۵۳۷	۱۳۵۷	۴۹۸۳	۸۰۸۷۵	۸۷۲۱۵
S_2I_{100}	۹۸۶۹	۵۹۹۱	۱۸۱۶	۵۳۹۲	۸۰۸۷۵	۸۸۰۸۳
S_2I_{80}	۸۵۰۳	۵۸۷۵	۱۵۶۵	۵۲۸۸	۸۰۸۷۵	۸۷۷۲۷
S_2I_{60}	۷۳۷۷	۵۰۹۰	۱۳۵۷	۴۵۸۱	۸۰۸۷۵	۸۶۸۱۳
FFI_{100}	۶۹۷۹	۴۴۲۳	۱۲۸۴	۳۹۸۱	۸۰۸۷۵	۸۶۱۴۰
FFI_{80}	۶۱۷۴	۳۵۶۱	۱۱۳۶	۳۲۰۵	۸۰۸۷۵	۸۵۲۱۶
FFI_{60}	۵۵۰۸	۲۸۳۰	۱۰۱۳	۲۵۴۷	۸۰۸۷۵	۸۴۴۳۵
AFI_{100}	۶۸۰۴	۴۸۸۵	۱۲۵۲	۴۳۹۷	۸۰۸۷۵	۸۶۵۲۴
AFI_{80}	۶۰۳۶	۴۰۷۵	۱۱۱۱	۳۶۶۸	۸۰۸۷۵	۸۵۶۵۴
AFI_{60}	۵۴۴۲	۳۲۵۰	۲۰۰۹	۵۱۲۶	۸۰۸۷۵	۸۸۰۱۰

جدول ۷- مقادیر عملکرد، هزینه و درآمد تیمارهای آزمایشی ذرت دانه‌ای

تیمار آبیاری	عملکرد محصول کیلوگرم در هکتار	حجم آب آبیاری مترمکعب در هکتار	بهره‌وری آب کیلوگرم بر مترمکعب	کل هزینه‌ها هزار ریال در هکتار	هزینه تولید به ازای واحد آب هزار ریال بر مترمکعب	سود ناخالص هزار ریال در هکتار	سود ناخالص هزار ریال بر مترمکعب	سود خالص هزار ریال در هکتار	سود خالص هزار ریال بر مترمکعب	نسبت درآمد به هزینه
CI_{100}	۵۶۹۵	۱۰۹۱۶	۰/۵۲	۸۸۰۰۹	۸/۰۶	۱۷۰۸۵۰	۱۵/۶۵	۸۲۸۴۱	۷/۵۹	۰/۹۴
CI_{80}	۵۹۳۸	۹۴۰۹	۰/۶۳	۸۷۹۵۰	۹/۳۵	۱۷۸۱۴۰	۱۸/۹۳	۹۰۱۹۰	۹/۵۸	۱/۰۳
CI_{60}	۵۵۱۱	۸۱۵۲	۰/۶۸	۸۷۳۳۵	۱۰/۷۱	۱۶۵۳۳۰	۲۰/۲۸	۷۷۹۹۵	۹/۵۷	۰/۸۹
S_1I_{100}	۵۹۰۵	۹۸۱۷	۰/۶۰	۸۷۹۹۶	۸/۹۶	۱۷۷۱۵۰	۱۸/۰۵	۸۹۱۵۴	۹/۰۸	۱/۰۱
S_1I_{80}	۵۷۰۵	۸۵۰۰	۰/۶۷	۸۷۵۷۴	۱۰/۳۰	۱۷۱۱۵۰	۲۰/۱۴	۸۳۵۷۶	۹/۸۳	۰/۹۵
S_1I_{60}	۵۵۳۷	۷۳۷۳	۰/۷۵	۸۷۲۱۵	۱۱/۸۳	۱۶۶۱۱۰	۲۲/۵۳	۷۸۸۹۵	۱۰/۷۰	۰/۹۰
S_2I_{100}	۵۹۹۱	۹۸۶۹	۰/۶۱	۸۸۰۸۳	۸/۹۳	۱۷۹۷۳۰	۱۸/۲۱	۹۱۶۴۷	۹/۲۹	۱/۰۴
S_2I_{80}	۵۸۷۵	۸۵۰۳	۰/۶۹	۸۷۷۲۷	۱۰/۳۲	۱۷۶۲۵۰	۲۰/۷۳	۸۸۵۲۳	۱۰/۴۱	۱/۰۱
S_2I_{60}	۵۰۹۰	۷۳۷۷	۰/۶۹	۸۶۸۱۳	۱۱/۷۷	۱۵۲۷۰۰	۲۰/۷۰	۶۵۸۸۷	۸/۹۳	۰/۷۶
FFI_{100}	۴۴۲۳	۶۹۷۹	۰/۶۳	۸۶۱۴۰	۱۲/۳۴	۱۳۲۶۹۰	۱۹/۰۱	۴۶۵۸۲	۶/۶۷	۰/۵۴
FFI_{80}	۳۵۶۱	۶۱۷۴	۰/۵۸	۸۵۲۱۶	۱۳/۸۰	۱۰۶۸۳۰	۱۷/۳۰	۲۱۶۳۹	۳/۵۰	۰/۲۵
FFI_{60}	۲۸۳۰	۵۵۰۸	۰/۵۱	۸۴۴۳۵	۱۵/۳۳	۸۴۹۰۰	۱۵/۴۰	۴۷۷	۰/۰۹	۰/۰۱
AFI_{100}	۴۸۸۵	۶۸۰۴	۰/۷۲	۸۶۵۲۳	۱۲/۷۲	۱۴۶۵۵۰	۲۱/۵۴	۵۹۹۹۴	۸/۸۱	۰/۶۹
AFI_{80}	۴۰۷۵	۶۰۳۶	۰/۶۸	۸۵۶۵۳	۱۴/۱۹	۱۲۲۲۵۰	۲۰/۲۰	۳۶۵۷۱	۶/۰۶	۰/۴۳
AFI_{60}	۳۲۵۰	۵۴۴۲	۰/۶۰	۸۴۸۰۱	۱۵/۵۸	۹۷۵۰۰	۱۷/۹۱	۱۲۶۸۷	۲/۳۰	۰/۱۵

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸)، در روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری و همچنین اثر متقابل روش و رژیم آبیاری (تیمارهای آبیاری)، بهره‌وری آب، سود ناخالص و خالص نسبت به آب مصرفی (BPD و NBPD) در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. نتایج مربوط به آزمون مقایسه میانگین تیمارها به روش LSD برای روش‌های مختلف آبیاری (جدول ۹) در سطح پنج درصد نشان داد بیش‌ترین بهره‌وری آب، BPD و NBPD مربوط به روش آبیاری S_1 به ترتیب با مقادیر ۰/۶۷(کیلوگرم بر مترمکعب)، ۲۰/۲۴ و ۹/۸۷ هزار ریال بر مترمکعب است. کمترین BPD و NBPD مربوط به روش آبیاری یک‌درمیان ثابت به‌ترتیب با مقادیر ۱۷/۳۰ و ۳/۴۲ هزار ریال بر مترمکعب است. بیشترین بهره‌وری مصرف آب (جدول ۹)، در رژیم‌های آبیاری ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی به میزان ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. همچنین برای رژیم‌های مختلف آبیاری در سطح پنج درصد (جدول ۹) بیش‌ترین BPD و NBPD به‌ترتیب مربوط به (I_{80}) با مقدار ۱۹/۴۶ هزار ریال بر مترمکعب و (I_{100}) با مقدار ۸/۲۹ هزار ریال بر مترمکعب است. کمترین BPD مربوط به رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد با مقدار ۱۸/۴۹ و کمترین NBPD مربوط به رژیم آبیاری ۶۰ درصد با مقدار ۶/۳۲ هزار ریال بر مترمکعب است و نهایتاً برای تیمارهای مختلف آبیاری در سطح پنج درصد (جدول ۱۰) بیشترین بهره‌وری آب برابر ۰/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمار آبیاری S_1I_{60} و کمترین بهره‌وری آب ۰/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به تیمارهای آبیاری CI_{100} و FFI_{60} است. بیش‌ترین BPD و NBPD مربوط به تیمار آبیاری S_1I_{60} به‌ترتیب به مقدار ۲۲/۵۳ و ۱۰/۷۰ هزار ریال بر مترمکعب است. کمترین BPD و NBPD مربوط به تیمار آبیاری FFI_{60} به ترتیب با مقادیر ۱۵/۴۰ و ۰/۰۹ هزار ریال بر مترمکعب است. البته در BPD بین تیمارهای FFI_{60} و CI_{100} تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۸- تجزیه واریانس بهره‌وری آب، سود ناخالص و خالص به ازای واحد حجم آب محصول ذرت دانه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	فاکتور	CPD	BPD	NBPD
بلوک	۲	میانگین مربعات خطا	۰/۰۰۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰۴
		آماره F	۲۶/۳۸**	۱/۵۸ ns	۰/ ۶۱ ns
فاکتورA (روش آبیاری)	۴	میانگین مربعات خطا	۰/۰۱۲۲	۱۱/۱۶	۷۰.۶۰
		آماره F	۲۴۷/۳۶**	۱۱۹۸۸.۷۲**	۹۸۱۸.۸۷**
فاکتورB (رژیم آبیاری)	۲	میانگین مربعات خطا	۰/۰۰۴۸	۴.۲۹	۱۵.۹۹
		آماره F	۹۷/۳۳**	۷۶۴.۵۲**	۲۲۲۳.۶۵**
اثر متقابل فاکتور A * B	۸	میانگین مربعات خطا	۰/۰۱۵۱۴۵	۱۳.۳۸	۱۳.۸۹
		آماره F	۳۰۵/۸۱**	۲۳۸۳.۸۹**	۱۹۳۲.۲۵**
خطا	۲۸	میانگین مربعات خطا	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷

* معنی‌دار در سطح پنج درصد ** معنی‌دار در سطح یک درصد ns فاقد اختلاف معنی‌دار

مشعل و همکاران (۱۳۸۷) پژوهشی تحت عنوان بهینه‌سازی عمق آب مصرفی ذرت با اعمال کم‌آبیاری در دشت ورامین انجام دادند که در آن اثرات کم‌آبیاری بر توابع تولید و هزینه گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بدست آمده

نشان داد که آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی معادل ۴/۸۲ سانتی‌متر عمق آبیاری) بیشترین عملکرد محصول در واحد سطح (۷۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) را به همراه دارد. از کشت ذرت بدون آبیاری تا ۳۰ درصد نیاز آبی گیاه، تنها ضرر مالی نصیب زارع می‌گردد. علاوه بر آن بیشترین درآمد ناخالص، مربوط به تیمار با ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و بیشترین درآمد خالص مربوط به تیمار با کاهش ۱۰ درصدی در مصرف آب نسبت به حالت آبیاری کامل باشد. بالاترین درآمد ناخالص و خالص به ازای واحد آب مصرفی نیز به ترتیب مربوط به تیمار با کاهش ۵۰ درصدی و تیمار با کاهش ۳۰ درصدی است. در پژوهش عالی نژادیان بیدآبادی و همکاران (۱۳۹۵) به‌منظور بررسی عملکرد تیمارهای ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه ذرت دانه‌ای، کمترین و بیشترین عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای ۶۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. در پژوهش سیدان و متقی (۱۳۹۸) میانگین بهره‌وری فیزیکی آب برای ذرت دانه‌ای در سامانه آبیاری سنتی و مدرن به ترتیب ۰/۸۲ و ۱/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب و همچنین بهره‌وری اقتصادی آب در سامانه آبیاری سنتی و مدرن به‌ترتیب ۲۸۴۹ و ۳۶۶۵ ریال بر هر مترمکعب آب بدست آمد. نتایج این پژوهش‌ها با نتایج تحقیق کنونی مطابقت و همخوانی دارد.

جدول ۹- نتایج آزمون مقایسه میانگین تیمارها برای CPD، BPD و NBPD به روش LSD برای روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری در سطح پنج درصد

صفت	فاکتور A	مقدار	LSD	فاکتور B	مقدار	LSD
CPD	C	۰/۶۱	C	I_{100}	۰/۶۲	B
	S_1	۰/۶۷	A			
	S_2	۰/۵۷	E	I_{80}	۰/۶۵	A
	FF	۰/۵۹	D			
	AF	۰/۶۶	B	I_{60}	۰/۶۵	A
BPD	C	۱۸/۳۰	C	I_{100}	۱۸/۴۹	C
	S_1	۲۰/۲۴	A			
	S_2	۱۹/۸۸	B	I_{80}	۱۹/۴۶	A
	FF	۱۷/۳۰	D			
	AF	۱۹/۹۰	B	I_{60}	۱۹/۳۶	B
NBPD	C	۸/۹۲	C	I_{100}	۸/۲۹	A
	S_1	۹/۸۷	A			
	S_2	۹/۵۴	B	I_{80}	۷/۸۷	B
	FF	۳/۴۲	E			
	AF	۵/۷۳	D	I_{60}	۶/۳۲	C

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۱۰- نتایج مربوط به آزمون مقایسه میانگین تیمارها برای CPD، BPD و NBPD به روش LSD برای کل تیمارها در سطح پنج درصد

فاکتور A	فاکتور B	CPD		BPD		NBPD	
		مقدار	LSD	مقدار	LSD	مقدار	LSD
C	I_{100}	۰/۵۱	J	۱۵/۶۵	L	۷/۵۹	I
	I_{80}	۰/۶۳	G	۱۸/۹۳	H	۹/۵۸	D
	I_{60}	۰/۶۸	CD	۲۰/۲۸	D	۹/۵۷	D
S_1	I_{100}	۰/۶۰	HI	۱۸/۰۵	J	۹/۰۸	F
	I_{80}	۰/۶۷	DE	۲۰/۱۴	E	۹/۸۳	C
	I_{60}	۰/۷۵	A	۲۲/۵۳	A	۱۰/۷۰	A
S_2	I_{100}	۰/۶۱	H	۱۸/۲۱	I	۹/۲۹	E
	I_{80}	۰/۶۹	BC	۲۰/۷۳	C	۱۰/۴۱	B
	I_{60}	۰/۶۹	BC	۲۰/۷۰	C	۸/۹۳	G
FF	I_{100}	۰/۶۳	F	۱۹/۰۱	G	۶/۶۷	J
	I_{80}	۰/۵۸	I	۱۷/۳۰	K	۳/۵۰	L
	I_{60}	۰/۵۱	J	۱۵/۴۰	L	۰/۰۹	N
AF	I_{100}	۰/۷۲	B	۲۱/۵۴	B	۸/۸۱	H
	I_{80}	۰/۶۸	EF	۲۰/۲۰	F	۶/۰۶	K
	I_{60}	۰/۵۹	I	۱۷/۹۱	K	۲/۳۰	M

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

هزینه هر مترمکعب آب آبیاری ۱۸۴ ریال و هزینه برداشت و حمل‌ونقل و... برای هر کیلوگرم محصول ۹۰۰ ریال است، بنابراین معادله هزینه تولید تیمارهای ذرت دانه‌ای طبق رابطه ۱۳ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$C(W) = 80875000 + 184\,W + 900\,Y(W) \qquad (۱۴)$$

با توجه به نتایج آزمایش تیمارهای آبیاری (جدول ۷) و با رسم منحنی‌های درجه دوم توابع هزینه‌های تولید ذرت دانه‌ای نسبت به آب مصرفی (شکل ۱) و عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی (شکل ۲)، توابع هزینه تولید و عملکرد محصول به‌صورت زیر بدست آمد.

$$C(W) = -1.5285\,W\text{^}2 + 308.48\,W + 72487 \qquad (۱۵)$$

$$Y(W) = -1.7621\,W\text{^}2 + 336.94\,W - 10129 \qquad (۱۶)$$

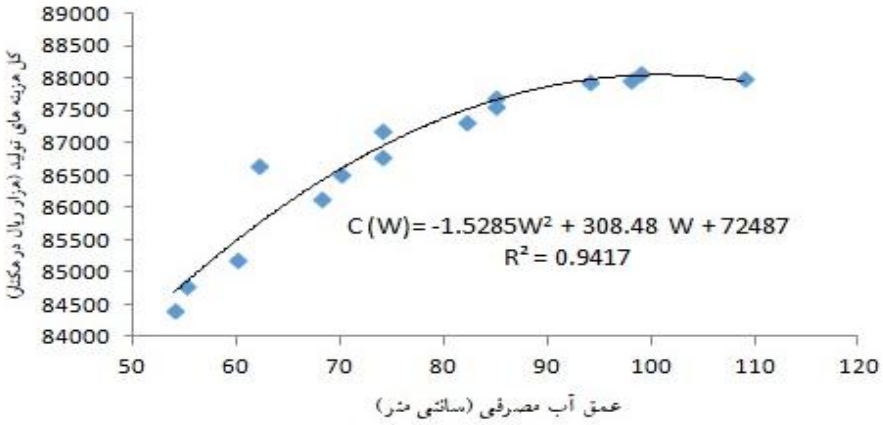
در این روابط Y(W) عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار و W عمق آب مصرفی برحسب سانتی‌متر است.

در حقیقت عملکرد محصول در ابتدای تابع عملکرد روندی صعودی داشته و در یک نقطه به حداکثر خود رسیده است و پس از آن روند نزولی پیدا می‌کند. علت آن این است که در حالت آبیاری خیلی کم، گیاه نمی‌تواند به حیات خود ادامه دهد و در همان ابتدای فصل از بین می‌رود. اما با آبیاری زمین میزان محصول به‌صورت تابع درجه دوم با افزایش آب، زیاد می‌شود و این روند تا مرحله‌ای که همه آب داده‌شده به زمین، مورد استفاده قرار گیرد و خاک از حالت ظرفیت زراعی خارج نشود ادامه می‌یابد. با افزایش میزان رطوبت خاک، هوای موجود در خاک، تخلیه می‌گردد که این سبب خفگی ریشه و کاهش در عملکرد می‌شود. مشتق تابع عملکرد محصول نسبت به عمق آب مصرفی به‌صورت زیر است.

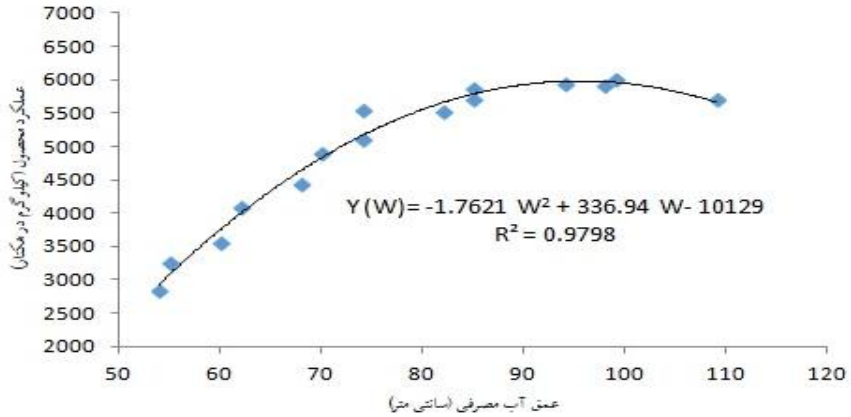
$$\frac{dY(W)}{W} = -3.5242\,W + 336.94 \qquad (۱۷)$$

عمق بهینه آب آبیاری به ازای صفر شدن مشتق تابع عملکرد محصول نسبت به عمق آب مصرفی بدست می‌آید. در نقطه بهینه آبیاری (W=۹۵/۶) حداکثر مقدار محصول ۵۹۷۸ کیلوگرم در هکتار، حداکثر درآمد ناخالص و خالص به ترتیب ۱۷۹۳۴۰ و ۹۱۳۲۶ هزار ریال در هکتار و همچنین سود ناخالص

و خالص به ازای واحد حجم آب به‌ترتیب ۱۸/۷۶ و ۹/۵۵ هزار ریال بر مترمکعب است؛ بنابراین اگر برای هر هکتار زمین ۹۵۶۰ مترمکعب آب در نظر گرفته شود بالاترین مقدار درآمد عاید کشاورز می‌شود.



شکل ۱- تابع هزینه تولید ذرت دانه‌ای نسبت به آب مصرفی



شکل ۲- تابع عملکرد تولید ذرت دانه‌ای نسبت به آب مصرفی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخص شد که عملاً تیمار با عملکرد بیشتر یا مصرف آب کمتر بهره‌وری بالایی ندارد، بنابراین در نظر گرفتن عملکرد محصول و حجم آب آبیاری به‌صورت 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 اجتناب‌ناپذیر است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس در روش‌ها و رژیم‌های مختلف آبیاری و همچنین اثر متقابل روش و رژیم آبیاری (تیمارهای آبیاری)، شاخص‌های CPD، BPD و NBPD در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. نتایج نشان داد که در روش‌های مختلف آبیاری، بیش‌ترین سود ناخالص و خالص نسبت به مقدار آب مصرفی برای روش آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان یک‌به‌یک به‌دست آمد. همچنین در رژیم‌های مختلف آبیاری بیش‌ترین سود ناخالص و خالص نسبت به آب مصرفی به‌ترتیب برای رژیم‌های آبیاری ۸۰ درصد و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد، همچنین در تیمار آبیاری موجی با نسبت قطع و وصل جریان یک‌به‌یک و ۶۰ درصد نیاز آبی (S_1I_{60}) بیش‌ترین سود ناخالص و خالص نسبت به آب مصرفی به‌دست آمد. کمترینBPD و NBPD مربوط به روش آبیاری یک‌درمیان ثابت است. همچنین برای رژیم‌های

مختلف آبیاری در سطح ۵ درصد کمترین BPD و NBPD به‌ترتیب مربوط به رژیم‌های آبیاری ۱۰۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی است. کمترینBPD و NBPD مربوط به تیمار آبیاری FFI_{60} است. البته در BPD بین تیمارهای FFI_{60}و CI_{100} تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. تیمارS_1I_{60} به علت بالا بودن شاخص‌های CPD، BPD و NBPD به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار کم‌آبیاری ذرت محسوب می‌شود و متضمن منافع اقتصادی نیز است. با توجه به بروز خشک‌سالی‌های مستمر و بحران فزاینده آب در کشور، الگوبرداری از این پژوهش به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب جهت افزایش درآمد خالص توصیه می‌شود.

قدردانی

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

منابع

بهداروندی، ح.، برومند نسب، س. و اسلامی، ح. ۱۳۹۵. تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر بر روی راندمان کاربرد و حجم مصرف آب در کشت ذرت دانه‌ای در شمال خوزستان، ششمین همایش سراسری کشاورزی و منابع‌طبیعی پایدار، تهران.

پارسا، س.، خزایی‌تبار، ح.، شهیدی، ع. و محمودی، س. ۱۴۰۰. تأثیر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۴ (۲): ۳۲۱-۳۳۰.

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

جعفری، م. س.، نوری، ح.، ابراهیمیان، ح.، لیاقت، ع. و سوهانی، ی. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر توأمان مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری ذرت در آبیاری قطره‌ای. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۱۱(۴): ۶۸۲-۶۶۹.

حیدری، ن.، دهقانی‌سانیج، ح. و علائی‌تفتی، م. ۱۳۹۵. مدیریت تقاضا و مصرف آب کشاورزی در ایران. انتشارات کمیته ملی و آبیاری زهکشی ایران، تهران.

دهقانی، م. و پناهی، م. ۱۳۹۶. اثر آبیاری یک‌درمیان جویچه‌ای ثابت بر روی ذرت در اصفهان. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان.

سیدان، س. م. و متقی، م. ۱۳۹۸. تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت تحت سامانه‌های آبیاری سنتی و مدرن در استان همدان. نشریه آب و توسعه پایدار. ۱: ۸-۱.

صدرالدینی، س. ع. ا.، منعم، م. ج. و ناظمی، ا. ح. ۱۳۸۵. بهینه‌سازی آبیاری موجی با روش جستجو ممنوع. علوم کشاورزی ایران ۳۷ (۱): ۱۲۹-۱۱۷.

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

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 زراعی ۱۲۰۴: ۱۱۶۳-۱۱۵۱.

کشاورز، ع. و دهقانی‌سانیج، ح. ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور. فصلنامه راهبرد اقتصادی. ۱(۱): ۲۳۳-۱۹۹.

ملکوتی، ج.، غیبی، م. ن. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر 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. تأثیر 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 دهقانی‌سانیج، ح. ۱۳۹۶. راهنمای مدیریت آبیاری

ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی مغان. نشریه شماره ۵۲۷۴۸ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.

ناصری، ع. ع.، ترکمان‌سهرابی، ر.، برومند نسب، س. و صیادی‌شهرکی، ع. ۱۳۹۹. تعیین میزان بهره‌وری آب ذرت در دو شیوه مدیریت آبیاری جویچه‌ای با دبی پیوسته و کاهش دبی تحت سطوح مختلف نیتروژن. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۲ (۴۳): ۳۴-۱۹.

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 اسلام آباد غرب. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۳ (۳): ۳۶۹-۳۵۳.

نادری، م.، شایان‌نژاد، م.، حقیقی، ب.، کریمی، س. و حیدری، س. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی اقتصادی طراحی آبیاری جویچه‌ای در شرایط کم‌آبیاری جویچه‌ای برای ذرت علوفه‌ای در شهرکرد. نشریه علوم آب و خاک. شماره ۳ پاییز ۱۳۹۶.

مشعل، م.، وراوی‌پور، م.، نوری، س. ا. و زارع زیرک، ا. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی عمق آب مصرفی ذرت با کم‌آبیاری (مطالعه مورد: ورامین). مجله پژوهش کشاورزی ۸ (۴): ۱۳۴-۱۲۳.

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.

Ayana, M., 2011. Deficit irrigation practices as alternative means of improving water use efficiencies in irrigated agriculture: case study of maize crop at Arba Minch, Ethiopia. Africa Journal of Agricultural Research, 6(2): 226-235.

Booher, L.J. 1976. Surface irrigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

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

English, M.J. and Raja, S.N. 1996. Review Perspectives on Deficit Irrigation, Agri. Wat. Mang. 32:1-14.

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. J. Agric Water Manag. 24 (4):
281–298.

Hernandez, B., Avila, E.C., Olan, J.J., Lopez,.J.F. and Navarr, L.A. 2010. Morphological quality of Sweet Corn Ears as Response to Soil Moisture Tension and Phosphate Fertilizeation in Campech. Mexico Agricultural Water Management. 97: 1365-1374.

Kledzik, R., Kropkowski, M., Dudek, S., Kuśmierek-Tomaszewska, R. and Żarski J. 2017. Evaluation of economic efficiency of irrigation in corn for grain production in 2005-2016. Infrastructure and Ecology of Rural Areas, 2(1): 587–598.

Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S. and Davison, D. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. Agricultural water management. 95: 895–908.

Playan, E. and Mateos, L. 2016. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Agriculture Water Management. 80(1-3):100-116.

Rodrigues, G.C. and Pereira, L.S. 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. Biosytems Engineering. 103: 536-551.

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. 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.

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2 Autumn and Winter 2023, 73-90

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۹۰-۷۳

Economic Evaluation of Grain Maize Yield in Surge and Alternate Deficit Irrigation Condition

A. Mehri[1], A. Soltani Mohammadi[*2], H. Ebrahimian[3] and S. BoroomandNasab[4]

Abstract

In order to determine the economic evaluation of Grain Maize crop behavior in relation to Surge and alternate Deficit irrigation strategy, a research in Jaydar plain of Poldokhtar city during the year 2021-2022 was done. The statistical design of the research was Factorial design in a randomized complete block design Which has two factors at 5 and 3 levels. Factor A (five furrow irrigation methods) including conventional irrigation (C), Surge irrigation with one-to-one flow wave cycle ratio until advance time is complete (S_1), Surge irrigation with two-to-one flow wave cycle ratio until advance time is complete (S_2) ,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 replications. The results showed that in irrigation methods, the highest gross and net profit in relation to the amount of water consumed is related to the s_1 surge irrigation method respectively with values of 20.24 and 9.87 thousand Rials per cubic meter. In different irrigation regimes, the highest gross and net profit in relation to the amount of water consumed respectively is related to the (I_{80}) with the amount of 19.46 thousand Rials per cubic meter and (I_{100}) with the amount of 8.29 thousand Rials per cubic meter was determined. Finally for different irrigation treatments, the highest gross and net profit in relation to the amount of water used was related to the treatment S_1I_{60} respectively is 22.53 and 10.7 thousand Rials per cubic meter.

Keywords: Deficit Irrigation, Furrow Irrigation, Gross And Net Profit, Water Requirement

[1] Ph.D student, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[2] Associate professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (*Corresponding Author Email: a.soltani@scu.ac.ir)
[3]Associate Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[4] professors, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Received: 14 Jun 2022
Accepted: 23 July 2022