

اثرات استراتژی‌های جدید کم‌آبیاری در حالت پویا و ثابت بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب دو رقم ذرت علوفه‌ای

مهدی مکاری^{۱*}، هادی دهقان^۱ و مجید طاهریان^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۱)

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر استراتژی‌های جدید کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و بهره‌وری مصرف آب دو رقم ذرت علوفه‌ای بر پایه طرح کامل تصادفی در قالب کرت‌های یک‌بار خرد شده در سه تکرار، انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل (۱) آبیاری کامل (FI)، (۲) کم‌آبیاری به صورت استاتیک (SDI)، (۳) کم‌آبیاری به صورت پویا (DDI)، (۴) کم‌آبیاری به صورت پویا که در آن در یک سوم ابتدای رشد ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه، در یک سوم بعدی دوره رشد ۷۵ درصد و در یک سوم انتهایی دوره رشد ۵۰ درصد نیاز آبی برای بخشی از سیستم ریشه‌ای گیاه، تأمین شد (DPRD) و (۵) کم‌آبیاری به صورت استاتیک که در آن ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به طور ثابت و در تمام طول فصل رشد برای بخشی از سیستم ریشه‌ای تأمین شد (SPRD) بودند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین استراتژی‌های آبیاری وجود داشت. در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، تیمارهای آبیاری SDI، DDI، SPRD و DPRD عملکرد ذرت را به ترتیب ۱۸، ۲۷، ۴۹ و ۵۳ درصد کاهش دادند. نتایج همچنین نشان داد که بین دو رقم ذرت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، تیمار SDI بهره‌وری مصرف آب را ۱۴ درصد افزایش داد در حالی که تیمارهای DDI، SPRD و DPRD بهره‌وری مصرف آب را به ترتیب ۳، ۱۹ و ۴۴ درصد کاهش دادند. بر اساس تحلیل اقتصادی انجام شده، عمق بهینه آبیاری برای رسیدن به بیشترین سود خالص ۸۵۸/۵ میلی‌متر به دست آمد. به طور کلی استراتژی آبیاری SDI برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، تابع تولید، استراتژی‌های جدید کم‌آبیاری، عمق بهینه آبیاری

۱. گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، ایران

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، کاشمر، ایران

*: مسئول مکاتبات: mehdimokari@gmail.com

مقدمه

کم‌آبیاری راهکاری مناسب برای کسب عملکرد قابل قبول و اقتصادی با کمترین مصرف آب است (۳۰). در کم‌آبیاری با وجود این که عملکرد در واحد سطح کاهش پیدا می‌کند، ولی کاهش در مقدار آب مصرفی، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب موجب کسب سود بیشتر خواهد شد (۲۹).

آبیاری بخشی از ریشه (PRD) شکل اصلاح شده‌ای از کم‌آبیاری است که در آن بخشی از سیستم ریشه‌ای گیاه آبیاری می‌شود و بخشی دیگر در خاک خشک قرار دارد. مفهوم PRD برای اولین بار در آمریکا توسط گریمز و همکاران (۶) به کار گرفته شد. بعد از آن این روش آبیاری برای محصولات مختلف زراعی و درختان میوه در سراسر جهان استفاده شد. از جمله این محصولات می‌توان به لوبیا، چغندر قند، درختان انگور، ذرت، لوبیا سبز، سیب، هلو، سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی اشاره کرد. روش PRD بر این فرض استوار است که بخشی از ریشه که در تنش واقع شده است، ریشه‌های نابه‌جا تولید کرده و با خشک و تر کردن متناوب، سیستم ریشه‌ای خود را توسعه می‌بخشد؛ از این رو گیاهان در روش کم‌آبیاری ناقص ریشه می‌توانند سیستم ریشه‌ای متفاوتی در مقایسه با گیاهانی که تحت آبیاری کامل و یا کم‌آبیاری تنظیم شده قرار دارند، داشته باشند (۴). در این روش با جذب آب از قسمت تر ریشه وضعیت آب گیاه در یک حالت مطلوب نگه داشته می‌شود (۳) و قسمتی از ریشه که در ناحیه خشک قرار دارد سبب افزایش تولید هورمون آبسسیک اسید می‌شود. افزایش این هورمون باعث کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (۲).

اسکینر و همکاران (۲۴) مشاهده کردند که با اعمال روش کم‌آبیاری به صورت آبیاری یک در میان فاروهای زیر کشت ذرت، میزان جذب ازت توسط گیاه و عملکرد آن افزایش یافته و به تبع آن میزان آبشویی نیترات کاهش پیدا کرد. کردا و همکاران (۱۴) طی مطالعه‌ای گزارش کردند که آبیاری بخشی از ریشه گیاه ذرت (PRD) در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری (DI)

و آبیاری کامل (FI) ضمن بهبود جذب ازت در گیاه و افزایش عملکرد، میزان کاهش آن در خاک را کمتر کرد. لی و همکاران (۱۵) و هیو و همکاران (۸) نیز مشاهده کردند که آبیاری بخشی از ریشه گیاه ذرت که در گلدان کاشته شده بود باعث بهبود جذب ازت و افزایش عملکرد آن شد. اما هنوز مکانیسم‌هایی که باعث بهبود جذب ازت در شرایط آبیاری بخشی از ریشه (PRD) در گیاه ذرت می‌شود، به خوبی مشخص نشده است. ونگ و همکاران (۲۶) گزارش کردند که حداقل دو عامل ممکن است به بهبود جذب ازت توسط گیاه در شرایط (PRD) و در نتیجه افزایش عملکرد آن مربوط باشند، یکی افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه برای جذب ازت در شرایط (PRD) و دیگری کافی بودن میزان ازت موجود در خاک و در دسترس بودن آن برای گیاه. کنگ و همکاران (۱۰) گزارش کردند که آبیاری بخشی از ریشه گیاه ذرت باعث تحریک رشد ریشه‌ها و به ویژه ریشه‌های فرعی می‌شود که این باعث افزایش سطح تماس ریشه با خاک، بهبود جذب آب و ازت توسط گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد آن می‌شود.

سپاسخواه و پرند (۲۲) نشان دادند که آبیاری یکی در میان فاروها در ذرت باعث کاهش ۳۰ درصدی آب مصرفی شد. همچنین در این آزمایش اگرچه عملکرد دانه به دلیل کاهش وزن دانه کاهش یافت، اما با انجام یک یا دو آبیاری معمولی در مرحله ظهور تاسل عملکرد برابر آبیاری معمولی بود. وانگ و همکاران (۲۷) اثرات دو نوع تیمار PRD که در یکی فقط یک سمت ریشه به طور ثابت آبیاری می‌شد (PRD ثابت) و در دیگری هر دو سمت ریشه به طور متناوب آبیاری می‌شد (PRD متناوب) بر گیاه ذرت بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع، وزن خشک، سطح برگ و قطر بلال از تیمار آبیاری کامل (شاهد) به دست آمد، اما بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار (PRD متناوب) بود. آنها همچنین نشان دادند که کاربرد آبیاری به نحوی که بخشی از ریشه‌ها به طور متناوب خشک باشند، باعث افزایش کارایی مصرف آب در ذرت می‌شود. به عقیده آنها این روش آبیاری باعث ایجاد بهترین شرایط رطوبتی

مصرف آب ذرت شد. لیانگ و همکاران (۱۷) گزارش کردند که با اعمال استراتژی آبیاری PRD ضمن کاهش مصرف آب ذرت به اندازه $36/8 - 34/4$ درصد، مقدار بیوماس به اندازه ۱۲-۶ درصد کاهش یافت که این منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب شد. ونگ و همکاران (۲۸) اثر آبیاری PRD را در مقایسه با کم‌آبیاری (DI) و آبیاری کامل (FI) بر تجمع نیتروژن در برگ گیاه ذرت مطالعه کردند. آنها در مطالعه خود سه سطح کود ازت شامل $1/5$ ، ۳ و ۶ گرم) را نیز تیمار کردند. نتایج آنها نشان داد که هم استراتژی آبیاری و هم تیمارهای کود بیوماس شاخه و سطح برگ گیاه را تحت‌تأثیر قرار دادند. در تیمار PRD بیشترین مقدار بیوماس ریشه، بیشترین تجمع ازت در برگ ذرت و بیشترین کارایی مصرف آب مشاهده شد. نتایج بررسی یازار و همکاران (۲۹) درباره عملکرد ذرت در نتیجه اعمال کم‌آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری تنظیم شده تحت سیستم آبیاری قطره‌ای، به حداکثر بودن عملکرد دانه و حداقل بودن راندمان مصرف آب در تیمار آبیاری کامل نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری منتج شد.

اکبری نودهی (۱) به منظور بررسی تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای و کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت، طرحی در قالب اسپلیت پلات با سه تکرار به مدت دو سال در مرکز تحقیقات کشاورزی مازندران انجام دادند. نتایج حاصل از تجزیه آماری داده‌های دو سال آزمایش نشان داد که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با آبیاری کامل جویچه‌ها بیشترین و تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی با آبیاری یک در میان ثابت جویچه‌ها کمترین عملکرد ذرت علوفه‌ای را به خود اختصاص دادند. بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی با آبیاری یک در میان ثابت جویچه‌ها و کمترین مقدار کارایی مصرف آب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با آبیاری کامل جویچه‌ها بود.

با توجه به کمبود آب آبیاری در مناطقی از شهرستان کاشمر که در آنها کشت ذرت صورت می‌گیرد از یک‌سو و اهمیت تأمین علوفه مورد نیاز واحدهای دامداری در شهرستان از سوی

در خاک می‌شود و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک افزایش می‌یابد که اثرات مفیدی برای رشد گیاه دارد. معصومی و همکاران (۱۹) تأثیر کم‌آبیاری متناوب بر عملکرد و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ را مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که کم‌آبیاری متناوب بر صفات وزن خشک بوته، وزن بلال، عملکرد دانه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت. همچنین آنها گزارش کردند که برای رسیدن به بهره‌وری آب، ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده، وزن بلال و عملکرد دانه بیشتر نیازی به آبیاری کامل (یعنی ۱۰۰ درصد) نیست و با اعمال کم‌آبیاری به صورت تأمین ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه، می‌توان به بیشترین مقدار عملکرد رسید.

خواجه عبداللهی و سپاسخواه (۱۳) کاربرد سه روش آبیاری جویچه‌ای معمولی، جویچه‌ای یک در میان ثابت و متناوب با سه دور آبیاری ۴، ۷ و ۱۱ روز را در ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (SC704) بررسی و گزارش کردند که تیمار آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب با دور آبیاری ۴ روز اقتصادی‌ترین روش از لحاظ مصرف آب و نیز عملکرد ذرت دانه‌ای بود. کانگ و همکاران (۱۱)، گزارش کردند که در آبیاری یک در میان متغیر (PRD متغیر) با کاهش ۵۰ درصد آب مصرفی، محصول ذرت کاهش نیافته ولی در آبیاری کامل جویچه‌ها (FI) و آبیاری یک در میان ثابت جویچه‌ها، عملکرد کاهش یافته است. کانگ و همکاران (۹) در آزمایشی نشان دادند که با آبیاری متناوب و با ۳۵ درصد کاهش آب مصرفی، فقط ۱۱-۶ درصد کاهش محصول ذرت به دست آمده است. کاراندیش و شاه‌نظری (۱۲) در مطالعه خود نشان دادند که آبیاری PRD برای محصول ذرت، ضمن ذخیره $15/2$ درصدی آب در طی فصل رشد، با تأثیر مثبت بر دمای خاک، باعث بهبود جذب مواد غذایی می‌شود و به این ترتیب از کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت، جلوگیری به عمل می‌آورد. لیانگ و همکاران (۱۶) در مطالعه خود گزارش کردند که آبیاری بخشی از ناحیه ریشه به صورت متناوب (APRD) در مقایسه با تیمار آبیاری کامل (FI) ضمن کاهش مصرف آب، باعث افزایش کارایی



شکل ۱. شمایی از مزرعه مورد مطالعه

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (%)	TNV (%)	OC (%)	EC (ds/m)	pH	عمق خاک (cm)
۷/۹۱	۰/۰۴۹	۳۱۰	۹/۶	۰/۰۷۱	۲۰/۵	۰/۵۰۲	۰/۵۹۸	۷/۹	۰-۳۰
۴/۴۰	۰/۰۳۰	۲۸۰	۴	۰/۰۳۴	۳۶	۰/۲۵۰	۰/۵۷۰	۷/۷	۳۰-۶۰

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه تحقیقاتی

وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	عمق خاک (cm)
۱/۳۶	لوم-رسی	۲۵	۴۳/۵	۳۱/۵	۰-۳۰
۱/۴۱	رسی	۱۷	۳۸	۴۵	۳۰-۶۰

۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع این مرکز ۱۱۰۹/۷ متر از سطح دریا است. میانگین بلندمدت دمای سالیانه محل آزمایش ۱۷/۸ درجه سانتیگراد و میانگین بارش سالانه ۱۹۲/۱ میلی‌متر است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دو مارتن، خشک است. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه تحقیقاتی به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ و ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری محل مطالعه که از چاه عمیق تأمین می‌شود در جدول ۳ ارائه شده‌اند. این پژوهش بر پایه طرح کامل تصادفی در قالب کرت‌های یک بار خرد شده با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل پنج تیمار آبیاری به‌عنوان عامل اصلی و دو رقم ذرت علوفه‌ای

دیگر، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر استراتژی‌های جدید کم‌آبیاری در حالت پویا و ثابت بر عملکرد و بهره‌وری آب دو رقم ذرت علوفه‌ای و تعیین عمق بهینه آبیاری برای رسیدن به حداکثر سود خالص در واحد سطح، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

محل مورد مطالعه

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر انجام شد. شمایی از مزرعه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر در فاصله دو کیلومتر از مرکز شهرستان و در طول جغرافیایی

جدول ۳. ویژگی‌های شیمیایی آب مزرعه تحقیقاتی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
pH	۷/۳۵	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	۴/۳
EC (ds/m)	۰/۳۴۵	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	۰
Na ⁺ (meq/L)	۰/۲۱	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	۰/۰۳
K ⁺ (meq/L)	۰/۴۲	Ca ²⁺ (meq/L)	۳/۱۱
Cl ⁻ (meq/L)	۰/۵۱	Mg ²⁺ (meq/L)	۱/۲۷

داشت بنابراین راندمان آبیاری (Ea) برابر ۷۰ درصد در نظر گرفته شد. با استفاده از آمار بلندمدت هواشناسی در منطقه تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از فرمول فائو پنمن-مونتیت محاسبه و با اعمال ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد، نیاز آبی گیاه و در نتیجه حجم آب مورد نیاز برای آن در روزهای مختلف فصل رشد، محاسبه شد. در نهایت حجم آب آبیاری مورد نیاز با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و به هر پلات منتقل شد.

در تاریخ ۲۴ تیرماه ۱۳۹۷، بذر دو رقم ذرت علوفه‌ای یعنی سینگل کراس ۷۰۴ و ۶۰۶، در چهار ردیف با فاصله ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متر کاشته شدند. فاصله بذرهای روی پشته در ابتدا پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد ولی ۲۱ روز پس از کاشت و جین صورت گرفت و فاصله بین دو گیاه بین ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر تنظیم شد. آبیاری اول در تاریخ ۲۸ تیرماه، آبیاری دوم در تاریخ ۲ مردادماه و آبیاری سوم در تاریخ ۱۱ مردادماه انجام شد. تا ۲۰ روز بعد از کاشت ذرت تمام تیمارها به‌طور یکسان و به‌صورت غرقابی و با دور آبیاری ثابت (یعنی پنج روز) آبیاری شدند. تیمارهای کم‌آبیاری مورد نظر ۲۳ روز پس از کاشت بذر اعمال شد. به‌منظور کاهش رقابت برای جذب آب، حذف علف‌های هرز در طول دوره داشت به‌صورت دستی انجام شد. از آنجایی که بافت خاک مزرعه لوم رسی بود بعد از انجام چند آبیاری سطح خاک سله بسته و نیاز به سله‌شکنی و ترمیم پشته‌ها داشت تا هم نفوذ آب بهبود یابد و هم تبادل هوا بهتر صورت گیرد. بنابراین دو ماه پس از کاشت، نزدیک به دوره گل‌دهی، سله‌شکنی به‌صورت دستی، توسط بیل انجام شد. همزمان با

شامل سینگل کراس ۷۰۴ و ۶۰۶ به‌عنوان عامل فرعی بودند. تیمارهای آبیاری عبارت بودند از: (۱) آبیاری کامل (FI) که در آن صددرصد نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد تأمین شد و هیچ‌گونه تنش‌ی به گیاه اعمال نشد، (۲) کم‌آبیاری به‌صورت استاتیک که در آن ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌طور ثابت و در تمام طول فصل رشد به کل سیستم ریشه‌ای آن اعمال شد (SDI)، (۳) کم‌آبیاری به‌صورت پویا که در آن در یک‌سوم ابتدای رشد ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه، در یک‌سوم بعدی دوره رشد ۷۵ درصد نیاز آبی و در یک‌سوم انتهایی دوره رشد ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، به کل سیستم ریشه‌ای گیاه اعمال شد (DDI)، (۴) کم‌آبیاری به‌صورت پویا که در آن در یک‌سوم ابتدای رشد ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه، در یک‌سوم بعدی دوره رشد ۷۵ درصد و در یک‌سوم انتهایی دوره رشد ۵۰ درصد نیاز آبی برای بخشی از سیستم ریشه‌ای گیاه، تأمین شد (DPRD) و (۵) کم‌آبیاری به‌صورت استاتیک که در آن ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌طور ثابت و در تمام طول فصل رشد برای بخشی از سیستم ریشه‌ای تأمین شد (SPRD). در تیمارهای SPRD و DPRD آبیاری به‌صورت جویچه یک در میان انجام شد ولی در تیمارهای دیگر تمام جویچه‌ها آبیاری شدند. دلیل انتخاب این تیمارها به‌دست آوردن شکل کامل‌تری از تابع تولید و تعیین دقیق‌تر عمق بهینه آب مصرفی بود. بنابراین برای اجرای طرح ۳۰ پلات ایجاد شد. ابعاد هر پلات ۳×۵ متر و فاصله بین آنها ۱/۵ متر منظور شد.

به‌دلیل پایین بودن شوری آب و خاک مزرعه تحقیقاتی نیاز آبخویی در نظر گرفته نشد. انتهای پلات‌ها مسدود و رواناب صفر بود ولی چون تلفات ناشی از فرونشست عمقی آب وجود

جدول ۴. حجم آب کاربردی در هر هکتار در طول فصل رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای در هر تیمار

DPRD	SPRD	DDI	SDI	FI	استراتژی‌های آبیاری
۴۸۹۱	۴۸۲۲	۷۰۱۲	۶۶۴۲	۸۵۸۶	مقدار آب کاربردی (m ³ /ha)
۵۷	۶۲	۸۸	۱۰۰	۱۲۲	عملکرد رقم ۷۰۴ (ton/ha)
۴۷	۵۶	۹۴	۱۰۵	۱۱۹	عملکرد رقم ۶۰۶ (ton/ha)

و به‌خوبی استقرار یافته بود، آغاز شد. در ابتدا مقدار FC و PWP خاک با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در آزمایشگاه تعیین شد. سپس به‌منظور بررسی تغییرات رطوبت خاک و اطمینان از وارد نشدن تنش به گیاه در تیمار آبیاری کامل، قبل از آبیاری رطوبت خاک در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری به روش وزنی و با دو بار تکرار اندازه‌گیری شد. میزان رطوبت موجود در خاک، با استفاده از میانگین رطوبت به‌دست آمده از دو عمق ذکر شده تعیین شد. نتایج نشان داد در تیمار آبیاری کامل در طول فصل رشد تنشی به گیاه وارد نشده است. مقدار تخلیه مجاز برای ذرت علوفه‌ای ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (۲۳). مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل بر اساس میانگین درازمدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع و اعمال ضریب گیاهی به‌دست آمد. ضریب گیاهی در مرحله اولیه رشد ذرت ۰/۴۵، مرحله توسعه ۰/۹، مرحله میانی ۱/۱۳ و مرحله انتهایی رشد ۰/۷ در نظر گرفته شد (۵).

مقادیر آب کاربردی برای هر تیمار در طول فصل رشد برای ذرت علوفه‌ای در جدول (۴) ارائه شده است. در این پژوهش مقدار آب کاربردی در تیمار آبیاری کامل برابر با ۸۵۸۶ مترمکعب در هکتار شد.

عملکرد کل

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر میزان عملکرد کل ذرت علوفه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین عملکرد کل به‌ترتیب مربوط به تیمار آبیاری FI رقم ۷۰۴ و DPRD رقم ۶۰۶ با مقادیر به‌ترتیب ۱۲۲ و ۴۷ تن در هکتار بود. در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، تیمارهای

سله‌شکنی ۳۰ کیلوگرم کود اوره به زمین داده شد. آخرین آبیاری در تاریخ ۱۸ مهرماه انجام شد. برداشت محصول به‌صورت دستی و توسط قیچی باغبانی، ۹۰ روز بعد از کاشت در تاریخ ۲۵ مهرماه انجام شد. زیرا برداشت ذرت برای سیلو کردن علوفه آن زمانی صورت می‌گیرد که دانه‌ها حالت خمیری داشته و برگ‌ها سبز باشند. این موقع زمانی است که گیاه ۷۰ تا ۷۵ درصد آب داشته و با سیلو کردن آن علوفه با کیفیت خوب به‌دست می‌آید. از پلات‌های مربوط به هر تیمار، از دو ردیف وسط که نمایانگر عملکرد گیاه در شرایط واقعی مزرعه در کشت‌های وسیع هستند، از هر ردیف سه بوته انتخاب و برداشت شدند. بوته‌ها از محل اتصال طوقه به ریشه با دقت زیاد و با استفاده از قیچی باغبانی بریده شدند. سپس نمونه‌ها بلافاصله برای تعیین خواص کمی به آزمایشگاه انتقال یافتند. پارامترهای کمی مورد بررسی شامل عملکرد تر، عملکرد خشک، قطر میانه ساقه، قطر بلال، طول بلال و وزن بلال بودند. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد، لازم به‌ذکر است برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها درون پاکت‌های مربوط به هر یک از تیمارها قرار داده شد و با قرار گرفتن در درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. تجزیه واریانس و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel 2013 انجام شد.

نتایج و بحث

مقادیر آب کاربردی

اعمال سطوح مختلف آبیاری برای گیاه ذرت علوفه‌ای ۲۸ روز پس از کاشت زمانی که گیاه در مرحله سه تا چهار برگی بود

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری مصرف آب، عملکرد کل، عملکرد خشک و عملکرد یک بوته ذرت علوفه‌ای در استراتژی‌های مختلف آبیاری

میانگین مربعات					منابع تغییر
بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد خشک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بوته (گرم)	درجه آزادی	
۹۳۲/۱۳**	۶/۴۶×۱۰ ^۹ **	۵/۶۶×۱۰ ^۳ *	۴/۱۴×۱۰ ^۵ **	۴	استراتژی‌های آبیاری
۸۵/۵۸ ^{ns}	۱/۲۳×۱۰ ^۹ ^{ns}	۱/۹۳×۱۰ ^۳ ^{ns}	۷/۸۷×۱۰ ^۴ ^{ns}	۱	رقم
۲۲/۴۲ ^{ns}	۴/۰۵×۱۰ ^۸ ^{ns}	۶/۳۱×۱۰ ^۲ ^{ns}	۲/۵۹×۱۰ ^۴ ^{ns}	۴	استراتژی آبیاری × رقم
۱۵۳/۴۴	۶/۳۱×۱۰ ^۸	۷/۵۹×۱۰ ^۲	۴/۰۳×۱۰ ^۴	۲۰	خطا
۲۹/۴۳	۲۵/۴۴	۲۴/۴۸	۲۵/۴۴		ضریب تغییرات

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد، ns. غیر معنی‌دار

۴۶/۹۵ کیلوگرم در هکتار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد عملکرد محصول خشک در تیمارهای FI، SDI و DDI، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۲-ب).

بهره‌وری مصرف آب

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بهره‌وری مصرف آب از تقسیم عملکرد محصول تازه در واحد سطح بر حسب کیلوگرم بر مقدار آب مصرفی در واحد سطح بر حسب مترمکعب حاصل شد. بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب مربوط به تیمارهای SDI رقم ۶۰۶ و DPRD رقم ۶۰۶ و مقادیر آنها به ترتیب برابر ۱۵/۸ و ۹/۶ کیلوگرم در مترمکعب به دست آمد. در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، تیمار SDI بهره‌وری مصرف آب را ۱۴ درصد افزایش داد در حالی که تیمارهای DDI، SPRD و DPRD بهره‌وری مصرف آب را به ترتیب ۳، ۱۹ و ۴۴ درصد کاهش دادند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای FI، SDI و DDI، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۲-ج). استراتژی‌های آبیاری جویچه‌ها به صورت یک در میان (یعنی SPRD و DPRD) اثر معنی‌داری بر کاهش بهره‌وری مصرف آب داشت. نتایج به دست آمده برای این شاخص با تحقیقات

آبیاری SDI، DDI، SPRD و DPRD عملکرد ذرت را به ترتیب ۱۸، ۲۷، ۴۹ و ۵۳ درصد کاهش دادند. مشعل و همکاران (۱۸) در پردیس دانشگاه تهران مقدار عملکرد، رقم سینگل کراس ۷۰۴، تحت روش آبیاری جویچه‌ای برای دو تیمار ۴۰ و ۱۲۰ درصد به ترتیب ۴۲ و ۶۲ تن در هکتار به دست آوردند. نتایج پژوهشگران دیگر از جمله حیدری سورشجانی و همکاران (۷) و اکبری نودهی (۱) نشان می‌دهد که با افزایش آب کاربردی عملکرد کل افزایش می‌یابد. متفاوت بودن رقم کشت شده، نوع خاک، آب و هوای منطقه، تاریخ کاشت، مدیریت مزرعه و مقدار آب کاربردی، می‌تواند از دلایل اختلاف میزان تولید ذرت در این طرح با تحقیقات پژوهشگران دیگر باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد عملکرد محصول تازه در تیمارهای FI، SDI و DDI، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۲-الف). همچنین اثر رقم ذرت علوفه‌ای بر میزان عملکرد کل در سطح یک درصد معنی‌دار نبود.

عملکرد وزن خشک

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر میزان عملکرد خشک ذرت علوفه‌ای در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین عملکرد خشک به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری FI رقم ۷۰۴ و DPRD رقم ۶۰۶ با مقادیر به ترتیب ۱۴۲/۳۶ و

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس برخی خصوصیات کمی ذرت علوفه‌ای در استراتژی‌های مختلف آبیاری

میانگین مربعات							منابع تغییر
وزن بلال (گرم)	طول بلال (سانتی‌متر)	قطر بلال (سانتی‌متر)	ارتفاع گیاه (متر)	قطر میانه ساقه (سانتی‌متر)	ارتفاع ساقه (متر)	درجه آزادی	
۷۸۹۷/۸۳**	۶/۴۶۶*	۱۰/۶۹۳*	۴۴۵۱/۵۴**	۲/۴۹۳*	۰/۴۷۷**	۴	استراتژی‌های آبیاری
۱۰۸۷/۸۱ ^{ns}	۱/۱۳۳ ^{ns}	۵/۵۶۲ ^{ns}	۱۷۸۴/۰۹ ^{ns}	۰/۰۳۵ ^{ns}	۰/۱۱۹ ^{ns}	۱	رقم
۲۱۹۶/۳۴ ^{ns}	۱/۶۳۱ ^{ns}	۳/۹۲۵ ^{ns}	۱۷۶/۷۴ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}	۴	استراتژی آبیاری × رقم
۱۷۰۸/۹۱	۲/۱۳۴	۲/۰۱۴	۴۷۸/۳۰	۰/۶۳۲	۰/۰۴۴	۲۰	خطا
۲۶/۴۵	۸/۹۶	۱۲/۸۲	۱۶/۶۰	۹/۳۰	۱۹/۸۶		ضریب تغییرات

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد و ns غیر معنی‌دار

آبیاری FI، SDI و DDI تفاوت معنی‌داری نداشت.

قطر ساقه

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر قطر میانه ساقه (یعنی ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). به طوری که کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری SPRD رقم ۶۰۶ و FI رقم ۶۰۶ با مقادیر به ترتیب ۱/۳۹ و ۲/۷۲ سانتی‌متر بود (شکل ۳-ب).

ارتفاع بوته

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری DPRD رقم ۶۰۶ و FI رقم ۷۰۴ با مقادیر به ترتیب ۱/۵۵ و ۲/۳۸ متر بود (شکل ۳-ج). ارتفاع بوته در تیمارهای آبیاری FI، SDI و DDI تفاوت معنی‌داری نداشت.

قطر بلال

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر قطر بلال (بدون پوست) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری DPRD رقم ۶۰۶ و FI رقم ۷۰۴ با مقادیر به ترتیب ۲/۰۸ و ۴/۸۶ سانتی‌متر بود (شکل ۳-د).

حیدری سورش‌جانی و همکاران (۷) مغایرت داشت. آنها بیشترین بهره‌وری مصرف آب را برای تیمارهای آبیاری جویچه یک در میان گزارش کردند. آکتم (۲۰) بیشترین بهره‌وری مصرف آب را برای تیمار ۸۰ درصد آبیاری کامل محاسبه کردند که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت. اکبری نودهی (۱) نیز در پژوهش خود بیشترین بهره‌وری مصرف آب را برای تیمار آبیاری یک در میان جویچه‌ها گزارش کرد که با نتایج به دست آمده در این پژوهش مغایرت داشت.

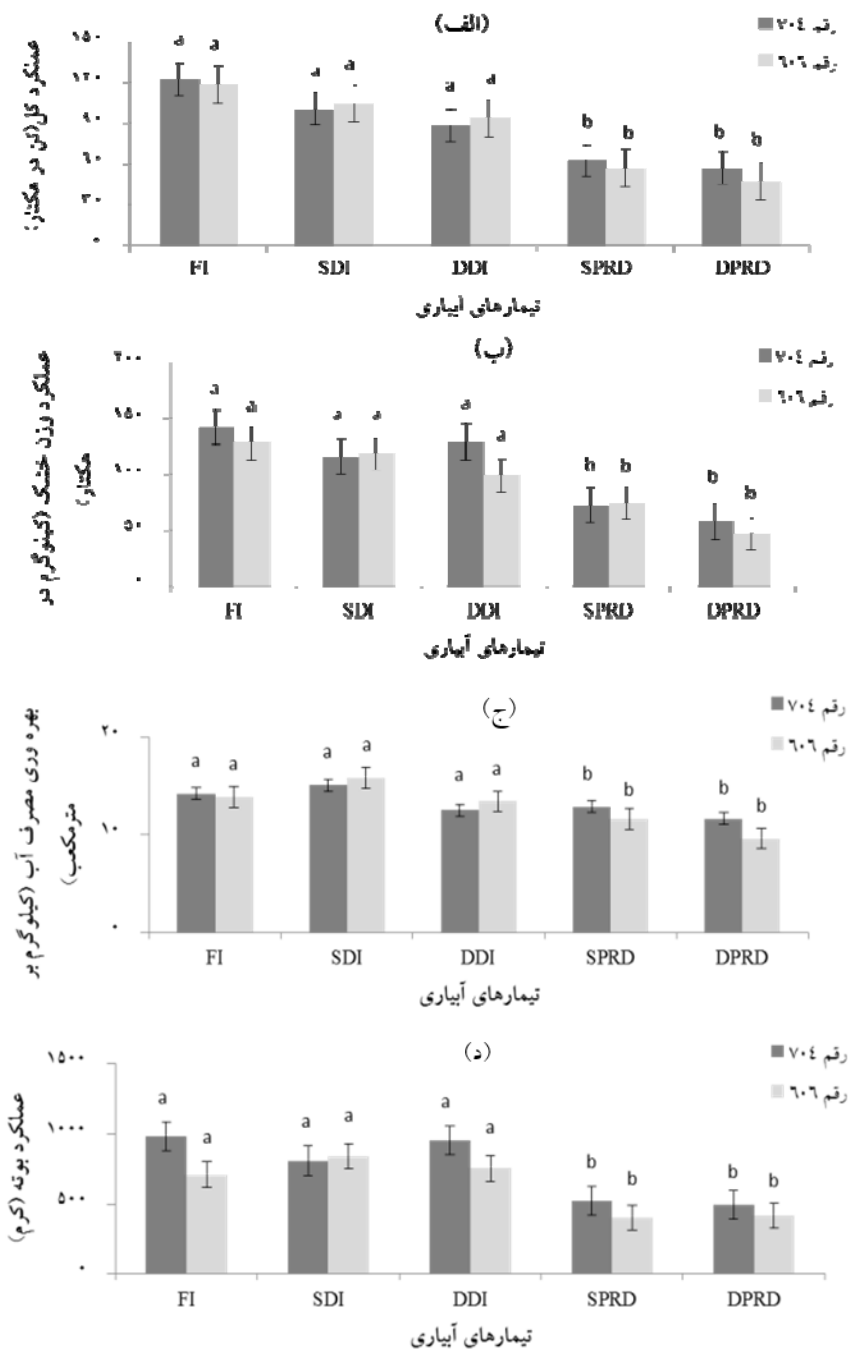
عملکرد بوته

اثر سطوح مختلف آبیاری بر میزان عملکرد بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین عملکرد بوته به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری FI رقم ۷۰۴ و SPRD رقم ۶۰۶ با مقادیر به ترتیب ۹۸۱ و ۴۰۰ گرم بود (شکل ۲-د).

برخی ویژگی‌های کمی اندازه‌گیری شده در بوته ذرت علوفه‌ای

ارتفاع ساقه

اثر استراتژی‌های مختلف آب آبیاری بر ارتفاع ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری DPRD رقم ۶۰۶ و FI رقم ۷۰۴، با مقادیر به ترتیب ۱/۲۵ و ۲/۰۵ متر بود (شکل ۳-الف). این نتیجه با نتایج حیدری سورش‌جانی و همکاران (۷) مطابقت داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد ارتفاع ساقه در تیمارهای



شکل ۲. بررسی اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر: الف) عملکرد کل، ب) عملکرد وزن خشک، ج) بهره‌وری مصرف آب و د) عملکرد بوته دو رقم ذرت علوفه‌ای. حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.

طول بلال

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر طول بلال (بدون پوست) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری SPRD رقم ۶۰۶ و FI

نتایج پژوهش رضایی و همکاران (۲۱) نیز نشان می‌دهد با افزایش عمق آب کاربردی، قطر بلال افزایش می‌یابد. قطر بلال در تیمارهای آبیاری FI، SDI و DDI تفاوت معنی‌داری نداشت.

رقم ۶۰۶ با مقادیر به ترتیب ۱۷/۳۲ و ۳۳/۵۱ سانتی متر بود که با نتایج حیدری سورشجانی و همکاران (۷) مطابقت داشت (شکل ۳-ه). طول بلال در تیمارهای آبیاری SDI و DDI تفاوت معنی داری نداشت.

وزن بلال

اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر وزن بلال (بدون پوست) در سطح یک درصد معنی دار بود. کمترین و بیشترین آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای آبیاری SPRD رقم ۷۰۴ و FI رقم ۷۰۴ با مقادیر به ترتیب ۳۱۰/۱۵ و ۸۴۴/۸ گرم بود (شکل ۳-و). وزن بلال در تیمارهای آبیاری SDI و DDI تفاوت معنی داری نداشت.

تعیین مقدار آب مصرفی بهینه ذرت علوفه‌ای در شرایط محدودیت منابع آب

برای تعیین مقدار آب مصرفی بهینه، لازم است توابع درآمد، هزینه و سود تهیه شود.

تابع تولید

با توجه به مقادیر آب کاربردی در طول فصل رشد و عملکرد کل هر تیمار (جدول ۴) می‌توان تابع تولید محصول را رسم کرد و معادله آن تابع را به دست آورد (شکل ۴) که در آن $y(w)$ مقدار عملکرد کل برحسب کیلوگرم در هکتار و w مقدار آب مصرفی برحسب میلی‌متر است. با مشتق‌گیری از تابع تولید به دست آمده در شکل (۴) و برابر صفر قرار دادن آن، در شرایطی که محدودیت آب نداریم، مقدار آبی که بیشترین عملکرد را دارد برابر ۱۰۴۲ میلی‌متر به دست می‌آید. اگر قیمت یک کیلوگرم ذرت علوفه‌ای مشخص باشد، تابع درآمد آن به صورت معادله (۱) نوشته می‌شود.

$$b(w) = A[p \cdot y(w)] \oplus \quad (1)$$

که در آن $b(w)$ میزان درآمد ناخالص برحسب ریال، A سطح زیر کشت برحسب هکتار و p قیمت یک کیلوگرم ذرت علوفه‌ای برحسب ریال است. با توجه به قیمت ۳۴۳۳ ریال برای هر

کیلوگرم ذرت علوفه‌ای معادله (۱) به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$b(w) = A[-۸۹۵/۳w^۲ + ۱۸۶۶۰۴۱/۴w - ۵۱۵۲۶۲۴۰۳] \quad (2)$$

تابع هزینه

تابع هزینه در این قسمت با در نظر گرفتن مبلغ ۱۴۴۶۷۰۹۲۴ ریال هزینه تولید ذرت علوفه‌ای در یک هکتار (یعنی کاشت، داشت و برداشت) و قیمت هر مترمکعب آب آبیاری ۹۵۰۰ ریال به صورت معادله (۳) به دست می‌آید (۷ و ۲۵).

$$C(w) = A[۱۴۴۶۷۰۹۲۴ + ۹۵۰۰w] \quad (3)$$

که در آن $C(w)$ مقدار هزینه کل برحسب ریال است.

تابع سود

تابع سود از تفاضل توابع درآمد (معادله ۲) و هزینه (معادله ۳) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$I(w) = A[-۸۹۵/۳w^۲ + ۱۸۵۶۵۴۱/۴w - ۶۵۹۹۳۳۳۲۷] \quad (4)$$

که در آن $I(w)$ مقدار سود خالص برحسب ریال است. با استفاده از تابع سود می‌توان عمق آب مصرفی بهینه را در شرایط محدودیت در منابع آب تعیین کرد. اگر حجم آب موجود در طول فصل زراعی برای یک منطقه V مترمکعب باشد، سطحی که می‌توان با w میلی‌متر آب زیر کشت برد با رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$A = \frac{V}{W} \times ۰/۱ \quad (5)$$

با ترکیب معادلات ۴ و ۵ معادله ۶ به دست می‌آید:

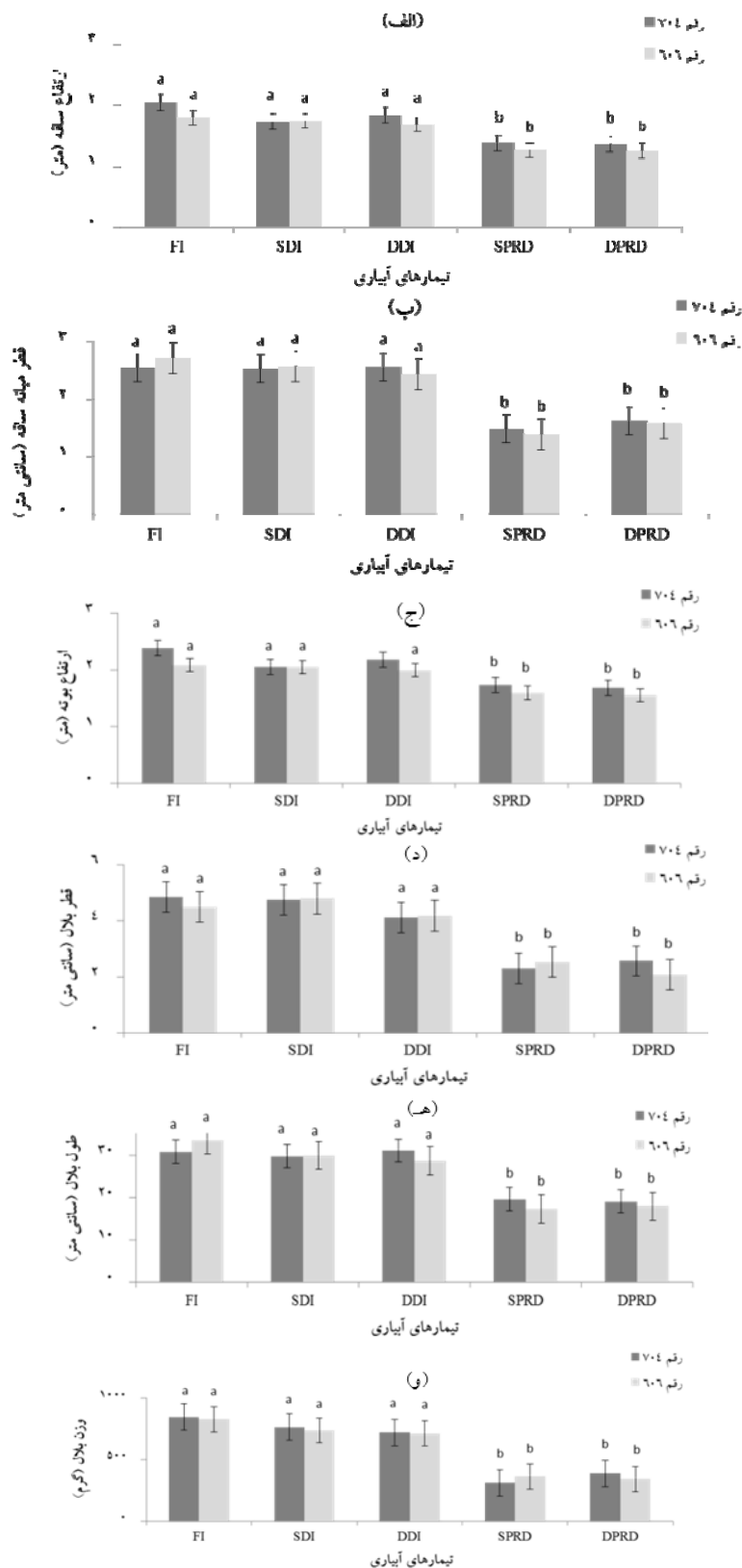
$$I(w) = ۰/۱۷ [-۸۹۵/۳w + ۱۸۵۶۵۴۱/۴ - ۶۵۹۹۳۳۳۲۷/w] \quad (6)$$

مقدار آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت آب، مقداری است که مقدار سود در معادله (۶) را حداکثر کند، این مقدار را می‌توان با مساوی صفر قرار دادن مشتق معادله (۶) به دست آورد.

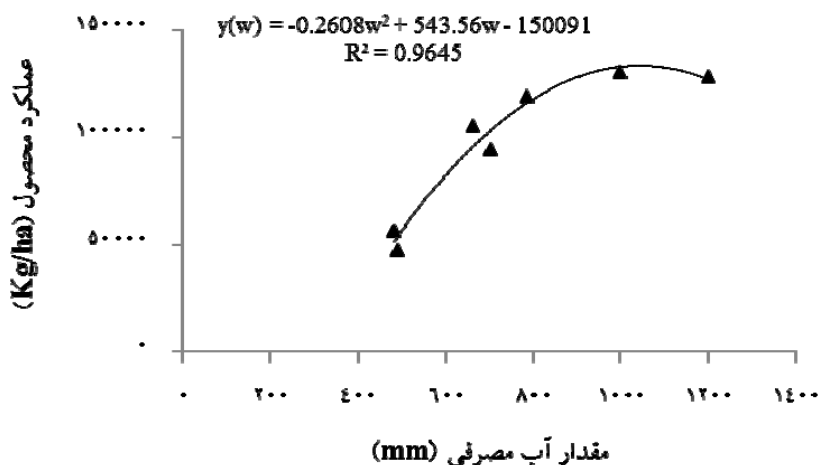
$$dI(w)/d(w) = ۰/۱۷ [-۸۹۵/۳ + ۶۵۹۹۳۳۳۲۷/w^۲] = ۰ \quad (7)$$

$$w = ۸۵۸/۵ \text{ mm}$$

بنابراین مقدار آب مصرفی بهینه برای رسیدن به حداکثر سود خالص در واحد سطح ۸۵۸/۵ میلی‌متر است که معادل مقدار آب مورد نیاز در حالت آبیاری کامل است. سورشجانی و همکاران (۷)



شکل ۳. بررسی اثر استراتژی‌های مختلف آبیاری بر: الف) ارتفاع ساقه، ب) قطر میانه ساقه، ج) ارتفاع بوته، د) قطر بالای ساقه، ه) طول بالای ساقه و و) وزن بالای ساقه دو رقم ذرت علوفه‌ای. حروف مشترک در هر یک از ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد است.



شکل ۴. تابع تولید ذرت علوفه‌ای در آبیاری جویچه‌ای، خاک لومی رسی و دور آبیاری ثابت پنج روز

علوفه‌ای در تیمارهای آبیاری کامل (FI)، SDI و DDI تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، تیمارهای آبیاری SDI، DDI، SPRD و DPRD عملکرد ذرت را به ترتیب ۱۸، ۲۷، ۴۹ و ۵۳ درصد کاهش دادند. نتایج همچنین نشان داد که بین دو رقم ذرت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. برهم‌کنش بین رقم ذرت علوفه‌ای و استراتژی آبیاری نیز معنی‌داری نبود. در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، تیمار SDI بهره‌وری مصرف آب را ۱۴ درصد افزایش داد درحالی‌که تیمارهای DDI، SPRD و DPRD بهره‌وری مصرف آب را به ترتیب ۳، ۱۹ و ۴۴ درصد کاهش دادند. از آنجایی که مقدار آب مصرفی در تیمار SDI نسبت به تیمار آبیاری کامل و تیمار DDI به ترتیب ۲۲/۶ و ۵/۲۷ درصد کمتر بود، پیشنهاد می‌شود که در منطقه مورد مطالعه از این استراتژی آبیاری برای ذرت علوفه‌ای استفاده شود زیرا با استفاده از این استراتژی آبیاری ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب می‌توان به عملکرد و سود قابل قبول دست یافت.

مقدار آب مصرفی بهینه برای رسیدن به حداکثر سود خالص را ۵۸۲/۵ میلی‌متر گزارش کردند که معادل ۸۶ درصد مقدار آب مورد نیاز در حالت آبیاری کامل (یعنی ۶۷۲ میلی‌متر) بود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی استراتژی‌های مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد محصول تازه، خشک، بهره‌وری مصرف آب و برخی ویژگی‌های کمی ذرت علوفه‌ای از جمله ارتفاع ساقه، ارتفاع بوته، قطر میانه ساقه، قطر بلال، طول بلال و وزن بلال داشت. بیشترین و کمترین عملکرد محصول تازه به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری FI رقم ۷۰۴ و DPRD رقم ۶۰۶ با مقادیر به ترتیب ۱۲۲ و ۴۷ تن در هکتار بود. بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب مربوط به تیمارهای SDI رقم ۶۰۶ و DPRD رقم ۶۰۶ و مقادیر آنها به ترتیب برابر ۱۵/۸ و ۹/۶ کیلوگرم در مترمکعب به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مشخص شد که بین میانگین‌های ویژگی‌های کمی ذرت

منابع مورد استفاده

1. Akbari Nodehi, D. 2015. Effect of furrow irrigation methods and deficit irrigation on yield and water use efficiency of maize in Mazandaran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 18(70): 245-255 (In Farsi).
2. Davies, W. J. and J. H. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42: 55-76.

3. Davies, W. J., S. Wilkinson and B. Loveys. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist* 153: 449-460.
4. Dry, P. and B. R. Loveys. 1998. Factors influencing grapevine and the potential for control with partial root zone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 4: 140-148.
5. Gheysari, M., S. M. Mirlatif, M. Homae, M. E. Asadi. 2006. Determination of crop water use and crop coefficient of corn silage based on crop growth stages. *Journal of Agricultural Engineering Research* 7(26): 125-142. (In Farsi).
6. Grimes, D. W., V. T. Walhood and W. L. Dickens. 1968. Alternate- furrow irrigation for San Joaquin Valley cotton. *California Agriculture* 22: 4-6.
7. Heydari Soreshjani, S., M. Shayannejad, M. Naderi, B. Haghighati. 2015. Effect of different levels of irrigation on qualitative and quantitative properties of corn (cultivar ns) and determination of the optimum depth of irrigation in water shortage conditions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 19(73): 125-138 (In Farsi).
8. Hu, T., S. Kang, F. Li and J. Zhang. 2009. Effects of partial root-zone irrigation on the nitrogen absorption and utilization of maize. *Agricultural Water Management* 96: 208-214.
9. Kang, S., Z. Liang, P. Yinhu, S. Peize and Z. Yianhua. 2004. Alternative furrow irrigation for maize production in arid area. *Agricultural Water Management* 45: 267-277.
10. Kang, S., Z. Liang, W. Hu and J. Zhang. 1998. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. *Agricultural Water Management* 38: 69-76.
11. Kang, S. Z., P. Shi, Y. H. Pan, Z. S. Liang and X. T. Hu. 2000. Soil water distribution, uniformity and water use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. *Irrigation Science* 19(4): 181-190.
12. Karandish, F. and A. Shahnazari. 2016. Soil temperature and maize nitrogen uptake improvement under partial root- zone drying irrigation. *Pedosphere* 26(6): 872-886.
13. Khajeh Abdollahi, M. H. and A. R. Sepaskhah. 1996. Economic investigation of every-other furrow irrigation with different periods on corn. *Water and Sustainable Development* 15: 54-60 (In Farsi).
14. Kirda, C., S. Topcu, H. Kaman, A.C. Ulger, A. Yazici, M. Cetin and M. R. Derici. 2005. Grain yield response and N- fertilizer recovery of maize under deficit irrigation. *Field Crops Research* 93: 132-141.
15. Li, F., J. Liang, S. Kang and J. Zhang. 2007. Benefit of alternate partial root zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. *Plant and Soil* 295: 279-291.
16. Liang, H., F. Li and M. Nong. 2013. Effects of alternate partial root-zone irrigation on yield and water use of sticky maize with fertigation. *Agricultural Water Management* 116: 242-247.
17. Liang, Z., S. Kang, W. Hu, J. Zhang and J. Gao. 1997. Effects of controlled roots-divided alternative irrigation on water use efficiency. *Transactions of the CSAE* 13(4): 58-63.
18. Mashal, M., M. Varavypour, S. A. Sadatnouri and E. Zare-Zirak. 2009. Optimizing consumptive water depth for dificit irrigation (case study: Varamin area). *Agricultural Research* 8(4): 123-134 (In Farsi).
19. Masomi, S. T., A. Rahimkhoob, M. Ghorbanijavid and M. H. Nazarifar. 2015. The effect of intermittent deficit irrigation on yield, yield components and water productivity of maize SC-704. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 4(8): 810-816. (In Farsi).
20. Oktem, A. 2008. Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems. *Agricultural Water Management* 95: 1003-1010.
21. Rezaei, A., A. R. Ghafouri, F. Ali, Z. Amirteymouri, G. Karimi and R. Moughimi. 2008. Investigation the effect of water stress on corn yield in Kerman region, Iran. In: Proceeding of 9th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
22. Sepaskhah, A. R. and A. R. Parand. 2006. Effects of alternate furrow irrigation with supplemental every- furrow irrigation at different growth stages on the yield of maize (*Zea mays* L.). *Plant Production Science* 9: 415-421.
23. Sepaskhah, A. R., A. R. Tavakoli and S. F. Mousavi. 2006. Principles and Applications of Deficit Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Tehran.
24. Skinner, R. H., J. D. Hanson and J. G. Benjamin. 1999. Nitrogen uptake and partitioning under alternate- and every furrow irrigation. *Plant and Soil* 210: 11-20.
25. Unknown. 2018. Production Costs of Agricultural Products on 2017 Crop Year. Annual Report of Agronomy Section. Organization of Agriculture- Jahad in Khorasan Razavi Province.
26. Wang, H., F. Liu, M. N. Andersen and C. R. Jensen. 2009. Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes. *Irrigation Science* 27: 443-448.
27. Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen and S. Guo. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences* 14(4): 7370-7390.
28. Wang, Z., F. Liu, S. Kang and C. R. Jensen. 2012. Alternate partial root- zone drying irrigation improves nitrogen in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Environmental and Experimental Botany* 75: 36-40.

29. Yazar, A., F. Gokcel and M. Sezen. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant, Soil and Environment* 55: 494-503.
30. Zegbe, J., M. Behboudian and B. Clothier. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. *Agricultural Water Management* 68: 195-206

Effects of Dynamic and Static New Deficit Irrigation Strategies on the Yield and Water Productivity of Two Field Grown Corn Cultivars

M. Mokari^{1*}, H. Dehghan¹ and M. Taherian²

(Received: January 24-2019 ; Accepted: May 11-2019)

Abstract

In order to investigate the effect of new deficit irrigation strategies on the quantitative characteristics and water productivity of two field grown corn cultivars, a split plot experiment was conducted as a randomized design in three replications. The irrigation treatments included full irrigation treatment (FI), static deficit irrigation (SDI), dynamic deficit irrigation (DDI), static partial root zone drying irrigation (SPRD), which received 75% of ET during the growth period, dynamic partial root zone drying irrigation (DPRD), which received 90% of ET in the first one- third of the growth period, 75% of ET in the second one- third of growth period, and 50% of ET in the last one- third of the growth period. The results showed that there were significant differences between irrigation strategies. The SDI, DDI, SPRD and DPRD irrigation treatments decreased the corn yield by 18%, 27%, 49% and 53%, as compared to FI, respectively. The results also showed that there were no significant differences between cultivars. Compared to FI, the SDI increased WP by 14%, but DDI, SPRD and DPRD decreased WP by 3%, 19% and 44%, respectively. According to economic analysis, irrigation optimum depth for the maximum net profit was obtained to be 858.5 mm. In general, the SDI strategy is recommended in the study area.

Keywords: New deficit irrigation strategies, Optimized irrigation depth, Production function, Water use productivity

1. Department of Water and Science Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

2. Natural Resources and Agricultural Research, Kashmar, Iran

*: Corresponding author: mehdimokari@gmail.com