مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۳/ شماره ۲/سال ۱۳۹۱/ص ٥٦-۳۹

به‌گزینی برنامهٔ تک‌آبیاری و تاریخ کاشت برای جو در شرایط دیم مراغه و تخمین تابع تولید

علیرضا توکلی[*,**]

[*] نگارنده مسئول، نشانی: شاهرود کیلومتر ۳ جاده بسطام مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)، پیام‌نگار: art.tavakoli@gmail.com

[**] عضو هیات علمی (استادیار پژوهش) بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۷

چکیده

به منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و سطوح تک‌آبیاری بر عملکرد دو رقم جو دیم، تحقیقی بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت اسپلیت پلات در سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۸۵-۱۳۸۳) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم، مراغه به اجرا درآمد. سه تاریخ کاشت (کرت اصلی) و پنج مدیریت تخصیص تک‌آبیاری (کرت فرعی) برای دو رقم جو (کرت فرعی فرعی) بررسی شد. عملکرد دانه، کاه و کلش و عملکرد زیست توده در شرایط گزاره‌های مختلف تک‌آبیاری برای ارقام جو دیم بررسی شد. تابع تولید جو در شرایط کل آب کاربردی (مجموع بارش و آب آبیاری) برآورد شد. هر چند رابطهٔ آب کاربردی – عملکرد یک رابطهٔ خطی است اما تفاوت اثربخشی زمان تخصیص و کاربرد آب آبیاری را بیان می‌کند. بر اساس نتایج این تحقیق و با در نظر گرفتن تاثیر شاخص روز- درجه رشد با اعمال آبیاری محدود پاییزه و نیز تغییرات عملکرد دانه و کاه و کلش، نشان داده شد که مناسب‌ترین برنامهٔ آبیاری محدود ارقام جو دیم شامل: تک‌آبیاری زمان کاشت و یک آبیاری حداقل در طول دورهٔ ظهور سنبله تا گل‌دهی به عنوان برنامهٔ آبیاری بهاره برای ارقام جو دیم است. اثربخشی تک‌آبیاری زمان کاشت در استقرار گیاه، جلو افتادن دورهٔ رشد، پنجه‌زنی گیاه و کاهش اثر خسارت سرما، زودرسی و بهبود اجزای عملکرد و عملکرد محصول است. میزان افزایش عملکرد در این شرایط (میانگین ۳۷۹٤ کیلوگرم در هکتار) افزون بر سه برابر شرایط دیم (میانگین ۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار) است. افزایش عملکرد ناشی از تک‌آبیاری بهاره نسبت به شرایط دیم، بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است و این افزایش عملکرد ناشی از بهبود ظرفیت آب خاک در فاز زایشی و بهبود اجزای عملکرد (خصوصاً وزن هزار دانه) است. بنابراین وقتی که حد بهینه تک‌آبیاری با مدیریت مناسب زراعی ترکیب شود، عملکرد جو به طور چشمگیر افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

تخصیص آب، تک‌آبیاری بهاره، تک‌آبیاری زمان کاشت، عملکرد

مقدمه

به دلیل شرایط خاص زراعت دیم که متأثر از تغییرات مکانی – زمانی میزان و پراکنش بارندگی‌هاست و نیز به دلیل تطابق نداشتن بارندگی‌ها با دورهٔ رشد و نمو محصولات دیم، عملکرد و تولید در این بخش اندک و دچار نوسان و ناپایداری است. از جمله مدیریت‌های مناسب و مؤثر در افزایش و ایجاد ثبات تولید در زراعت دیم، تعیین زمان و میزان بهینهٔ تک‌آبیاری برای ارقام مناسب است. در واقع، اصلی‌ترین مسئله در زراعت دیم مناطق سردسیر استقرار گیاه در پاییز است که این حالت

یا از طریق بارش مناسب (مقدار و پراکنش) و یا با آبیاری محدود ممکن می‌شود. اولین بارندگی مؤثر پاییزه در مناطق سردسیر، از جمله آذربایجان‌شرقی، در آبان‌ماه به وقوع می‌پیوندد، لذا هم‌زمان با سرد شدن هوا، امکان سبز شدن و استقرار کامل گیاه و استفاده از بارش‌های پاییزی از دست می‌رود و حتی در صورت سبز شدن گیاه و نرسیدن به مرحلهٔ پنجه‌زنی، احتمال خسارت سرما شدید خواهد بود.

در منابع مختلف، برای جوانه‌زنی و ادامه رشد (صفر گیاهی) گندم و جو، صفر درجهٔ سلسیوس (FAO, 2010) و ۵-۳ درجهٔ سلسیوس (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1975) ذکر شده است. دیگر مراحل حساس رشد، مرحلهٔ پایانی رشد (گل‌دهی تا رسیدن) است که ممکن است آخرین بارندگی مؤثر بهاره، زودتر از روال معمول خاتمه یابد و در مرحلهٔ حساس پایانی رشد گیاه، یعنی مرحلهٔ ظهور سنبله و گل‌دهی که حساس‌ترین مرحله نسبت به تنش آب است (Asadi *et al*., 2003)، رطوبت کافی برای تشکیل و پر شدن دانه وجود نداشته باشد. بسته به شرایط منطقه‌ای این مراحل حساس، ممکن است بیشتر در زمان کاشت یا مرحلهٔ گل‌دهی بروز کند و بر عملکرد شدیداً تأثیر بگذارد (Tavakoli *et al*., 2000, 2010). بنابراین یک مرتبه آبیاری در زمان کاشت (پاییز) و قبل از سرد شدن هوا برای بهبود شرایط زمان کاشت و یا یک نوبت آبیاری در بهار برای ایجاد ذخیرهٔ رطوبتی کافی برای حصول عملکرد مطلوب و تثبیت آن، مفید و موثر است (Tavakoli & Oweis, 2004; Tavakoli, 2007).

جو پس از گندم مهم‌ترین محصول دیم کشور محسوب می‌شود که ضمن کاربرد در تعلیف دام و تأمین نیازهای انسان، در صنایع تبدیلی نیز کاربرد دارد. از کل سطح زیر کشت سالانهٔ جو در ایران (حدود ۱/۶۴۲ میلیون هکتار)، ۶۳/۸ درصد دیم و ۳۶/۲ درصد آبی و از کل تولید آن (حدود ۳/۱۰۴ میلیون تن) حدود ۶۰/۷ درصد از زراعت آبی و بقیه از دیم حاصل می‌شود. متوسط ۲۶ ساله عملکرد گندم و جو دیم کشور به ترتیب ۸۲۹ و ۸۴۱ کیلوگرم در هکتار و متوسط ۲۶ ساله عملکرد گندم و جو آبی کشور به ترتیب ۲۸۴۱ و ۲۵۷۹ کیلوگرم در هکتار است (Anon, 2007).

رقم غلات دیم از جمله عواملی است که در بهینه‌سازی مصرف آب کاربردی مؤثر است. اصلاح نژاد و انتخاب ارقام و واریته‌های زراعی برای بهبود بهره‌وری از آب و استفاده از بهترین ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط منطقه‌ای، می‌تواند سبب بهبود استفاده از آب خاک و افزایش بهره‌وری آب مصرفی شود (Studer & Erskine, 1999). دانستن مشخصات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک گیاهان و گونه‌ها برای شرایط محیطی و به ویژه بر اساس الگوی آب قابل جذب، در تحقیقات محلی برای تعیین عکس‌العمل آنها به آبیاری بسیار اهمیت دارد (Studet & Erskine, 1999). اکثر زارعین کشاورزان جو را در خاک‌های فقیر و بدون مصرف هیچ‌گونه کود می‌کارند؛ این روش تولید به خصوصیات جو برمی‌گردد که گیاهی است با درجهٔ سازگاری گسترده، و در مقایسه با گندم مقاومت بیشتری نسبت به خشکی و بیماری‌ها دارد و در شرایط نامساعد و برابر با گندم، عملکرد بیشتری خواهد داشت. اما در ارتباط با سرما، جو نسبت به گندم حساس‌تر است. واکنش متفاوت ارقام در برابر تغییرات محیطی مسأله‌ای است که در انتخاب واریته‌های اصلاح شده باید مورد توجه قرار گیرد و برای هر محیط، رقم یا ارقام خاص تهیه و معرفی شود. میزان تولید محصول در شرایط اقلیمی مختلف، فقط به آبیاری و تاریخ کاشت بستگی ندارد بلکه رقم نیز بسیار مؤثر است (Aggrawal & Karla, 1994; Anderson, 1985; Guy *et al*., 1995; Oweis *et al*., 1998 & 2001).

بهبود و افزایش عملکرد دانهٔ جو، تعیین حد بهینه‌ای از زمان و میزان تک‌آبیاری برای جو، و نیز تخمین تابع تولید جو در شرایط مختلف از لحاظ مقدار آب کاربردی (بارش و آب آبیاری) از اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه (عرض جغرافیایی '۱۵ °۳۷ شمالی، طول جغرافیایی '۱۵ °۴۶ شرقی و ارتفاع ۱۷۲۵ متر) به مدت دو سال زراعی (۸۵-۱۳۸۳) اجرا شد. خاک محل آزمایش عمیق و دارای رس نرم است و نتیجهٔ تجزیه نمونهٔ خاک ایستگاه نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک ۰/۴۹- ۰/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر، واکنش گل اشباع (pH) ۷/۴ - ۷/۲، کربن آلی ۰/۵۴- ۰/۵۲ درصد، نیتروژن ۰/۰۶۳- ۰/۰۶۱ درصد، فسفر قابل جذب ۸/۲-۷/۷ ppm، پتاسیم قابل جذب ۵۶۵-۴۸۵ ppm و مقدار شن، سیلت و رس نیز به ترتیب ۲۲، ۳۲، و ۴۶ درصد است. میانگین رطوبت حجمی ظرفیت زراعی، پژمردگی دایم و جرم‌مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۳۸، ۲۰ درصد و ۱/۱۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد. بنابراین متوسط آب قابل استفاده در یک متر عمق خاک برابر ۱۸۰ میلی‌متر است. میزان بارش در سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ به ترتیب برابر ۳۸۰ و ۳۸۲ میلی‌متر بود. با توجه به تجزیه خاک محل آزمایش، نیتروژن و فسفر تأمین شد. کل فسفر از منبع سوپرفسفات‌تریپل و دو سوم نیتروژن از منبع نیترات‌آمونیم و قبل از کاشت به فواصل ۱۷/۵ سانتی‌متر و در عمق ۸-۷ سانتی‌متر با دستگاه جان‌شیرر جایگذاری شد. یک‌سوم دیگر نیتروژن (از منبع اوره) در اوائل بهار به صورت سرک مصرف شد. با توجه به وزن هزار دانه ارقام جو و بر مبنای ۴۰۰ دانه در مترمربع، میزان بذر هر کرت فرعی تعیین شد. پس از ضدعفونی کردن بذر با قارچ‌کش، به کمک بذرکار آزمایشی وینتراشتایگر عملیات کشت شروع شد. فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۶-۴ سانتی‌متر بود.

قالب آماری پژوهش بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت اسپلیت پلات و در سه تکرار به اجرا درآمد. سه تاریخ کاشت (به عنوان کرت اصلی) شامل: اوایل مهر (early)، اواسط مهر (normal) و اواخر مهر (late)، پنج مدیریت تخصیص آب از طریق تک‌آبیاری (کرت فرعی) شامل: I_0 بدون آبیاری (شرایط دیم)، I_{50} تک‌آبیاری به میزان ۵۰ میلی‌متر در زمان کاشت، I_{100} تک‌آبیاری به میزان ۱۰۰میلی‌متر در زمان کاشت، $I_{50\%}$ فقط یک مرتبه آبیاری با تأمین ۵۰ درصد کمبود از ظرفیت زراعی در بهار و $I_{100\%}$ فقط یک مرتبه آبیاری با تأمین ۱۰۰ درصد کمبود از ظرفیت زراعی در بهار و برای دو رقم جو (کرت فرعی فرعی) در نظر گرفته شد. ارقام جو عبارت بودند از: V1: رقم آبیدر (Yesevi-93) و V2: لاین Dayton.

آبیاری به صورت سطحی و از طریق انتقال آب با لوله و شیلنگ و کنترل دقیق با کنتور حجمی صورت گرفت و برای دستیابی به توزیع مناسب، آبیاری در کرت از طریق لوله سوراخ‌دار متحرک دستی انجام شد، به نحوی که آب از طریق منافذ تعبیه شده به فواصل ۴-۳ سانتی‌متری روی لولهٔ پلی‌اتیلن ۶۳ میلی‌متری و به طول ۴ متر و با حرکت دستی یکنواخت در سطح کرت، پخش شد. تیمارهای آبیاری (پاییزه و بهاره) برای مقایسه با شرایط دیم (بدون آبیاری) در هر یک از تاریخ‌های کاشت اعمال شد. اضافه بر اندازه‌گیری آب کاربردی با کنتور حجمی دقیق، رطوبت خاک نیز قبل از کاشت و پس از آبیاری اندازه‌گیری شد. مساحت برداشت در تیمار فرعی (رقم جو) برابر ۳/۶ متر مربع بود. محصول پس از رسیدن فیزیولوژیک با استفاده از کمباین آزمایشی برداشت شد.

عملکرد دانه، کاه و کلش و زیست توده در شرایط گزاره‌های مختلف تک‌آبیاری و تاریخ کاشت برای ارقام جو

دیم بررسی و دلایل اثربخشی آبیاری محدود بر این صفات مطالعه شد. رابطهٔ بین آب کاربردی و عملکرد برای بررسی اثر بخشی زمان و میزان آبیاری محدود بررسی و توابع تولید و روند تغییرات آن به طور مجزا برای تاریخ‌های کاشت زود، نرمال و دیر تعیین شد.

نتایج و بحث

تحلیل داده‌های هواشناسی

ابتدا شرایط آب و هوایی دو سال پژوهش بررسی می‌شود که در جدول‌های ۱ و ۲ بیان شده است. سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ از لحاظ دما (حداقل، میانگین و حداکثر)، بارش، تبخیر و ساعات آفتابی دارای مقادیر کمّی بیشتری نسبت به سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ است. سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ فقط از لحاظ رطوبت نسبی دارای مقادیر کمّی بیشتری است (جدول ۱). اولین بارندگی مؤثر پاییزه در سال اول زراعی در ۲۳ مهرماه و ۱۳-۱۲ آبان ۱۳۸۳ و در سال دوم در ۱۴ و ۱۷ آبان ۱۳۸۴ (جدول ۲) و بارندگی‌های مؤثر بهاره در سال اول در ۱۵-۱۳ اردیبهشت (۲۸/۴ میلی‌متر)، ۲۶-۲۴ اردیبهشت (۱۲/۱ میلی‌متر)، ۳۰-۲۹ اردیبهشت (۷ میلی‌متر) و ۱۲- ۹ خرداد (۸/۴ میلی‌متر) و در سال دوم در ۱۵- ۱۴ اردیبهشت (۲۷/۳ میلی‌متر) و ۱۹- ۱۸ خرداد (۶/۲ میلی‌متر) به وقوع پیوست (جدول۲).

از اولین تاریخ کاشت (۲۲ شهریور) تا ۱۰ آبان، بارش مؤثری برای تیمارهای دیم نه در سال اوّل بارید و نه در سال دوّم، اگرچه بارش‌های پراکنده برای تیمارهای تک‌آبیاری شده، مؤثر بوده است.

جدول ۱- خلاصه آمار هواشناسی طی سال‌های تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه

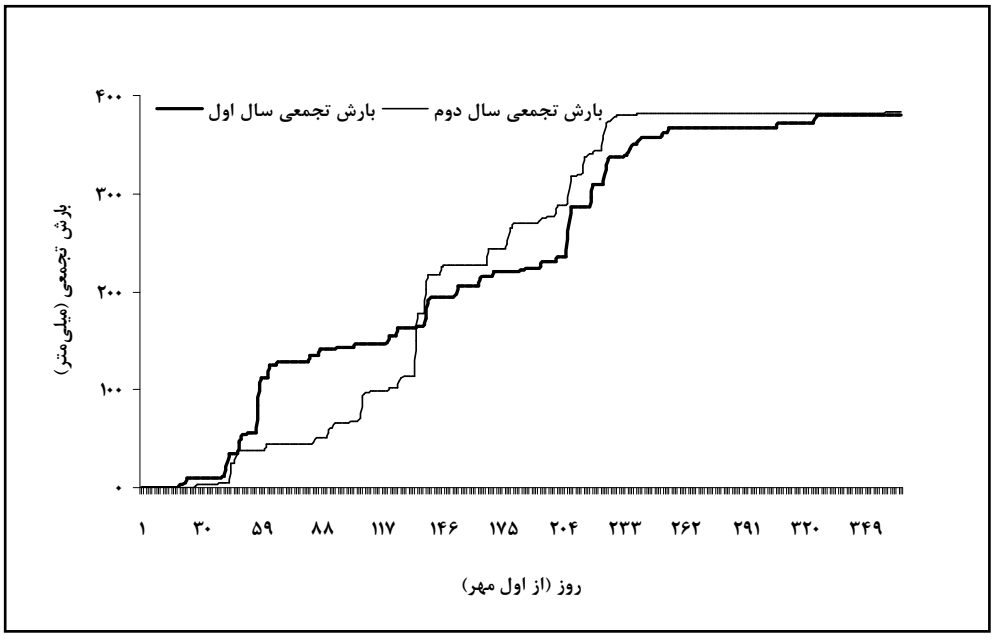
سال زراعی	متوسط دمای کمینه (درجه سلسیوس)	کمینه مطلق دما (درجه سلسیوس)	متوسط دمای بیشینه (درجه سلسیوس)	بیشینه مطلق دما (درجه سلسیوس)	متوسط دما (درجه سلسیوس)
۱۳۸۳-۸۴	۳/۳	-۲۲/۵	۱۴/۵	۳۵/۴	۸/۹
۱۳۸۴-۸۵	۵	-۲۵/۵	۱۵/۶	۳۶/۲	۱۰/۳
	تبخیر از تشت (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)	ساعات آفتابی	بارش (میلی‌متر)	
۱۳۸۳-۸۴۲	۱۶۳۷	۵۹/۵	۸/۱	۳۸۰	
۱۳۸۴-۸۵	۱۷۹۸	۴۹/۲	۸/۲	۳۸۲	

جدول۲- وضعیت بارش‌های اولین بارش پاییزه و آخرین بارش‌های بهاره (بیشتر از ۵ میلی‌متر)

بارش‌های پاییزه تا اولین بارش بیشتر از ۵ میلی‌متر		بارش‌های بهاره (بیشتر از ۵ میلی‌متر)			
۱۳۸۳-۸۴		۱۳۸۴-۸۵		۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵
۲۳ مهر	۶/۲ میلی‌متر	۱۴ آبان	۲۰ میلی‌متر	۱۵-۱۳ اردیبهشت ۲۸/۴ میلی‌متر	۱۵-۱۴ اردیبهشت ۲۷/۳ میلی‌متر
۱۳-۱۲ آبان	۲۲ میلی‌متر	۱۷ آبان	۱۳ میلی‌متر	۲۶-۲۴ اردیبهشت ۱۲/۱ میلی‌متر	۱۹-۱۸ اردیبهشت ۶/۲ میلی‌متر
				۳۰-۲۹ اردیبهشت ۷ میلی‌متر	
				۱۲-۹ خرداد ۸/۴ میلی‌متر	

بارش در نیمهٔ دوم پاییز و سه ماههٔ زمستان دارای نوسانات چشمگیری است، اما آنچه مهم است وجود بارش مناسب در فروردین‌ماه هر دو سال و روند کاهشی آن در اردیبهشت و ناچیز شدن میزان بارش از نیمهٔ دوم اردیبهشت به بعد در هر دو سال است. بارش زمستانی سال اول بیشتر از سال دوم است اما به دلیل اینکه اثر بخشی بارش‌های بهاره بیشتر از بارش‌های زمستانه است، لذا انتظار می‌رود وضعیت تولید در سال دوم بیشتر باشد. زمان وقوع بارش در پاییز، نه در سال اول مطلوب است و نه در سال دوّم، امّا بارش‌های بهاری در سال دوّم نرمال‌تر محسوب می‌شود (شکل ۱). در هر دو سال، تأخیر در اولین بارش مؤثر منجر به سبز ناقص پاییزه شد و تک‌آبیاری زمان کاشت، با جلو انداختن رشد و استقرار محصول، عملکرد محصولات دیم را به شدت تحت تأثیر قرار داد. یکی از پارامترهای مهم در زراعت دیم، بهره‌گیری توأمان از بارش و دما است که اثربخشی دما در قالب شاخص روز- درجه‌رشد تجلی پیدا می‌کند، تاخیر در بارش پاییزه سبب می‌شود که اثربخشی دمای پاییزی کاهش یابد. شدت رشد گیاه تابعی از دما است و شاخص روز- درجه‌رشد تعریفی از رشد فنولوژیک و تابعی از دمای تجمعی محیط پیرامون است (Ojeda-Bustamante *et al*., 2004).

بررسی نوسانات دمای ماهانه دو سال آزمایش (دورهٔ رشد و نمو محصول) نشان می‌دهد که متوسط دمای سالانه در سال دوم بیشتر از سال اول است، و با دارا بودن متوسط دمای حداکثر بیشتر، زمستان سردتری را نیز به همراه داشته است. در واقع سال دوم هم ماه‌های سردتری داشت و هم بهار و تابستان نسبتاً گرم‌تر. زمستان سرد در صورت نبود پوشش برف، سبب خسارت جدی به محصول و سرمازدگی آن می‌شود. حداکثر دما در سال اول ۳۵/۴ درجه سلسیوس و در سال دوم ۳۶/۲ درجه سلسیوس بوده است. حداقل مطلق دمای سال دوم پایین‌تر است (۲۵/۵- در مقابل ۲۲/۵- درجه سلسیوس).



شکل ۱- بارش تجمعی دو سال پژوهش و نوسانات میزان و پراکنش آن طی زمان.

علت خسارت سرما به تیمار تک‌آبیاری تاریخ کاشت سوم و تیمار دیم که با تأخیر در جوانه‌زنی و سبز شدن محصول همراه بود، همین شدت سرما و سبز اندک پاییزه بوده است. از مجموع آنچه گفته شد برمی‌آید که شاخص روز- درجه‌رشد و تأمین‌شدن آن برای محصول نقش مؤثری در تکامل رشد، افزایش بهره‌وری از تاریخ کاشت و نهاده‌ها از جمله تک‌آبیاری، رقم و حصول عملکرد بیشتر دارد.

تاریخ کاشت در شرایط دیم، نوعی ایجاد تعادل بین احتمال وقوع بارش‌های مؤثر و حداکثر بهره‌گیری از شرایط طبیعی از جمله دما و بارش، با هدف جلو انداختن مرحلهٔ رشد و استقرار محصول است. در شرایط دیم بارش‌های اتفاقی منجر به جوان‌زنی بذر می‌شود و احتمال بروز یک دوره خشکی ممکن است خسارت جدی به محصول وارد کند، از این رو کاشت زودهنگام و بدون توجه به احتمال بالای وقوع بارش، قابل توصیه نیست. البته در دو سال آزمایش بارندگی منجر به جوانه‌زنی بذر و سپس بروز خشکی وجود نداشت و اولین بارش مؤثر با تأخیر به وقوع پیوست. همین تأخیر و سبز ناچیز پس از آن سبب بروز خسارت سرما در تیمارهایی شد که به پنجه‌زنی نرسیده بودند. این استدلال بر اساس تیمار تک‌آبیاری ۵۰ میلی‌متر در تاریخ کاشت اول است.

عملکرد محصول

میانگین عملکرد دانه، کاه و کلش و زیست‌توده (بیوماس) ارقام جو در تاریخ‌های مختلف کاشت و مدیریت‌های مختلف تخصیص تک‌آبیاری در شکل ۲ و جدول ۳ خلاصه شده است.

در شکل ۲ الف عملکرد دانه در تیمار تک‌آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر در هر سه تاریخ کاشت در سطح بالاتری قرار دارد و تاریخ کاشت نرمال برتری نشان می‌دهد. بین تیمارهای آبیاری بهاره تفاوتی مشاهده نمی‌شود که بیانگر کفایت بخشی از کمبود رطوبت خاک در بهار است. عملکرد دانه بین تاریخ‌های متفاوت کاشت تفاوت ندارد لذا بهتر است تاریخ کاشت در شرایط دیم، خیلی زود یا خیلی دیر انتخاب نشود و مبتنی بر تحلیل احتمال وقوع بارش باشد. در تاریخ کاشت زود، لازم است ذخیره رطوبتی کافی برای تأمین نیاز آبی محصول تا اولین بارش پاییزه ایجاد شود، لذا تک‌آبیاری ۵۰ میلی‌متر نمی‌تواند پذیرفته شود.

بر خلاف گندم، دورهٔ جوانه‌زنی جو تا سر برآوردن آن از خاک و ایجاد پوشش سبز در سطح خاک، طولانی است و در این مدت، به رغم مهیا بودن شرایط رطوبتی و دما، بخشی از رطوبت خاک از طریق تبخیر مستقیم از دست می‌رود. تبخیر مستقیم رطوبت خاک در پاییز و در بهار، پس از استقرار محصول و ایجاد پوشش‌گیاهی در سطح خاک، کاهش می‌یابد. میزان تلفات رطوبت خاک از طریق تبخیر در تیمارهایی که در پاییز آبیاری نشدند یا در تیمارهایی که آبیاری پاییزه منجر به سبز کامل محصول نشد، بیشتر است زیرا مرحلهٔ پنجه‌زنی در این تیمارها در نیمهٔ فروردین صورت می‌گیرد، در حالی‌که در تیمارهایی که سبز کامل پاییزه دارند، پنجه‌زنی در پاییز اتفاق می‌افتد. ارقام جو دارای عکس‌العمل‌های مشابهی نسبت به مدیریت‌های مختلف تخصیص آبیاری محدود هستند. نبود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری بهاره و اندک برتری رقم V2 در شکل ۲ب قابل مشاهده است.

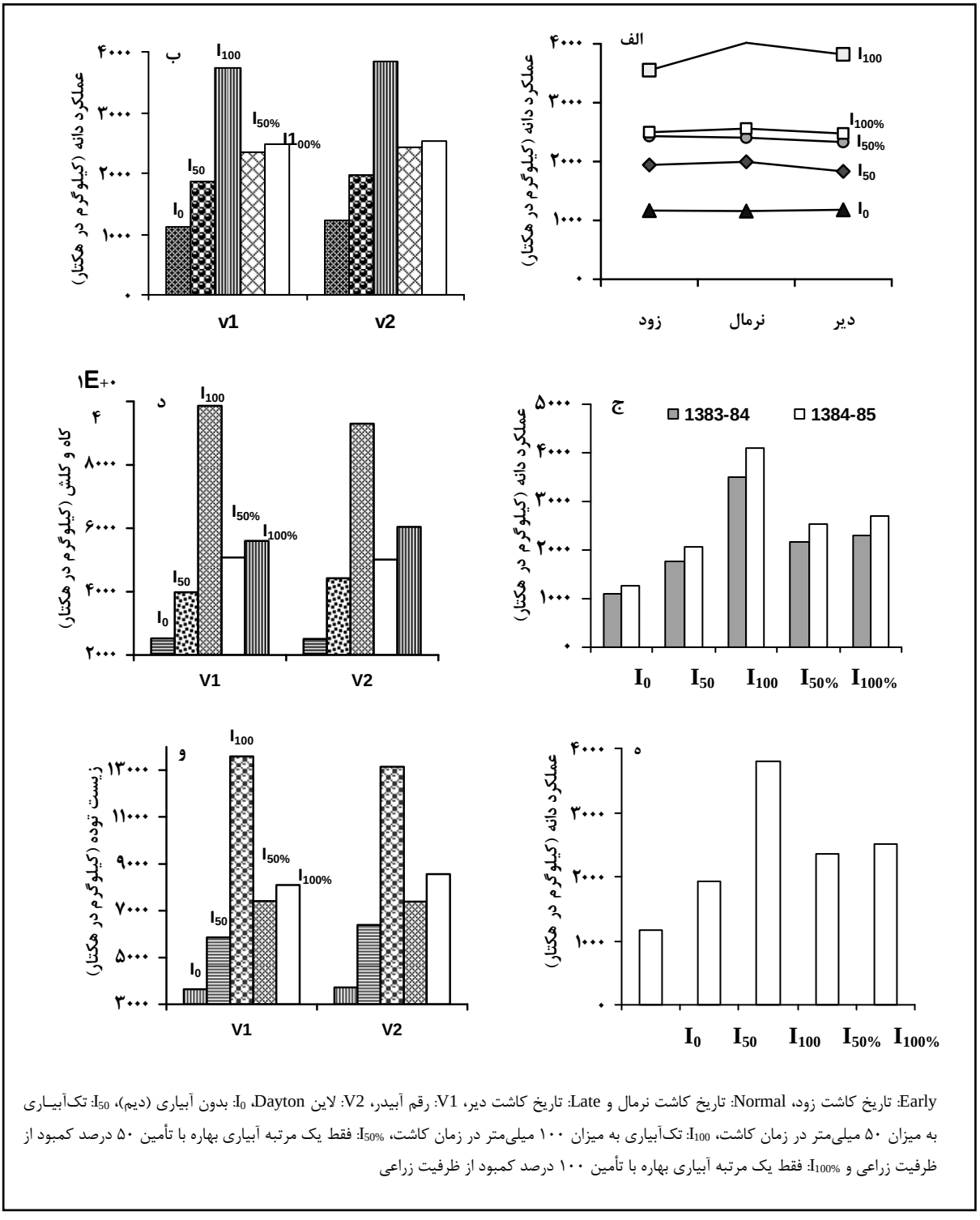
نتایج دو سال آزمایش برای سطوح تک‌آبیاری در تولید دانه هم‌سو است (شکل ۲ج) هر چند سال دوم نسبت به سال اول برتری نشان می‌دهد که علت آن به وضعیت مطلوب‌تر پراکنش بارش در بهار برمی‌گردد.

هم‌سو بودن اثر مدیریت تک‌آبیاری در طول دو سال پژوهش، تصمیم‌گیری مطمئن برای توسعهٔ چنین مدیریتی را در سطح مزارع کشاورزان آسان می‌کند زیرا فارغ از شرایط اقلیمی و پراکنش بارش متفاوت دو سال، اثربخشی تک‌آبیاری دارای یک روند هم‌سو است. اثر مدیریت‌های مختلف تک‌آبیاری بر عملکرد کاه و کلش ارقام جو در شکل ۲د نشان داده شده است.

میزان کاه و کلش بیانگر میزان سبزینه‌ای محصول و سهم تعرق از تبخیر و تعرق و در واقع بخش مفید در فرایند تولید است. اما اگر انرژی گیاه و نهاده‌های به کار رفته، صرف بخش سبزینه‌ای در فاز رویشی شود و گیاه در فاز زایشی با کمبود انرژی مواجه شود، عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. لذا همان طور که در شکل ۲د نیز نشان داده شده است انتظار می‌رفت که رقم V1 (آبیدر) که دارای عملکرد کاه و کلش بیشتری است، میزان عملکرد دانهٔ آن نیز بیشتر از V2 باشد، اما شکل ۲ب چنین انتظاری را نشان نمی‌دهد. علت اصلی آن صرف انرژی بیشتر برای فاز رویشی در رقم آبیدر و محدود شدن دسترسی به رطوبت کافی در بهار و در فاز زایشی است که از طریق اجزای عملکرد (تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلهٔ بارور در واحد سطح و وزن هزار دانه) قابل تحلیل است. اثربخشی تیمارهای آبیاری بر عملکرد در شکل ۲ه نشان داده شده است. مطابق با این شکل در حالی که بیشترین اثر مربوط به کاربرد ۱۰۰ میلی‌متر آب در زمان کاشت است، تفاوت محسوس و معنی‌داری بین مقادیر مختلف کاربرد آب در بهار مشاهده نمی‌شود. شکل ۲و به تغییرات عملکرد زیست توده می‌پردازد که با توجه به وضعیتی که برای عملکرد کاه و کلش حادث شده، قابل توجیه است.

در شرایط دیم، تاریخ‌های متفاوت کاشت، اختلاف محسوسی روی ارتفاع بوته ایجاد نمی‌کند. در این شرایط، تراکم بوته کم‌تر و در نتیجه رقابت برای دریافت آب نیز کم‌تر است و از این رو تک‌بوته‌ها رشد بهتری دارند. اما به رغم بیشتر بودن تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، عملکرد محصول پایین می‌آید، زیرا تعداد سنبله در واحد سطح پایین‌تر است.

در تک‌آبیاری بهاره، نیز چنین روندی حاکم است، با این تفاوت که با اعمال آبیاری بهاره، تعداد سنبله‌های بارور بیشتر خواهد بود و وزن هزار دانه نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه عملکرد دانه نسبت به شرایط دیم افزایش نشان خواهد داد.



Early: تاریخ کاشت زود، Normal: تاریخ کاشت نرمال و Late: تاریخ کاشت دیر، V1: رقم آبیدر، V2: لاین Dayton، I_0: بدون آبیاری (دیم)، I_{50}: تک‌آبیاری به میزان ۵۰ میلی‌متر در زمان کاشت، I_{100}: تک‌آبیاری به میزان ۱۰۰ میلی‌متر در زمان کاشت، $I_{50\%}$: فقط یک مرتبه آبیاری بهاره با تأمین ۵۰ درصد کمبود از ظرفیت زراعی و $I_{100\%}$: فقط یک مرتبه آبیاری بهاره با تأمین ۱۰۰ درصد کمبود از ظرفیت زراعی

شکل ۲- عملکرد دانه و برخی خصوصیات زراعی ارقام جو در شرایط تک‌آبیاری و تاریخ‌های متفاوت کاشت.

در تیمار تک‌آبیاری پاییزه که با استقرار محصول در پاییز همراه است تعداد سنبله در مترمربع بیشتر است و جلو افتادن مرحلهٔ رشد، سبب فرار از تداخل با خشکی آخر فصل و در نتیجه عملکرد بیشتر می‌شود. استمرار رشد در تیمار تک‌آبیاری بهاره، هر چند مزیت محسوب می‌شود اما در صورت افزایش دمای هوا و بروز تنش گرمایی و محدود شدن رطوبت خاک، ممکن است توان مقابله با شرایط بد طبیعی کاهش یابد و چروکیدگی دانه‌ها را به دنبال داشته باشد. اما در تیمارهای تک‌آبیاری پاییزه، دورهٔ رشد محصول حدود ۱۵-۱۰ روز کوتاه‌تر می‌شود و زودرسی محصول را به همراه دارد و در نتیجه به طور طبیعی از مواجهه با تنش رطوبتی آخر فصل فرار می‌کند.

با نگاه به تاریخ مراحل رشد فیزیولوژیک تیمارهای مختلف، این بحث روشن‌تر می‌شود. تاریخ به پنجه رفتن محصول در تیمار دیم و تک‌آبیاری بهاره، نیمه فروردین، زمان ساقه رفتن ۱۵-۱۰ اردیبهشت و زمان گل‌دهی اوائل خرداد بوده است در حالی که پنجه رفتن تیمارهای تک‌آبیاری پاییزه در آبان ماه، ساقه رفتن اوایل اردیبهشت و گل‌دهی نیز اواخر اردیبهشت شروع شده است. این تفاوت زمانی که ناشی از اعمال تک‌آبیاری است، اهمیت بسیار زیادی در برنامه‌ریزی تأمین و تخصیص آب و اصلاح ساختار تولید در زراعت دیم دارد.

تاریخ کاشت با تک‌آبیاری پاییزه، مفهوم جداگانه‌ای از تاریخ کاشت مرسوم است، زیرا تاریخ کاشت در این شرایط با زمان اعمال تک‌آبیاری مفهوم پیدا می‌کند، یعنی به خودی خود فاقد اثر چندانی است. با توجه به جدول ۳، اثربخش نبودن تاریخ کاشت بر عملکرد در شرایط دیم به دلیل نبود بارش موثر در طول این مدت، مشخص می‌شود

در شرایط دیم وقوع بارش‌های پراکنده منجر به جوانه‌زنی بذر خواهد شد و در این حالت ریسک کاشت زود وجود دارد که ممکن است به نابودی کل مزرعه بینجامد. تعیین پاسخ به این پرسش که چه میزان تک‌آبیاری و در چه زمانی و برای کدام رقم، منجر به افزایش عملکرد و کارآیی مصرف آب می‌شود، برنامهٔ بهینه تک‌آبیاری و تخصیص آبیاری محدود را به وجود خواهد آورد.

در کاشت زود، تک‌آبیاری پاییزه ۵۰ میلی‌متری که منجر به جوانه‌زنی بذر و سبز شدن محصول می‌شود، همراه با ریسک و خطر است، زیرا ممکن است فاصلهٔ بین زمان آبیاری ۵۰ میلی‌متری تا اولین بارش موثر، آن‌قدر زیاد باشد که ذخیرهٔ رطوبتی محدود خاک، که به شدت تحت تأثیر تبخیر مستقیم از خاک قرار دارد، کفایت نکند و سبب آسیب به محصول شود. با این حال، تک‌آبیاری ۵۰ میلی‌متری پاییزه، افزایش ۶۸-۶۰ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شرایط دیم موجب شده است یعنی عملکرد از ۱۱۶۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط دیم به ۱۹۴۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است. اما تک‌آبیاری ۱۰۰ میلی‌متری زمان کاشت، با افزایش چشم‌گیر عملکرد، دارای اثربخشی فراوان در هر سه تاریخ کاشت است به طوری که با افزایش ۳/۰۳، ۳/۴۶ و ۳/۲۳ برابری عملکرد نسبت به شرایط دیم به مقادیری در حدود ۴۰۰۰-۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار رسیده است.

در این تیمار، ریسک مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌متری زمان کاشت وجود ندارد و بستر مناسبی برای استقرار و رشد گیاه و رسیدن به مرحله پنجه‌زنی فراهم می‌کند.

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه دو رقم جو در تاریخ‌های متفاوت کاشت و سطوح تک‌آبیاری

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)					
تیمارهای آبیاری	رقم	تاریخ کاشت			متوسط
		زود	نرمال	دیر	
دیم	V1	۱۱۳۲	۱۰۹۸	۱۱۳۱	۱۱۲۰
	V2	۱۲۰۴	۱۲۲۳	۱۲۳۵	۱۲۲۱
متوسط		۱۱۶۸	۱۱۶۱	۱۱۸۳	
تک‌آبیاری ۵۰ میلی‌متری در	V1	۱۹۲۵	۱۹۲۰	۱۷۹۳	۱۸۷۹
پاییز (I_{50})	V2	۱۹۵۵	۲۰۷۰	۱۸۶۷	۱۹۶۴
متوسط		۱۹۴۰	۱۹۹۵	۱۸۳۰	
تک‌آبیاری ۱۰۰میلی‌متری	V1	۳۵۶۵	۳۹۰۷	۳۷۳۵	۳۷۳۶
در پاییز (I_{100})	V2	۳۵۳۳	۴۱۲۵	۳۹۰۰	۳۸۵۳
متوسط		۳۵۴۹	۴۰۱۶	۳۸۱۸	
تک‌آبیاری ۵۰ درصد در بهار	V1	۲۳۸۲	۲۳۸۲	۲۳۰۴	۲۳۵۶
($I_{50\%}$)	V2	۲۴۸۲	۲۴۲۸	۲۳۵۳	۲۴۲۱
متوسط		۲۴۳۲	۲۴۰۵	۲۳۲۹	
تک‌آبیاری ۱۰۰درصد در	V1	۲۴۸۲	۲۵۴۱	۲۴۴۴	۲۴۸۹
بهار ($I_{100\%}$)	V2	۲۵۰۸	۲۵۷۴	۲۵۰۶	۲۵۲۹
متوسط		۲۴۹۵	۲۵۵۸	۲۴۷۵	

در واقع نکتهٔ مهم این است که با توجه به فاصلهٔ زمانی ۴۵-۳۰ روز تا وقوع اولین بارش مؤثر بعد از تاریخ کاشت زود و احتمال خسارت جدی به محصول در اثر تنش خشکی، بهتر است اولین تاریخ کاشت همراه با تک‌آبیاری به میزان ۱۰۰ میلی‌متر باشد تا ذخیرهٔ رطوبتی کافی برای رشد گیاه تا اولین بارش وجود داشته باشد. لذا ضرورتی به بحث در خصوص تک‌آبیاری ۵۰ میلی‌متر در اولین تاریخ کاشت وجود ندارد.

تک‌آبیاری بهاره به میزان تأمین ۵۰ درصد کمبود رطوبت خاک، در شرایطی که محصول در انتهای مرحلهٔ رویشی و ورود به مرحلهٔ زایشی قرار دارد، سبب کنترل تنش رطوبتی و ایجاد ذخیرهٔ رطوبتی مناسب و کافی برای مرحلهٔ زایشی، شکل‌گیری دانه و پر شدن آن می‌شود. عملکرد دانهٔ جو رقم آبیدر و V2 تحت این تیمار ۱/۹۸ و ۲/۱۰ برابر نسبت به شرایط دیم شده است. تک‌آبیاری بهاره به میزان تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک، هر چند افزایش عملکردی مشابه با عملکرد دانه در تیمار تأمین ۵۰ درصد دارد، اما نسبت به این تیمار اثربخشی خاصی نشان نداده و بیانگر این واقعیت است که آب اضافی به کار رفته، مورد نیاز محصول نبوده است و بهره‌وری مناسبی ندارد، لذا نمی‌تواند توصیه شود.

امکان استقرار گیاه و سبز کامل در پاییز و قبل از شروع دورهٔ سرما، بهره‌گیری از بارش‌های پراکندهٔ پاییزی و رسیدن به مرحلهٔ پنجه‌زنی از مهم‌ترین نتایج تک‌آبیاری پاییزه است که با بکارگیری میزان آب مورد کفایت و زمان مناسب، کاهش خسارت سرما، زودرسی محصول و روبه‌رو نشدن با خشکی آخر فصل را به همراه دارد و سبب افزایش عملکرد از طریق میزان درصد سبز و تعداد سنبله در واحد سطح می‌شود. سبز کامل پاییزه و جلو افتادن رشد گیاه روی تأمین نیاز سرمایی گیاه و ورنالیزاسیون

تاثیر دارد و ورنالیزاسیون کامل، خود در تکامل گیاه و افزایش تعداد سنبله‌های بارور و در نتیجه ضمن زودرسی، افزایش عملکرد محصول را به دنبال دارد. با توجه به اینکه دورهٔ زمانی رشد گیاه جلو می‌افتد، می‌توان انتظار داشت که مرحلهٔ زایشی محصول زمانی خواهد بود که هنوز تنش آخر فصل شروع نشده و در نتیجه تعداد سنبله‌های بارور افزایش خواهد یافت.

پوشش سبز گیاه با اعمال تک‌آبیاری پاییزه، سبب کنترل تبخیر سطحی، کنترل رواناب و ذخیره شدن بارش در خاک‌رخ می‌شود که با توجه به شرایط طبیعی و تناوب زراعی حاکم بر زراعت دیم اهمیت فراوانی دارد. درصد سبز بذر در تعداد سنبله در واحد سطح نمایان شده است و با توجه به همبستگی معنی‌دار بین عملکرد دانه با تعداد سنبله در واحد سطح، تولید عملکرد بیشتر از تیمارهای تک‌آبیاری شده، قابل انتظار است. تک‌آبیاری پاییزه سبب توسعهٔ ریشه خواهد شد (Tavakoli *et al*., 2010a) و توسعهٔ ریشه ضمن اینکه باعث افزایش مواد آلی خاک در لایه‌های زیرین می‌شود، جریان ورود آب به خاک را تسهیل و بهره‌گیری از مواد مغذی را میسر می‌کند. ترنر و نیکلاس (Turner & Nicolas, 1987) بدین نتیجه رسیدند که گیاهانی که در مراحل اولیه رشد، اندام‌های هوایی قوی، تولید کنند و از این طریق سیستم ریشه‌ای گسترده‌تری نیز به وجود آورند، بر محدودیت عملکرد و در نتیجه کمبود آب در مراحل نهایی رشد چیره می‌شوند.

زودرس شدن محصول تا ۱۵-۱۰ روز، عامل مهمی در فرار از خشکی و کاهش اثر تنش آخر فصل در مرحلهٔ پرشدن دانه به شمار می‌رود. تاریخ کاشت فاکتور مهمی در افزایش بهره‌وری بارش در زراعت دیم است (Adary *et al*., 2002). تحقیقات انجام شده در اقلیم مدیترانه‌ای استرالیا نشان می‌دهد که تأخیر در کاشت بعد از زمان بهینه بر اساس بارش فصل زراعی به طور چشم‌گیری عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Batten & Khan, 1987; French & Schultz, 1984; O'Leary *et al*., 1985). در قبرس، تحقیقات به‌زراعی نشان داده است که کاشت زود هنگام (نوامبر) بسیار اهمیت دارد (Photiades & Hadjichristodoulou, 1984). در سوریه، با به کارگیری مدل شبیه‌سازی نشان داده‌اند که در سال‌های نرمال به ازای هر هفته تأخیر در تاریخ کاشت بعد از نوامبر، ۴/۲ درصد از میزان عملکرد محصول کاسته خواهد شد (Stapper & Harris, 1989). کاشت به هنگام گندم و جو، در کنترل علف‌های هرز نیز مؤثر است (Oweis *et al*., 1998). نتایج حاصل از تحقیقی در شمال عراق نشان می‌دهد که اولین تاریخ کاشت بالاترین بهره‌وری از آب مصرفی را به دنبال داشته است، به طوری که به ازای هر هفته تأخیر در کاشت برای شرایط دیم و آبیاری تکمیلی به ترتیب ۲۲۰ و ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار افت عملکرد ایجاد می‌شود (Adary *et al*., 2002). در سوریه، به دلیل نتایج مؤثر و توجیه‌پذیر بودن آبیاری تکمیلی، هم اکنون آبیاری تکمیلی بهینه در ۴۰ درصد دیمزارهای گندم دنبال می‌شود (Oweis *et al*., 1998).

جدول ۳ نشان می‌دهد که به خاطر تأخیر در کاشت از تاریخ کاشت نرمال به تاریخ کاشت دیر، عملکرد جو آبیدر و V2 را در شرایط تک‌آبیاری ۱۰۰ میلی‌متری پاییزه به ترتیب ۱۷۲ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار پایین می‌آورد (جدول ۳). افت عملکرد ارقام گندم در اثر تأخیر در کاشت را اویس و همکاران (Oweis *et al*., 1998) در سوریه، آداری و همکاران در عراق (Adary *et al*., 2002) و توکلی و لیاقت (Tavakoli & Liaghat, 2010b) در تحقیقات انجام شده در مراغه گزارش داده‌اند. در شرایط دیم اگر بارش‌های مؤثر زمان کاشت اندک یا نامتناسب باشد، کشاورزان محدودیت بیشتری در کاشت دارند (Photiades & Hadjichristodoulou, 1984) اما یک آبیاری حداقل بعد از کاشت (قبل از بارش‌های مؤثر) که منجر به سبز کامل محصول شود، عملکرد را به طور

مـؤثری افـزایش خواهـد داد (Oweis *et al*., 1998; Tavakoli & Oweis, 2004; Tavakoli *et al*., 2005). در تک‌آبیاری پاییزه، تأخیر در کاشت سبب افت عملکرد و کم‌اثر شدن آبیاری می‌شود. محصولات زمستانه از جمله جو که در مقایسه با گندم نسبت به دمای پایین حساس‌تر هست، اگر فرصت کافی برای رسیدن به مرحله‌ای پیدا نکنند که نسبت به سرما متحمل شوند به طور چشمگیر دچار افت عملکرد می‌شوند.

تک‌آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر در تاریخ کاشت دیر نیز توجیه‌پذیر نیست زیرا با توجه به افت دما و سرد شدن هوا، تأمین نشدن نیاز دمایی گیاه برای رشد، کاهش تبخیر - تعرق و نزدیک شدن به وقوع بارش‌های مؤثر، این میزان آب نمی‌تواند بهره‌وری مناسب داشته باشد و از این رو میزان کم‌تری کفایت خواهد کرد. تحقیقات فراوانی در این زمینه صورت گرفته که این نتیجه را تأیید می‌کنند (Caliandro & Boari, 1992; Tavakoli, 2007; Tavakoli *et al*., 2005). تک‌آبیاری زمان کاشت در جنوب ایتالیا ۱۳۲ درصد عملکرد دانه ارقام گندم را افزایش داده است (Caliandro & Boari, 1992). اما تک‌آبیاری در مرحلهٔ گل‌دهی ارقام گندم فقط افزایش عملکردی به میزان ۲۲-۱۲ درصد در مراغه (Tavakoli *et al*., 2000) و ۲۳ درصد در جنوب ایتالیا (Caliandro & Boari, 1992) در پی داشته است.

اثر سطوح مختلف آبیاری تکمیلی بر ژنوتیپ‌های جو در ایکاردا بررسی شد و با ۱۸۶ میلی‌متر بارش سالیانه، در حالی که عملکرد شرایط دیم ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار بود با ۳۳، ۶۶، و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل، عملکرد دانه جو به ترتیب به ۱۸۹۰، ۴۲۵۰ و ۵۱۷۰ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد (Anon, 1989). بیشترین عملکرد در این پژوهش مربوط به ژنوتیپ Rihane-3 بوده که در شرایط دیم، ۳۳، ۶۶، و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل میزان تولید به ترتیب ۲۲۰، ۲۷۰۰، ۴۷۵۰ و ۶۷۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (Anon, 1989). یک‌بار آبیاری دو رقم جو در زمان کاشت توام با ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص بیشترین میزان عملکرد را به همراه داشته است (Haghighati-Maleki, 1998).

عظیم‌زاده (Azim-Zadeh, 2005) نیز طی پژوهشی در شمال خراسان به بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد جو دیم پرداخت و نشان داد که بیشترین عملکرد زمانی به دست آمد که ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه با آبیاری زمان کاشت به کار رفته بود.

طی مطالعه‌ای در سه منطقهٔ مراغه و هشترود نشان داده شد که در شرایط دیم، جو رقم آبیدر نسبت به رقم شاهد سهند دارای عملکرد بیشتری است (Ansari, 1999) ولی در مطالعه‌ای دیگر در همین منطقه گزارش شده است که ارقام جو با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند و رقم سهند با ۸۲۲ کیلوگرم در هکتار نسبت به ارقام آبیدر و قره‌آرپا برتری دارد (Noormand-Moayed, 2000). طلیعی (Tallie, 2005) نشان داد که مناسب‌ترین زمان برای یک نوبت آبیاری در زراعت جو دیم در شرایط کرمانشاه، اواخر اردیبهشت ماه است و با مصرف ۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نسبت به تیمار شاهد، عملکرد جو حدود ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت.

زمان مناسب یک نوبت آبیاری در زراعت جو دیم در شرایط کرمانشاه بر اساس تحلیل جنبه‌های فیزیولوژیک رشد محصول و شرایط بارش‌های بهاری تعیین شده است. حتی کاربرد آب شور با غلظت‌های متفاوت نمک (البته با رعایت ملاحظات مربوطه) نیز می‌تواند برای آبیاری تکمیلی گندم و جو به کار رود؛ نشان داده شد که دراین حالت فقط ۲۱ درصد از عملکرد جو و ۲۵ درصد از عملکرد گندم، نسبت به زمانی که آب آبیاری بدون مشکل شوری به کار می‌رود، کاهش می‌یابد (Hamdy *et al*., 2005).

تخمین تابع تولید

تخمین رابطهٔ آب کاربردی – عملکرد می‌تواند اثر بخشی زمان و میزان آبیاری محدود را نمایان سازد. بر این اساس، تابع تولید و روند تغییرات آن به صورت یک تابع خطی (رابطه ۱ و شکل ۳ الف) و به طور مجزا برای تاریخ‌های کاشت زود (رابطهٔ ۲ و شکل ب)، نرمال (رابطهٔ ۳ و شکل ۳ج) و دیر (رابطهٔ ۴ و شکل ۳د) به صورت توابع درجه‌سه به‌دست آمد که عبارت‌اند از:

$$Yield = -7243.3 + 22.053WU \qquad R^2 = 0.719 \qquad (۱)$$

$$Yield = -1179674 + 8290.53WU - 19.35WU^2 + 0.015034WU^3 \quad SE = 242.08 \quad R^2 = 0.957 \qquad (۲)$$

$$Yield = -1448840 + 10206.23WU - 23.88WU^2 + 0.0156WU^3 \quad SE = 269.6 \quad R^2 = 0.963 \qquad (۳)$$

$$Yield = -1339828 + 9449.54WU - 22.139WU^2 + 0.01726WU^3 \quad SE = 277.2 \quad R^2 = 0.955 \qquad (۴)$$

ضریب همبستگی معادلهٔ خطی نسبت به معادلات دیگر کمتر است و روابط ۲ تا ۴ به خوبی قادر به برآورد عملکرد هستند.

نکات مهمی که از روابط فوق و شکل ۳ قابل دریافت است، عبارت‌اند از:

۱- اثربخشی تک‌آبیاری سنگین در زمان کاشت که در تمام تیمارها قابل مشاهده است.

۲- مقدار آب کاربردی آبیاری سبک بهاره از آبیاری ۵۰ میلی‌متری زمان کاشت کمتر اما اثربخشی آن بیشتر است.

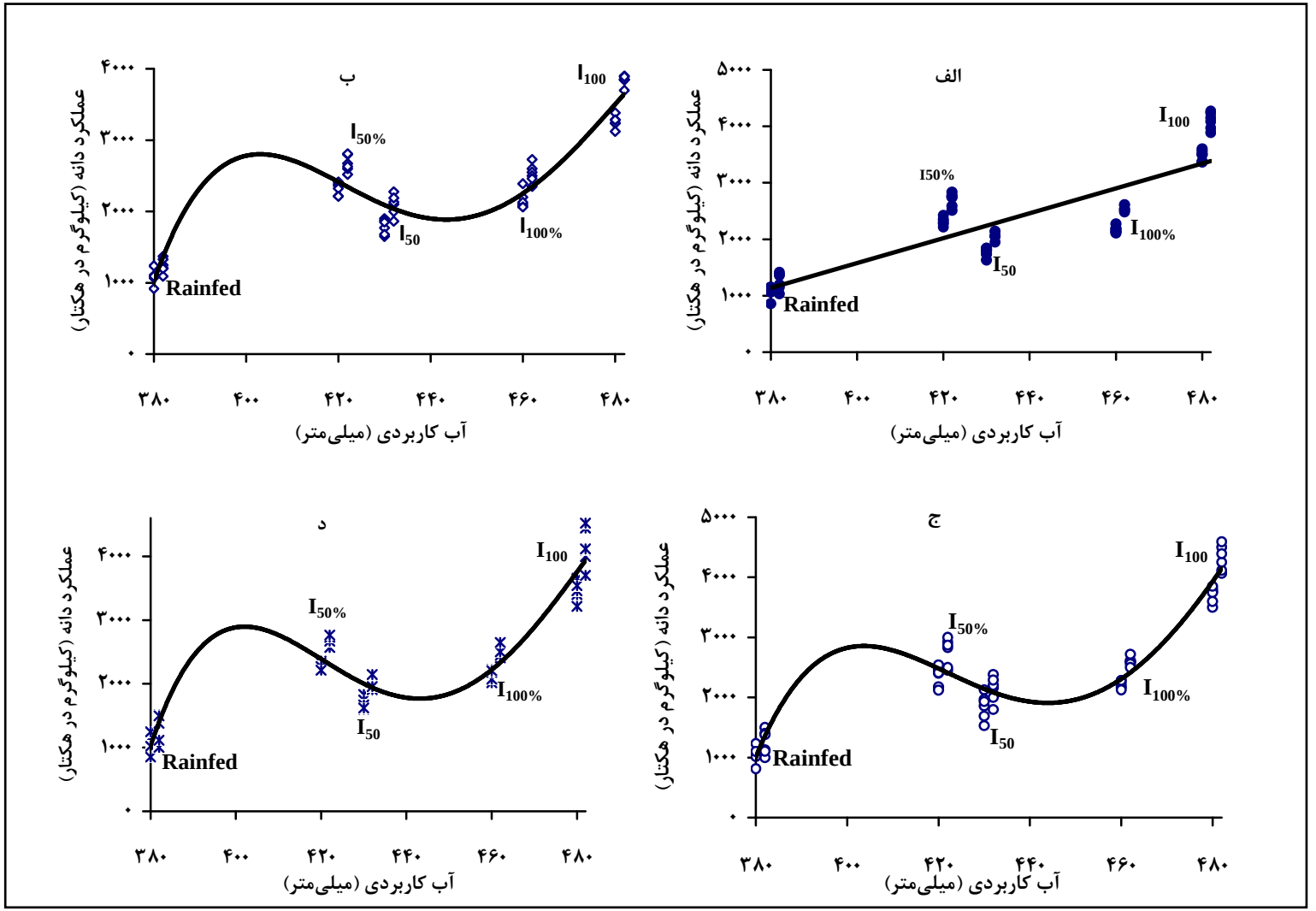
۳- از مقایسه تک‌آبیاری‌های بهاره ($I_{100\%}$ و $I_{50\%}$) قابل مشاهده است که آبیاری سبک بهاره کفایت می‌کند و ضرورتی به تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک نیست.

۴- تفاوت سال را که عمدتاً ناشی از پراکنش بارش است می‌توان در شکل‌ها دید. در سال دوم میزان عملکرد ارقام جو بیشتر بوده است.

۵- روابط استخراج شده ضریب همبستگی بالایی دارند و شرایط و تیمارهای به کار رفته را می‌توانند توجیه کنند.

نتیجه‌گیری

تابع تولید جو در شرایط مقدار کل آب کاربردی (مجموع بارش و آب آبیاری) برآورد شد. رابطهٔ خطی آب کاربردی – عملکرد مبین تفاوت اثربخشی زمان تخصیص و کاربرد آب آبیاری است. بر اساس نتایج این تحقیق، مناسب‌ترین برنامهٔ آبیاری محدود ارقام جو دیم شامل: تک‌آبیاری زمان کاشت و یک آبیاری حداقل در طول دورهٔ ظهور سنبله تا گل‌دهی به عنوان برنامهٔ آبیاری بهاره برای ارقام جو دیم است. اثربخشی تک‌آبیاری زمان کاشت در استقرار گیاه، جلو افتادن دورهٔ رشد، پنجه‌زنی گیاه و کاهش اثر خسارت سرما، کنترل تبخیر از سطح خاک به خاطر وجود پوشش سبزینه‌ای مناسب، زودرسی و بهبود اجزای عملکرد و عملکرد محصول است. افزایش عملکرد ناشی از تک‌آبیاری بهاره نسبت به شرایط دیم، ناشی از بهبود ظرفیت آب خاک در فاز زایشی، جلوگیری از چروکیدگی بذر و بهبود اجزای عملکرد (خصوصاً وزن هزار دانه) است. بنابراین، عملکرد جو دیم هنگامی که حد بهینه‌ای از زمان و میزان تک‌آبیاری با مدیریت مناسب زراعی تلفیق می‌شود، به طور چشمگیر افزایش می‌یابد.



شکل ۳- تخمین توابع تولید ارقام جو در شرایط دیم و تک‌آبیاری.

قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی شماره ۸۴۰۰۱-۰۰۰۰-۰۶-۰۰۰۰-۲۳-۰۲۲-۲ است که با اعتبارات و امکانات موسسه تحقیقات کشاورزی دیم اجرا گردید، بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

Adary, A., Hachum, A., Oweis, T. and Pala, M. 2002. Wheat productivity under supplemental irrigation in northern Iraq. On-Farm Water Husbandry Research Report Series. No. 2. ICARDA. Aleppo. Syria.

Aggarwal, P. K. and Karla, N. 1994. Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, and water and nitrogen availability on productivity of water: II. Climatically potential yields and management strategies. Field Crops Res. 38, 93-103.

Anderson, W. K. 1985. Differences in response of winter cereal varieties to applied nitrogen in the field: I. some factors affecting the variability of response between sites and seasons. Field Crops Res. 11, 363-367.

Anon, 1989. Farm Resource Management Program Annual Report for 1989. ICARDA. Aleppo. Syria.

Anon. 2007. Agro-Statistical. Jihed-E-Agriculture. Iran. (in Farsi)

Anon. 2010. Aqua Crop-the FAO crop model to simulate yield response to water. FAO. Ver. 3.1.

Ansari, Y. 1999. Study yield of advanced lines of rainfed barley under on farm condition. Research Report. Dryland Agric. Res. Inst. (DARI). Iran. (in Farsi)

Asadi, H., Neishaboori, M. R. and Siadat, H. 2003. Evaluating the wheat response factor to water (Ky) in different growth stages in Karaj. Iranian. J. Agric. Sci. 34(3): 579-586. (in Farsi).

Azim-Zadeh, S. M. 2005. Effects of different levels of nitrogen and supplemental irrigation on barley at north of Khorasan. Research Report. Dryland Agric. Res. Inst. (DARI). Iran. No. 84/10138. (in Farsi)

Batten, G. H. and Khan, M. A. 1987. Effect of time of sowing on grain yield, nutrient uptake of wheats with contrasting phenology. Australian J. Agric. Res. 27, 881-887.

Caliandro, A. and Boari, F. 1992. Supplementary irrigation in arid and semi-arid regions. International Conference on Supplementary Irrigation and Drought Water Management. Sep. 27–Oct. 2. Vol. 1. Valenzano-Bari. Italy.

French, R. J. and Schultz, T. E. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment: I. The relation between yield, water use and climate. Australian J. Agric. Res. 35, 743-764.

Guy, S. O., Tablas–Romero, H., and Heikkinen, M. K. 1995. Agronomic responses of winter wheat cultivars to management systems. J. of Prod. Agric. 8, 529-535.

Haghighati-Maleki, A. 1998. Study effect of supplemental irrigation and nitrogen on yield of barley. Research Report. Dryland Agric. Res. Inst. (DARI). . Iran. (in Farsi)

Hamdy, A., Sardo, V. and Farrag-Ghanem, K.A. 2005. Saline water in supplemental irrigation of wheat and barley under rainfed agriculture. Agric. Water Manag.. 78, 122–127.

Mayer, A. M. and Poljakoff-Mayber, A. 1975. The Germination of Seeds. 2nd Ed. Pergmon Press. Elmsford, N.Y. The Mac-Millan Company. New York.

Noormand-Moayed, F. 2000. Study and comparison yield of international winter and facultative barley under rainfed condition. Research Report. Dryland Agric. Res. Instit. (DARI). .Iran. (in Farsi)

O'Leary, G. J., Connor, D. J. and White, D. H. 1985. Effect of sowing time on growth, yield and water use of rainfed wheat in the Winmera, Vic. Australian J. Agric. Res. 36, 187-196.

Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Nack, D. and Carrillo, M. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree day's concept: application to a potato crop. J. Irrig. and Drain. 53, 251-261

Oweis, T., Pala, M. and Ryan, J. 1998. Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean Climate. Agro. J. 90, 672-681.

Oweis, T., Salkini, A., Zhang, H., Ilbeyi, A., Hustun, H., Dernek, Z. and Erdem, G. 2001. Supplemental irrigation potential for wheat in the central Anatolian plateau of Turkey. ICARDA.

Photiades, L. and Hadjichristodoulou, A. 1984. Sowing date, sowing depth, seed rate and row spacing on wheat and barley under dryland conditions. Field Crops Res. 9, 151-162.

Stapper, M. and Harris, H. C. 1989. Assessing the productivity of wheat genotype in a Mediterranean climate, using a crop-simulation model. Field Crops Res. 20, 129-152.

Studer, C. and Erskine, W. 1999. Integrating germplasm improvement and agricultural management to achieve more efficient water use in dry area crop production. International Conference on Water Resource Conversation and Management in Dry Areas. Dec. 3-6. Amman. Jordan.

Tavakoli, A. R., Belson, W. and Ferri, F. 2000. Impacts of supplemental irrigation on advanced lines of wheat. Research Report. Dryland Agric. Res. Instit. (DARI). Maragheh. Iran. (in Farsi)

Tallie, A. A. 2005. Response of rainfed barley (Sararood 1) to supplemental irrigation and nitrogen (on-farm). Research Report. Dryland Agric. Res. Instit. (DARI). Iran. (in Farsi)

Tavakoli, A. R. and Oweis, T. 2004. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. Agric. Water Manag. 65, 225-236.

Tavakoli, A. R. 2007. Determining Optimal Planting Date and Single Irrigation Management for Barley Varieties at Rainfed Condition. Research Report. Dryland Agric. Res. Instit. (DARI). Maragheh. Iran. (in Farsi)

Tavakoli, A. R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H. and Liaghat, A. 2010a. Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. ICARDA. Aleppo. Syria.

Tavakoli, A. R. and Liaghat, A. 2010b. Optimization of Single Irrigation and Sowing Date for Rainfed Wheat Varieties under Dryland Condition. J. Water and Soil Res. 41(2): 179-188. (in Farsi)

Tavakoli, A. R., Oweis, T., Ferri, F., Haghighati, A., Belson, V., Pala, M., Siadat, H. and Ketata, H. 2005. Supplemental Irrigation in Iran: Increasing and Stabilizing Wheat Yield in Rainfed Highlands. On-Farm Water Husbandry Research Report Series. No. 5. ICARDA.

Turner, N. C. and Nicolas, M. E. 1987. Drought resistance of wheat for light textured soils in a Mediterranean climate. In: Srivastava, J.P., Accevedo, E. and Varma, S. (Eds.). Drought tolerance in winter cereals. Chichester. UK.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.13/No.2/2012/P:39-56*

Single Irrigation and Sowing Date for Rainfed Barley in Maragheh Region and Estimation of Production Functions

A.R. Tavakoli*

* Corresponding Author: Assistant professor of Agricultural Engineering Research section, Agricultural Research Center of Semnan Province (Shahrood), Shahrood, Iran. E-Mail: art.tavakoli@gmail.com
Received: 30 April 2011, Accepted: 15 April 2012

This study investigated the effect of sowing date and limited water allocation management for single irrigation on the grain yield of rainfed barley. The experiment was a split-split plot arranged in a randomized complete block design with three replications from 2004 to 2006 at the main station of the Dryland Agricultural Research Institute at Maragheh. The treatments comprised three sowing dates (early, normal, late) and Yesevi-93 (Abidar), and Dayton (URB79-7) barley varieties. The single irrigation allocations tested were rainfed, planting time irrigation (50 mm and 100 mm), and spring irrigation (50% and 100% depletion of available water). Grain, straw and biomass yields were measured. Barley production function was estimated for total water used (sum of precipitation and irrigation water). Generally, there was a linear function between water use and yield and the effectiveness of the amount and time water allocation was evident. Results showed that single irrigation at planting time and limited single irrigation (50% depletion of available water at root zone) at spring time (during heading to flowering stage) had significant effects on yield and water use efficiency. The average grain yield for single irrigation at planting time (3794 $kg.ha^{-1}$) was about 300% more than the average for rainfed (1170 $kg.ha^{-1}$). Single irrigation at planting time caused early crop establishment for autumn and relatively early maturity, which reduced the growing period. The grain yield for spring single irrigation was about 1000 $kg.ha^{-1}$ more than the average rainfed condition. Spring single irrigation improved soil water content and increased yield and yield components (especially thousand kernel wt.). Thus, wheat production can be substantially and consistently increased under cooperative management of limited single irrigation and agronomic management.

Keywords: Single irrigation, Spring single irrigation, Water allocation, Yield