نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دوازدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۱/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۴۹ تا ۱۶۳

اثر مقادیر مختلف آبیاری و روش‌های کاشت بر کارایی مصرف آب، عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم (*Triticum aestivum* L.)

اسماعیل قلی‌نژاد[1*] و علیرضا عیوضی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲)

چکیده

این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی ساعتلوی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی با طول جغرافیایی۴۵ درجه و ۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۵۲ متر از سطح دریا واقع در ۲۵ کیلومتری ارومیه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل مقادیر متفاوت آبیاری در سه سطح (تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ ٪ نیاز خالص آبیاری گیاه) و فاکتور دوم روش کاشت در چهار سطح (کاشت سنتی آبیاری، کاشت سه خط روی پشته (عرض پشته ۳۰ سانتی‌متر)، کاشت ۴ خط روی پشته (عرض پشته ۴۵ سانتی‌متر) و کاشت ۵ خط روی پشته (عرض پشته ۶۰ سانتی‌متر)) بود. نتایج نشان داد بیشترین مقدار کارایی مصرف اقتصادی آب (۱/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، کارایی مصرف زیستی آب (۳/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب)، محتوای کاروتنوئید (۱/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، نسبت کلروفیل a به b (۳/۵۲) و درصد پروتئین دانه (۹/۸۹ ٪) از آبیاری ۵۰٪ نیاز خالص به‌دست آمد. اما حداکثر بیشینه عملکرد دانه (۷۰۹۳/۳۰ کیلوگرم بر هکتار) و عملکرد زیستی (۱۵۲۸۲ کیلوگرم بر هکتار)، کلروفیل a (۱/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۰/۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، مجموع کلروفیل a و b (۲/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و عملکرد پروتئین (۸۰۶/۸۵ کیلوگرم بر هکتار) از آبیاری ۱۰۰٪ نیاز خالص حاصل شد. کاشت سه خط روی پشته، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، کارایی مصرف اقتصادی آب، کارایی مصرف زیستی آب، محتوای کاروتنوئید، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد پروتئین را به‌ترتیب به میزان ۲۹، ۳۳، ۲۹، ۳۳، ۳۸، ۷ و ۳۵٪ افزایش داد. به‌طورکلی بر اساس یافته‌های ما در این پژوهش، کاشت گندم روی پشته از نظر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب نسبت به روش سنتی (کرتی) برتری داشت همچنین کاهش مصرف آب آبیاری تا ۵۰٪ نیاز خالص تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه و زیستی ایجاد نکرد. لذا جهت صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود کارآیی مصرف آب تیمار آبیاری ۵۰٪ نیاز خالص با کاشت سه خط روی پشته پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، عملکرد پروتئین، بهره‌وری آب، کاشت روی پشته، کاروتنوئید

۱. دانشیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. استادیار، بخش تحقیقات نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: e_gholinejad@pnu.ac.ir

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین منابع غذایی است (۳۷). تخمین زده می‌شود که تقاضا برای گندم تا سال ۲۰۵۰ حدود ۶۰٪ افزایش یابد و ممکن است در اثر فشارهای محیطی ناشی از تغییرات آب و هوایی، تولید ۲۹٪ کاهش یابد این پیش بینی‌ها نشان می‌دهد که بهبود تحمل تنش غیرزیستی در گندم برای امنیت غذایی جهانی، در آینده نزدیک بسیار مهم است (۳۳).

برای تأمین ۹/۶ میلیارد جمعیت تا سال ۲۰۵۰، لازم است به عملکرد و تولید بیشتر دست یافت (۱۹). میانگین بارندگی تجمعی سالانه در طول فصل رشد گندم ۳۰۰ میلی‌متر بوده درحالی‌که تبخیر و تعرق ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ میلی‌متر است. بنابراین، بارش برای رسیدن گندم به پتانسیل کامل خود و یا به حداکثر رساندن عملکرد همانطور که توسط مطالعات آبیاری نشان داده شده است کافی نیست. در سال‌های اخیر، با این وجود، بهره‌برداری مستمر از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری در سیستم‌های کشت فعلی منجر به کاهش سطح آب در هر دو سفره عمیق و کم عمق شده است (۲۸ و ۳۸). در عین حال، شیوه‌های ضعیف مدیریت آبیاری منجر به کارایی بسیار کم مصرف آب کشاورزی شده است که هنوز هم وجود دارد و وضعیت بحران آب را بدتر می‌کند (۳۲). بنابراین، توسعه شیوه‌های مدیریت جدید مانند فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب (به عنوان مثال، روش‌های کم آبیاری و الگوهای آبیاری) و الگوهای جدید کاشت برای تولید محصول بیشتر و بهبود کارایی مصرف آب ضروری است.

کارایی مصرف آب از طریق عملکرد دانه و تبخیر و تعرق کل، تحت تأثیر قرار می‌گیرد و صفات موثر بر عملکرد دانه مانند وضعیت آب، خاک و تبخیر و تعرق هم کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند، با این وجود هنگامی که مقدار آب آبیاری بیشتر استفاده شود کارایی مصرف آب به‌دلیل تبخیر و تعرق زیاد کم می‌شود. هدف اصلی در شرایط کمبود شدید آب، افزایش کارایی مصرف آب است (۴۶). بنابراین برنامه‌های کم‌آبیاری تنظیم شده مانند مقدار کم آبیاری نه تنها می‌تواند مشکلات کمبود آب آبیاری را در گندم بر طرف کند (۳۹) بلکه باعث بهبود بازده آبیاری و تولید گیاهان زراعی می‌شود (۱).

روش کاشت می‌تواند بر نحوهٔ سبز شدن و میزان رشد گیاهان زراعی تأثیر بگذارد و به کاهش مصرف آب و افزایش بازده آب آبیاری همراه با افزایش عملکرد زیستی و عملکرد دانه منجر شود (۲۲). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که روش کاشت می‌تواند عملکرد و کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار دهد. روش کاشت درون شیار به‌دلیل آب و دمای بالاتر خاک (۴۱ و ۴۷) باعث افزایش عملکرد و راندمان استفاده از آب شد و روش مناسبی برای مناطق دارای خطر خشکسالی است. گزارش شده است که تعرق، مقدار نسبی آب و پتانسیل آب برگ پرچم در روش کاشت شیاری به ترتیب بیشتر از نمونه‌های ردیف‌های یکنواخت کاشت، ردیف‌های باریک- پهن و الگوهای کاشت کرتی بود. علاوه بر این، در شرایط کمبود آب، عملکرد دانه در الگوی کاشت شیاری بیشتر بود (۲۷). پیشنهاد شده است که استفاده از الگوی کاشت بذر جوی- پشته‌ای می‌تواند یک استراتژی مؤثر برای بهبود تولید گندم زمستانی در مناطق کم آب باشد (۴۴). گزارش شده است که ۶۰٪ افزایش در کارایی مصرف آب گندم در کشت روی پشته در مقایسه با کشت مسطح یا کرتی مشاهده شده است (۳۵). همچنین در کشت روی پشته در مقایسه با کشت کرتی، عملکرد دانه گندم ۲۱٪ افزایش یافت (۵). سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد دانه گندم آبی در استان آذربایجان غربی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به‌ترتیب ۸۹۰۰۰ هکتار، ۳۴۸۰۰۰ تن و عملکرد دانه ۳/۸ تن در هکتار است. همچنین در این سال زراعی، سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد دانه گندم دیم در استان به‌ترتیب ۲۷۶۰۰۰ هکتار، ۲۶۰۰۰۰ تن با عملکرد دانه ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۴).

لذا این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی مصرف آب، عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک گندم در مقادیر مختلف آبیاری و روش‌های کاشت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی ساعتلوی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی با طول جغرافیایی۴۵ درجه و ۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۵۲ متر از سطح دریا واقع در ۲۵ کیلومتری ارومیه اجرا شد. منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. با توجه به آمار هواشناسی بلند مدت در ارومیه، متوسط بارندگی سالیانه ۳۹۰ میلی‌متر، متوسط دما ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۷۵٪ است. پس از شخم و آماده سازی زمین، کرت‌هایی به طول ۴ و عرض ۳ متر ایجاد و عملیات تسطیح صورت گرفت. بین سطوح آبیاری فاصله ۳ متر در نظر گرفته شد ولی فاصله بین کرت‌ها داخل هر تیمار آبیاری ۰/۵ متر بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل مقادیر متفاوت آبیاری در سه سطح (۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری، ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری و ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری) و فاکتور دوم روش کاشت در چهار سطح (کاشت سنتی آبیاری، کاشت سه خط روی پشته (عرض پشته ۳۰ سانتی‌متر)، کاشت ۴ خط روی پشته (عرض پشته ۴۵ سانتی‌متر) و کاشت ۵ خط روی پشته (عرض پشته ۶۰ سانتی‌متر)) انجام شد (۱۶). پشته‌های داخل هر کرت با دست تهیه شد فاصله خطوط گندم روی پشته ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از تراکم ۴۵۰ بذر در مترمربع استفاده شد. تاریخ کاشت ۱۳۹۸/۰۸/۲۳ بود. در این پژوهش از رقم میهن (منشاء: ایرانی، تیپ رشد: پاییزه، میانگین تعداد روز تا سنبله دهی: ۱۳۱ روز، میانگین تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیکی: ۱۷۵ روز، میانگین دوره پر شدن دانه: ۴۴ روز، میانگین ارتفاع بوته: ۸۴ سانتی‌متر، خوابیدگی بوته: مقاوم، رنگ دانه: زرد کهربایی، میانگین وزن هزار دانه در شرایط نرمال: ۴۳ گرم و در شرایط تنش: ۳۴ گرم، میانگین درصد پروتئین: ۱۱٪، کیفیت نانوایی: خوب، سختی دانه: ۵۲٪، میانگین عملکرد در آزمایشات سازگاری: در شرایط نرمال: ۷۷۸۷ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش: ۵۹۶۷ کیلوگرم در هکتار، واکنش به بیماری زنگ زرد: مقاوم، واکنش به بیماری زنگ قهوه‌ای: نسبتاً مقاوم، واکنش به بیماری زنگ سیاه: نیمه مقاوم تا نیمه حساس، منطقه مناسب کشت: مناطق سردسیر) استفاده شد که از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه شد (۷).

نحوه اعمال تیمار آبیاری

روش آبیاری با استفاده از لوله‌های پلی اتیلنی سه اینچی انجام گرفت. مقدار آب آبیاری برای هر کرت از طریق معادله ۱ محاسبه شد:

$$RAW = \left[\frac{FC - PWP}{100}\right] \times \rho \times D \times f \times 10000 \qquad (۱)$$

که در این معادله RAW (Readily available water)= مقدار آبی است که باید در هر نوبت آبیاری داده شود (بر حسب مترمکعب در هکتار)، FC= ظرفیت زراعی مزرعه، PWP= نقطه پژمردگی دائم، ρ = وزن مخصوص ظاهری خاک، D= عمق توسعه ریشه یا مقدار عمق مورد نظر برای خیس کردن خاک که بهتر است ۲۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق توسعه ریشه باشد (بر حسب متر) (جدول ۱) و f= ضریب آب سهل الوصول که گیاه می‌تواند به راحتی آب را از خاک توسط ریشه جذب کند (بر اساس جدول ۲). عدد ۱۰۰۰۰ هم برای تبدیل معادله به مترمکعب در هکتار بود. جهت تعیین رطوبت وزنی خاک در شرایط ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دایم از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک از تکرارهای هر آزمایش نمونه برداری شد و با استفاده از دستگاه صفحه فشار (pressure plate) اندازه‌گیری شد. درصد رطوبت وزنی آنها در شرایط ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۲ (۱۷) تعیین شد:

$$W_m = \left[\frac{W_2 - W_1}{W_1}\right] \times 100 \qquad (۲)$$

که در این معادله W_m= درصد رطوبت وزنی خاک، W_2= وزن خاک مرطوب به گرم، W_1 = وزن خاک خشک به گرم است. در این آزمایش ظرفیت زراعی خاک ۲۷٪ وزنی و نقطه

جدول ۱. عمق توسعه ریشه یا مقدار عمق مورد نظر کشاورز برای خیس کردن خاک (متر)

گیاه	عمق مورد نظر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
گندم	عمق ریشه	۰/۳	۰/۴	۰/۵	–
	عمق خیس کردن خاک	۰/۵	۰/۶	۰/۷	–

جدول ۲. مقدار ضریب آب سهل الوصول (f) برای گیاه گندم

گیاه	۲ تا ۴	۴ تا ۵	۵ تا ۶	۶ تا ۷	۷ تا ۹
	(میلی‌متر بر روز)				
گندم	۰/۷	۰/۶	۰/۵۵	۰/۵	۰/۴۵

جدول ۳. تاریخ‌های آبیاری و حجم آب داده شده از کاشت تابرداشت داشت گندم

	تامین ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری				تامین ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری				تامین ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری			
زمان کاشت	۹۸/۸/۲۳											
تاریخ آبیاری	۹۹/۳/۱	۹۹/۳/۱۲	۹۹/۳/۲۳	۹۹/۴/۲	۱۳۹۹/۲/۳۰	۹۹/۳/۱۰	۹۹/۳/۱۹	۹۹/۳/۳۰	۹۹/۲/۲۵	۹۹/۳/۸	۹۹/۳/۱۷	۹۹/۳/۲۸
حجم آب داده شده (مترمکعب در هکتار)	۶۸۰	۶۸۰	۶۸۰	۶۸۰	۵۱۰	۵۱۰	۵۱۰	۵۱۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰
مرحله فنولوژی	ساقه رفتن	سنبله دهی	پر شدن دانه	مرحله خمیری	ساقه رفتن	سنبله دهی	پر شدن دانه	مرحله خمیری	ساقه رفتن	سنبله دهی	پر شدن دانه	مرحله خمیری
حجم کل آب داده شده	۲۷۲۰ مترمکعب در هکتار				۲۰۴۰ مترمکعب در هکتار				۱۳۶۰ مترمکعب در هکتار			

پژمردگی دائم ۱۳٪ وزنی تعیین شد. در این پژوهش چون مساحت هر پلات کمتر (۱۲ مترمربع) بود و آبیاری با شیلنگ یک اینچی که به کنتور آب وصل شده بود حجم آب به دقت اندازه‌گیری شد و سعی شد از رواناب جلوگیری شود و آبیاری به‌صورت غرقاب در یک نقطه جمع نشود و از عمق توسعه ریشه خارج نشود لذا راندمان آبیاری ۱۰۰٪ در نظر گرفته شد ولی برای مساحت های بزرگتر بر اساس روش آبیاری، راندمان آبیاری را هم باید در نظر گرفت و در فرمول دخالت داد و مقدار آب آبیاری یا حجم آبیاری به‌دست آمده را بر اساس راندمان آبیاری محاسبه کرد. برای تیمار آبیاری مطلوب یا ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری در هر نوبت آبیاری مقدار ۶۸۰ مترمکعب در هکتار آب داده شد (برای کرت به مساحت ۱۲ مترمربع حدود ۰/۸۱ مترمکعب آب داده شد)، در تنش ملایم خشکی ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری در هر نوبت آبیاری مقدار ۵۱۰ مترمکعب در هکتار آب داده شد (برای کرت به مساحت ۱۲ مترمربع حدود ۰/۶۱ مترمکعب آب داده شد) و در تیمار تنش خشکی شدید ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری در هر نوبت آبیاری مقدار ۳۴۰ مترمکعب در هکتار آب داده شد (برای کرت به مساحت ۱۲ مترمربع حدود ۰/۴۰ مترمکعب آب داده شد). دور آبیاری بر اساس میزان تبخیر و تعرق و بارندگی مؤثر محاسبه شد (۴۳). تاریخ‌های آبیاری و حجم آب داده شده از کاشت تا برداشت گندم در جدول ۳ ارائه شده است. برخی صفات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۴ ارائه شده است همچنین شرایط اقلیمی محل تحقیق در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج تجزیه خاک فقط کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک در سه مرحله (زمان کاشت، ساقه رفتن و سنبله رفتن) اعمال شد و کود دیگری داده نشد.

جدول ۴. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

پارامترها	عمق خاک	بافت خاک	هدایت الکتریکی (EC)	pH	رطوبت اشباع	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
واحد	(سانتی متر)	–	(دسی زیمنس بر متر)	–	(درصد)							(میلی‌گرم بر (کیلوگرم	
مقدار	۳۰– ۰	لومی رسی	۰/۸	۸	۴۷	۱۷	۳۵	۳۸	۲۸	۱/۲	۰/۱۲	۱۲	۳۷۵

جدول ۵. شرایط اقلیمی شهرستان ارومیه در طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸

عوامل اقلیمی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
میزان بارندگی (میلی‌متر)	۲۱/۲	۴/۴	۴۴/۲	۴۶/۰	۴۷/۴	۳۸/۸	۵۶/۹	۵۲/۱	۸/۱	۸/۳
حداکثر مطلق دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۴/۳	۱۴/۹	۸/۲	۴/۲	۲/۸	۱۱/۹	۱۴/۸	۲۲/۰	۲۹/۱	۳۰/۸
حداقل مطلق دما (درجه سانتی‌گراد)	۷/۷	۱/۳	-۱/۳	-۴/۲	-۷/۱	۰/۸	۳/۵	۷/۶	۱۱/۹	۱۵/۸
رطوبت حداکثر (درصد)	۷۵	۸۴	۹۴	۹۵	۹۱	۸۸	۸۹	۸۴	۷۰	۷۲
رطوبت حداقل (درصد)	۲۷	۳۸	۵۵	۵۵	۴۶	۴۷	۳۷	۳۱	۲۱	۲۶
ساعت آفتابی (ساعت)	۲۶۳	۲۲۳	۱۰۹	۱۰۱	۱۴۱	۱۶۱	۱۸۹	۲۸۰	۳۶۳	۳۴۲
تبخیر (میلی‌متر)	۱۱۳	۲۵/۵	۰	۰	۰	۰	۶۱/۴	۱۴۰	۲۳۷	۲۷۱
یخبندان (روز)	۰	۱۱	۱۹	۲۸	۳۰	۱۴	۲	۰	۰	۰

اندازه‌گیری صفات

عملکرد دانه

برای این منظور، بوته‌های گندم از وسط هر کرت، با لحاظ تعداد خطوط و طول آنها در مساحت، یک مترمربع برداشت شد مثلاً برای پشته‌های با عرض ۳۰ سانتی‌متر، طول برداشت ۳/۳۳ متر بوده است برای سایر تیمارها هم با روش مشابه برداشت انجام شد (۴۰) و برای اندازه‌گیری صفات به آزمایشگاه منتقل شد. برای محاسبه عملکرد دانه و ماده خشک کل کرت برداشت و توزین شد.

اندازه‌گیری کاروتنوئید برگ

برای سنجش مقدار کاروتنوئید از روش لیچتنت هالر (۲۹) استفاده شد. بدین منظور ۰/۲ گرم از برگ گیاه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ در هاون چینی سائیده شد و پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ در ۴۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) در طول موج ۴۷۰ نانومتر (برای کاروتنوئید) جذب آن ها در مقابل نمونه شاهد (استون) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Universal ساخت کمپانی، Hettich ساخت آلمان) خوانده شد و پس از تعیین درصد جذب نوری با استفاده از معادله ۴ مقدار کاروتنوئیدها با واحد mg g^{-1} FW ارائه شد.

$$C(x+c)=\left[\frac{100A_{470}-1.82Ch_a-85.02Ch_b}{198}\right] \quad (۴)$$

در فرمول بالا، C(x+c) مقدار کاروتنوئید کل، A_{470} جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۴۷۰ نانومتر، Ch_a و Ch_b به‌ترتیب غلظت کلروفیل a و b هستند.

اندازه‌گیری کلروفیل

جهت اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a و b از روش آرنون (۹) و دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. در مرحله گلدهی از هر کرت پنج برگ برداشت و طبق توصیه ما و دوییر (۳۱) از قسمت میانی برگ‌ها یک گرم نمونه تازه تهیه شد. نمونه تازه با مقداری استون ۸۰٪ در هاون چینی کاملا سابیده شد. محلول به‌دست آمده چندین بار از کاغذ صافی عبور داده شد تا نمونه برگ کاملا بی رنگ شود.

حجم محلول به‌دست آمده با استفاده از استن ۸۰٪ به ۱۰۰ میلی لیتر رسانیده شد و سپس با استفاده از دستگاه اسپکترفتومتر (Universal ساخت کمپانی، Hettich ساخت آلمان) جذب نوری عصاره برگ در طول موج های ۶۴۵ و ۶۶۳ قرائت شد، برای محاسبه غلظت کلروفیل a و b از معادلات ۵ و ۶ (۹) استفاده شد:

$$Ch_a = \left[12.7D_{663} - 2.59D_{645}\right] \times \frac{V}{1000 \times W} \quad (۵)$$

$$Ch_b = \left[22.9D_{645} - 4.69D_{663}\right] \times \frac{V}{1000 \times W} \quad (۶)$$

که در آن Ch_a میلی گرم کلروفیل a در هر گرم برگ، Ch_b میلی‌گرم کلروفیل b در هر گرم برگ، V و W به‌ترتیب حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ) و وزن تر نمونه بر حسب گرم بود.

برای اندازه‌گیری رطوبت دانه از دستگاه رطوبت سنج ساخت کمپانی آمریکایی دیکی جان (mini GAC plus moisture tester) استفاده شد. برای اندازه گیری پروتئین از دستگاه اتوآنالایزر آرد مدل (Perten GmbH ساخت آلمان) به روش NIR (Near Infrared Reflectance) (مادون قرمز نزدیک) استفاده شد (۴۵). عملکرد پروتئین، با ضرب نمودن عملکرد دانه در درصد پروتئین محاسبه شد. کارایی مصرف اقتصادی آب (عملکرد دانه بر آب مصرفی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) هر تیمار برحسب مترمکعب در هکتار تقسیم شد). کارایی مصرف زیستی آب (عملکرد زیستی بر آب مصرفی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) هر تیمار برحسب مترمکعب در هکتار تقسیم شد). برای محاسبه میزان بارندگی مؤثر از نرم‌افزار Cropwat 8 استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS (9/1)، MSTATC و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده و برهم کنش مقادیر متفاوت آبیاری و روش کاشت بر صفات مورد مطالعه در این تحقیق در جدول ۶ ارائه شده است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

تیمار ۱۰۰ و ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری در مقایسه با ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری به‌ترتیب محتوای کلروفیل b را ۳۴ و ۲۰٪ افزایش داد (جدول ۷). در تیمارهای روش کاشت نیز کاشت سه خط، چهار و پنج خط روی پشته در مقایسه با کشت سنتی، محتوای کلروفیل b را به‌ترتیب ۱۲، ۵ و ۹٪ افزایش دادند (جدول ۷). بررسی جدول مقایسه میانگین اثرات برهم کنش مقادیر متفاوت آبیاری و روش کاشت نشان داد بیشترین (۱/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین (۰/۶۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) محتوای کاروتنوئید به‌ترتیب از تیمار ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری × کاشت سه خط روی پشته و تیمار ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری × کاشت سنتی به‌دست آمد (جدول ۸)

حداکثر (۱/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و حداقل (۱/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) محتوای کلروفیل a به‌ترتیب از تیمار ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری × کاشت سه خط روی پشته و تیمار ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری × کاشت چهار خط روی پشته به‌دست آمد (جدول ۸). بیشترین (۲/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین (۱/۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) محتوای کل کلروفیل به‌ترتیب از تیمار ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری × کاشت سه خط روی پشته و تیمار ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری × کاشت چهار خط روی پشته به‌دست آمد (جدول ۸). تخریب کلروپلاست ها و تجزیه کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز از جمله عوامل مؤثر بر کاهش غلظت این رنگیزه در شرایط تنش کمبود آب محسوب می شوند. بررسی تأثیر تنش خشکی بر رشد و تغییرات بیوشیمیایی پنج رقم آفتابگردان نشان داد که مقدار کلروفیل در واحد سطح برگ گیاهان در معرض تنش افزایش و غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کل محتوای کلروفیل این گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد کاهش یافت (۳۴). کاهش مقدار کلروفیل نشان دهنده واکنش گیاه به تنش خشکی است (۱۲). در پژوهشی گزارش شد که بیشترین شاخص کلروفیل از کشت سه خط روی پشته در مقایسه با الگوی کاشت کرتی در گیاه

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم در شرایط مختلف آبیاری و روش‌های مختلف کاشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		کلروفیل a	کلروفیل b	مجموع کلروفیل	نسبت کلروفیل a به b	کاروتنوئید	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	کارایی مصرف اقتصادی آب	کارایی مصرف بیولوژیک آب	پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
بلوک	۲	۰/۱۷**	۰/۰۵**	۰/۱۴**	۵/۱۴**	۰/۴۶**	۱۳۶۰۶۷۷^{ns}	۲۴۰۷۶۷۷^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۳۲۱۲۵^{ns}
آبیاری	۲	۰/۲۷**	۰/۱۰**	۰/۷۲**	۱/۱۰**	۰/۱۳**	۱۶۹۷۰۷۷^{ns}	۸۷۷۵۴۴^{ns}	۰/۲۳**	۲/۰۲**	۳/۱۴*	۷۳۸۱۰*
روش کاشت	۳	۰/۰۳**	۰/۰۰۵**	۰/۰۵**	۰/۲۴**	۰/۳۷**	۸۰۶۵۲۸۵**	۵۱۵۹۶۳۴۰**	۰/۲۶**	۱/۷۷**	۰/۷۸^{ns}	۱۴۵۷۷۴**
آبیاری × روش کاشت	۶	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۱**	۰/۱۲**	۰/۰۰۴**	۱۴۰۲۹۲۹^{ns}	۳۵۵۸۸۶۳^{ns}	۰/۰۴۹^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۷۷^{ns}	۲۰۸۲۶^{ns}
خطای آزمایشی	۲۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۰۷	۱۴۰۲۸۴۷	۸۴۹۲۴۲۹	۰/۰۴۴	۰/۲۷	۰/۹۳	۱۶۰۳۵
ضریب تغییرات (٪)	–	۱/۷۰	۴/۸۰	۱/۷۹	۵/۴۲	۲/۹۵	۱۰/۵	۵/۴۴	۱۷/۲	۱۸/۹	۱۰/۳	۱۷/۵

**، * و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری و روش کاشت بر صفات مورد مطالعه

تیمار	bکلروفیل (میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار)	کارآیی مصرف اقتصادی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	کارآیی مصرف زیستی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	پروتئین دانه (درصد)	عملکرد پروتئین (کیلوگرم بر هکتار)
آبیاری							
تامین ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری	۰/۵۶^{a}	۷۰۹۳^{a}	۱۵۲۸۲^{a}	۱/۱۲^{b}	۲/۴۱^{b}	۸/۸۸^{b}	۸۰۶^{a}
تامین ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری	۰/۴۶^{b}	۶۴۷۵^{a}	۱۴۷۵۲^{a}	۱/۱۸^{ab}	۲/۶۹^{ab}	۹/۲۳^{ab}	۷۰۶^{ab}
تامین ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری	۰/۳۷^{c}	۶۴۱۳^{a}	۱۴۹۲۳^{a}	۱/۳۸^{a}	۳/۲۲^{a}	۹/۸۹^{a}	۶۵۲^{b}
روش کاشت							
کرتی	۰/۴۳^{c}	۵۴۸۸^{b}	۱۱۹۱۸^{b}	۱/۰۰^{b}	۲/۱۹^{b}	۹/۶۶^{a}	۵۷۱^{c}
سه خط روی پشته	۰/۴۹^{a}	۷۷۷۳^{a}	۱۷۶۹۶^{a}	۱/۴۱^{a}	۳/۲۵^{a}	۸/۹۷^{a}	۸۷۸^{a}
چهار خط روی پشته	۰/۴۵^{bc}	۶۴۹۵^{ab}	۱۴۷۲۹^{ab}	۱/۲۰^{ab}	۲/۷۴^{ab}	۹/۴۶^{a}	۶۹۱^{bc}
پنج خط روی پشته	۰/۴۷^{ab}	۶۸۸۴^{ab}	۱۵۶۰۰^{ab}	۱/۲۸^{ab}	۲/۹۱^{ab}	۹/۲۵^{a}	۷۴۵^{ab}

در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون توکی از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد معنادار نیست.

جدول ۸. مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و روش کاشت بر صفات مورد مطالعه

تیمار (آبیاری × روش کاشت)		کلروفیل a	مجموع کلروفیل	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل a به b
		(میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ)			
۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری ×	سنتی	۱/۶۴^{b}	۲/۱۵^{b}	۳/۲۷^{abc}	۰/۶۸^{f}
	سه خط روی پشته	۱/۷۲^{a}	۲/۳۲^{a}	۲/۹۰^{bcd}	۱/۰۴^{c}
	چهار خط روی پشته	۱/۵۱^{d}	۲/۰۷^{c}	۲/۷۷^{cd}	۰/۸۱^{e}
	پنج خط روی پشته	۱/۵۱^{d}	۲/۰۶^{c}	۲/۷۴^{d}	۰/۷۲^{f}
۷۵٪ نیاز خالص آبیاری ×	سنتی	۱/۴۱^{f}	۱/۸۵^{d}	۳/۲۶^{abc}	۰/۷۱^{f}
	سه خط روی پشته	۱/۵۶^{c}	۲/۰۴^{c}	۳/۳۳^{ab}	۱/۲۳^{b}
	چهار خط روی پشته	۱/۴۴^{e}	۱/۸۹^{d}	۳/۳۱^{ab}	۰/۸۹^{d}
	پنج خط روی پشته	۱/۳۸^{g}	۱/۸۸^{d}	۲/۷۸^{cd}	۰/۷۳^{f}
۵۰٪ نیاز خالص آبیاری ×	سنتی	۱/۳۱^{h}	۱/۶۷^{e}	۳/۷۶^{a}	۰/۸۳^{de}
	سه خط روی پشته	۱/۳۱^{h}	۱/۷۱^{e}	۳/۳۷^{ab}	۱/۳۱^{a}
	چهار خط روی پشته	۱/۲۰^{i}	۱/۵۷^{f}	۳/۳۵^{ab}	۱/۰۴^{c}
	پنج خط روی پشته	۱/۳۳^{h}	۱/۷۱^{e}	۳/۶۰^{a}	۰/۹۰^{d}

در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون توکی از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد معنادار نیست.

گندم به‌دست آمد (۲۱).

در این مطالعه مقادیر کمتر آبیاری باعث افزایش نسبت کلروفیل a به b شد (جدول ۸). در سایر مطالعات نیز گزارش شده است که در اثر تنش خشکی، نسبت کلروفیل a به b افزایش می‌یابد (۳). تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از a کاهش می‌دهد و نسبت کلروفیل a به b افزایش می‌یابد (۱۰). در این پژوهش ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری در مقایسه با ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری، غلظت کلروفیل b و a را به ترتیب حدود ۳۶ و ۱۹٪ کاهش داد.

عملکرد دانه و زیستی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۷۰۹۳ کیلوگرم بر هکتار) و زیستی (۱۵۲۸۲ کیلوگرم بر هکتار) از سطح آبیاری ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری به‌دست آمد با این حال، بین سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). بنابراین به‌نظر می‌رسد در این رقم گندم و در منطقه مورد آزمایش می‌توان با آبیاری فقط ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری به همان عملکرد دانه ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری دست پیدا کرد و میزان مصرف آب را ۵۰٪ کاهش داد (جدول ۷). گندم از گیاهانی است که دارای ریشه‌های سطحی بوده و نیاز به آبیاری غرقابی سنگین ندارد و با آبیاری با حجم پایین نیز عملکرد قابل قبولی، که اختلاف آماری معنی‌داری با آبیاری ۱۰۰٪ ندارد، تولید می‌کند. همچنین رقم مورد استفاده در این پژوهش (رقم میهن) به تنش خشکی آخر فصل رشد، اصلاح شده است و کشاورزان که در تهیه آب آخر مزرعه مشکل دارند اختلاف چندانی با آبیاری و عدم آبیاری نخواهند داشت به خاطر این که این رقم به تنش خشکی آخر فصل متحمل است (۷). اعمال تنش خشکی و کاهش جذب رطوبت کافی موجب کاهش دوره رشد رویشی و زایشی خواهد شد که به کاهش میزان بیوماس کل اندام هوایی در تیمارهای تحت تنش می‌انجامد (۴۸).

همچنین حداکثر عملکرد دانه (۷۷۷۳ کیلوگرم بر هکتار) و زیستی (۱۷۶۹۶ کیلوگرم بر هکتار) از روش کاشت سه خط روی پشته به‌دست آمد، به‌طوری که کاشت سه، چهار و پنج خط روی پشته در مقایسه با روش سنتی (کرتی) به‌ترتیب عملکرد دانه را به

میزان ۲۹، ۱۶ و ۲۰٪ و عملکرد زیستی را به میزان ۳۳، ۱۹ و ۲۴٪ افزایش داد (جدول ۷). نتایج سایر پژوهشگران نشان داد تفاوت عملکرد زیستی، در دو کشت مسطح در مقایسه با روش‌های پشته‌ای معنی‌دار بود زیرا تعداد پنجه‌های بارور در روش پشته‌ای بیشتر بود (۴۲). در روش سه خط روی پشته، عرض پشته‌ها کمتر و جویچه‌های آبیاری به یکدیگر نزدیک‌تر بودند. همچنین در این روش کارایی مصرف آب از روش‌های دیگر بیشتر بود در نتیجه بالاترین عملکرد را داشت. در مقایسه روش سه خط کاشت روی پشته با روش سنتی (کرتی) می‌توان گفت علت برتری روش پشته‌ای به‌علت بهبود ساختمان خاک، افزایش نفوذپذیری و افزایش ذخیره رطوبتی خاک است که منجر به افزایش عملکرد دانه می شود. در بررسی امکان استفاده از روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان در زراعت گندم گزارش شده است که بیشترین میانگین عملکرد دانه با ۵۲۳۳ کیلوگرم در هکتار در روش آبیاری شیاری معمولی با فاصله جویچه‌های ۵۰ سانتی‌متری و کمترین آن با ۳۹۹۳ کیلوگرم در هکتار در روش آبیاری شیاری یک در میان با فاصله جویچه‌های ۶۰ سانتی‌متری به دست آمد (۲۴). کاشت گندم پاییزه روی پشته‌ها (دو ردیف روی پشته های ۲۰ سانتیمتری) باعث صرفه جویی ۳۰٪ آب آبیاری شد. همچنین عملکرد دانه را بیش از ۱۰٪ افزایش داد (۱۸). در آزمایشی گزارش شد که ماده خشک قسمت هوایی گیاه برای سیستم کاشت سه ردیف داخل جوی و کاشت مسطح اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. با این حال ماده خشک قسمت هوایی گیاه در سیستم آبیاری سه ردیف روی پشته، به‌طور معنی‌داری بالاتر از سیستم کاشت سه ردیف داخل جوی و سیستم کاشت مسطح بود. این نتایج نشان می‌دهد که الگوهای آبیاری سه ردیف روی پشته محیط بهتری برای رشد گندم فراهم می‌کنند، به نظر می‌رسد پشته‌ها موجب می‌شوند آب به طور مؤثرتری مورد استفاده گیاهان قرار گرفته و باعث افزایش بالقوه فتوسنتز شوند (۱۸).

کارایی مصرف اقتصادی و زیستی آب

مقایسه میانگین اثرهای ساده مقادیر متفاوت آبیاری و روش کاشت نشان داد که تیمار ۷۵ و ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری در مقایسه با ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری به‌ترتیب کارایی مصرف اقتصادی و زیستی آب را به‌ترتیب (۵ و ۱۹٪) و (۱۱ و ۲۵٪) افزایش داد (جدول ۷). در آزمایشی، بیشترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار ۵۰٪ آبیاری کامل با روش کاشت درون جویچه با خاکپوش، معادل ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب است که نشان دهنده تولید محصول بیشتر به ازای واحد آب داده شده، در صورت کاربرد توأم کم آبیاری وخاکپوش است (۱۱). بیشترین کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه (۱/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط ۷۵٪ نیاز آبی گیاه و روش های آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و متغیر و کمترین مقدار کارایی مصرف آب عملکرد دانه (۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به تیمار ۵۰٪ نیاز آبی گیاه با روش آبیاری جویچه‌ای معمول به‌دست آمد. همچنین، بیشترین کارایی مصرف آب برای عملکرد زیستی (۴/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب) در سطح ۵۰٪ نیاز آبی گیاه به‌همراه روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت برآورد شد که نسبت به تیمار شاهد (آبیاری بر اساس ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه و آبیاری جویچه‌ای معمولی) ۳۱٪ افزایش یافت (۲۵). در بررسی انجام شده در ذرت بیان شده است که مقدار کارایی آب برای عملکرد زیستی در روش آبیاری یک در میان (۴/۳۱ کیلوگرم در مترمکعب) نسبت به آبیاری تمام جویچه‌ای به‌طور معنی‌داری (۲۱٪) افزایش یافت (۲). در تحقیقی گزارش شد کم آبیاری با آبیاری ۵۰٪ در مرحله رسیدگی دانه بیشترین عملکرد دانه (۴۵۱۳ کیلوگرم بر هکتار) و کارایی مصرف آب (۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب) را در گندم تولید کرد (۳۶). در تیمارهای روش کاشت نیز کاشت سه خط، چهار و پنج خط روی پشته در مقایسه با کشت سنتی، کارایی مصرف اقتصادی و زیستی آب را به‌ترتیب (۲۹، ۱۷ و ۲۲٪) و (۳۳، ۲۰ و ۲۵ درصد) افزایش داد (جدول ۷). گزارش شده است که کاشت ردیف‌های یک در میان با فواصل ۱۵ سانتی‌متر عملکرد دانه را ۹٪ و کارایی مصرف آب را ۱۲/۶٪ به‌دلیل وضعیت آب بالاتر و تخلیه کمتر آب خاک در مقایسه با کاشت ردیف ۳۰ سانتی‌متر

افزایش داد. در تحقیق فوق کم آبیاری برای بهبود کارایی مصرف آب مفید بود، به طوری که آبیاری ۵۰ میلی‌متر در دو مرحله (۳۴ و ۳۸ مرحله زادوکس) به طور معنی‌داری عملکرد دانه را ۵/۴٪ و کارایی مصرف آب را ۷/۱٪ در مقایسه با آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر در مرحله ۴۸ زادوکس افزایش داد (۴۹). در تحقیقی گزارش شده است که کاشت روی پشته در مقایسه با کاشت کرتی گندم، حداکثر کارایی مصرف آب را به‌دلیل داشتن شرایط رطوبتی بهتر و استفاده مؤثرتر از آب موجود تولید کرد (۲۶). در گزارشی اعلام شد که کاشت راهرو یی در مقایسه با کشت کرتی کارایی مصرف آب را ۷۶٪ در گندم افزایش داد و باعث افزایش ماده خشک کل شد (۶).

درصد و عملکرد پروتئین

بیشترین (۹/۸۹ درصد) و کمترین (۸/۸۸ درصد) درصد پروتئین به ترتیب در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری مشاهده شد، به‌طوری که کاهش ۵۰٪ آب آبیاری، درصد پروتئین دانه را ۱۰٪ افزایش داد. همچنین بین تیمارهای مختلف روش کاشت از نظر درصد پروتئین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). سایر پژوهشگران نیز بیان کردند که میزان زیاد نیتروژن و پروتئین گیاهانی که در معرض تنش خشکی هستند، به‌دلیل تجمع سریع اسیدهای آمینه آزادی است که تبدیل به پروتئین نشده‌اند (۸). در پژوهشی گزارش شد که بیشترین در صد پروتئین دانه در گیاه ارزن از فاصله آبیاری ۲۱ روز و کمترین آن از فاصله آبیاری ۷ روز به‌دست آمد (۲۳). سایر محققان نشان دادند تنش خشکی باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد (۱۵). در این زمینه محققان دیگری در آزمایش های جداگانه روی ذرت و گندم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری شد، آنها دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و از آنجائی‌که در صد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیشتر است، بنابراین درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد (۱۴).

بیشترین عملکرد پروتئین از سطح آبیاری ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری (۸۰۶ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد که با تیمار ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۷). تیمار ۷۵ و ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری در مقایسه با مقدار ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری، عملکرد پروتئین را به ترتیب ۱۳ و ۱۹٪ کاهش داد (جدول ۷). در سایر مطالعات نیز بیشترین (۱۱۳۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۸۷۳ کیلوگرم در هکتار) عملکرد پروتئین در گیاه گندم به‌ترتیب از سطوح آبیاری مطلوب و تنش خشکی حاصل شد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (۲۰). همچنین حداکثر عملکرد پروتئین از روش کاشت سه خط روی پشته (۸۷۸ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد، به‌طوری که کاشت سه، چهار و پنج خط روی پشته در مقایسه با روش سنتی (کرتی) به‌ترتیب عملکرد پروتئین را به میزان ۳۵، ۱۷ و ۲۳٪ افزایش داد (جدول ۷). در تحقیقی گزارش شد که بیشترین مقدار عملکرد پروتئین از کشت روی پشته در مقایسه با کشت سنتی در گیاه گندم به‌دست آمد (۳۰).

بررسی اقتصادی طرح

بازدهی اقتصادی عامل مهم ایجاد انگیزه بکارگیری نوع مدیریت سیستم‌هاست و اگر سیستمی از نظر اقتصادی سودمند نباشد، حتی اگر از جنبه های دیگر بسیار کارآمد باشد، تمایلی در بکارگیری آن نیست. مهمترین مسئله‌ای که در مبحث اقتصادی به‌نظر می‌رسد پرداختن به آن ضروری است صرفه‌جویی نهاده‌ها در مقیاس کلان ملی است (۱۳). بررسی اقتصادی طرح نشان داد بیشترین درآمد حاصل از افزایش عملکرد دانه از تیمار کاشت سه خط روی پشته در شرایط تامین ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری حاصل شد (جدول ۹). بررسی جدول ۱۰ نیز نشان داد بیشترین افزایش عملکرد کاه و کلش به تیمارهای کاشت سه و پنج خط روی پشته در شرایط تامین ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری مربوط بود (جدول ۱۰).

به‌طورکلی بیشترین سود حاصل از افزایش عملکرد دانه،

جدول ۹. درصد افزایش یا کاهش عملکرد دانه گندم در شرایط مختلف آزمایش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹.

تیمار (روش کاشت)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)									
	آبیاری ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری			آبیاری ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری			آبیاری ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری			
	میانگین	** درصد افزایش	درآمد حاصل از افزایش عملکرد دانه در یک سال از یک هکتار (تومان)	میانگین	درصد افزایش	درآمد حاصل از افزایش عملکرد دانه در یک سال از یک هکتار (تومان)	سود آب (تومان)	میانگین	درصد افزایش	درآمد حاصل از افزایش عملکرد دانه در یک سال از یک هکتار (تومان)	سود آب (تومان)
سنتی	۶۰۱۳/۳	–	–	۵۵۱۳/۳	–	–	۴۰۰/۰۰۰	۴۹۴۰/۰	–	–	۸۰۰/۰۰۰
سه خط روی پشته	۸۹۱۳/۳	+۳۲	۱۷/۴۰۰/۰۰۰	۷۶۴۶/۶	+۲۸	۱۲/۷۹۸/۰۰۰	۴۰۰/۰۰۰	۷۰۹۳/۰	+۴۰	۲۰/۵۳۲/۰۰۰	۸۰۰/۰۰۰
چهار خط روی پشته	۶۳۶۶/۶	+۵	۲/۱۱۸/۰۰۰	۶۶۳۳/۳	+۱۷	۶/۷۲۰/۰۰۰	۴۰۰/۰۰۰	۶۴۸۶/۶	+۲۴	۹/۲۷۶/۰۰۰	۸۰۰/۰۰۰
پنج خط روی پشته	۷۰۸۰/۰	+۱۵	۶/۴۰۲/۰۰۰	۶۱۰۶/۶	+۱۰	۳/۵۵۸/۰۰۰	۴۰۰/۰۰۰	۶۹۶۶/۶	+۳۰	۱۲/۱۵۶/۰۰۰	۸۰۰/۰۰۰

جدول ۱۰. درصد افزایش یا کاهش عملکرد کاه و کلش گندم در شرایط مختلف آزمایش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹.

تیمار (روش کاشت)	عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم بر هکتار)									
	آبیاری ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری			آبیاری ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری			آبیاری ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری			
	میانگین	** درصد افزایش	درآمد خالص افزایش عملکرد کاه و کلش در یک سال از یک هکتار (تومان)	میانگین	درصد افزایش	سود آب	درآمد خالص افزایش عملکرد کاه و کلش در یک سال از یک هکتار (تومان)	میانگین	درصد افزایش	سود آب	درآمد خالص افزایش عملکرد کاه و کلش در یک سال از یک هکتار (تومان)
سنتی	۶۹۴۶/۷	–	–	۶۰۷۲/۷	–	۴۰۰/۰۰۰	–	۶۲۶۶	–	۸۰۰/۰۰۰	–
سه خط روی پشته	۹۳۷۶/۷	+۲۶	۹/۷۲۰/۰۰۰	۹۱۶۳/۴	+۳۴	۴۰۰/۰۰۰	۱۲/۳۶۲/۰۰۰	۷۳۹۳	+۱۵	۸۰۰/۰۰۰	۴/۵۰۸/۰۰۰
چهار خط روی پشته	۷۷۰۶/۴	+۱۰	۳/۰۳۸/۰۰۰	۸۲۳۲/۷	+۲۶	۴۰۰/۰۰۰	۸/۶۴۰/۰۰۰	۸۷۵۹/۴	+۲۹	۸۰۰/۰۰۰	۹/۹۷۳/۶۰۰
پنج خط روی پشته	۷۹۷۳/۰	+۱۳	۴/۱۰۵/۰۰۰	۸۸۸۶/۴	+۳۲	۴۰۰/۰۰۰	۱۱/۲۵۴/۰۰۰	۹۰۳۶/۴	+۳۱	۸۰۰/۰۰۰	۱۱/۰۸۱/۶۰۰

قیمت هر کیلوگرم گندم معادل ۶۰۰۰ تومان، قیمت هر کیلوگرم کاه و کلش معادل ۴۰۰۰ تومان، قیمت هر ساعت آب با دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه لوله ۸ اینچی معادل ۱۶۰۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است که ۲/۵ ساعت آبیاری هر هکتار زمان می‌برد تعداد دفعات آبیاری ۴ نوبت بوده است.

جدول ۱۱. مجموع سود حاصل از عملکرد دانه، کاه و کلش و آب به تومان در شرایط مختلف آزمایش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹.

	آبیاری ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری	آبیاری ۷۵٪ نیاز خالص آبیاری	آبیاری ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری
سه خط روی پشته	۲۷/۱۲۰/۰۰۰	۲۵/۵۶۰/۰۰۰	۲۵/۸۴۰/۰۰۰
چهار خط روی پشته	۵/۱۵۶/۰۰۰	۱۵/۷۶۰/۰۰۰	۲۰/۰۴۹/۰۰۰
پنج خط روی پشته	۱۰/۵۰۷/۰۰۰	۱۵/۲۱۲/۰۰۰	۲۴/۰۳۷/۶۰۰

کاه و کلش و مصرف آب در شرایط تامین ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری گیاه با کاشت سه خط روی پشته مشاهده شد که به‌نظر می‌رسد با دو تیمار آبیاری دیگر تفاوت معنی‌داری نداشته با شد (جدول ۱۱). هر چند که در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری، سود بیشتری در مقایسه با دو تیمار آبیاری به‌دست آمده است، ولی به‌دلیل اهمیت بیشتر آب، با مصرف آب کمتر می‌توان از مقداری سود چشم پوشی کرده و مقداری از آب را نیز ذخیره کرد.

نتیجه گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که در هر سه شرایط مختلف آبیاری، کاشت روی پشته بهتر از کشت کرتی یا سنتی گندم بوده است. با کاهش ۵۰٪ آب آبیاری می‌توان همان عملکرد دانه با مقدار آب ۱۰۰٪ نیاز خالص آبیاری را در گندم به‌دست آورد همچنین حداکثر کارایی مصرف اقتصادی و زیستی آب و درصد پروتئین در شرایط کاهش ۵۰٪ نیاز خالص آبیاری به‌دست آمد. از نظر روش کاشت هم، کاشت روی پشته به‌ویژه (سه خط روی پشته) هم از نظر تولید عملکرد دانه و هم از نظر کارایی مصرف آب بر کاشت سنتی یا کرتی برتری داشت. بنابراین تیمار آبیاری تامین ۵۰٪ نیاز آبی گیاه با کاشت سه خط روی پشته به‌دلیل عملکرد دانه بیشتر، بهره‌وری بهتر آب و سود اقتصادی بالاتر قابل پیشنهاد است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های علمی، فنی و مالی دانشگاه پیام نور مرکز ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی و کلیه دانشجویانی که ما را در اجرای این طرح پژوهشی کمک نمودند تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abalos, D., L. Sanchez-Martin, L. Garcia-Torres, J. W. Van Groenigen and A. Vallejo. 2014. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-freighted crops. *Science of the Total Environment* 490: 880-888.
2. Aghayari, F., F. Khalili and M. R. Ardakani. 2016. Effect of different irrigation methods and super absorbent polymer on yield and water productivity of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology* 8: 35-48. (In Farsi).
3. Ahmadi, A. and D. A. Bikr. 2000. Stomatal and nonstomatal militants of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. *Iranian Journal of Agricultural Science* 31: 813-826. (In Farsi).
4. Ahmadi, K., H. R. Ebadzadeh, F. Hatami, Sh. M. Afrozi, E. Esfandiaripour and R. Abas Taghani. 2021. Agricultural Statistics 2019-2020. Ministry of Agriculture-Jahad. Information and Communication Technology Center. Tehran.
5. Ahmed, Z. I., M. Ansar, M. Iqbal and N. M. Minhas. 2007. Effect of planting geometry and mulching on moisture conservation, weed control and wheat growth under rain-fed conditions. *Pakistan Journal of Botany* 39: 1189-1195.
6. Ali, Sh., Y. Xu, X. Ma, I. Ahmad, M. Kamran, Zh. Dong, T. Cai, Q. Jia, X. Ren, P. Zhang and Zh. Jia. 2017. Planting patterns and deficit irrigation strategies to improve wheat production and water use efficiency under simulated rainfall conditions. *Frontiers in Plant Science* 8: 1-17.
7. Anonymous. 2018. Journal of Introduction of New Crop and Garden Cultivars. Seed and Plant Improvement Research Institute.
8. Argenta, G., P. R. F. Da Silva and L. Sangoi. 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter predicts nitrogen fertilization in maize. *Crop Science* 34: 1379-1387.

9. Arnon, D. I. 1975. Copper enzymes increased isolated chloroplast polyphenoxidase increased *Beta vulgaris* L. *Plant Physiology* 45: 1-15.
10. Ashraf, M. Y., A. R. Azmi, A. H. Khan and S. A. Ala. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum* 16: 185-191.
11. Askari, M., A. A. Kamgar-Haghighi, A. R. Sepaskhah, F. Razzaghi and M. Rakhshandehroo. 2020. The effect of deficit irrigation, planting method and mulch on the yield and water productivity of Mung bean. *Journal of Water and Soil Science* 24: 151-160.
12. Bayat, F., A. Mirlohi and M. Khodambashi. 2009. Effects of entophytic fungi on some drought tolerance mechanisms of tall fescue in a hydroponics culture. *Russian Journal of Plant Physiology* 56: 563-570.
13. Bougari, E., M. A. Asoodar, A. Marzban and N. Kazemi. 2020. Investigating water use efficiency, energy productivity, economic and yield under different wheat-maize cropping system in the north of Khuzestan province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 30: 295-310. (In Farsi).
14. Daniel, C. and E. Triboi. 2008. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. *European Journal of Agronomy* 16: 1-12.
15. Dehghanzadeh, H. 2017. Effect of irrigation regimes on some quantity and quality traits of bread wheat cultivars in Isfahan province. *Journal of Plant Ecophysiology* 8: 25-34. (In Farsi).
16. Eivani, A. and E. Dehghan. 2018. Mechanized Cultivation of Wheat on Long Ridges. Ministry of Agriculture-Jahad. Tehran.
17. Fageria, N. K. 1995. Increasing Crop Yield. Translation: S. A. Hashemi, A. Kocheki. and Benayan M. Aval. Mashhad University Jihad Publications, Mashhad.
18. Fahong, W., W. Xuqing and K. D. Sayre. 2004. Comparison of conventional, flood irrigation, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Research* 87: 35-42.
19. Foulkes, M. J., G. A. Slafer, W. J. Davies, P. M. Berry, R. Sylvester-Bradley, P. Martre, D. F. Calderini, S. Griffiths and M. P. Reynolds. 2011. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Journal of Experimental Botany* 62: 469-486.
20. Gholinezhad, E. and A. Eivazi. 2020. Evaluation of the interaction of water stress and superabsorbent on the characteristics related to the quality of bread wheat cultivars (*Triticum aestivum*). *Journal of Crop Production and Processing* 10: 23-37. (In Farsi).
21. Gholinezhad, E. A. Eivazi. 2022. Comparison of ridge planting and traditional methods in wheat (*triticum aestivum* L.) in different amounts of irrigation. *Water Management in Agriculture* 8: 135-150. (In Farsi).
22. Griffith, D. R., S. D. Parsons and J. V. Mannering. 1990. Mechanics and adaptability of ridge-planting for corn and soybean. *Soil Tillage Research* 18: 113-126.
23. Hayati, A., M. Ramroudi and M. Ghalavi. 2011. The effect of potassium application time on yield and protein content of fox tail millet in different irrigation regimes. *Journal of Production and Processing of Crops and Horticulture* 1: 35-44. (In Farsi).
24. Hosseini, S. Gh. A., M. Khorramy and B. Dahanzadeh. 2014. Investigation of wide spaced furrow irrigation in a crop of Wheat. In: Proceeding of 1nd Conference on New Finding in Environment and Agricultural Ecosystems. Tehran university, Iran. (In Farsi).
25. Jafari, N., F. Aghayari and F. Paknejad. 2018. Effect of different deficit-irrigation methods on yield and water use efficiency of wheat (*Parsi cultivar*). *Journal of Crop Ecophysiology* 12: 581-598.
26. Kilic, H. and Y. Tacettin. 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38: 164-170.
27. Li, Q., Y. Chen, X. Zhou and Y. Songlie. 2011. Effects of deficit irrigation and planting modes on leaves' water physiological characteristics and grain yield of winter wheat. In: Proceeding of International Conference on New Technology of Agricultural Engineering (ICAE). Zibo, China. pp. 305-308.
28. Liang, H., W. Qin, K. Hu, H. Tao and B. Li. 2019. Modelling groundwater level dynamics under different cropping systems and developing groundwater neutral systems in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 213: 732-741.
29. Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
30. Luo, J., Z. Liang, L. Xi, Y. Liao and Y. Liu. 2020. Plastic-covered ridge-furrow planting combined with supplemental irrigation based on measuring soil moisture promotes wheat grain yield and irrigation water use efficiency in irrigated fields on the loess plateau, china. *Agronomy* 10: 1-18.
31. Ma, B. L. and L. M. Dwyer. 1997. Determination of nitrogen status in maize senescing leaves. *Journal of Plant Nutrition* 20: 1-8.
32. Man, J., Y. Shi, Z. Yu and Y. Zhang. 2015. Dry matter production, photosynthesis of flag leaves and water use in

winter wheat are affected by supplemental irrigation in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *PLOS ONE* 10: e0137274.
33. Manickavelu, A., K. Kawaura, K. Oishi, T. Shin-I, Y. Kohara, N. Yahiaoui B. Keller, R. Abe, A. Suzuki, T. Nagayama, K. Yano and Y. Ogihara. 2012. Comprehensive functional analyses of expressed sequence tags in common wheat (*Triticum aestivum*). *DNA Research* 19: 165-177.
34. Manivannan, P., C. A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishurekumar, R. Somasundaram, G. M. Lakshmanan and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids Surfaces Biointerfaces* 59: 141-149.
35. Meisner, C. A., H. M.Talukdar, I. Hossain, M. Rahmen and K. Sayre. 2005. Introduction and implementing a permanent bed system in the rice-wheat cropping pattern in Bangladesh and Pakistan. *Crop Production Science* 1: 74-79.
36. Memon, S. A., I. A. Sheikh, M. A. Talpur and M. A. Mangrio. 2021. Impact of deficit irrigation strategies on winter wheat in semi-arid climate of Sindh. *Agricultural Water Management* 243: 106389.
37. Mosanaei, H., H. Ajamnorozi, M. R. Dadashi, A. Faraji and M. Pessarakli. 2017. Improvement effect of nitrogen fertilizer and plant density on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed deterioration and yield. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 29: 899-910.
38. Pei, H., L. Min, Y. Qi, X. Liu, Y. Jia, Y. Shen and C. Liu. 2017. Impacts of varied irrigation on field water budgets and crop yields in the North China Plain: Rain-fed vs. irrigated double cropping system. *Agricultural Water Management* 190: 42-54.
39. Schlesinger, W. H. and S. Jasechko. 2014. Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology* 189: 115-117.
40. Seyed Sharifi, R. and E. Gholinezhad. 2021. Evaluation Agronomic and Morphological Traits of Crop Plants. Publication of University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
41. Shahrokhnia, M. H. and A. R. Sepaskhah. 2016. Effects of irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. *Agricultural Water Management* 172: 18-30.
42. Sikander, K., I. Hussain, M. Sohail, N. S. Kissana and S. G. Abbas. 2003. Effect of different planting methods on yield components of wheat. *Asian Journal Plant Science* 2: 811-813.
43. TayfeRezaei, H. 2016. Planning Irrigation of Crops and Garden. Agricultural Engineering Organization, Agricultural Jihad Organization, Tehran.
44. Wang, G. Y., Y. Y. Han, X. B. Zhou, Y. H. Chen and Z. Ouyang. 2014. Planting pattern and irrigation effects on water-use efficiency of winter wheat. *Crop Science* 54: 1166-1174.
45. Windham, W. R., C. S. Gaines and R. G. Leffler. 1993. Effect of wheat moisture content on hardness scores determined by near-infrared reflectance and on hardness score standardization. *Cereal Chemistry* 70: 662-666.
46. Xu, X., M. Zhang, J. Li, Z. Liu, Z. Zhao, Y. Zhang, S. Zhou and Z. Wang. 2018. Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. *Field Crops Research* 221: 219-227.
47. Yarami, N. and A. R. Sepaskhah. 2015. Saffron response to irrigation water salinity, cow manure and planting method. *Agricultural Water Management* 150: 57-66.
48. Yazar, A., F. Gokcel and M. S. Sezen. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant and Soil Environment* 55: 494-503.
49. Zhou, X. B., G. Y. Wang, L. Yang and H. Y. Wu. 2020. Double-double row planting mode at deficit irrigation regime increases winter wheat yield and water use efficiency in north china plain. *Frontiers in Plant Science* 1-18.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 3, Fall 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Different Amounts of Irrigation and Planting Methods on Water Use Efficiency, Grain Yield and Some Physiological and Biochemical Traits of Wheat (*Triticum aestivum* L.)

E. Gholinezhad[1] and A. Eivazi[2*]

(Received: June 12-2022; Accepted: August 03-2022)

Abstract

This research was conducted at the research field of West-Azerbaijan (Saatloo station, 45° 10′ 53″ E/ 37° 44′ 18″ N and 1338 m above sea level), located 25 km from Urmia city (Iran) during 2019-2020 cropping seasons, as a factorial layout based on randomized complete block design with three replications. The first factor was irrigation regime at three levels (supplying 100, 75 and 50% of net irrigation requirement) and the second factor was planting method of wheat at four levels (plot planting, planting three lines on the ridges (ridges width=30 cm), planting four lines on the ridges (ridges width=45 cm) and planting five lines on the ridges (ridges width=60 cm)). The results showed that the highest grain-yield's water use efficiency (1.38 kg m^{-3}), dry mass water use efficiency (3.22 kg m^{-3}), carotenoid content (1.02 mg g^{-1} fresh leaf weight), chlorophyll ratio a to b (3.52) and grain protein percentage (9.89%) were obtained from supplying of 50% of net irrigation water requirement. But the maximum grain yield (7093.30 kg ha^{-1}) and dry mass (15282 kg ha^{-1}), chlorophyll a (1.59 mg g^{-1} fresh leaf weight), chlorophyll b (0.56 mg/g fresh leaf weight), total chlorophyll a and b (2.15 mg g^{-1} fresh leaf weight) and protein yield (806.85 kg ha^{-1}) were obtained from supplying of 100% of net irrigation water requirement. Planting three lines on the ridge increased grain yield, dry mass, flag leaf area, grain-yield's water use efficiency, dry mass water use efficiency, carotenoid content, photosynthetic pigments and protein yield by 29, 33, 31, 29, 33, 38, 7 and 35%, respectively. In general, based on our findings in this study, planting the wheat on the ridge was superior to the traditional method in terms of grain yield and water use efficiency. Also, reducing irrigation water consumption by up to 50% of net requirement did not cause a significant difference in grain yield and dry mass. Therefore, in order to save water consumption and improve water use efficiency, supplying of 50% of net irrigation water requirement along with planting three lines on the ridge is recommended.

Keywords: Carotenoids, Drought stress, Planting on the ridge, Protein yield, Water productivity

1. Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Seed and Plant, Department of Agricultural Research and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran.

*: Corresponding Author, Email: e_gholinejad@pnu.ac.ir