

مقاله پژوهشی

اثر آرایش کاشت و سامانه آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب گندم در روش کاشت روی پشته‌های بلند و عریض دائمی

محمدعلی رستمی^{۱*}، امیر اسلامی^۲ و شکوفه ساریخانی خرمی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشیار؛ و استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ و استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲۱

چکیده

هدف این پژوهش ارزیابی تأثیر دو روش آبیاری (قطره‌ای نواری و نشستی) و سه آرایش کاشت گندم روی پشته‌های بلند و عریض دائمی (دو، سه و چهار خط روی پشته) بر عملکرد گندم و بهره‌وری آب است. آزمایش‌ها به صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار طی دو سال زراعی اجرا گردید. گندم روی پشته‌های عریض با عرض ۶۰ و ارتفاع ۲۰-۱۵ سانتی‌متر کشت شد. برای مقایسه تیمارها، صفاتی مانند عملکرد محصول، درصد سبز شدن بذر، شاخص سرعت سبز شدن بذر، میزان پنجه‌زنی گندم، تراکم علف‌های هرز، بهره‌وری آب آبیاری در پلات‌های آزمایشی اندازه‌گیری شدند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری قطره‌ای نواری، در مقایسه با روش نشستی، موجب افزایش عملکرد گندم به میزان ۲۰/۶ درصد (۷۸۱۱ در مقابل ۶۴۷۴ کیلوگرم در هکتار) و بهبود ۲۴/۳ درصد در بهره‌وری آب (۱/۲۸ در مقابل ۱۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب) شد. تراکم علف‌های هرز در روش نشستی ۴۷/۳ درصد بیشتر بود. در بین آرایش‌های کاشت مورد مطالعه، آرایش سه خط روی پشته با عملکرد ۷۶۶۸ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب ۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب بهترین تیمار شناسایی شد. ترکیب بهینه آبیاری قطره‌ای نواری با آرایش سه خط روی پشته‌های بلند و عریض، بالاترین عملکرد (۸۳۱۱ کیلوگرم در هکتار) و بهره‌وری آب (۱/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب) را به همراه داشت. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از آبیاری قطره‌ای نواری همراه با آرایش کاشت سه خط روی پشته‌های بلند و عریض، ضمن افزایش عملکرد و بهره‌وری آب، موجب بهبود شاخص‌های رشد و کنترل علف‌های هرز می‌شود. این روش می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای کشت گندم در شرایط محدودیت منابع آبی توصیه شود.

واژه‌های کلیدی

آبیاری قطره‌ای نواری، آرایش کاشت، بهره‌وری آب، تراکم علف‌های هرز، عملکرد گندم

مقدمه

بعد دست‌نخورده باقی می‌مانند. در این سامانه ناچار در سال اول عملیات خاک‌ورزی به اجرا درآمد تا خاک نرم لازم برای ایجاد پشته‌ها فراهم شود. اما این

پشته‌های بلند و عریض دائمی پشته‌هایی هستند که بعد از برداشت محصول، برای سال‌های

خوزستان به نتایج متفاوتی دست یافتند، آنها گزارش کردند که عملکرد گندم در روش‌های کشت روی پشته، خطی کاری و بذریابی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (Habibi Asl and Dehghan, 2012).

در زمینه بهره‌وری آب، پژوهش‌ها در هند نشان دادند کاشت روی پشته‌های عریض، در مقایسه با کاشت مرسوم روی زمین مسطح و کاشت روی پشته‌های باریک، می‌تواند کارایی مصرف آب گندم را به طور متوسط ۳۹ درصد افزایش دهد (Kumar et al., 2018). این یافته‌ها در پاکستان نیز تأیید شد. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که سیستم آبیاری روی پشته‌های بلند و عریض می‌تواند ۵۰/۷۳ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کند و بهره‌وری آب را ۵۴/۳۷ درصد افزایش دهد (Soomro et al., 2017). نتایج پژوهش‌ها در شمال غرب هند نیز نشان داد که کشت روی پشته می‌تواند عملکرد گندم را ۱۸ درصد (از ۴/۸ به ۵/۷ تن در هکتار) و بهره‌وری آب را ۲۲ درصد (از ۱/۱ به ۱/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب) افزایش دهد. این الگو موجب کاهش مصرف آب به میزان ۳۰ درصد شده است (Jat et al., 2022).

نتایج یک پژوهش در زمینه مدیریت نیتروژن در الگوی کشت پشته‌ای، در اقلیم مدیترانه‌ای نشان داد که سطح ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در الگوی کشت پشته‌ای با عملکرد ۵/۹ تن در هکتار و بازدهی مصرف نیتروژن ۳۲ کیلوگرم بر کیلوگرم بهینه است. این سیستم موجب کاهش ۲۸ درصد در تلفات نیترات نسبت به کشت مسطح شده است (Garcia et al., 2023).

در مطالعه‌ای بلندمدت، ۱۰ ساله، تأثیر الگوی کشت پشته‌ای بر خواص خاک و عملکرد گندم بررسی و نشان داده شد که پس از ۱۰ سال، خاک

پشته‌ها برای کشت بعدی دست‌نخورده باقی می‌مانند و در صورت نیاز، جویچه‌های بین پشته‌ها تمیز و ترمیم می‌شوند و بذر محصولات بعدی به روش کشت مستقیم روی آن‌ها کشت می‌شود. مزایای متعددی برای کشت روی پشته‌های بلند وجود دارد که برخی عبارت‌اند از قابلیت بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی، کاهش مصرف انرژی به دلیل حذف عملیات خاک‌ورزی، کاهش تراکم خاک به دلیل کاهش و کنترل تردد ماشین‌آلات، بهبود کنترل علف‌های هرز در زمان بازسازی جویچه‌ها و پشته‌ها، امکان کشت سریع محصول بعد، بهبود تهویه خاک و رشد ریشه و افزایش عملکرد (Eivani & Dehghan, 2018).

در مطالعه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان، کشت گندم روی بسترهای مسطح و پشته‌ای مقایسه و نشان داده شد که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه در تیمارهای مختلف کشت گندم وجود ندارد. بر اساس نتایج تحقیق پیشنهاد شد که الگوی کشت پشته‌ای گندم و حفظ پشته‌ها برای کشت ذرت می‌تواند در تناوب گندم-ذرت استفاده شود (Asadi Khoshoei et al., 2006).

مطالعات دیگری نیز مزایای سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و کشت روی پشته‌های دائمی را تأیید کرده‌اند. نتایج تحقیقی در جنوب آسیا نشان داد که این روش‌ها می‌توانند عملکرد محصول را در تناوب ذرت-گندم-ماش بین ۵/۷ تا ۲۴/۶ درصد افزایش دهند (Parihar et al., 2017). در زنجار نیز اثر الگوهای مختلف کاشت بر عملکرد گندم بررسی شد و این نتیجه به دست آمد که کاشت سه خط گندم روی پشته، در مقایسه با کاشت یک خط روی پشته و کاشت در کف جوی، عملکرد بیشتری دارد (Yousefi et al., 2016). پژوهشگران در استان

بارانی نسبت به روش آبیاری تیپ از لحاظ اقتصادی برتری دارد (Ghadami Firouzabadi et al., 2017).

نتایج پژوهشی دیگر با هدف بررسی اثر روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم و ارزیابی بهره‌وری آب نشان داد که روش آبیاری، اثر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع ساقه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بهره‌وری آب دارد. عملکرد دانه در روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای نواری به ترتیب ۷/۸۷۰، ۶/۸۳ و ۵/۰۱۷ تن در هکتار بوده است یعنی آبیاری سطحی باعث افزایش ۱۳/۲۱ و ۳۶/۲۵ درصد در عملکرد دانه نسبت به روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری شده است. بیشترین حجم آب کاربردی (۶۴۱۱ مترمکعب) و کمترین بهره‌وری آب (۱/۲۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به تیمار آبیاری سطحی بوده است. تیمار آبیاری قطره‌ای نواری با حدود ۳۳۳۳ مترمکعب آب آبیاری، باعث ۵۹ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به آبیاری سطحی شده است (Safarzadeh et al., 2021).

با توجه تحقیقات پیشین، کشت گندم روی پشته‌های بلند و عریض می‌تواند با افزایش کارایی مصرف آب و ارتقای عملکرد محصول، راهکاری پایدار برای مقابله با چالش‌های تغییرات اقلیمی و امنیت غذایی باشد؛ با این حال، نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه بومی‌سازی این الگوها برای شرایط مختلف اقلیمی ایران احساس می‌شود. این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر روش آبیاری و آرایش کاشت گندم روی پشته‌های بلند و عریض دائمی بر عملکرد گندم و بهره‌وری آب اجرا شده است.

در الگوی پشته‌ای ۲۵ درصد ماده آلی بیشتر و ۴۰ درصد نفوذپذیری بالاتری دارد. عملکرد گندم در این سیستم به طور متوسط ۱۵ درصد بیشتر از عملکرد در کشت مسطح بوده است (۶/۱ در مقابل ۵/۳ تن در هکتار) (Wang et al., 2022). نتایج یک پژوهش در زمینه بررسی کشت گندم روی پشته در مناطق خشک و کم باران از دیدگاه اقتصادی، نشان داده شد که هزینه‌های تولید در سیستم پشته‌ای ۱۵ درصد بیشتر است، اما درآمد خالص ۲۸ درصد بالاتر بوده است (۱۸۵۰ دلار در هکتار در مقابل ۱۴۴۰ دلار) و بازگشت سرمایه در این سیستم ۲/۸ در مقابل ۲/۱ در کشت مرسوم بوده است (Ali et al., 2023).

نتایج یک پژوهش نشان داد که سیستم آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سیستم آبیاری نشتی می‌تواند شاخص سرعت سبز شدن بذری (ERI) را ۱۸ درصد افزایش دهد (Zhang et al., 2023).

نتایج یک پژوهش در خصوص اثر سامانه‌های آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ گندم و ارزیابی اقتصادی آنها در همدان نشان داد که اختلاف عملکرد بین روش آبیاری تیپ و روش آبیاری جویچه‌ای حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است. مقدار بهره‌وری مصرف آب آبیاری در روش آبیاری تیپ، بارانی و جویچه‌ای (بدون در نظر گرفتن بارندگی مؤثر) به ترتیب ۱/۶، ۱/۱ و ۰/۶۹ کیلوگرم به ازای واحد آب مصرفی بوده است. به عبارت دیگر، آبیاری تیپ باعث افزایش ۱۳۲ و ۴۵ درصد در کارایی مصرف آب، نسبت به روش جویچه‌ای و بارانی، شده است. ارزیابی اقتصادی نشان داده است که استفاده از هر دو روش آبیاری بارانی و تیپ به جای روش جویچه‌ای برای تمامی ارقام گندم مورد استفاده دارای توجیه اقتصادی است و روش آبیاری

مواد و روش‌ها

متر (۸ پشته) و فاصله بین تکرارها ۵ متر در نظر گرفته شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار GenStat نسخه ۱۵ تجزیه واریانس شد و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن با هم مقایسه شدند.

کاشت گندم بر اساس تاریخ کاشت توصیه‌شده برای منطقه، در آذرماه با عرض پشته ۶۰ و عرض جویچه ۱۵ (فاصله مرکز به مرکز پشته‌ها ۷۵ سانتی‌متر)، ارتفاع پشته ۱۵-۲۰ سانتی‌متر و میزان بذر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد (شکل ۱). برای کاشت بذر از کارنده ماشین برزگر همدان با دو واحد کاشت استفاده شد (شکل ۲). هر واحد کاشت این ماشین قابلیت کاشت ۱ تا ۴ خط روی هر پشته را دارد که با حذف یا اضافه کردن واحدهای کاشت قابل اجراست. مشخصات فنی این کارنده در جدول ۱ آمده است.

این مطالعه به منظور بررسی اثر دو روش آبیاری و سه نوع آرایش کاشت روی عملکرد و بهره‌وری آب گندم اجرا شده است. در این پروژه، آزمایش‌ها به صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در مزرعه کشاورزان در منطقه گرم‌آباد در سایت پروژه گندم‌بنیان مرودشت، واقع در ۵۰ کیلومتری شرق شیراز به مدت دو سال زراعی به اجرا در آمده‌اند. تیمارهای آزمایش شامل روش آبیاری در دو سطح (یکی آبیاری قطره‌ای نواری یا تیپ و دیگری آبیاری نشتی) (کرت اصلی) و آرایش کشت در سه سطح (دو خط روی پشته، سه خط روی پشته و چهار خط روی پشته) (کرت فرعی) بود. طول تیمارهای آزمایشی معادل با طول واقعی مورد استفاده کشاورزان در منطقه یعنی ۴۰ متر، عرض آن‌ها ۶



شکل ۱- تصویر مزرعه بعد از کاشت گندم

Fig. 1- Field view after wheat planting



شکل ۲- کارنده کشت روی پشته بلند و عریض

Fig. 2- Seeder for planting on wide raised beds

جدول ۱- مشخصات فنی کارنده مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Technical specifications of the planter used in the experiment

ظرفیت مخزن (کیلوگرم) Seed Hopper Capacity	پشته‌ساز Bed Former	واحد بازسازی جویچه Furrow Reformer	فاصله خطوط کشت روی پشته (سانتی‌متر) Row Spacing on Bed	فاصله مرکز به مرکز پشته‌ها (سانتی‌متر) Bed Center-to- Center Spacing	تعداد خطوط کشت روی هر پشته Number of Crop Rows per Bed	تعداد واحد کشت Number of Planting Units	نوع کارنده Planter Type
400	بشقاب کنگره‌دار Notched Disk	دارد Available	دو خط ۵۰ Double-row: 50 cm	75	1 to 4 rows	2	کشت روی
			سه خط ۲۵ Triple-row: 25 cm				پشته‌های بلند
			چهار خط ۱۶ Quad-row: 16 cm				Raised-Bed Cultivation System

چمران ۲ بود و گندم با تراکم ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار (۵۰۰ تا ۵۴۰ بوته در مترمربع) کاشته شد. گندم روی پشته‌های دائمی کاشته شد که قبل از آن ذرت کشت شده بود. پس از برداشت گندم، پشته‌ها برای کشت بعد حفظ شدند. ساختار کارنده به گونه‌ای است که با هر بار کشت، جویچه‌ها ترمیم می‌شوند و پشته‌ها دست‌نخورده باقی می‌مانند.

در پلات‌هایی که به کمک نوار تیپ آبیاری می‌شدند، روی هر پشته یک خط نوار تیپ در نظر گرفته شد (شکل ۳). در پلات‌هایی که به شیوه نشتی آبیاری می‌شدند، آبیاری در شیارهای بین پشته‌ها صورت گرفت. حجم ورودی آب آبیاری به هر تیمار در هر دو روش آبیاری توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. رقم گندم مورد استفاده در این پروژه، رقم غالب منطقه،



شکل ۳- نوار تیپ برای آبیاری تیمارهای آزمایشی

Fig. 3- Drip tape for irrigating experimental treatments

برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ از علف‌کش توفوردی و برای باریک‌برگ‌ها از علف‌کش آکسیال استفاده شد. برای مقایسه تیمارها، صفاتی مانند عملکرد محصول، درصد سبز شدن بذر، شاخص سرعت سبز شدن بذر، میزان پنجه‌زنی گندم، تراکم علف‌های هرز، بهره‌وری آب آبیاری در

پلات‌های آزمایشی اندازه‌گیری شدند. مزرعه آزمایشی بر اساس آزمون خاک پیش از کاشت به میزان ۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات دی‌آمونیم و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در سه نوبت آبیاری در هکتار کود داده شد. نتایج آزمون خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی در عمق ۳۰ سانتی‌متری

Table 2- Soil properties of the experimental field at a 30 cm depth

روى	آهن	منگنز	مس	پتاسيم	فسفر	کربن	هدایت	واکنش گل	بافت
قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	آلی	الکتریکی	اشباع	خاک
Available Zinc	Available Iron	Available Manganese	Available Copper	Available Potassium	Available Phosphorus	Organic Carbon	Electrical Conductivity	Saturation Paste Reaction	Soil Texture
Zn ava. (ppm)	Fe ava. (ppm)	Mn ava. (ppm)	Cu ava. (ppm)	K.ava.(ppm)	P.ava.(ppm)	O.C.%	EC*103	pH of paste	Silty-Clay-Loam
0.74	9.02	8.30	1.90	576	13.4	0.76	2.06	7.9	

شش مترمربع (دو ردیف کشت به طول یک متر)
کف بر و دانه‌ها پس از جداسازی از خوشه وزن شدند. در هریک از ۴ نقطه، پیش از بریدن ساقه‌ها همه دانه‌ها و خوشه‌هایی که قبلاً و به صورت طبیعی

اندازه‌گیری فاکتورها

عملکرد محصول

برای اندازه‌گیری عملکرد محصول، ساقه‌های گندم در ۴ نقطه از کرت به مساحت کل

روی زمین ریخته شده، جمع‌آوری شدند. نقاط نمونه‌برداری یادشده، دور از حاشیه بود. برای محاسبه میانگین کل دانه تولیدی یا عملکرد واقعی در واحد سطح مزرعه از رابطه ۱ استفاده شد (Dehghan et al., 2018):

$$Y_t = \frac{10 \times (W_a + W_b)}{n \times A_k} \quad (۱)$$

که در آن،

Y_t = کل دانه تولیدشده در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار)؛ W_b = وزن دانه‌های ریزش کرده پیش از برداشت (شامل مجموع ۴ نمونه) (گرم)؛ W_a = وزن کل دانه‌های برداشت‌شده (شامل مجموع ۴ نمونه) (گرم)؛ n = تعداد قطعات برداشت‌شده (در اینجا برابر ۴)؛ و A_k = مساحت قطعه نمونه‌برداری (مترمربع و در

اینجا ۱/۵ مترمربع).

درصد سبز شدن بذر

برای تعیین درصد سبز شدن گندم، تعداد بذرهای سبز شده در فاصله طولی یک متر به ازای هر کرت شمارش و با توجه به رابطه ۲، درصد سبز شدن گندم (G) محاسبه شد (Erbach, 1982) (شکل ۵):

$$G = \frac{g}{n \times m \times P} \times 100 \quad (۲)$$

که در آن،

g = تعداد بذرهای سبز شده؛ n = تعداد بذرهای کاشته شده؛ m = درصد قوه نامیه بذر (اعشاری)؛ و P = درصد خلوص بذر.



شکل ۴- اندازه‌گیری درصد سبز شدن محصول و شاخص سرعت سبز شدن

Fig. 4- Measurement of crop emergence percent and emergence speed index

$$ERI = \sum_{i=f}^L \frac{[\%D - \%(D-1)]}{D} \quad (۳)$$

شاخص سرعت سبز شدن

برای تعیین سرعت سبز شدن گندم، تعداد بذرهای سبز شده در فاصله طولی یک متر به ازای هر پلات و به طور روزانه شمارش شده و پس از آن با استفاده از رابطه ۳ شاخص سرعت سبز شدن (ERI) محاسبه شد (Erbach, 1982):

که در آن،

$\%D$ = درصد گیاهان سبز شده در روز D ام؛ $\%(D-1)$ = درصد گیاهان سبز شده در روز $(D-1)$ ام؛ D = تعداد روزهای پس از کاشت؛ F = تعداد روزهای

آب (مجموع حجم آب آبیاری و بارش مؤثر) محاسبه شد. بارندگی مؤثر به روش SCS برآورد شد (Abbasi et al., 2017; 2023). هدایت الکتریکی (Ec) آب آبیاری ۲۰۵۰ بود.

تیمارهای آزمایشی بر اساس عرف منطقه (دور آبیاری هفت روز) آبیاری شدند. داده‌های تعداد دفعات آبیاری و میزان مصرف آب در هر بار آبیاری اندازه‌گیری و اطلاعات بارش روزانه در طول فصل زراعی نیز از نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنجی به منطقه اجرای طرح (ایستگاه هواشناسی زرکان) دریافت شد. اطلاعات بارش در دوره رشد محصول در جدول ۳ آمده است. میزان کل بارش در سال اول تحقیق ۱۷۳/۷ و در سال دوم ۳۳۰/۷ میلی‌متر و میزان بارش مؤثر در سال‌های اول و دوم تحقیق به ترتیب ۱۲۱/۶ و ۲۳۱/۵ میلی‌متر بود.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۴ و مقایسه میانگین صفات در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.

پس از کاشت که اولین گیاه سبز می‌شود (اولین روز شمارش)؛ و L = تعداد روزهای پس از کاشت، هنگامی که سبز شدن کامل شده است (آخرین روز شمارش).

پنجه‌زنی

میزان پنجه‌زنی به دلیل احتمال اثر آرایش کشت روی تعداد پنجه‌ها در هر بوته و برای تحلیل چگونگی تأثیر فاصله خطوط کشت یا فاصله بذرها در خطوط کشت روی عملکرد اندازه‌گیری شد. برای این کار در هر پلات ۱۰ بوته از زمین خارج و پس از شستشوی ریشه‌ها تعداد پنجه‌ها در بوته شمارش و یادداشت شدند و پس از آن میانگین تعداد پنجه در بوته محاسبه شد.

تراکم علف هرز

تراکم علف‌های هرز در هر پلات به صورت شمارش تعداد علف‌های هرز در هر مترمربع در زمان‌های پیش از سمپاشی و ۱۰ روز بعد از سمپاشی ثبت شد.

بهره‌وری آب

بهره‌وری آب از نسبت عملکرد محصول به حجم

جدول ۳- اطلاعات متوسط بارش در طول دوره رشد

Table 3. Mean rainfall during the crop growth cycle

بارش (میلی‌متر)	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
Rainfall (mm)	Aban	Azar	Day	Bahman	Esfand	Farvardin	Ordibehesht	Khordad
سال اول First year	35	78.4	3.2	19	23.2	3.9	11	0
سال دوم Second year	43.2	61	130.3	63.8	16.5	8.7	7.2	0

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس دو ساله صفات مورد مطالعه

Table 4- Two-year analysis of variance results for the studied traits

میانگین مربعات Mean Square						درجه آزادی df	منابع تغییر Source of Variation
بهره‌وری آب Water Productivity	تراکم علف هرز Weed Density	پنجه‌زنی Tillering	سرعت سبز شدن Emergence Speed	درصد سبز Green Percentage	عملکرد Yield		
0.27 ns	256*	0.16 ns	4.96**	4.69 ns	10,315,037 ns	1	سال Year
0.06	30.6	0.06	0.04	2.28	2,422,819	4	تکرار (سال) Rep (Year)
0.56*	2209**	2.05*	3.38**	3.36 ns	16,097,043*	1	آبیاری Irrigation
0.11 ns	7.1 ns	0.002 ns	0.20 ns	42.25 ns	3,940,045 ns	1	سال × آبیاری year × Irrigation
0.04	31.1	0.17	0.06	8.72	1,408,307	4	تکرار (سال × آبیاری) Rep (Year × Irrigation)
0.09*	53.7**	1.07*	1.52**	158.86**	3,446,576*	2	آرایش کاشت Planting Pattern
0.004 ns	1.1 ns	0.02 ns	0.17 ns	1.36 ns	184,367 ns	2	سال × آرایش کاشت Year × Planting Pattern
0.0002 ns	48.2**	1.11*	5.57**	15.03 ns	8,054 ns	2	آبیاری × آرایش کاشت Irrigation × Planting Pattern
0.017 ns	54.8**	0.025 ns	0.78**	4.08 ns	675,040 ns	2	سال × آبیاری × آرایش کاشت Year × Irrigation × Planting Pattern
0.015	5.1	0.23	0.11	2.79	581,266	16	خطا Error

جدول ۵- جدول مقایسه میانگین صفات زراعی

Table 5- Comparison of mean values of agronomic traits

بهره‌وری آب Water Productivity	تراکم علف هرز Weed Density	پنجه‌زنی Tillering	سرعت سبز شدن Emergence Speed	درصد سبز Green Percentage	عملکرد Yield		
1.24a	43.7a	2.28a	9.25a	91.3a	7678a	اول First	سال Year
1.07a	38.4b	2.15a	8.51b	92.1a	6607a	دوم Second	
1.28a	33.2b	2.46a	8.58b	92.0a	7811a	آبیاری تیپ Tape Irrigation	روش آبیاری Irrigation Type
1.03b	48.9a	1.98b	9.19a	91.4a	6474b	آبیاری نشتی Flooding Irrigation	
1.07b	39.3b	1.87b	8.80b	87.6c	6597b	۴ خط 4 Rows	آرایش کاشت Planting Pattern
1.24a	40.4b	2.42a	9.27a	94.5a	7668a	۳ خط 3 Rows	
1.16ab	43.4a	2.35a	8.56c	93.0b	7162ab	۲ خط 2 Rows	

جدول ۶- مقایسه میانگین دو ساله صفات مورد مطالعه

Table 3- Two-year mean comparison of the studied traits

روش آبیاری	آرایش کاشت	عملکرد	درصد سبز	سرعت سبز شدن	پنجه‌زنی	تراکم علف هرز	بهره‌وری آب
Irrigation Type	Planting Pattern	Yield	Green Percentage	Emergence Speed	Tillering	Weed Density	Water Productivity
آبیاری تیپ Tape Irrigatin	۴ خط 4 Rows	7265abc	89.2b	8.38cd	2.40ab	31.33c	1.19abc
	۳ خط 3 Rows	8311a	94.0a	8.34cd	2.39ab	34.67c	1.36a
	۲ خط 2 Rows	7857ab	92.8a	9.01bc	2.63a	33.67c	۱,۲۹ab
آبیاری نشتی Flooding Irrigation	۴ خط 4 Rows	5929c	86.0c	9.22b	1.34c	47.33b	0.94d
	۳ خط 3 Rows	7025abc	95.0a	10.21a	2.49ab	46.17b	1.12bcd
	۲ خط 2 Rows	6468bc	93.2a	8.14d	2.09b	53.17a	1.03cd

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس دوساله صفات مورد مطالعه

- اثر سال

نتایج تجزیه واریانس دوساله صفات مورد بررسی (جدول ۴) نشان می‌دهد که اثر سال روی عملکرد، درصد سبز محصول، پنجه‌زنی و بهره‌وری آب معنی‌دار نیست. اما بر سرعت سبز شدن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است؛ بنابراین، شرایط متفاوت سال‌ها (مانند دما و رطوبت) اثر قابل توجهی بر سرعت سبز شدن داشته است. همچنین سال‌های آزمایش بر تراکم علف هرز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است؛ بنابراین شرایط سالانه تنها روی سرعت سبز شدن و تراکم علف هرز اثر معنی‌داری دارد و بر دیگر صفات اثر معنی‌داری نداشته است.

- اثر آبیاری

بر اساس نتایج جدول ۴، آبیاری نقش اساسی و معنی‌داری در عملکرد، سرعت سبز شدن، پنجه‌زنی، کنترل علف هرز و بهره‌وری آب داشته است، اما بر درصد سبز شدن بذری اثر معنی‌داری نداشته است. اثر آبیاری بر عملکرد گندم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است. این نشان‌دهنده اثر مستقیم و

مهم میزان آبیاری بر عملکرد محصول است. همچنین سرعت سبز شدن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است و بیانگر حساسیت زیاد سرعت سبز شدن گیاه به میزان آب در دسترس است. پنجه‌زنی نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است که بیانگر تأثیر آبیاری بر توسعه گیاه (پنجه‌زنی) است. تراکم علف هرز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است که نشان‌دهنده تأثیر شدید آبیاری بر کنترل یا افزایش علف‌های هرز است. بهره‌وری آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار است و نشان می‌دهد میزان آبیاری در میزان بهره‌وری آب نقش مؤثری دارد.

- اثر متقابل سال × آبیاری

تمام صفات، عملکرد، درصد سبز شدن بذری، سرعت سبز شدن، پنجه‌زنی، تراکم علف هرز و بهره‌وری آب تحت تأثیر این اثر متقابل معنی‌دار نشده‌اند؛ بنابراین واکنش گیاه به آبیاری در سال‌های مختلف ثابت بوده است.

- اثر آرایش کاشت

آرایش کاشت عاملی کلیدی و تعیین‌کننده برای تمام صفات است و اثر آن بر همه صفات مورد بررسی معنی‌دار شده است. عملکرد گندم در سطح ۵ درصد معنی‌دار است و بیانگر تأثیر مستقیم آرایش

- اثر متقابل سه‌جانبه سال $\times$ آبیاری $\times$ آرایش کاشت
اثر متقابل سه‌جانبه سال $\times$ آبیاری $\times$ آرایش کاشت بر سرعت سبز شدن و تراکم علف هرز معنی‌دار است اما بر سایر صفات معنی‌دار نبوده است. سرعت سبز شدن در سطح ۱ درصد معنی‌دار است و بنابراین واکنش سرعت سبز شدن به ترکیب آبیاری و آرایش کاشت به شرایط اقلیمی سالانه بستگی داشته است. تراکم علف هرز نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است و نشان می‌دهد کنترل علف هرز به تعامل پیچیده سه عامل بستگی دارد.

به طور کلی از نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص می‌شود که دو عامل اصلی روش آبیاری و آرایش کاشت بسیار مؤثرند و باید در مدیریت زراعی به آنها توجه ویژه شود. برهم‌کنش آبیاری $\times$ آرایش کاشت و سال $\times$ آبیاری $\times$ آرایش کاشت برای کنترل بهتر سرعت سبز شدن و تراکم علف هرز بسیار مهم است و باید در تصمیمات مدیریتی مدنظر قرار گیرد. برای بهبود عملکرد، بهره‌وری آب و کاهش علف هرز، انتخاب آرایش مناسب کاشت همراه با مدیریت دقیق آبیاری ضروری است.

تحلیل مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین‌های دوساله آزمایش (جدول ۵)، عملکرد دانه گندم بین دو سال تفاوت آماری معنی‌داری نداشته است، هرچند از نظر عددی در سال اول، عملکرد بیشتر بوده است (۷۶۷۸ کیلوگرم در هکتار در سال اول در برابر ۶۶۰۷ در سال دوم). این موضوع نشان می‌دهد که شرایط کلی دو سال زراعی از نظر فاکتورهای اقلیمی و مدیریتی، تفاوت زیادی نداشته است و نتایج به دست آمده قابل اعتماد و قابل تعمیم به شرایط مشابه هستند. درصد سبز شدن بذر محصول و پنجه‌زنی نیز تفاوت آماری معنی‌داری بین

کاشت بر میزان محصول برداشت‌شده است. درصد سبز شدن بذر در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده که نشان‌دهنده تأثیر بسیار قوی آرایش کاشت بر درصد سبز شدن محصول است. سرعت سبز شدن نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است و بیانگر تأثیر مثبت آرایش کاشت بر افزایش سرعت جوانه‌زنی گیاه است. پنجه‌زنی گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که نشان می‌دهد تراکم و آرایش بوته‌ها نقش مهمی در تعداد پنجه‌ها داشته است. تراکم علف هرز در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است که تأثیر بسیار قوی آرایش کاشت را در مدیریت علف‌های هرز نشان می‌دهد. بهره‌وری آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است که تأثیر آرایش کاشت در استفاده بهتر از منابع آبی را نشان می‌دهد.

- اثر متقابل سال $\times$ آرایش کاشت

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر متقابل سال در آرایش کاشت برای تمامی صفات غیرمعنی‌دار است؛ بنابراین، واکنش آرایش کاشت در دو سال مورد آزمایش ثابت بوده است.

- اثر متقابل آبیاری $\times$ آرایش کاشت

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر متقابل روش آبیاری و آرایش کاشت روی عملکرد، درصد سبز شدن بذر محصول و بهره‌وری آب معنی‌دار نبوده و روی سه صفت دیگر معنی‌دار نبوده است. سرعت سبز شدن در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. یعنی واکنش گیاه در سرعت سبز شدن به آرایش کاشت، وابسته به مقدار آبیاری بوده است. پنجه‌زنی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. این امر نیز نشان‌دهنده اهمیت هماهنگی بین آرایش کاشت و مدیریت آبیاری در توسعه گیاه است. تراکم علف هرز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. این برهم‌کنش بر کنترل علف هرز بسیار قوی بوده است.

دو سال نشان نداده است. با این حال، شاخص سرعت سبز شدن در سال اول (۹/۲۵) به طور معنی‌داری بیشتر بوده است تا در سال دوم (۸/۵۱). این تفاوت ممکن است ناشی از شرایط دمایی و رطوبتی متفاوت در آغاز فصل رشد سال اول باشد که باعث تندتر شدن جوانه‌زنی شده است. از سوی دیگر، تراکم علف‌های هرز در سال اول (۴۳/۷) بوته در مترمربع) به طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم (۳۸/۴ بوته در مترمربع) بود. این کاهش در سال دوم احتمالاً به دلیل کاهش ذخیره بذر علف‌های هرز در خاک یا مدیریت بهتر مزرعه در سال دوم بوده است.

روش آبیاری بر اکثر صفات اثر معنی‌دار داشته است. عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای نواری (۷۸۱۱ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد در روش آبیاری نشتی (۶۴۷۴ کیلوگرم در هکتار) بوده است. این افزایش عملکرد می‌تواند به دلیل یکنواختی تأمین آب، کاهش تنش خشکی و ایجاد شرایط پایدار برای رشد ریشه و جذب عناصر غذایی در روش آبیاری نواری باشد. در خصوص بهره‌وری آب نیز روش نواری (۱/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب) نسبت به نشتی (۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب) به طور معنی‌داری برتری دارد. این اختلاف مهم نشان‌دهنده مصرف مؤثرتر آب در روش قطره‌ای نواری و جلوگیری از اتلاف آن است. سومرو و همکاران (Soomro et al., 2017) نیز نتایج مشابهی را در خصوص افزایش بهره‌وری آب در سامانه آبیاری روی پشته‌های بلند گزارش کرده‌اند. پنجه‌زنی نیز در روش نواری (۲/۴۶) بیشتر از روش نشتی بوده است (۱/۹۸) که می‌توان آن را به شرایط رشدی بهتر و تعادل تغذیه‌ای در این روش نسبت داد. در مورد شاخص سرعت سبز شدن، آبیاری

نشتی (۹/۱۹) به طور معنی‌داری نسبت به آبیاری نواری (۸/۵۸) جوانه‌زنی سریع‌تری داشت. این وضعیت ممکن است ناشی از تماس سریع‌تر بذرها با آب در روش نشتی باشد که باعث تسریع در جذب آب و آغاز جوانه‌زنی شده است، هرچند این مزیت در دیگر مراحل رشد منجر به بهبود عملکرد نشده است. تراکم علف‌های هرز در آبیاری با روش نشتی (۴۸/۹) بوته در مترمربع) به طور معنی‌داری بیشتر از آبیاری با روش نواری (۳۳/۲) بوته است که دلیل آن فراهم بودن رطوبت بیشتر در سطح خاک برای جوانه‌زنی علف‌های هرز و کنترل نامؤثر رطوبت در آبیاری نشتی است.

تأثیر آرایش کاشت نیز بسیار مهم و معنی‌دار بود. عملکرد در آرایش سه خط روی پشته (۷۶۶۸ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد در آرایش چهار خط روی پشته (۶۵۹۷) بود. آرایش دو خط روی پشته نیز عملکرد نسبتاً بالایی (۷۱۶۲) داشت و از نظر آماری در گروه بینابینی قرار گرفت. به نظر می‌رسد آرایش سه خط روی پشته توازن مناسبی بین تراکم و فضای رشد ایجاد کرده و باعث کاهش رقابت درون‌گونه‌ای شده است. پژوهش‌های یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2016) نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش، کشت سه خط روی پشته، نسبت به آرایش کاشت یک خطه و کشت کف جوی عملکرد بالاتری داشته است. درصد سبز محصول نیز در آرایش سه خط روی پشته (۹۴/۵ درصد) بیشترین مقدار را داشت و به طور معنی‌داری از آرایش چهار خط روی پشته (۸۷/۶ درصد) و حتی دو خط روی پشته (۹۳ درصد) بیشتر بود. این برتری می‌تواند به دلیل توزیع یکنواخت‌تر بذر و تأمین بهتر نور و رطوبت در مراحل ابتدایی رشد باشد. در مورد سرعت

مترمکعب)، درصد سبز (۹۴/۵ درصد) و سرعت سبز شدن بالا (۹/۲۷ درصد در روز)، پنجه‌زنی مناسب (۲/۴۲ پنجه در بوته) و تراکم علف هرز نسبتاً پایین (۴۰/۴ بوته در متر مربع) داشته است و به عنوان تیمار برتر برای شرایط مشابه توصیه می‌شود. این ترکیب موجب ایجاد تعادل بین تراکم بوته، مصرف آب، رشد گیاه و مدیریت مؤثر مزرعه می‌شود و می‌تواند راهکاری عملی و مؤثر برای بالابردن بهره‌وری در کشت گندم باشد.

تحلیل مقایسه میانگین دوساله صفات مورد مطالعه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های دوساله (جدول ۶)، ترکیب تیمارهای آبیاری و آرایش کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد، بهره‌وری آب و دیگر صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم داشته است. بررسی عملکرد نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری قطره‌ای نواری با آرایش سه خط روی پشته (۸۳۱۱ کیلوگرم در هکتار) حاصل شده که به طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارها بالاتر بوده است. عملکرد تیمار آبیاری نواری با آرایش دو خط روی پشته (۷۸۵۷ کیلوگرم در هکتار) و آرایش چهار خط روی پشته (۷۲۶۵ کیلوگرم در هکتار) نیز در رده‌های بعدی قرار دارند و تفاوت آنها از نظر آماری با تیمار اول کمتر است. این برتری می‌تواند به دلیل فراهم شدن تراکم بهینه بوته‌ها در آرایش سه خط روی پشته به همراه توزیع یکنواخت و کنترل‌شده آب در سیستم تیپ باشد که منجر به کاهش رقابت درون‌گونه‌ای، توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای، و بهره‌گیری کامل‌تر از منابع محیطی شده است.

کمترین عملکرد در تیمار آبیاری نشتی با آرایش چهار خط روی پشته دیده می‌شود (۵۹۲۹ کیلوگرم

سبز شدن، بیشترین مقدار در آرایش سه خط روی پشته (۹/۲۷ درصد در روز) و کمترین آن در آرایش دو خط روی پشته (۸/۵۶ درصد در روز) مشاهده شد. پنجه‌زنی در آرایش سه خط روی پشته (۲/۴۲ پنجه در بوته) و دو خط روی پشته (۲/۳۵ پنجه در بوته) به طور معنی‌داری بیشتر از پنجه‌زنی در آرایش چهار خط روی پشته (۱/۸۷ پنجه در بوته) بود که احتمالاً به دلیل کاهش رقابت در تراکم کمتر و توسعه بهتر گیاهچه‌ها بوده است. تراکم علف هرز در آرایش دو خط روی پشته (۴۳/۴ بوته در متر مربع) به طور معنی‌داری بیشتر بوده است تا در آرایش سه خط روی پشته (۴۰/۴ بوته در متر مربع) و چهار خط روی پشته (۳۹/۳ بوته در متر مربع). این افزایش ممکن است به دلیل باز بودن فضای بین خطوط کشت در آرایش دو خط روی پشته و فراهم شدن شرایط رشد برای علف‌های هرز باشد. در مقابل، آرایش چهار خط روی پشته با پوشش گیاهی بالاتر و سایه‌اندازی بهتر، شرایط رشد را برای علف‌های هرز محدود کرده است. بهره‌وری آب در آرایش سه خط روی پشته (۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب) به طور معنی‌داری بالاتر از بهره‌وری آب در آرایش چهار خط روی پشته (۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب) بود، در حالی که آرایش دو خط روی پشته (۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در موقعیت میانی قرار گرفته است. این موضوع نشان می‌دهد که آرایش سه خط روی پشته ضمن دستیابی به عملکرد بالا، از منابع آبی نیز به طور مؤثر استفاده کرده است.

در جمع‌بندی نهایی می‌توان گفت تیمار ترکیبی آبیاری نواری (تیپ) به همراه آرایش کاشت سه خط روی پشته بهترین نتیجه را از نظر عملکرد (۷۶۶۸ کیلوگرم در هکتار)، بهره‌وری آب (۱/۲۴ کیلوگرم بر

در هکتار) که اختلاف آن با تیمار برتر بیش از ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار است. این کاهش قابل توجه را می‌توان به رقابت شدید بین بوته‌ها به دلیل نزدیکی بیش از حد خطوط کشت، غیریکنواخت بودن رطوبت خاک در آبیاری نشتی، و ایجاد تنش‌های فیزیولوژیکی در مراحل حساس رشد گیاه نسبت داد.

در بررسی درصد سبز شدن بذر محصول، تیمارهای دارای آرایش سه خط روی پشته و دو خط روی پشته در هر دو روش آبیاری درصد سبز بالاتری داشتند. تیمار آبیاری نشتی با آرایش سه خط روی پشته بالاترین مقدار درصد سبز (۹۵ درصد) را داشت و پس از آن آبیاری نواری با آرایش سه خط روی پشته (۹۴ درصد)، بدون اختلاف معنی‌دار قرار گرفت. این مقادیر بالای درصد سبز در آرایش‌های با تراکم میانه، نشان‌دهنده استقرار یکنواخت و موفق گیاهچه‌ها در این آرایش‌ها است. در مقابل، کمترین درصد سبز (۸۶ درصد) مربوط به تیمار نشتی با آرایش چهار خط روی پشته است که می‌تواند ناشی از تراکم زیاد، تهویه ضعیف و رقابت بین خطوط کشت در مراحل جوانه‌زنی باشد. همچنین در آرایش کشت چهار خط روی پشته بذر کشت شده در دو خطی که در کناره‌های پشته کشت می‌شوند مانند دو خط وسط به خوبی در خاک استقرار نمی‌یابد.

در خصوص سرعت سبز شدن، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود دارد. بیشترین شاخص سبز شدن مربوط به تیمار آبیاری نشتی با آرایش سه خط روی پشته است (۱۰/۲۱ درصد در روز)، در حالی که کمترین شاخص سرعت سبز شدن (۸/۱۴ درصد در روز) در تیمار نشتی با آرایش دو خط روی پشته ثبت شده است.

پنجه‌زنی، یکی از مؤلفه‌های تعیین‌کننده عملکرد، به شدت تحت‌تأثیر ترکیب تیمارها قرار گرفته است. بیشترین مقدار پنجه (۲/۶۳) پنجه در بوته) در تیمار آبیاری نواری با آرایش دو خط روی پشته دیده شد که نشان می‌دهد فاصله بیشتر بین خطوط کشت و با تأمین مناسب رطوبت، گیاه فرصت بیشتری برای تولید پنجه داشته است. این مقدار به طور معنی‌داری از تیمار نشتی با آرایش چهار خط روی پشته (۱/۳۴) پنجه در بوته) بیشتر است. پنجه‌زنی پایین در این تیمار احتمالاً به دلیل رقابت شدید بین بوته‌ها، تهویه ضعیف خاک و توسعه نامناسب ریشه‌هاست. دیگر تیمارهای نواری نیز مقدار بالای پنجه‌زنی داشته‌اند (۲/۴۰) پنجه در بوته) در آرایش چهار خط روی پشته و ۲/۳۹ پنجه در بوته) در آرایش سه خط روی پشته) که هم‌راستا با عملکرد آن‌هاست و نشان‌دهنده شرایط مطلوب رشد رویشی در روش آبیاری نواری است.

در بررسی تراکم علف‌های هرز، کمترین مقدار (۳۱/۳) بوته در مترمربع) به تیمار آبیاری نواری با آرایش چهار خط روی پشته تعلق دارد. این موضوع به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک توسط گیاه زراعی، سایه‌اندازی بیشتر و خشک‌تر بودن سطح خاک در اطراف خطوط کشت در آبیاری نواری است. در مقابل، بیشترین تراکم علف‌های هرز (۵۳/۱۷) بوته در مترمربع) در تیمار نشتی با آرایش دو خط روی پشته ثبت شد. در این تیمار فضای بین خطوط کشت زیادتر و سطح خاک اغلب مرطوب است و بنابراین شرایط مناسبی برای جوانه‌زنی بذرهای علف هرز فراهم شده است. داده‌ها نشان می‌دهد که روش آبیاری تیپ در تمامی آرایش‌ها علف هرز کمتری نسبت به روش نشتی تولید کرده است که این

نتیجه‌گیری

این آزمایش به مدت دو سال روی گندم در شرایط کاشت روی پشته‌های بلند و عریض و تحت دو سامانه آبیاری (قطره‌ای نواری و نشتی) و سه آرایش کاشت (دو، سه و چهار خط کاشت) اجرا شد، نتایج نشان داد روش آبیاری بر اکثر صفات مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری دارد، به طوری که آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) نسبت به روش نشتی به طور قابل توجهی سبب افزایش عملکرد (۷۸۱۱ در مقابل ۶۴۷۴ کیلوگرم در هکتار)، افزایش بهره‌وری آب (۱/۲۸ در برابر ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب)، افزایش تعداد پنجه در بوته و کاهش قابل توجه تراکم علف هرز شده است. آرایش کاشت نیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد، بهره‌وری آب و دیگر صفات داشته است. در میان آرایش‌های مختلف کشت، آرایش سه خطه روی پشته‌های بلند و عریض، بهترین نتیجه را از نظر عملکرد (۷۶۶۸ کیلوگرم در هکتار)، بهره‌وری آب (۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب)، درصد سبز محصول، سرعت سبز شدن مناسب و پنجه‌زنی مطلوب داشته است. در مجموع، برای دستیابی به بیشترین عملکرد، افزایش بهره‌وری آب، مدیریت بهتر علف‌های هرز و بهبود استقرار و پنجه‌زنی گندم، ترکیب تیماری آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و آرایش کاشت سه خطه روی پشته‌های بلند و عریض به عنوان مناسب‌ترین تیمار توصیه می‌شود. استفاده از این تیمار در شرایط مشابه، ضمن کمک به صرفه‌جویی در مصرف آب، سبب افزایش عملکرد و سودآوری اقتصادی تولید گندم خواهد شد.

ویژگی می‌تواند در کاهش مصرف سموم و هزینه‌های مدیریتی بسیار مهم باشد.

بهره‌وری آب که از شاخص‌های کلیدی این تحقیق بوده است، تحت تأثیر ترکیب تیمارها تغییرات معنی‌داری داشته است. بالاترین بهره‌وری آب (۱/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار نواری با آرایش سه خط روی پشته مشاهده شد که با بیشترین عملکرد نیز همراه بود. پس از آن تیمار نواری با آرایش دو خط روی پشته قرار دارد (۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب) که عملکرد نسبتاً بالایی هم دارد. کمترین بهره‌وری آب به تیمار نشتی با آرایش چهار خط روی پشته تعلق دارد (۰/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب) که هم‌راستا با پایین‌ترین عملکرد و بالاترین تلفات آبی است. این نتایج بیانگر آن است که سیستم آبیاری نواری همراه با آرایش کاشت بهینه، موجب استفاده مؤثرتر از منابع آبی و افزایش تولید می‌شود.

در جمع‌بندی می‌توان گفت که تیمار آبیاری نواری (تیپ) با آرایش سه خطه، بهترین ترکیب از نظر تمام صفات مهم از جمله عملکرد، بهره‌وری آب، درصد سبز محصول و کنترل علف‌های هرز بوده است. این ترکیب نه تنها عملکرد بالایی ارائه داده است بلکه با بهره‌وری بالای آب، استقرار بهتر گیاه و کاهش علف‌های هرز، از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی نیز مزیت قابل توجهی دارد. این تیمار برای کشت گندم در پشته‌های بلند و عریض و در مناطق با محدودیت منابع آبی توصیه می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، سرقت ادبی و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافع تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- Abbasi, F., Akbari, M., Nasser, A., Abbasi, N., Baghani, J., Joleini, M., Shahrokhnia, M. A., Nakhjavani, M.M., Sepehri Sadeghian, S., Moayeri, M., Hassanoghli, A. R., Haghayeghi, A., Ghadami Firouzabadi, A., Mousavi Fazl, H., & Yazdani, M.R. (2023). A review of water consumption management indicators of different crops in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 25(94), 1-16. <https://doi.org/10.22092/idser.2024.364605.1569>. (in Persian)
- Abbasi, F., Abbasi, N., & Tavakoli, A. R. (2017). Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1): 141-144. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.67121>. (in Persian)
- Ali, S., Iqbal, M., Hussain, A., & Rehman, A. (2023). Economic analysis of raised bed wheat production in arid regions. *Agricultural Systems*, 204, 103558. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103558>.
- Asadi Khashoyi, A., Afyouni, D., Hemmat, A., & Farahmand, S. (2006). Comparison of flat and raised bed planting systems for irrigated wheat and evaluation of minimum tillage for maintaining beds for corn forage planting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(7), 27-40. (in Persian)
- Dehghan, E., Eivani, A., Hedayatipour, A., Asadi khoshoei, A., Gigloo, G. A., Chaji, H., Sadeghenejhad, H. R., Omidmehr, Z., Zarifneshat, S., Abbasi, S., Afzali, S. M. J., Vahedi, A., Mahdini, A., Gerami, K., Shaker, M., Saeedirad, M. H., Mostofisarkari, M. R., Rostami, M. A., Safari, M., Zabolestani, Z., & Sharifnasab, H. (2018). Measurement of combine harvesting losses of wheat in Iran to introduce their reduction solutions. *Research Report*. Agricultural Engineering Research Institute (AERI). NO. 970464-026-14-14-0. (in Persian).
- Eivani, A., & Dehghan, E. (2018). Mechanized wheat cultivation on raised beds. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute. *Technical Publication*. No. 55027. (in Persian)
- Erbach, D. C. (1982). Tillage for continuous corn and corn-soybean rotation. *Transactions of the ASAE*, 25(4), 906-911.
- Garcia, A., Martinez, E., Lopez, R., & Fernandez, J. (2023). Optimizing nitrogen management in wheat grown on raised beds in Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*, 142, 126672. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126672>.
- Ghadami Firouzabadi, A., Chaichi, M., & Seyedan, S. M. (2017). Effects of different irrigation systems on yield, some agronomic traits, and water productivity of different wheat genotypes and their economic assessment in Hamedan. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(2), 139-149.
- Habibi Asl, J., & Dehghan, E. (2012). Evaluation of technical and agronomic parameters of wheat planting methods with different seed rates in southern Khuzestan. *Journal of Agricultural Machinery*, 2(1), 46-57. <https://doi.org/10.22067/jam.v2i1.14293>. (in Persian)
- Jat, R. K., Singh, P., Singh, R. G., Sharma, P. C., & Jat, M. L. (2022). Effects of raised bed planting on water productivity and yield of wheat in northwest India. *Agricultural Water Management*, 265, 107541. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107541>.
- Kumar, V., Naresh, R. K., Sagar, V. K., & Sagar, P. K. (2018). Performance of wheat (*Triticum aestivum* L.) under tillage practices and water regime on water productivity and economics. *International*

- Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(3), 3072-3081. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.357>.
- Parihar, C. M., Jat, S. L., Singh, A. K., Ghosh, A., Rathore, N. S., Kumar, B., Pradhan, S., Majumdar, K., Satyanarayana, T., Jat, M. L., Saharawat, Y. S., Kuri, B. R., & Saveipune, D. (2017). Effects of precision conservation agriculture in a maize-wheat-mungbean rotation on crop yield, water-use and radiation conversion under a semiarid agro-ecosystem. *Agricultural Water Management*, 192, 306-319. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.021>.
- Safarzadeh, S., Saremi, M., Farshid, A. & Dehghani, M. (2021). Investigation Yield, Yield Components and Water Efficiency of Wheat in Three Systems: Surface, Sprinkler and Strip Drip Irrigation. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(1), 87-97. (in Persian)
- Soomro, A. S. A., Nauman, M., Soomro, S. A., Tagar, A. A., Soomro, S. A., Buriro, M., & Memon, A. H. (2017). Evaluation of raised-bed and conventional irrigation systems for yield and water productivity of wheat crop. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 13, 143-149.
- Wang, L., Zhang, G., Chen, H., & Liu, X. (2022). Long-term effects of raised bed planting on soil properties and wheat yield. *Soil and Tillage Research*, 215, 105234. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105234>.
- Yousefi, A., Pour Yousef, M., & Mardani, R. (2016). Evaluation of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and weed biomass under different irrigation regimes and planting patterns. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 62(6), 17-30. (in Persian)
- Zhang, X., Li, Y., Wang, J., Chen, X., & Huang, G. (2023). Raised bed planting system for wheat cultivation in water-limited environments. *Field Crops Research*, 291, 108792. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108792>.

Original Paper

The Effect of Crop Planting Arrangement and Irrigation System on Wheat Yield and Water Productivity in Permanent Wide Raised Bed Planting Method

M. A. Rostami*, A. Eslami and Sh. Sarikhani Khoarami

*Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Resource Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran. E-mail: marostami1351@gmail.com

Received: 3 April 2025, Accepted: 12 July 2025

<https://doi.org/10.22092/amsr.2025.369028.1515>

Abstract

This study investigated the effects of two irrigation methods (drip tape and furrow irrigation) and three wheat planting patterns (2, 3, and 4 rows on raised beds) on wheat yield and agronomic indicators. The experiment was conducted as a split-plot design within randomized complete blocks with six treatments and three replications over two growing seasons. Wheat was cultivated on wide raised beds measuring 60 cm in width, 15-20 cm in height, with 75 cm center-to-center spacing (60 cm bed width and 15 cm furrow width). Measured parameters included grain yield, germination percentage, emergence rate, tillering capacity, weed density, and water productivity. Mean comparisons revealed that drip tape irrigation increased yield by 20.6% (7,811 vs. 6,474 kg/ha) and improved water productivity by 24.3% (1.28 vs. 1.03 kg/m³) compared to furrow irrigation, while showing 47.3% lower weed density. Among planting patterns, the 3-row arrangement demonstrated optimal performance with 7,668 kg/ha yield and 1.24 kg/m³ water productivity. The superior treatment combination - drip irrigation with 3-row planting on wide raised beds - achieved maximum yield (8,311 kg/ha) and water productivity (1.36 kg/m³). These findings demonstrate that drip tape irrigation combined with 3-row planting on wide raised beds simultaneously enhances yield, water use efficiency, growth parameters, and weed control. This integrated approach is recommended as an effective strategy for wheat cultivation in water-limited environments, offering both agronomic and resource conservation benefits. The results highlight the importance of optimized irrigation and planting configurations for sustainable wheat production systems.

Keywords: Drip Tape Irrigation, Planting Patterns, Water Productivity, Weed Density, Wheat Yield



© 2024 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)