مقاله پژوهشی

اثر تراکم و کائولین بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم

امین رشیدیان[۱]، مسعود رفیعی[۲*]، علی خورگامی[۱]، رضا میردریکوند[۱] و سید حسین وفایی[۳]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد ، ایران

[۲] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

[۳] گروه گیاهپزشکی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تراکم و محلول‌پاشی کائولین بر ارقام گندم دیم، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل- اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار تحت شرایط دیم در شهرستان کوهدشت اجرا شد. فاکتور تراکم در چهار سطح ۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰ و ۸۰۰ بوته در مترمربع و فاکتور رقم شامل سه رقم گندم دیم شامل کریم، کوهدشت و قابوس به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی کائولین در دو سطح عدم‌کاربرد و کاربرد کائولین در کرت‌های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم بر میزان آنتی-اکسیدان‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز (به‌ترتیب ۲۶/۲ و ۹/۱ درصد) و کربوهیدرات‌های دانه (۱۱/۹ درصد) افزوده شد، اما میزان پروتئین دانه (۴/۳ درصد) در بالاترین تراکم نسبت به شاهد کاهش یافت. میزان نیتروژن، پتاسیم و آهن دانه با افزایش تراکم کاهش نشان داد. بیشترین میزان فسفر، روی و پروتئین دانه به رقم قابوس تعلق داشت، بطوریکه میزان فسفر به‌ترتیب ۶/۴ و ۱/۹ درصد، میزان روی به-ترتیب ۴/۶ و ۱/۳ درصد و میزان پروتئین به‌ترتیب ۲/۵ و ۰/۳ درصد در رقم قابوس بیشتر از ارقام کریم و کوهدشت بود. محلول‌پاشی کائولین موجب افزایش جذب تمام عناصر ضروری مورد مطالعه در اندام هوایی و میزان نیتروژن، فسفر، آهن، روی و کربوهیدرات‌های دانه، اما موجب کاهش آنتی‌اکسیدان‌های اندام هوایی و میزان پتاسیم و پروتئین دانه نسبت به عدم‌کاربرد کائولین شد. در مجموع، رقم قابوس در تراکم ۵۰۰ بوته در مترمربع با کاربرد کائولین به‌عنوان بهترین تیمار جهت تولید و غنی‌سازی دانه برای منطقه کوهدشت قابل توصیه است.

کلمات کلیدی: پروتئین دانه، دفاع آنتی‌اکسیدانی، دیم، کائولین، گندم

مقدمه

گندم به‌دلیل انعطاف‌پذیری زیاد ژنتیکی و تنوع، کشت‌وکار بسیار زیاد وسیع و گسترده‌ای دارد و از نظر تولید و سطح زیر کشت جهانی نسبت به دیگر غلات دانه‌ای، رتبه اول را دارد. تولید جهانی گندم در سال ۲۰۱۸ با متوسط عملکرد ۳۴۳۰ کیلوگرم در هکتار، حدود ۷۳۴ میلیون تن برآورد شد. سطح

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: rafieemasoud@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

کشت گندم در ایران در حدود ۵/۸۶ میلیون هکتار و میزان گندم تولیدی ۱۳/۷ میلیون تن برآورد شده است (Ahmadi *et al.*, 2020).

تغییرات آب‌وهوایی، شامل ترکیبی از خشک‌سالی، شوری، گرما و تابش زیاد در بسیاری از مناطق در سراسر جهان از جمله ایران تشدید شده است و اثرات سوئی بر رشدونمو گیاهان دارد و سبب کاهش شدید عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی خواهد شد (Brito *et al.*, 2019). صفر نوری و همکاران (Safar-Noori *et al.*, 2018) دریافتند که تنش خشکی به شدت تولید گندم را کاهش می‌دهد و کیفیت دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

ایران با میانگین نزولات جوی ۲۴۰ میلی‌متر در سال در گروه مناطق خشک جهان قرار دارد و وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان زراعی امری اجتناب‌ناپذیر است. حدود یک درصد از کل آبی که توسط گیاه جذب می‌شود برای مصرف گیاه استفاده می‌شود بقیه آن به‌صورت بخار آب از گیاه خارج می‌شود (Masoud, 2012). یک روش محدودکردن از دست دادن آب در تولید گیاهان استفاده از مواد ضدتعرق است که باعث کاهش تعرق گیاه می‌شود (Latocha *et al.*, 2009; Abdel-Fattah, 2013). گزارش‌هایی در رابطه با استفاده از مواد مومی، کائولینی و آترازین و فنیل مرکوریک استات به‌عنوان ماده ضدتعرق وجود دارد (Samadi and Faramarzi, 2014; Brito *et al.*, 2019). مواد ضدتعرق به‌صورت لایه‌ای روی برگ‌های گیاه قرار گرفته و تا اندازه‌ای از خروج بخار آب حاصل از بافت‌های درونی جلوگیری کرده ولی مانع تبادل گازی گیاه نمی‌شود (Glenn and Puterka, 2005). همچنین مواد شیمیایی ضدتعرق از طریق بستن نسبی روزنه‌ها و افزایش مقاومت به انتشار بخار آب از برگ‌ها، موجب افزایش پتانسیل آب درون سلول‌های برگ شده که لازمه رشد سلول‌های گیاهی است (Liu *et al.*, 2004). کائولین نوعی رس معدنی است که با محلول‌پاشی بر سطح گیاهانی که تحت تنش آبی هستند، با بستن جزئی روزنه‌ها از تبخیر و تعرق سطح برگ کاسته و با بازتاب نور از سطح برگ، دمای برگ را کاهش می‌دهد که این امر باعث افزایش محتوی نسبی آب در برگ می‌شود. با مه‌پاشی کائولین با ایجاد لایه سفید کدر رنگ بر روی گیاه باعث بازتاب نور از سطح برگ می‌شود (Glenn, 2005). مطالعات اولیه نشان داده که بازتاب نور توسط کائولین، وضعیت آب و عملکرد را در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی بهبود بخشید، درحالیکه جذب دی‌اکسید کربن را کاهش نداد، چون کائولین روزنه را جزئی می‌بندد و با بازتاب نور از آسیب‌های نوری به گیاه می‌کاهد و دمای برگ را کاهش می‌دهد (Glenn, 2005). رس کائولین به‌عنوان یک استراتژی کوتاه مدت برای کاهش پایدار اثرات تنش‌های غیرزنده شناخته شده است. کائولین با تأثیر بر دما، بازتاب تابش، ساختار برگ، وضعیت آب، ظرفیت فتوسنتز، پاسخ‌های بیوشیمیایی، ترکیب مواد معدنی، رشد، عملکرد و کیفیت موجب تعدیل تنش‌های غیرزنده می‌شود (Brito *et al.*, 2019).

در یک مطالعه کاربرد مواد ضدتعرق در شرایط تنش خشکی بر روی محصول سویا (*Glycine max* L.) موجب افزایش ارتفاع ساقه، تعداد گره، قطر ساقه، تعداد غلاف و تعداد بذر در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گردید و از بین مواد ضدتعرق مورد استفاده کائولین بیشترین تأثیر را در عملکرد دانه داشت (Javan *et al.*, 2010). کائولین اشعه فعال فتوسنتزی را از خود عبور داده، اما تا حدودی مانع از عبور اشعه مادون قرمز و ماوراءبنفش می‌گردد و از اختلال در چرخه فتوسنتزی ممانعت می‌کند (Glass and Kadir, 2005). محلول‌پاشی کائولین در گیاه کتان (*Linum usitatissimum* L.) تحت تنش شوری موجب افزایش اجزای عملکرد شده که می‌تواند مرتبط با افزایش فتوسنتز به‌دلیل ارتقاء شرایط آبی گیاه و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها باشد (Gaballah and Abou- Leila, 2000). کاربرد کائولین در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) سبب افزایش معنی‌دار در اجزای عملکرد، عملکرد دانه و محتوای نیتروژن و درصد پروتئین دانه، کاهش اثر خشکی و افزایش عملکرد پروتئین دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی شده است (Yigitarslan, 2010). همچنین کاربرد کائولین ویژگی‌های مربوط به عملکرد را در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط تنش خشکی افزایش داده و درنتیجه عملکرد دانه ۳۸٪ بیشتر از کاربرد مالچ بوده است (Misra and Sricastatva, 2005). در بررسی تأثیر مواد ضد-تعرق آترازین، پارافین، کائولین+سیتوویت، موم بر ذرت دانه‌ای تحت آبیاری محدود مشاهده شده که این مواد به‌ویژه آترازین موجب بهبود صفات ظاهری و فیزیولوژیک و عملکرد دانه شد (Kazempoor and Tajbakhsh, 2002). Yadav و Singh (۱۹۸۱) دریافتند که مواد ضدتعرق آترازین، کائولین، فنیل مرکوریک استات و مخلوطی از این مواد تأثیر کمی در پتانسیل آب برگ جو داشت و درمجموع تأثیر معنی‌داری عملکرد نداشت. نتایج آزمایش انجام‌شده بر افزایش عملکرد گندم دیم با نشان داد که استفاده از ماده ضدتعرق دیفنیل متان کاربرد ماده ضدتعرق در مرحله ظهور گل‌آذین گندم تا گل‌شگفتگی موجب کاهش عملکرد شد، اما استفاده در مرحله ظهور برگ پرچم موجب افزایش عملکرد گردید همچنین این ماده موجب تخفیف اثر منفی تنش خشکی بر عملکرد دانه گردید (Kattlewell *et al*., 2010).

یکی از عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد گیاه در مدیریت عملیات زراعی تغییر در تراکم کاشت گیاه زراعی است که می‌تواند باعث تغییر در عملکرد و اجزای عملکرد شود (Hiltbrunner *et al*., 2007). تراکم گیاهی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده توانایی گیاه زراعی در استفاده از منابع محیطی است و به‌دلیل اینکه در اغلب سیستم‌های کاشت تحت کنترل کشاورز می‌باشد از اهمیت ویژه‌ای در تولید گندم برخوردار است (Lloveras *et al*., 2004). Hiltbrunner و همکاران (۲۰۰۷) تراکم‌های کاشت مطلوب در گندم را کلیدی برای رسیدن به حداکثر عملکرد می‌دانند. تراکم گیاهی مناسب با تغییر عواملی مانند تفاوت منطقه، تار یخ کاشت، شرایط اقلیمی (به‌ویژه توزیع بارش)، نوع خاک و ارقام فرق می کند (Elhani *et al*., 2007). Wood و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که عملکرد گندم دیم در تراکم ۲۵۰ بیشتر از عملکرد آن در تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع است.

کیفیت بالای غذایی دانه را می‌توان از طریق ترکیبی از جذب عناصر غذایی همچون نیتروژن پس از اعمال تراکم مناسب کاشت و انتقال مجدد نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه بدست آورد و کشاورزان می‌توانند این دو فرآیند را با بهینه‌سازی روش‌های کشت خود تنظیم کنند (Chen *et al*., 2016). Chen و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند با افزایش تراکم بوته در ذرت، انتقال مجدد نیتروژن از اندام هوایی به دانه افزایش می‌یابد. مطالعات Ren و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که هماهنگی کارایی انتقال مجدد نیتروژن و جذب نیتروژن در مراحل پس از کاشت برای عملکرد دانه بالا و کارایی بالای استفاده از نیتروژن در ذرت مهم است و به‌عبارت دیگر، با افزایش تراکم کاشت و افزایش جذب عناصر غذایی، کارآئی انتقال عناصر غذایی افزایش می‌یابد.

تنش کمبود آب ناشی از نامناسب‌بودن میزان و توزیع بارندگی در شرایط دیم، روی فرایندهای رشدونمو مؤثر است که به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک بروز می‌کند (Wang *et al*., 2001). اما مکانیسم‌های دفاعی متعددی در گیاهان وجود دارد که موجب تحمل به تنش کمبود آب می‌شوند؛ همچون تنظیم اسمزی، هومئوستازی یون، و سیستم های آنتی‌اکسیدانی و هورمونی (Mahajan and Tuteja, 2005) که به بقا و رشد گیاهان تحت شرایط محیطی شدید پیش از مرحله رشد زایشی کمک می‌کنند. تنش خشکی موجب ایجاد رادیکال‌های فعال اکسیژن در اثر تنش اکسیدیتیو می‌شود که این رادیکال‌ها بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی اثر گذاشته و همچنین موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شوند (امینی و حداد، ۱۳۹۲) و درنتیجه بر نشت الکترولیت اثر سوء می‌گذارند. با کاهش رطوبت خاک، مقدار پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد و نقش کلیدی در تنظیم اسمزی بازی می‌نماید (Khalilzadeh *et al*., 2016; Ghorbanli and Niakan, 2006; Cha-um and Kirdmanee, 2009).

این پژوهش با هدف بررسی برخی واکنش‌های بیوشیمیایی و عملکرد ارقام گندم تحت شرایط دیم به تراکم‌های مختلف و نقش محلول‌پاشی ماده ضدتعرق کائولین در تعدیل تنش خشکی اجرا گردید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

جدول ۱- آمار هواشناسی منطقه کوهدشت در سال زراعی ۷-۱۳۹۶

ماه	درجه حرارت				بارندگی
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه مطلق	بیشینه مطلق	
مهر	۶/۹	۲۹/۷	۱۸/۳	۳/۱	۳۳/۶	۰
آبان	۵/۰۴	۲۴	۱۴/۵	-۰/۵	۲۸/۹	۳/۶
آذر	-۱/۲۶	۱۳/۷	۶/۲	-۹/۵	۱۷/۸	۱۶/۸
دی	۰/۰۹	۱۲/۸۲	۶/۵	-۱۰	۱۸/۳	۶۹/۴
بهمن	-۲/۱	۹/۶۵	۳/۸	-۶/۴	۱۴/۳	۸۴/۲
اسفند	۰/۴۶	۱۶/۳۵	۸/۴	-۵/۴	۲۲/۸	۴۰/۱
فروردین	۶/۷۵	۱۹/۴	۱۳/۱	۱/۵	۲۷/۹	۸۶/۳
اردیبهشت	۹/۲۳	۲۹/۱	۱۹/۲	۴/۷	۳۴/۲	۶/۳
خرداد	۱۱	۳۵/۱	۲۳/۱	۵/۳	۳۸/۷	۰

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
	(درصد)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
لوم	۰/۷۹	۰/۰۸	۱۷/۸	۳۶۵	۱۷/۲	۶/۹	۰/۲۹	۰/۸۵

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۶ در شهرستان کوهدشت با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۱۹۵ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه موردنظر از نظر آب و هوایی جزء اقلیم نیمه‌گرمسیری با تابستان گرم و خشک است. میانگین بارندگی سالانه ۳۰۷ میلی‌متر بود (جدول ۱). به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد و نتایج آزمایش خاک در جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل- اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل رقم گندم دیم (کوهدشت، کریم و قابوس) و تراکم بوته (۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰ و ۸۰۰ بوته در مترمربع) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل محلول‌پاشی کائولین در دو سطح شاهد و محلول‌پاشی ۵ درصد کائولین در کرت‌های فرعی قرار گرفت.

زمین آزمایش در سال قبل آیش بود. کشت به‌صورت دستی در هفته دوم آبان‌ماه انجام شد، اما اولین بارندگی مؤثر در اول آذر به‌میزان ۲۷/۵ میلی‌متر بارید. هر کرت در برگیرنده ۵ خط کاشت ۶ متری با فاصله خطوط ۱۷ سانتی‌متر بود. براساس آزمون خاک، قبل از کاشت کوددهی زمین شامل نیمی از اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تمام کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. دو سوم باقیمانده اوره در پنجه‌دهی و شروع گلدهی هر بار به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود.

پودر رس کائولین مورد استفاده، از شرکت کیمیا سبزآور تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب پودر کائولین (پودر سپیدان) با غلظت ۵ درصد (Yigitarslan, 2010)، به همراه سورفاکتانت مربوطه با آب کاملاً مخلوط شد و به‌وسیله سم‌پاش مجهز به پمپ گردش آب و همزن به‌صورت هدایت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

شده روی گیاه در مرحله رشد طولی کامل بوته‌ها اسپری شد؛ به‌گونه‌ای که سطوح اندام هوایی گیاه به‌طور کامل پوشش داده شد و پس از خشک‌شدن محلول، گیاه سفید به‌نظر رسید. جهت جلوگیری از اختلاط تیمارها، در زمان محلول‌پاشی اطراف هر کرت فرعی یک تخته فیبر بزرگ قرار داده شد و محلول‌پاشی به‌صورت هدایت‌شده و در صبح قبل از گرم‌شدن هوا انجام شد. محلول‌پاشی کائولین طی دو مرحله در زمان رشد رویشی به‌فاصله دو هفته (هفته آخر اسفندماه در زمان رشد سریع و هفته دوم فروردین‌ماه حدود دو هفته قبل از گلدهی) انجام شد. کرت‌های شاهد به‌منظور یکنواختی کرت‌های آزمایشی با آب معمولی محلول‌پاشی شدند.

در مرحله گلدهی نمونه‌هایی از برگ‌های جوان گیاه از هر کرت جهت انجام آنالیزهای بیوشیمیایی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید و سنجش میزان عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan *et al.*, 2007) و آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز (Mae-Adam and Nelson, 1992) صورت گرفت. در زمان برداشت عملکرد دانه سه ردیف وسط هر کرت آزمایشی با رعایت یک‌چهارم متر حاشیه از طرفین اندازه‌گیری و براساس ۱۲ درصد رطوبت محاسبه شد. همچنین، نمونه‌هایی از دانه هر کرت جهت انجام آنالیزهای بیوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید و میزان عناصر ضروری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی (Ryan *et al.*, 2007) و میزان کربوهیدرات‌ها (Kochert, 1978) و پروتئین (Kjeldal, 1998) در دانه اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمون نرمالیتی روی داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD با نرم‌افزار Excell در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد میزان آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تنها تحت تأثیر اثرات ساده تراکم و محلول‌پاشی کائولین قرار گرفت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین اثر ساده تراکم بر آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی نشان داد با افزایش تراکم بر میزان این آنتی‌اکسیدان‌ها افزوده شد و در بیشترین تراکم (تراکم ۸۰۰ بوته در مترمربع) به افزایش به‌ترتیب ۲۶/۲ و ۹/۱ درصدی نسبت به شاهد (تراکم ۳۵۰ هزار بوته در هکتار) رسید (جدول ۴). این افزایش ناشی از تشدید تنش خشکی با افزایش تراکم بوته در شرایط دیم و سعی گیاه در دفاع آنتی‌اکسیدانی جهت تعدیل تنش خشکی است، زیرا پراکسیدازها در جذب H_2O_2 و پراکسیدازهای آلی که تحت شرایط تنش مختلف تشکیل می‌شوند اهمیت دارد (Tian and Li, 2006). تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین در گیاهان می‌گردد (Zhou and Deng, 2011; Rezayian *et al.*, 2020; Behboudi *et al.*, 2019).

کاربرد کائولین سبب کاهش به‌ترتیب ۳۰/۵ و ۱۲/۸ درصدی آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی نسبت به عدم‌کاربرد کائولین شد (جدول ۴). به‌عبارتی ماده ضدتعرق کائولین با تعدیل تنش خشکی توانسته است نیاز به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در گیاه را کاهش دهد. کائولین با تأثیر بر دما، بازتاب تابش، ساختار برگ، وضعیت آب، ظرفیت فتوسنتز، پاسخ‌های بیوشیمیایی، ترکیب مواد معدنی، رشد، عملکرد و کیفیت موجب تعدیل تنش‌های غیرزنده می‌شود (Brito *et al.*, 2019).

عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه: در اندام هوایی گندم، اثرات متقابل دو گانه رقم × تراکم کاشت و تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین بر میزان نیتروژن معنی‌دار بود. اثر متقابل سه‌گانه رقم × تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین بر میزان فسفر، پتاسیم و روی اندام هوایی معنی‌دار شد (جدول ۳). میزان نیتروژن و آهن دانه به‌طور معنی‌داری تنها تحت تأثیر اثر ساده رقم، تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین و میزان پتاسیم دانه تحت تأثیر اثر ساده تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین قرار گرفت. اثر ساده رقم و محلول‌پاشی کائولین و اثرمتقابل رقم × محلول‌پاشی کائولین بر میزان فسفر و روی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم تحت تأثیر رقم، تراکم و کائولین

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پلی‌فنول اکسیداز	پراکسیداز	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
تکرار	۳	۰/۲۲۱۲۱۵	۷/۴۵۱۲۱۵	۰/۰۲۵۸۳۳	۰/۰۰۰۱۸۲	۰/۰۱۶۱۲۵	۲۰/۰۶۶	۳/۹۳۰۹۳۸
رقم	۲	۲۱/۹۸۲۲۴	۵۹/۵۱۹۰۱	۰/۷۳۵**	۰/۰۲۰**	۰/۰۹۱**	۳۵/۰۹۳۷	۱۵/۷۰*
تراکم	۳	۱۳۴۷/۶**	۱۰۲۶/۵**	۱/۶۰۲**	۰/۰۳۹**	۰/۰۱۷۰۶۲	۹/۷۰۴۹	۱/۳۴۳۲۶
رقم × تراکم	۱	۳۰/۹۵۸۶۴	۴۶/۴۷	۰/۵۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۶۶**	۲۶/۵۷۹۹	۸/۵۱۰۶۶
خطای ۱	۶	۲۲/۴۹۰۴۴	۳۲/۵۵۴۸۴	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱۷۶	۰/۰۰۷۰۰۳	۶۳/۲۲۵۱	۳/۳۷۷۹۰۷
کائولین	۱	۹۴۶۴/۰**	۹۰۵۱/۶**	۶**	۰/۸۲۹**	۳۱/۱۵**	۱۰۶۴۶۶/۷**	۴۶۵/۰۸**
رقم × کائولین	۲	۲/۴۸۱۱۷	۹/۸۶۵۸۵۷	۰/۰۱	۰/۰۰۰۳۳۴	۰/۱۰۲**	۶۵/۵۱۰۴	۷/۸۲۳۲۲۹
تراکم ×کائولین	۳	۲۳/۴۷۵۴۴	۴۷/۲۳۵۷۲	۰/۳۰**	۰/۰۴**	۱/۵۴۷**	۵۸/۷۶۰۴	۲/۰۱۸۷۱۵
رقم ×تراکم ×کائولین	۶	۲۷/۳۷۰۴۶	۲۶/۹۰۸۳۴	۰/۰۲	۰/۰۰۲**	۰/۰۶۲۳**	۱۸/۳۸۵۴	۱۰/۱۶*
خطای۲	۳۶	۲۶/۴۵۹۴	۳۵/۳۷۴۸۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱۲۶	۰/۰۰۶۷۴۶	۴۸/۱۱۴۶	۴/۲۵۷۷۴۳
ضریب تغییرات	(٪)	۹/۳	۴/۲	۴/۴	۳/۲	۳/۹	۴/۷	۵/۴

*** و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.**

ادامه جدول ۳-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		نیتروژن دانه	فسفر دانه	پتاسیم دانه	آهن دانه	روی دانه	کربوهیدرات دانه	پروتئین دانه
تکرار	۳	۰/۰۴۲۰۴۹	۰/۰۰۰۳۰۴	۰/۰۰۰۲۲۴	۸/۷۰۸۳۳۳	۳/۰۴۰۶۹۴	۱۳/۲۰۴۸۶	۰/۴۴۰۸۳۳
رقم	۲	۰/۰۹۱*	۰/۰۰۵۶**	۱/۳۵E-۰۵	۳۴/۹*	۵۶/۲۳**	۱۰/۹۰۶۲۵	۱/۰۰۳*
تراکم	۳	۱/۹۸**	۰/۰۰۰۳۶۷	۰/۰۲۰۴**	۱۷۶/۴**	۳/۶۷۲۹۱۷	۴۱۴/۵**	۱/۵۶۷**
رقم × تراکم	۱	۰/۰۲۱۲۱۵	۰/۰۰۰۷۷	۸/۰۲E-۰۵	۶/۷۳۹۵۸۳	۷/۶۹۶۷۷۱	۲۶/۰۳۱۲۵	۲/۱۰۳**
خطای ۱	۶	۰/۰۳۴۷	۰/۰۰۰۵۳۴	۰/۰۰۰۲۸۹	۵/۸۴۴۶۹۷	۵/۳۴۱۳۰۱	۱۴/۶۰۶۳۸	۰/۴۱۲۲۷۳
کائولین	۱	۹/۰۶۵**	۰/۱۷۰۳**	۰/۰۰۲۲**	۴۲/۶*	۱۷۰۳/۵۳**	۴۵۵/۰**	۱۳/۶۵**
رقم × کائولین	۲	۰/۰۲۶۹۷۹	۰/۰۰۵۶**	۹/۴۸E-۰۵	۱۴/۳۸۵۴۲	۵۶/۳۶**	۱۸/۵۱۰۴۲	۰/۰۴۱۹۷۹
تراکم ×کائولین	۳	۰/۰۲۰۱۰۴	۰/۰۰۰۲۸۲	۰/۰۰۱۶**	۴/۲۵	۲/۸۱۹۷۲۲	۳۸/۶*	۱/۸۰۸**
رقم ×تراکم ×کائولین	۶	۰/۰۴۹۸۹۶	۰/۰۰۱۰۳۲	۰/۰۰۰۲۱۷	۵/۳۰۲۰۸۳	۱۰/۳۲۱۷	۵۵/۵**	۱/۶۱۵**
خطای۲	۳۶	۰/۰۲۶۲۸۵	۰/۰۰۰۷۶۸	۰/۰۰۰۲۵۸	۸/۶۳۸۸۸۹	۷/۶۸۴۵۸۳	۱۱/۵۰۳۴۷	۰/۲۴۲۴۳۱
ضریب تغییرات	(٪)	۷/۴	۷/۱	۳/۲۱	۷/۸	۵/۰	۴/۶	۸/۲

*** و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪**

دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش تراکم بوته موجب کاهش میزان نیتروژن اندام هوایی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه گندم در سطوح مختلف رقم، تراکم و کائولین

تیمارها		پلی‌فنول اکسیداز	پراکسیداز	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
		(OD میکروگرم پروتئین در دقیقه)		(درصد)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
رقم	کریم	۵۴/۹۲	۱۴۰/۵۴	۲/۱۳	۰/۳۶	۲/۱۴	۱۴۴/۴۷	۳۶/۸۳
	کوهدشت	۵۴/۵۳	۱۴۱/۰۶	۲/۲۸	۰/۳۷	۲/۰۶	۱۴۶/۵۶	۳۷/۸۷
	قابوس	۵۶/۱۲	۱۴۳/۱۲	۱/۹۷	۰/۳۲	۲/۰۴	۱۴۵/۵۶	۳۸/۱۷
	LSD (5%)							
تراکم (بوته در مترمربع)	۳۵۰	۴۷/۴۶^{d}	۱۳۴/۵^{d}	۲/۴۰	۰/۴۱	۲/۱۱	۱۴۴/۸۳	۳۷/۸۳
	۵۰۰	۵۰/۹۴^{c}	۱۳۸/۱^{c}	۲/۲۱	۰/۳۵	۲/۰۵	۱۴۶/۳۸	۳۷/۵۰
	۶۵۰	۵۸/۰۶^{b}	۱۴۴/۱^{b}	۲/۱۰	۰/۳۲	۲/۰۸	۱۴۵/۴۲	۳۷/۳۵
	۸۰۰	۶۴/۲۷^{a}	۱۴۹/۳^{a}	۱/۷۹	۰/۳۳	۲/۰۷	۱۴۵/۵۰	۳۷/۸۱
	LSD (5%)	۳/۰۱۱۵	۳/۴۸۲۱					
کائولین	شاهد	۶۵/۱^{a}	۱۵۱/۲^{a}	۱/۸۸	۰/۲۶	۱/۵۱	۱۱۲/۲^{b}	۳۵/۴۲
	محلول‌پاشی	۴۵/۲^{b}	۱۳۱/۸^{b}	۲/۳۸	۰/۴۴	۲/۶۵	۱۷۸/۸^{a}	۳۹/۸۲

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

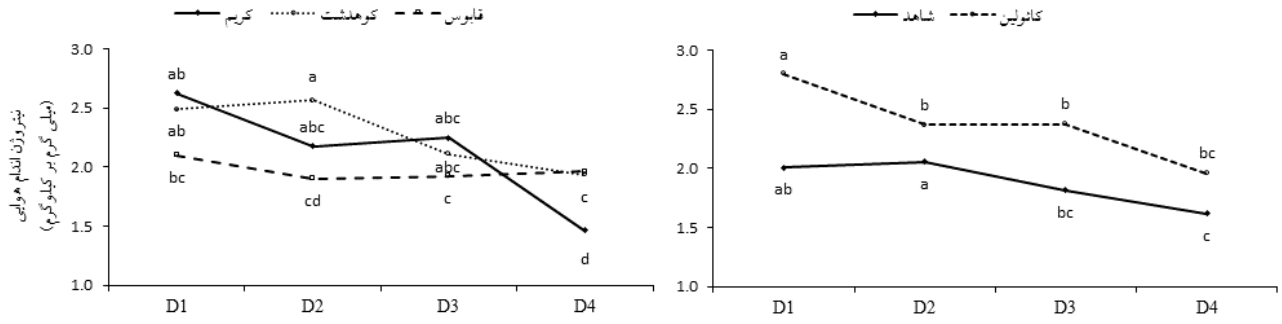
ادامه جدول ۴-

تیمارها		نیتروژن دانه	فسفر دانه	پتاسیم دانه	کربوهیدرات دانه	پروتئین دانه	آهن دانه	روی دانه
		(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
رقم	کریم	۲/۱۶^{b}	۰/۳۷۶^{b}	۰/۴۹	۷۳/۵۹	۱۲/۶۷^{b}	۶۰/۵۶^{b}	۵۳/۶۹^{b}
	کوهدشت	۲/۲۵^{a}	۰/۳۹۵^{a}	۰/۵۰	۷۲/۴۴	۱۲/۹۵^{a}	۶۲/۵۹^{a}	۵۵/۵۲^{a}
	قابوس	۲/۱۵^{b}	۰/۴۰۲^{a}	۰/۵۰	۷۲/۸۸	۱۲/۹۹^{a}	۶۱/۱۵^{ab}	۵۵/۲۷^{a}
	LSD (5%)	۰/۰۸۲	۰/۰۱۴۱				۱/۴۹۰	۱/۴۰۶
تراکم (بوته در مترمربع)	۳۵۰	۲/۵۷^{a}	۰/۳۹	۰/۵۲۴^{a}	۶۷/۷^{c}	۱۳/۲^{a}	۶۳/۷^{a}	۵۵/۴۴
	۵۰۰	۲/۲۴^{b}	۰/۳۹	۰/۵۰۶^{b}	۷۱/۵^{b}	۱۲/۸^{b}	۶۳/۳^{a}	۵۴/۷۳
	۶۵۰	۲/۰۱^{c}	۰/۳۹	۰/۴۹۲^{c}	۷۵/۶۶^{ab}	۱۲/۶^{b}	۶۰/۸^{b}	۵۴/۹۵
	۸۰۰	۱/۹۲^{c}	۰/۴۰	۰/۴۵۵^{d}	۷۶/۹^{a}	۱۲/۷^{b}	۵۷/۸^{c}	۵۵/۵۵
	LSD (5%)	۰/۰۹۴۹		۰/۰۰۹۴			۱/۷۲۰۸	
کائولین	شاهد	۱/۸۸^{b}	۰/۳۴^{b}	۰/۵۰	۶۰/۷۷^{b}	۵۰/۹۵^{b}	۶۰/۷۷^{b}	۵۰/۹۵^{b}
	محلول‌پاشی	۲/۴۹^{a}	۰/۴۳^{a}	۰/۴۹	۶۲/۱۰^{a}	۵۹/۳۷^{a}	۶۲/۱۰^{a}	۵۹/۳۷^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار ندارند (۵٪ LSD).

ارقام مورد بررسی گردید (جدول ۴). در ارقام کریم، کوهدشت و قابوس به‌ترتیب ۴۴/۳، ۲۲/۱ و ۶/۶ درصد کاهش در میزان نیتروژن اندام هوایی در بیشترین تراکم (تراکم ۸۰۰ هزار بوته در هکتار) نسبت به شاهد (تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۱ چپ). ملاحظه می‌شود که رقم کریم بیشترین و رقم کوهدشت کمترین حساسیت به تراکم از نظر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرمتقابل رقم × تراکم (چپ) و تراکم × کائولین (راست) بر نیتروژن اندام هوایی. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

جذب نیتروژن اندام هوایی نشان دادند که ناشی از تفاوت ژنتیکی میان ارقام است.

در سطوح مختلف تراکم، میزان نیتروژن، پتاسیم و آهن دانه با افزایش تراکم کاشت به‌دلیل تنش خشکی بیشتر ناشی از رقابت بین بوته‌ها کاهش یافت، بطوریکه در بیشترین تراکم (۸۰۰ بوته در مترمربع)، به‌ترتیب ۲۵/۱، ۱۳/۱ و ۹/۲ درصد نسبت به شاهد (۳۵۰ بوته در مترمربع) کاهش نشان داد (جدول ۴).

محلول‌پاشی کائولین موجب افزایش جذب تمامی عناصر ضروری مورد مطالعه در اندام هوایی شد (جدول ۴). واکنش نیتروژن به کاربرد کائولین در تراکم‌های مختلف متفاوت بود، بطوریکه افزایش جذب نیتروژن ناشی از کاربرد کائولین در کمترین تا بیشترین تراکم به‌ترتیب ۲۸/۳، ۱۳/۰، ۲۳/۵ و ۱۷/۵ درصد نسبت به شاهد، عدم‌کاربرد کائولین بود (شکل ۱ راست). به‌عبارتی کاربرد کائولین موجب تعدیل اثر تنش خشکی ناشی از افزایش تراکم بوته در شرایط دیم در کاهش جذب نیتروژن در اندام هوایی گندم گردید.

محلول‌پاشی کائولین، میزان نیتروژن، فسفر، آهن و روی دانه را به‌ترتیب ۲۴/۶، ۱۹/۴، ۲/۱ و ۱۴/۲ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش داد، درحالیکه موجب کاهش ۱/۹ درصدی میزان پتاسیم دانه شد (جدول ۴). در رقم کریم، کاربرد کائولین سبب شد که با افزایش تراکم، جذب فسفر، پتاسیم و روی افزایش یابد در تراکم ۸۰۰ هزار بوته در هکتار به افزایش به‌ترتیب ۲۱/۱، ۳۷/۲ و ۱۲/۳ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی کائولین در کم‌ترین تراکم) برسد (شکل ۳). درحالیکه در دو رقم کوهدشت و قابوس بسته به میزان تراکم، واکنش‌ها متفاوت بود. واکنش متفاوت ارقام به تراکم بیانگر تفاوت ژنتیکی ارقام در تحمل تنش خشکی ناشی از تراکم بالا و رقابت بین بوته‌ها بر سر دیگر منابع از جمله عناصر غذایی است.

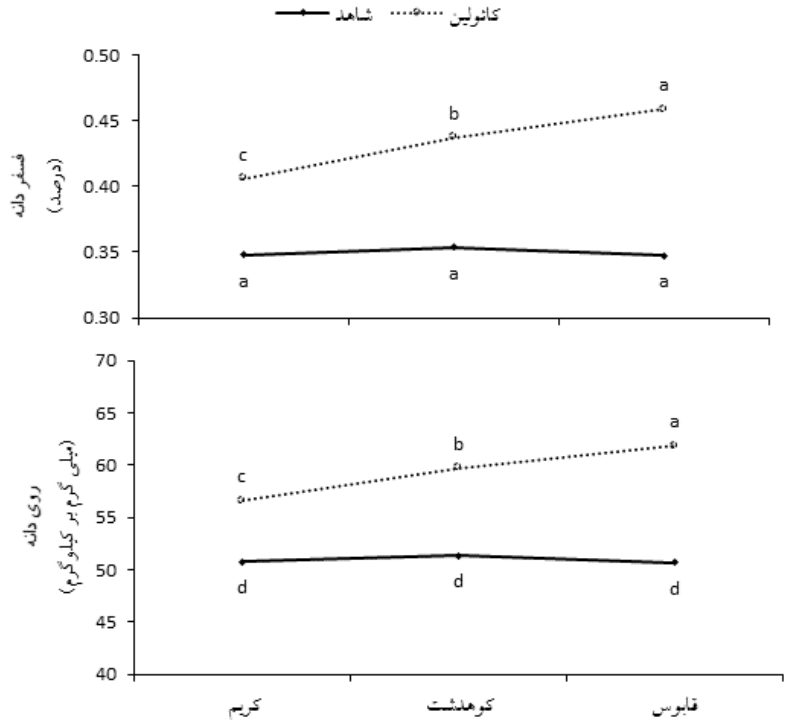
میزان آهن اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کائولین قرار گرفت (جدول ۳). میزان آهن موجود در اندام هوایی تحت تأثیر کاربرد کائولین ۴۲ درصد نسبت به عدم کاربرد کائولین افزایش یافت (جدول ۴).

در میان ارقام، بیشترین میزان نیتروژن و آهن دانه متعلق به رقم کوهدشت بود که میزان نیتروژن به‌ترتیب ۳/۹ و ۴/۳ درصد و میزان آهن به‌ترتیب ۳/۲ و ۲/۳ درصد نسبت به ارقام کریم و قابوس برتری داشت، اما بیشترین میزان فسفر و روی دانه به رقم قابوس تعلق داشت که میزان فسفر به‌ترتیب ۶/۴ و ۱/۹ درصد و میزان روی به‌ترتیب ۴/۶ و ۱/۳ درصد از ارقام کریم و کوهدشت برتر بود (جدول ۴).

در بررسی اثرمتقابل رقم × محلول‌پاشی کائولین، میزان فسفر و روی دانه در هر سه رقم با محلول‌پاشی کائولین افزایش یافت، هرچند واکنش ارقام به محلول‌پاشی کائولین متفاوت بود. افزایش میزان فسفر در ارقام کریم، کوهدشت و قابوس به‌ترتیب ۱۴/۳، ۱۹/۱ و ۲۴/۳ درصد، و افزایش میزان روی دانه در این ارقام به‌ترتیب ۱۰/۳، ۱۴/۰ و ۱۸/۰ درصد نسبت به عدم‌کاربرد کائولین بود (شکل ۲). تفاوت میان ارقام در واکنش به محلول‌پاشی کائولین ناشی از اثر ژنتیک است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

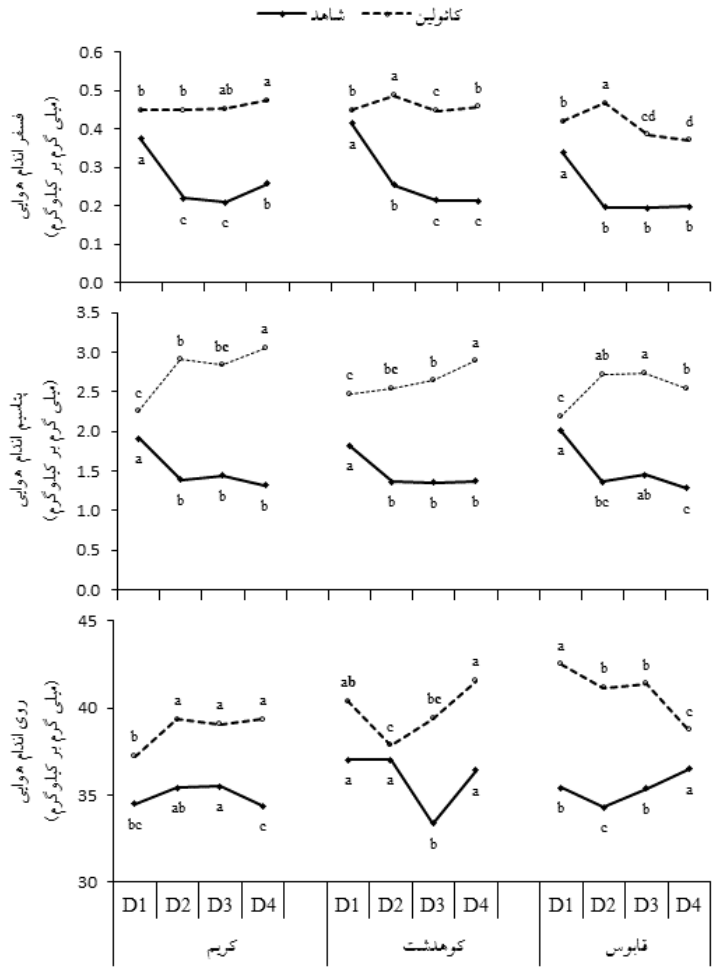


شکل ۲- مقایسه میانگین اثرمتقابل رقم × کائولین بر فسفر و روی دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

جذب عناصر در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (سیروس‌مهر و روشن ضمیر، ۱۳۹۳) و کاربرد مواد ضدتعرق به‌طور قابل توجهی موجب افزایش غلظت عناصر می‌گردد (Brito *et al.*, 2019; Javan *et al.*, 2010). اصلانی و همکاران (۱۳۹۰) کاهش معنی‌داری را در میزان فسفر برگ گیاه ریحان با افزایش دور آبیاری از چهار روز به ۱۲ روز گزارش کردند. در میان عناصر غذایی فسفر و پتاسیم به‌عنوان دو عنصر پرمصرف دارای نقش اساسی و مهم در رشد گیاه است (سیروس‌مهر و روشن ضمیر، ۱۳۹۳). وجود مقدار کافی پتاسیم با توجه به نقشی که در حفظ پتانسیل آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفت آب دارد در شرایط تنش آبی سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌شود (Daneshian *et al.*, 2002). احتمالاً علت کاهش پتاسیم در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان حلالیت پتاسیم و متعاقب آن کاهش جذب توسط ریشه‌های گیاه باشد (Arazmju *et al.*, 2009).

روی و آهن از جمله مهم‌ترین عناصر ضروری کم مصرف هستند که کمبود آنها مشکل بحرانی مهمی در گیاهان، به‌ویژه در شرایط تنش ایجاد می‌کند (Babaei *et al.*, 2017). روی و آهن از اجزای مهم بسیاری از آنزیم‌های زنده مانند گلوتامات دهیدروژناز (GDH)، کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) هستند و همچنین در سنتز کلروفیل، ایندول-۳-استیک اسید (IAA) (Li *et al.*, 2006; Jeong and Connolly, 2009)، و در تشکیل ساختار پروتئین‌ها، غشا و پروتئین‌های دی ان ای- باند مشارکت دارند (Aravind and Prasad, 2004). Cakmak (۲۰۰۸) بیان داشت که تنش کمبود روی ممکن است مانع فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شود. انتقال زیاد عناصر غذایی به دانه موجب پیری زودرس برگ‌ها می‌شود و پیری زودرس می‌تواند باعث افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات از ساقه به دانه در گندم زمستانه شود (Yang *et al.*, 2019). همچنین، کاهش انتقال عناصر غذایی از بافت‌های رویشی به دانه موجب انباشت بیش از حد عناصر غذایی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرمتقابل رقم × تراکم × کائولین بر فسفر، پتاسیم و روی اندام هوایی. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

اندام‌های رویشی و درنتیجه کاهش کارایی استفاده از عناصر غذایی و کاهش عملکرد می‌گردد (Chen *et al.*, 2014). همچنین، Ciampitti و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که تمام کارایی‌های داخل گیاه با افزایش جذب عناصر غذایی بهبود می‌یابند، اما با افزایش تراکم گیاه کاهش پیدا می‌کنند.

میزان کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه: میزان کربوهیدرات‌های دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین و اثر متقابل دوگانه تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین و اثر متقابل سه‌گانه رقم × تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین قرار گرفت. همچنین، اثرات ساده رقم، تراکم کاشت و محلول‌پاشی کائولین و اثرات متقابل دوگانه رقم × تراکم کاشت و تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین و اثر متقابل سه گانه رقم × تراکم کاشت × محلول‌پاشی کائولین بر میزان پروتئین معنی‌دار بود (جدول ۳).

با افزایش تراکم بوته بر میزان کربوهیدرات‌های دانه افزوده شد و تا حدی از تراکم، میزان پروتئین دانه کاهش یافت. میزان کربوهیدرات‌های دانه در بیشترین تراکم (۸۰۰ هزار بوته در هکتار) ۱۱/۹ درصد نسبت به شاهد (۳۵۰ هزار بوته در هکتار) افزایش نشان داد، درحالیکه با افزایش تراکم تا ۶۵۰ هزار بوته در هکتار از میزان پروتئین تا ۴/۳ درصد نسبت به شاهد کاسته شد (جدول ۴). کاهش قابل ملاحظه غلظت پروتئین در شرایط تنش شدید می‌تواند به کاهش زیر واحدهای روبیسکو و افزایش در اکسیداسیون پروتیین مرتبط باشد (Tahkokorpi, 2010).

محلول‌پاشی کائولین موجب افزایش ۵/۸ درصدی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

کربوهیدرات‌های دانه، اما کاهش ۵/۷ درصدی پروتئین دانه شد (جدول ۴). در هر دو تیمار محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی کائولین، عمدتاً با افزایش تراکم بر میزان کربوهیدرات‌های دانه افزوده شد، هر چند واکنش ارقام به تراکم متفاوت بود. بیشترین افزایش در میزان کربوهیدرات‌های دانه (۲۲/۵ درصد) از رقم کریم با محلول‌پاشی کائولین در تراکم ۸۰۰ هزار بوته در هکتار نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی کائولین در کم‌ترین تراکم) در این رقم بدست آمد (شکل ۴ بالا). بیشترین افزایش در پروتئین دانه (۲۲/۷ درصد) از رقم کریم در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی کائولین در کم‌ترین تراکم) نسبت به تیمار محلول‌پاشی کائولین در تراکم ۶۵۰ هزار بوته در هکتار در همین رقم بدست آمد (شکل ۴ پائین).

افزایش در کربوهیدرات‌های دانه در شرایط تنش خشکی را به پروسه‌های متابولیکی کربوهیدرات‌ها مرتبط با بیوسنتز نشاسته در طول دوره پرشدن دانه نسبت داده‌اند (Mushtaq *et al.*, 2008). دلیل افزایش کربوهیدرات‌های دانه را می‌توان به افزایش فتوسنتز و تخصیص مقدار بیشتر اسیمیلات به دانه ناشی از محلول‌پاشی کائولین نسبت داد (Glass and Kadir, 2005; Gaballah and Abou-Leila, 2000). کائولین تشعشع فعال فتوسنتزی را از خود عبور داده، اما تا حدودی مانع از عبور اشعه مادون قرمز و ماوراءبنفش می‌گردد و از اختلال در چرخه فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ممانعت می‌کند (Glass and Kadir, 2005).

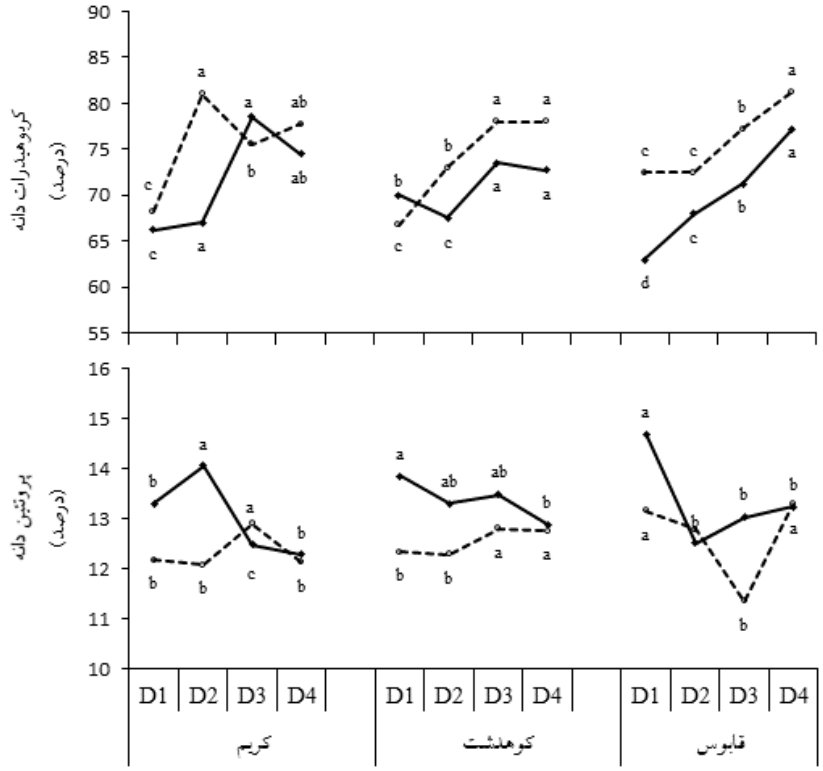
ارقام از نظر میزان پروتئین دانه تفاوت داشتند و واکنش متفاوتی به تراکم و محلول‌پاشی کائولین نشان دادند. میزان پروتئین رقم قابوس به‌ترتیب ۲/۵ و ۰/۳ درصد بیشتر از ارقام کریم و کوهدشت بود (جدول ۴). در تیمار محلول‌پاشی کائولین، میزان پروتئین دانه در دو رقم کوهدشت و قابوس با افزایش تراکم کاهش یافت، اما در رقم کریم در تراکم ۵۰۰ هزار بوته در هکتار بیشترین بود و سپس روند کاهشی نشان داد. بیشترین کاهش پروتئین دانه در اثر محلول‌پاشی کائولین در ارقام کریم و کوهدشت از تراکم ۵۰۰ هزار بوته در هکتار (به‌ترتیب ۹/۲ و ۱۱/۴ درصد)، و در رقم قابوس از تراکم ۶۵۰ هزار بوته در هکتار (۲۲/۷ درصد) نسبت به تیمار شاهد (تراکم ۳۵۰ هزار بوته در هکتار و بدون محلول‌پاشی کائولین) بود (شکل ۴، پایین).

غلظت پروتیین‌های محلول در اثر تنش خشکی به‌علت افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتیین‌ها و کاهش سنتز پروتیین کاهش می‌یابد (Ranjan *et al.*, 2017). در آزمایشی اثر متقابل تنش و ژنوتیپ بر میزان پروتیین محلول معنی‌دار بود و با افزایش شدت تنش در برخی از ژنوتیپ‌های گندم کاهش و در برخی افزایش پیدا کرد (توکلی و همکاران، ۱۳۹۴). در آزمایش دیگری، افزایش شدت تنش تا سطح ملایم تأثیری در تجمع پروتیین دانه نداشت و افزودن مواد پلی‌میری جاذب رطوبت نیز بی‌تأثیر بود، اما با اعمال تنش شدید خشکی پروتیین دانه افزوده شد و کاربرد پلیمر میزان پروتیین دانه را کاهش داد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش در پروتئین دانه گندم در شرایط تنش خشکی پیش از این گزارش شده است (Ahmadian *et al.*, 2021). کارآیی بالای انتقال مجدد عناصر غذایی از بافت‌های رویشی به دانه منجر به پیری زودرس برگ‌ها می‌شود، به‌طوریکه انتقال مجدد بیش از حد فسفر از برگ در طول دوره پرشدن دانه، مانع فسفوریلاسیون نوری و متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شود و درنهایت منجر به کاهش عملکرد دانه در برنج می‌گردد (Wei *et al.*, 2017).

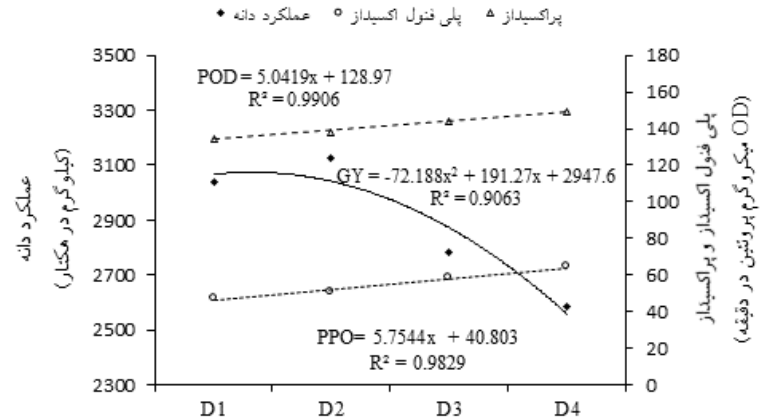
با توجه به همبستگی منفی میان میزان کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه (Abdel-Aziz *et al.*, 2016)، به‌نظر می‌رسد تغییر در میزان کربوهیدرات‌های دانه به میزان جذب نیتروژن و درنتیجه پروتئین دانه تحت تأثیر وضعیت آب بستگی دارد. محلول‌پاشی کائولین بسته به رقم توانست با افزایش میزان نیتروژن و درنتیجه پروتئین دانه، میزان کربوهیدرات‌های دانه را کاهش دهد.

روند تغییرات عملکرد دانه و آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی: روند تغییرات عملکرد دانه گندم تحت تأثیر سطوح مختلف تراکم بوته نشان داد که عملکرد دانه با افزایش تراکم بوته از یک رابطه چندجمله‌ای معنی‌دار (R^2= 0.91**) پیروی نمود، بطوریکه با افزایش تراکم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرمتقابل رقم × تراکم × کائولین بر کربوهیدرات‌ها و پروتئین دانه. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.



شکل ۵- روند تغییرات عملکرد دانه و آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز (PPO) و پراکسیداز (POD) در سطوح مختلف تراکم بوته گندم. D1 الی D4: به‌ترتیب تراکم ۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰ و ۸۰۰ بوته در مترمربع

از ۳۵۰ به ۵۰۰ بوته در مترمربع تغییر معنی‌داری نداشت ولی با افزایش بیشتر تراکم کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۵). اما روند تغییرات آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی با افزایش تراکم بوته از یک رابطه خطی معنی‌دار و مثبت (به‌ترتیب R^2= 0.99** و R^2= 0.98**) پیروی نمود (شکل ۵). این نتایج نشان می‌دهد که رقابت میان بوته‌ها بر سر منابع به‌ویژه آب در تراکم‌های بالاتر از ۵۰۰ بوته در مترمربع تشدید شده که کاهش در عملکرد دانه را به‌همراه داشت، هر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

چند، با تشدید تنش خشکی ناشی از افزایش تراکم بوته، گیاه سعی نمود دفاع آنتی‌اکسیدانی خود را با افزایش آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و پراکسیداز اندام هوایی جهت تعدیل خسارات تنش خشکی (Rezayian *et al.*, 2020) بهبود بخشد. نتایج تحقیقات مختلف نیز حاکی از افزایش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (Behboudi *et al.*, 2019) و کاهش عملکرد دانه (Safar-Noori *et al.*, 2018) در گندم در اثر تنش خشکی است، که با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش در مجموع نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ارقام گندم از تراکم ۵۰۰ بوته در مترمربع بدست آمد و تنش خشکی حاصل از تراکم‌های بالاتر در شرایط دیم، علی‌رغم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، موجب کاهش عملکرد دانه گردید. رقم کوهدشت با بیشترین میزان عناصر نیتروژن، فسفر، آهن و روی و پروتئین دانه نسبت به دو رقم دیگر، غنی‌ترین دانه را داشت. محلول‌پاشی کائولین موجب تعدیل تنش خشکی ناشی از تراکم‌های بالا شد و با افزایش جذب عناصر ضروری در اندام هوایی و دانه، غنی‌سازی دانه را بهبود بخشید، هر چند واکنش ارقام در تراکم‌های مختلف متفاوت بود.

منابع

اصلانی، ز.، حسنی، ع.، رسولی صدقیانی، م. ح.، سفیدکن، ف. و برین، م. (۱۳۹۰) تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*Glomus mosseae* L.) و (*Glomus intraradices* L.) بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت شرایط تنش خشکی. تحقیقات گیاهان داوریی و معطر ایران ۲۷: ۴۸۶-۴۷۱.

امینی، ز. و حداد، ر. (۱۳۹۲) نقش رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مقابل تنش اکسیداسیون. مجله پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲۶: ۲۵۱-۲۶۵.

توکلی حسنکو، ح.، عبادی، ع. و جهانبخش، س. (۱۳۹۴) بررسی برخی از سازوکارهای تحمل به تنش کم آبی در ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.). فصلنامه تحقیقات غلات ۴: ۲۵-۱۳.

سیروس مهر، ع. ر. و روشن ضمیر، ف. (۱۳۹۳) تأثیر تنش کم آبی و کود فسفر بر روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.). نشریه زراعت پژوهش و سازندگی ۱۰۵: ۱۳۴-۱۴۰.

کاظمی، م. ر.، قوشچی، ف. و کسرایی، پ. (۱۳۹۵) بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب بر خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه گندم در شرایط تنش کم‌آبی. فصلنامه پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر ۱۳: ۴۲-۶۷.

Abdel-Aziz, H., Hasaneen, M. N. and Omar, A. (2018) Effect of foliar application of nano chitosan NPK fertilizer on the chemical composition of wheat grains. Egyptian Journal of Botany 58: 87-95.

Abdel-Fattah, G. H. (2013) Response of waterstressed rose of China (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) plant to treatment with calcium carbonate and vapor gard antitranspirants. Journal of Applied Science and Research 9: 3566-3572.

Arazmjo, A., Heidari, M., Ghanbari, A., Siahsar, B. and Ahmadian, A. (2009) Effects of three types of fertilizers on essential oil, photosynthetic pigments, and osmoregulators in chamomile under drought stress. Environmental stresses in Crop Sciences (ESCS) 3: 23-33

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Abdshah, H. and Kazemian, A. (2020) Agricultural statistics. Ministry of jihad agriculture, deputy of planning and economy. Information and Communication Technology Center 1. (In Persian with English Summary).

Ahmadian, K., Jalilian, J. and Pirzad, A. (2021) Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. Agricultural Water Management 244.

Aravind, P. and Prasad, M. N. V. (2004) Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a freshwater macrophyte. Plant Science 166: 1321-1327.

Babaei, K., Sharifi, R. S., Pirzad, A. and Khalilzadeh, R. (2017) Effects of bio fertilizer and nano zn-fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Journal of Plant Interactions 12.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestani, Z., Zaman Kassaee, M., Modares Sanavi, S. A. M. and Sorooshzadeh, A. (2018) Improving growth and yield of wheat under drought stress via application of SiO_2 nanoparticles. Journal of Agricultural Science and Technology 20.

Brito, C., Dinis, L. T., Moutinho-Pereira, J. and Correia, C. (2019) Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. Scientia Horticulturae (Amsterdam) 250.

Cakmak, I. (2008) Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil 302: 1-17.

Cha-um, S. and Kirdmanee, Ch. (2009) Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. Agricultural Sciences in China 8: 51-58.

Chen, Q., Mu, X., Chen, F., Yuan, L. and Mi, G. (2016) Dynamic change of mineral nutrient content in different plant organs during the grain filling stage in maize grown under contrasting nitrogen supply. European Journal of Agronomy 80: 137-153.

Chen, Y., Xiao, C., Chen, X., Li, Q., Zhang, J., Chen, F. and Mi, G. (2014) Characterization of the plant traits contributed to high grain yield and high grain nitrogen concentration in maize. Field Crops Research 159: 1-9.

Chen, Y., Xiao, C., Wu, D., Xia, T., Chen, Q., Chen, F. and Mi, G. (2015) Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. European Journal of Agronomy 62: 79-89.

Ciampitti, I. A., Murrell, S. T., Camberato, J. J., Tuinstra, M., Xia, Y., Friedemann, P. and Vyn, T. J. (2013) Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and N stress factors: I. Vegetative phase. Crop Science 53: 2105-2119.

Daneshian, J., MajidiHrvan, A. and Jonoubi, P. (2002) The effect of drought stress and different amounts of potassium on quantitative and qualitative characteristics of Soybean. Journal of Agriculture Science 8: 108-95.

Elhani, S., Martos, V., Rharrabi, Y., Royo, C. and Garcia del moral, L. F. (2007) Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum aestivum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. Field Crops Research 103: 25-35.

FAO (2018) http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

Gaballah, M. S. and Abou-Leila, B. (2000) The response of flax (*Linum usitatissimum* L.) plant grown under saline condition to gypsum application in addition to kaolin spray. Egyption Journal of Applied Science 15: 326-331.

Glenn, D. M. and Puterka, G. J. (2005) Partide films: A new technology for agriculture. Horticultural Reviews 31: 1-44.

Ghorbanli, M. and Niakan, M. (2006) The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in soybean (*Glycine max* L.cv.Gorgan3). Materials and Energy 18: 537-550.

Glass, B. and Kadir, S. (2005) Evaluation of anti transpiration on strawberry plants under high temperatures. Honors Project 41: 421-431.

Hiltbrunner, J., Streit, B. and Lidgens, M. (2007) Are seeding densities an opportunity to increas grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover? Field Crop Research 102: 163-171.

Javan, M., Tajbakhsh, M. and Abdollahi, B. (2010) The effects of some antitranspirants on plant traits, yield and yield components in soybean (*Glycine max* L.) under limited irrigation. Journal of Applied Life Sciences 70-74.

Jeong, J. and Connolly, E. L. (2009) Iron uptake mechanisms in plants: Functions of the FRO family of ferric reductases. Plant Science 176: 709-714.

Kattlewell, P. S., Heath, W. L. and Haigh, I. M. (2010) Yield enhancement of droughted wheat by film antitranspirant application. Agricultural Science 3: 143-147.

Kazempoor, S. and Tajbakhsh, M. (2002) Effect of some antitranspirants on vegetative characteristics, yield and yield components of maize under limited irrigation. Iranian Journal of Agricultural Sciences 33: 211-205.

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and Jalilian, J. (2016) Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. Journal of Plant Interactions 11: 130-137

Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Hand book of Physiological Method (ed. Helebust, J. S.) Pp. 56-97. Cambridge University Press, Cambridge.

Kjeldal, S. E. (1998) An investigation of several psychological factors impinging on the perception of fresh fruits and vegetables. Unpublished Ph.D Thesis, University of New England, Australia.

Latocha, P., Ciechocinska, M., Pietkiewicz, S. and Kalaji, M. K. (2009) Preliminary assessment of antitranspirant Vapor Gard influence on *Actinidia arguta* growing under drought stress conditions. Annals of Warsaw University of Life Sciences 30: 149-150.

Li, W. Y. F., Wong, F. L., Tsai, S. N., Tsai, S. N., Phang, T. H., Shao, G. H. and Lam, H. M. (2006) Tonoplast-located GmCLC1 and GmNHX1 from oybean enhance NaCl tolerance in transgenic bright yellow (by)-2 cells. Plant Cell Environment 29: 1122-1137.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

Liu, H. P., Yu, B. J., Zhang, W. H. and Liu, Y. L. (2005) Effect of osmotic stress on the activity of Ht ATPase and the levels of covalently and non-covalenty conjugated polyamines in plasma membrance preparation from wheat seeding roots. Plant Science 168: 1599-1607.

Lloveras, J. J., Manent, J., Viudas, A. and Santiveri, P. (2004) Seedling rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a Mediterranean climate. Agronomy Journal 96: 1258-1265.

Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives in Biochemistry and Biophysics 444: 139-158.

MacAdam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp, R. E. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall Fescue. Plant Physiology 99: 872-878.

Masoud, A. A. B. (2012) Impact of some antitranspirants on yield and fruit quality of hamawy apricot trees grown in sandy soils. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 8: 78-82.

Misra, A. and Sricastava, N. K. (2005) Influence of water stress on Japense mint. Plant physiology 57: 136-143.

Mushtaq, R., Katiyar, S. and Bennett, J. (2008) Proteomic analysis of drought stress-responsive proteins in rice endosperm affecting grain quality. Journal of Crop Science and Biotechnology 11: 227-232.

Ranjan, M., Frank van, D., Reinhard, D., Soojung, O., Noo Li, J., Sung Sik, L. and Matthias, P. (2017) Protein kinase C and calcineurin cooperatively mediate cell survival under compressive mechanical stress. The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) 114: 13471-13476.

Ren, H., Cheng, Y., Li, R., Yang, Q., Liu, P., Dong, S. and Zhao, B. (2020) Integrating density and fertilizer management to optimize the accumulation, remobilization, and distribution of biomass and nutrients in summer maize. Scientific Reports 10: 1-12.

Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H. and Niknam, V. (2020) Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 20: 1122-1132.

Ryan, J., Estefan, G. and Rashid, A. (2007) Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. ICARDA.

Safar-Noori, M., Assaha, D. V. M. and Saneoka, H. (2018) Effect of salicylic acid and potassium application on yield and grain nutritional quality of wheat under drought stress condition. Cereal Research Communications 46.

Samadi, A. and Faramarzi, A. (2014) Effects of anti-transpiration spraying and irrigation cutting off on yield and yield components of sunflower hybrid of Farrokh as second crop at Miyaneh region, Iran. Agroecology Journal 10: 47-59. (In Persian with English Summary).

Tahkokorpi, M., Taulavuori, K., Laine, K. and Taulavuori, E. (2010) After-effects of droughtrelated winter stress in previous and current year stems of *Vaccinium myrtillus* L. Environmental and Experimental Botany 61: 85-93.

Tian, X. and Li, Y. (2006) Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum 50: 775-778.

Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001) Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: Physiological and molecular considerations. Acta Horticulturae 560: 285-292.

Wei, H., Meng, T., Li, C., Xu, K., Huo, Z., Wei, H. and Dai, Q. (2017) Comparisons of grain yield and nutrient accumulation and translocation in high-yielding japonica/indica hybrids, indica hybrids, and japonica conventional varieties. Field Crops Research 204: 101-109.

Wood, G. A., Welsh, J. P., Godwin, R. J., Taylor, J. C., Eral, R. and Knight, S. M. (2003) Real-time measures of canopy size as basis for spatially varying nitrogen application to winter wheat sown at different seed rates. Engeenering 84: 513-531.

Yadav, S. K. and Kumar, A. (1998) Effect of some antitranspirants on water relation, N R-activity and seed yield of rabi maize under limited irrigation. Indian Journal of Agricultural Research 32: 57-60.

Yang, D., Cai, T., Luo, Y. and Wang, Z. (2019) Optimizing plant density and nitrogen application to manipulate tiller growth and increase grain yield and nitrogen-use efficiency in winter wheat. PeerJ 7.

Yigitarslan, U. (2010) Effect of kaolin application of yield, yield components and grain quality in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Master thesis. Graduate School of Natural and Applied Sciences. Department of Field Crops, Ankara, Turkey.

Zhou, X. and Deng, X. (2011) Effect of post-drought rewatering on leaf photosynthetic characteristics and antioxidation in different wheat genotypes. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica 27: 278-285.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]

Effect of plant density and kaolin on yield and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under rainfed condition

Amin Rashidian[1], Masoud Rafiee[2*], Ali Khorgami[1], Reza Mir Derikvand[1] and Saied Hossein Vafaiee[3]

[1]Department of Agriculture, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.
[2]Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREO, Khorramabad, Iran
[3]Department of Plant Protection, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.
(Received: 28/07/2021, Accepted: 23/10/2021)

Abstract

In order to investigate the effect of plant density and foliar application of kaolin on rainfed wheat cultivars, a factorial-split plot study was conducted in a RCBD with four replications under rainfed conditions in Koohdasht. Plant density factor viz. 350, 500, 650 and 800 plants per square meter and cultivar factor including three dryland wheat cultivars Karim, Kuhdasht and Qaboos as factorial in main plots and kaolin foliar application in two levels of non-application and application of Kaolin were placed in sub-plots. The results showed that with increasing plant density, the amount of polyphenol oxidase and peroxidase antioxidants (26.2% and 9.1%, respectively) as well as grain carbohydrates (11.9%) increased, whereas the amount of grain protein (4.3%) decreased, at the highest density compared to the control. The amount of nitrogen, potassium and iron in the grain decreased with increasing plant density. The highest amount of phosphorus, zinc and grain protein belonged to Qaboos cultivar, so that in Qaboos cultivar the amount of phosphorus was 6.4% and 1.9%, respectively, at the same time, the amount of zinc was 4.6% and 1.3%, respectively, and the amount of protein was 2.5% and 0.3%, respectively, more than Karim and Kuhdasht cultivars. Foliar application of kaolin increased the uptake of all essential elements studied in the shoot and the amount of nitrogen, phosphorus, iron, zinc and carbohydrates in the grain; but reduced the antioxidants of the shoot and the amount of potassium and protein in the grain compared to the non-use of kaolin. In total, Qaboos cultivar at a density of 500 plants per square meter with the use of kaolin was recommended as the best treatment for grain production and enrichment at Kuhdasht region.

Keywords: Antioxidants, Grain protein, Kaolin, Rainfed, Wheat.

Corresponding author, Email: rafieemasoud@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5]