تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۳۲۰-۳۰۵

مقاله پژوهشی

نقش محلول‌پاشی عنصر روی بر تعدیل اثرات تنش خشکی در برخی از ارقام گندم

داود امین آزرم[1*]، امیرهوشنگ جلالی[1]، لیلی صفائی[2]

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

* مسئول مکاتبه: dafiuni@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.323047.1178**

چکیده

تنش خشکی به‌عنوان یک چالش مهم برای تولید گندم در بسیاری از مناطق غله‌خیز جهان مطرح است. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر وقوع تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی با محلول‌پاشی روی و بدون محلول‌پاشی در دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان اجرا شد. برای انجام پژوهش از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی با محلول‌پاشی روی و بدون محلول‌پاشی) و عامل فرعی شامل ۱۱ ژنوتیپ گندم (دو لاین و ۹ رقم) بود. برهمکنش تنش و ژنوتیپ بر صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه (سطح ۱ درصد) و تأثیر تنش رطوبتی بر طول سنبله در سطح یک درصد از نظر آماری معنی‌دار بود. بهبود عملکرد ناشی از محلول‌پاشی روی در سه ژنوتیپ پیشتاز، بک کراس روشن و الوند نسبت به شرایط تنش رطوبت بدون مصرف روی به ترتیب برابر ۱۱/۷، ۱۴/۸ و ۱۵ درصد بود. طول دوره پر شدن دانه در تیمار تنش رطوبتی بدون مصرف روی و با مصرف روی نسبت به تیمار شاهد ۳۳ و ۳۰/۶ درصد کاهش یافت. کارایی روی در بین ژنوتیپ‌های آزمایشی دامنه‌ای از ۸۶/۹۵ تا ۹۵/۰۳ درصد داشت. نتایج این پژوهش نشان داد در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی روی می‌تواند اثرات سوء ناشی از تنش را تعدیل نماید ولی واکنش ارقام مختلف در این رابطه متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: رسیدگی فیزیولوژیک، طول سنبله، عملکرد، کارایی روی

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین گیاهان زراعی در ایران در سال زراعی ۹۸-۹۷ بیش از ۵ میلیون و ۸۶۴ هزار هکتار از اراضی کشاورزی کشور را به خود اختصاص داد که از این مقدار ۱ میلیون و ۹۳۲ هزار هکتار کشت آبی با متوسط عملکرد ۴۲۳۱ کیلوگرم در هر هکتار بوده است (Ahmadi *et al*., 2020). کشت گندم در مناطق مختلف جهان تحت تأثیر تنش‌های غیرزنده زیادی قرار دارد که از این میان تنش خشکی (به‌ویژه پس از مرحله گرده‌افشانی) از مهم‌ترین عوامل محسوب می‌شود (Saradadevi *et al*., 2017). در اکثر مناطق ایران نیز معمولاً در پاییز و زمستان رطوبت کافی و دمای مناسب جهت رشد گندم فراهم است ولی دماهای بالا و کم‌آبی در بهار و هم‌زمان با رشد زایشی گندم امری متداول است (Joudi and VanDen, 2018).

حدود ۵۰ درصد از اراضی زیر کشت غلات در جهان با کمبود عنصر روی مواجه بوده و با توجه به نقش مهم غلات در تأمین کالری روزانه مورد نیاز مردم، کمبود روی در این اراضی به معنی کمبود این عنصر در جیره غذایی است (Alloway, 2009). برخی محققین معتقدند انتقال مجدد عنصر روی نقش به‌سزایی در افزایش غلظت این عنصر در دانه داشته و این نقش به‌ویژه در شرایط کمبود این عنصر در خاک، اسیدیته بالا، تنش خشکی و وجود کربنات کلسیم در خاک بارزتر است (Xue *et al*., 2012; Zhang *et al*., 2015). کشت گسترده و فشرده غلات با اتکا به کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفره نتیجه‌ای جز کمبود عناصر کم‌مصرف نخواهد داشت (Cakmak, 2008)؛ بنابراین حتی در شرایط معمول رطوبتی، تیمار روی منجر به اثرات مثبت در مرحله رشد زایشی گندم شامل افزایش طول سنبله، افزایش تعداد سنبلچه در سنبله و افزایش وزن هزار دانه خواهد شد

(Ramazan *et al.*, 2020). در شرایط تنش رطوبتی تیمار روی باعث جلوگیری از آسیب اندام‌های نر و ماده گیاه شده و تداوم فرآیندهای متابولیک ضروری برای تولید عملکرد مناسب را خواهد داشت. به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای باوجود شرایط تنش رطوبتی، محلول‌پاشی عنصر روی در مرحله گرده‌افشانی و ظهور سنبله نسبت به عدم مصرف آن باعث افزایش ۷ درصدی طول سنبله، افزایش ۲۱/۵ درصدی تعداد دانه در سنبله و افزایش ۴ درصدی وزن هزار دانه گندم شد (Hera *et al.*, 2018). در پژوهشی در آذربایجان شرقی محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۰/۵ درصد در مرحله طویل شدن ساقه و گل‌دهی گندم رقم هامون غلظت عنصر روی در دانه را از ۳۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۶۲/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد و موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید (Pahlavan Rad and Pessarakli, 2009). انتقال مجدد عنصر روی از برگ‌ها و ساقه و حرکت راحت‌تر این عنصر در آوندهای آبکش نسبت به عناصری مثل منگنز، دلیل واکنش مثبت گندم به عنصر روی است (Pearson and Rengel, 1994). با این وجود واکنش ارقام مختلف گندم به تأمین روی و نقش آن در تعدیل شرایط تنش خشکی متفاوت است (Ghasal *et al.*, 2017). برخی اوقات اثرات مثبت عنصر روی بر عملکرد به مواردی مثل تأثیر بر جذب و سوخت‌وساز نیتروژن، ایجاد مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده، فتوسنتز بهتر و هم‌چنین باروری بهتر دانه‌های گرده نسبت داده می‌شود (Cakmak, 2008).

وقوع تنش خشکی (به‌ویژه در بهار) و اثرات منفی آن بر رشد و عملکرد گندم در ایران به امری بدیهی تبدیل‌شده و بنابراین توجه و به‌کارگیری روش‌های جدید برای مقابله با آن غیر قابل اجتناب است. یکی از این رویکردها تأمین عناصر کم‌مصرفی مثل روی است. پژوهش حاضر با هدف مقایسه تأثیر تنش رطوبتی بر عملکرد برخی از ارقام رایج گندم در کشور و نقش محلول‌پاشی عنصر روی در این شرایط طراحی و انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان اجرا شد. ایستگاه مذکور در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی واقع است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۴۱ متر و طبق تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم خشک بسیار گرم با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نیمه‌سرد می‌باشد. متوسط بارندگی و درجه حرارت سالیانه به ترتیب ۱۲۱ میلی‌متر و ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد است. تأمین آب ایستگاه از دو طریق آب کانال دریافتی از رودخانه زاینده‌رود (در سال‌هایی که آب در رودخانه زاینده‌رود جاری باشد) و چاه‌های آب زیرزمینی است.

در هر دو سال، زمین محل اجرای آزمایش در قطعاتی از ایستگاه انتخاب شد که در سال قبل آیش بود. مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح بود. در آخرین مرحله آماده‌سازی زمین، با استفاده از فاروئر، فاروهایی با فاصله پشته ۶۰ سانتی‌متر ایجاد شد. بر اساس آزمون خاک ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم (به‌صورت سولفات پتاسیم) و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر (به‌صورت سوپر فسفات تریپل) مصرف شد. ۲۸۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (به‌صورت اوره) در سه مرحله‌ی قبل از کاشت، ساقه رفتن (کد ۳۰ زادوکس) و قبل از ظهور سنبله‌ها (کد ۴۵ زادوکس) با نسبت تقسیط مساوی استفاده شد. نتایج تجزیه خاک در عمق ۳۰ – ۰ سانتی‌متری به تفکیک هر یک از سال‌های اجرای آزمایش در جدول ۱ و آمار متوسط دما و بارش در طی فصل رشد در شکل ۱ آورده شده است.

درصد رطوبت وزنی خاک ایستگاه محل اجرای آزمایش در ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) به ترتیب ۲۵ و ۱۴ درصد بود. عملیات کاشت با استفاده از بذرکار مخصوص آزمایش‌های غلات از نوع وینتراشتایگر[1] و بر روی پشته انجام گردید و هر پشته شامل سه خط کاشت با فواصل خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. هر پلات مشتمل بر دو پشته، عرض و طول هر پلات به ترتیب ۱/۲ و ۴ متر و درنتیجه مساحت هر پلات ۴/۸ مترمربع بود. تراکم کاشت بر اساس ۴۰۰ بذر در مترمربع در نظر گرفته شد که با توجه به وزن هزار دانه هر رقم محاسبه شد. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با توزیع کرت‌های یک‌بار خرد شده و با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل ۳ سطح بود که عبارت بودند از ۱- انجام آبیاری‌ها به‌طور معمول تا پایان فصل رشد بدون تنش آبی، ۲- آبیاری‌ها تا مرحله سنبله‌دهی بدون هیچ‌گونه تنش آبی و تنش آبی در دوره پس از

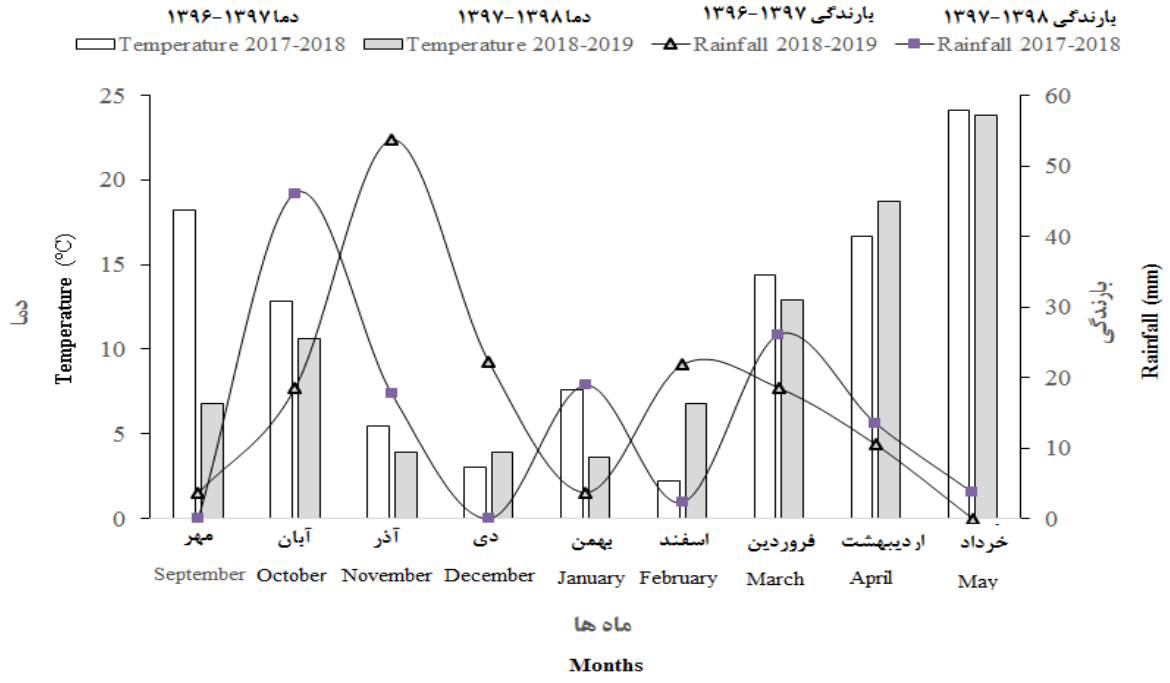
1. WinterSteiger

گرده‌افشانی ۳- آبیاری‌ها تا مرحله سنبله‌دهی بدون هیچ‌گونه تنش آبی و تنش آبی در دوره پس از گرده‌افشانی به همراه مصرف عنصر روی به‌صورت محلول‌پاشی طی دو مرحله ساقه دهی (کد ۳۱ زادوکس) و غلاف رفتن (کد ۴۵ زادوکس). محلول-پاشی روی در هر مرحله با غلظت پنج در هزار با استفاده از سولفات روی به میزان پنج کیلوگرم در هکتار انجام و هم‌زمان سایر کرت‌ها آب‌پاشی شدند. به‌منظور جلوگیری از هر گونه تنش خشکی تا قبل از زمان اعمال تیمارها، در هر سه تیمار فوق، آبیاری‌ها تا مرحله سنبله‌دهی بر اساس تخلیه ۵۰ درصد وزنی رطوبت خاک و هنگامی‌که رطوبت خاک به حدود ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه می‌رسید انجام می‌گرفت. هم‌چنین در تیمار بدون تنش، آبیاری‌ها بر همین اساس تا زمان رسیدگی ادامه یافت. در شرایط تنش رطوبتی آبیاری هنگامی انجام شد که درصد رطوبت وزنی در خاک به حدود ۲۰ درصد رسید. عامل فرعی دربرگیرنده ۱۱ ژنوتیپ گندم شامل دو لاین و ۹ رقم بود که عبارت بودند از ۱- لاین WS-82-9-2 ۲- رقم سیروان، ۳- لاین WS-86-14، ۴- رقم پیشتاز، ۵- پارسی، ۶- بک کراس روشن، ۷- ارگ، ۸- روشن، ۹- پیشگام، ۱۰- الوند و ۱۱- مهدوی.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

سال Year	روی Zinc (mg kg^{-1})	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg kg^{-1})	فسفر Phosphor (mg kg^{-1})	مواد آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})	اسیدیته pH	بافت Texture
۱۳۹۶-۱۳۹۷ 2017-2018	0.88	0.06	325	13.0	0.63	7.8	2.4	لومی-رسی Clay-Loam
۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-2019	0.93	0.06	305	14.5	0.52	7.7	2.9	لومی-رسی Clay-Loam



شکل ۱- متوسط دما و بارش در ماه‌های فصل رشد

Figure 1- Average temperature and precipitation in the months of the growing season

صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش عبارت بودند از تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (در هر پلات تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک در ۵۰ درصد بوته‌ها ثبت و تعداد روز از کاشت تا وقوع آن محاسبه شد. ملاک رسیدگی فیزیولوژیکی زرد شدن حدود ۵۰ درصد پایه-های سنبله در هر پلات بود)، طول دوره پر شدن دانه‌ها با محاسبه تفاوت فاصله زمانی بین تاریخ گرده‌افشانی تا تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی محاسبه و مدت ۱۰ روز از آن کسر گردید (Jenner *et al*., 1991). معمولاً پس از گرده‌افشانی حدود یک تا دو هفته اول به عنوان مرحله تقسیم سلولی و رشد سلول‌ها در نظر گرفته می‌شود. عملکرد دانه (پس از حذف نیم‌متر طولی از ابتدا و انتهای هر پلات)، تعداد سنبله در واحد سطح بر اساس تعداد سنبله‌ها در مساحتی معادل ۰/۶ مترمربع (عرض یک پشته در طول یک متر)، تعداد دانه در سنبله بر اساس گزینش تصادفی ۳۰ سنبله در مرحله رسیدگی کامل، وزن هزار دانه بر اساس ۳ نمونه ۵۰۰ تایی از هر کرت و شمارش آن با دستگاه بذر شمار، انجام شد. کارایی روی با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2009):

۱۰۰× (عملکرد دانه در حالت مصرف روی) / (عملکرد دانه در حالت فقدان روی) = کارایی روی

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و MSTATC انجام گرفت و برای رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار Excel و Word استفاده شد. در رابطه با عملکرد دانه آزمون بارتلت براساس متجانس بودن واریانس‌های خطا انجام و فرض صفر مبنی بر نبودن اختلاف معنی‌دار بین واریانس خطاها در آزمایش‌های جداگانه تأیید شد، بر این اساس تجزیه مرکب داده‌ها در این رابطه انجام شد. میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. تأثیر تیمار تنش رطوبتی بر تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک از نظر آماری معنی‌دار بود (سطح ۱ درصد) و ژنوتیپ‌های استفاده شده در این پژوهش نیز از نظر این صفت تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲). برهمکنش تنش و ژنوتیپ بر صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز از نظر آماری معنی‌دار بود (سطح ۱ درصد) (جدول ۲).

با توجه به اینکه بین تیمارهای مصرف و عدم مصرف روی از نظر تأثیر بر تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در شرایط تنش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد از میانگین اعداد مربوط به این تیمارها برای بررسی تأثیر برهمکنش تنش رطوبتی بر این صفت استفاده شد (شکل ۲). فاصله زمانی کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در بین ژنوتیپ‌ها از ۲۰۰ (ژنوتیپ‌هایی مثل سیروان و WS-82-9) تا ۲۰۷ روز (ژنوتیپ‌هایی مثل بک کراس روشن و الوند) متفاوت بود. در برخی از پژوهش‌ها به این نکته اشاره شده است که تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در ارقام حساس به تنش رطوبتی بین ۳۱ تا ۷۲ درصد کاهش می‌یابد (Ihsan *et al*., 2016). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش فاصله زمانی کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در شرایط تنش خشکی در استان فارس نیز گزارش شده است (Dastfal *et al*., 2009). در پژوهشی تأثیر تنش رطوبتی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد از ظرفیت زراعی) بر مراحل فنولوژیک ارقام گندم بررسی و مشخص شد کاهش فاصله زمانی کاشت تا ظهور سنبله و رسیدگی فیزیولوژیک از مشهودترین اثرات تنش رطوبتی است (Ihsan *et al*., 2016).

دوره پر شدن دانه‌ها

تأثیر سال و تنش بر طول دوره پر شدن دانه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود (سطح یک درصد) و ژنوتیپ‌ها نیز از این نظر دارای تفاوت معنی‌دار بودند (جدول ۲). در سال اول آزمایش طول دوره پرشدن دانه‌ها ۲۰ روز و در سال دوم این دوره ۲۳/۱ روز بود (شکل ۳). اساساً میانگین دما در ماه‌های مختلف سال اول آزمایش بیشتر از سال دوم بود که می‌تواند بر طول دوره پر شدن دانه‌ها نیز مؤثر واقع شده باشد (شکل ۱). تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مصرف روی و عدم مصرف آن در شرایط تنش وجود نداشت. طول دوره پرشدن دانه در تیمار تنش رطوبتی بدون مصرف روی و با مصرف روی نسبت به تیمار شاهد ۳۳ و ۳۰/۶ درصد کاهش یافت (شکل ۴). تنش خشکی به‌ویژه در مرحله رشد زایشی گندم هم بر روی سرعت انتقال مواد به دانه‌ها و هم بر روی طول مدت پر شدن دانه‌ها تأثیرگذار است (Saini and Westgate, 2000).

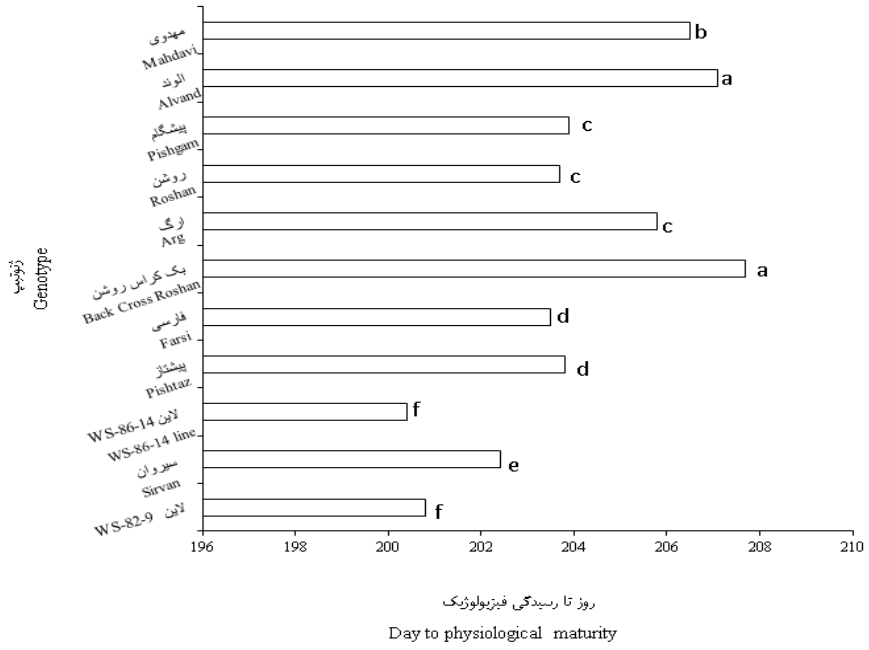
جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، دوره پر شدن دانه، عملکرد و اجزاء عملکرد

Table 2- Combined analysis of variance of traits of day to physiological maturity, grain filling period, yield and yield components.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Day to physiological maturity	دوره پر شدن دانه Grain filling period	عملکرد دانه Grain yield	تعداد سنبله در واحد سطح Number of spikes m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grains per spike	وزن هزار دانه Weight of 1000 grains	طول سنبله Spike length
سال Year(Y)	1	33.90 ns	332.10**	2331091 **	107427.00**	226.78 ns	1232.00**	704.55 ns
تکرار (سال) Replication (Year)	4	27. 30	89.40	193674	1229.70	250.20	2.94	147.90
تنش Stress (S)	2	1898.80**	1377.10**	390050751**	4853.20 ns	180.70**	6263.29**	669.45**
سال×تنش Y×S	2	60.70 ns	45.20 ns	13835050**	189.60 ns	0.229 ns	227.99 ns	21.99 ns
خطا a Error a	2	10.00	5.21	251148	7212.90	12.10	41.52	6.662
ژنوتیپ Genotype (G)	10	47.90**	12.20**	4196118**	22539.30**	355.20**	132.49**	939.15**
سال× ژنوتیپ Y × G	10	0.020 ns	0.10 ns	490007 **	255.20 ns	0.210 ns	7.25 ns	94.98 ns
تنش× ژنوتیپ G × S	20	5.40 **	4.20 ns	1501795**	1182.10 ns	7.30 ns	23.97**	6.741 ns
تنش× ژنوتیپ×سال S × G×Y	20	0.050 ns	0.90 ns	28573 ns	96.70 ns	0.05 ns	4.26 ns	8.819 ns
خطا b Error b	120	1.10	1.50	113586	3116.40	6.50	10.09	7.056
ضریب تغییرات CV (%)		1.51	4.75	6.72	8.07	6.40	10.19	3.73

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱ درصد

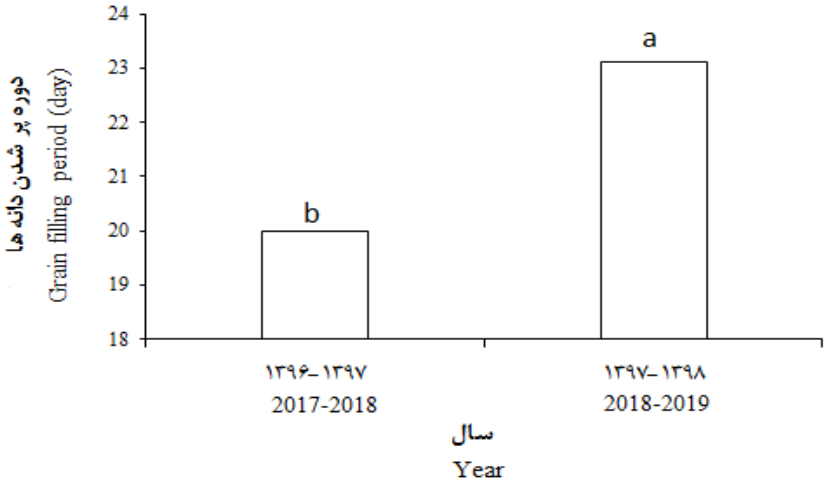
: Non-significant and significant at the P value of 0.01, respectively **and ns



شکل ۲- مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف از نظر تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در تیمارهای تنش رطوبتی (میانگین‌ها بر اساس تنش رطوبتی با مصرف روی و بدون مصرف روی). حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

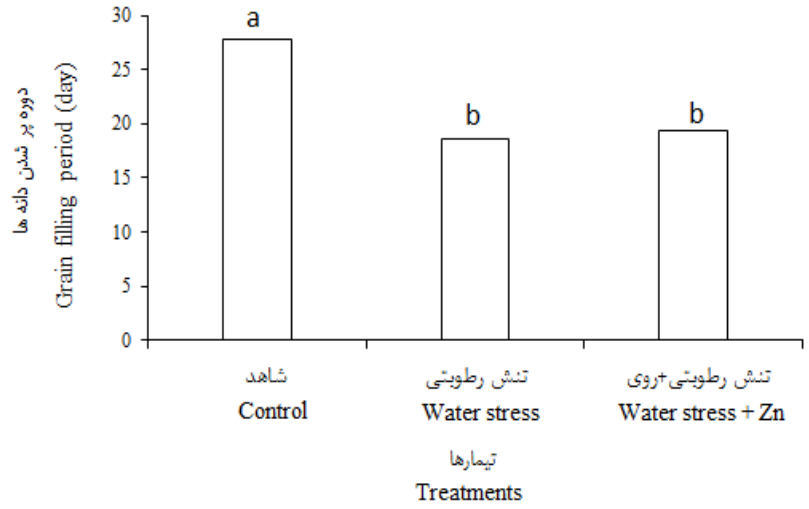
Figure 2- Comparison of different genotypes in terms of number of days to physiological maturity in water stress treatments (means based on water stress with and without zinc consumption). Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).

بسیاری از محققین معتقدند تنش خشکی در مرحله رشد زایشی گندم باعث کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها می‌شود (Pradhan *et al.*, 2012; Mahrookashani *et al.*, 2017). ژنوتیپ‌های استفاده شده در این پژوهش نیز از نظر طول مدت پر شدن دانه‌ها متفاوت بودند (شکل ۵). رقم پیشگام و ژنوتیپ WS-82-9 به ترتیب با طول دوره پر شدن دانه ۲۲/۹ و ۲۲/۵ روز بیشترین و رقم الوند با طول دوره پر شدن دانه ۱۹/۸ روز کمترین مقدار را از نظر این صفت به خود اختصاص دادند. در مقایسه ۹ رقم گندم در شرایط بدون آبیاری در بهار (تنش رطوبتی) و آبیاری ۱۵۰۰ مترمکعبی در دو نوبت در بهار (مراحل گرده‌افشانی و طویل شدن ساقه‌ها) مشخص شد ژنوتیپ‌ها از نظر طول دوره و پتانسیل پر کردن دانه‌ها دارای تفاوت معنی‌دار بودند (Zhang *et al.*, 2017).



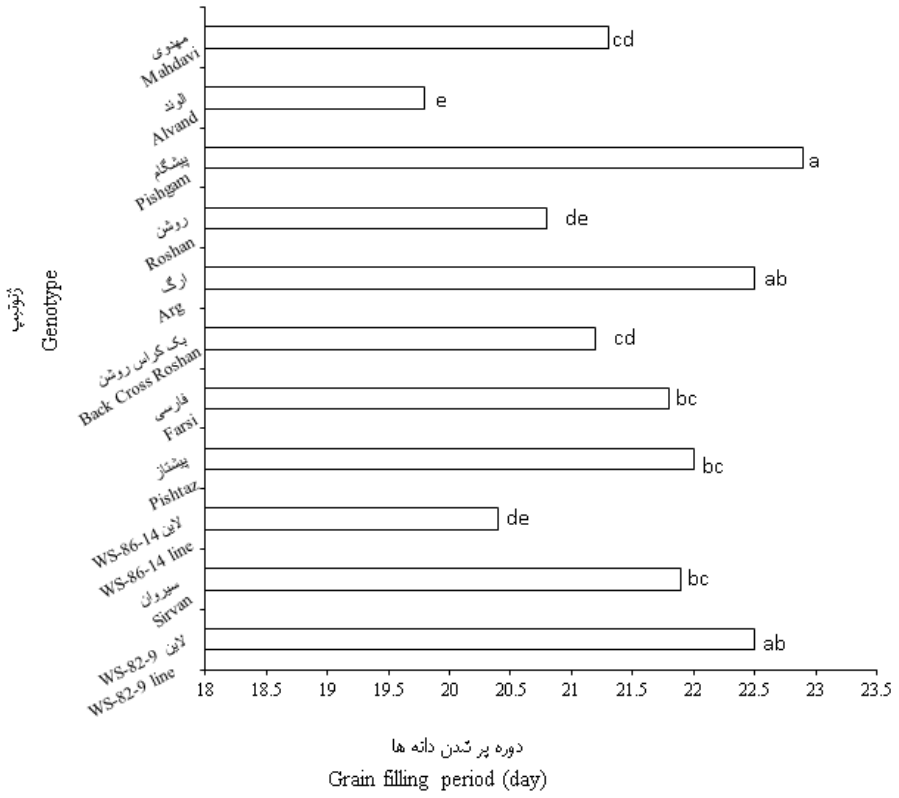
شکل ۳- طول دوره پر شدن دانه‌ها در دو سال مختلف. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 3- The length of the grain filling period is two different years. Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).



شکل ۴- مقایسه تیمارهای تنش رطوبتی و شاهد از نظر طول دوره پر شدن دانه‌ها. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 4- Comparison of water stress and control treatments in terms of grain filling period. Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).



شکل ۵- مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف از نظر طول دوره پر شدن دانه‌ها. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 5- Comparison of different genotypes in terms of grain filling period. Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).

عملکرد و اجزاء عملکرد

اثر سال بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲) میانگین عملکرد دانه در سال دوم بیش از سال اول بود (به ترتیب ۵۵۵۲ و ۶۲۳۸ کیلوگرم در هکتار) که می‌توان آن را به تفاوت شرایط آب و هوایی دو سال نسبت داد. برهمکنش تأثیر تنش رطوبتی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد برابر ۵۴/۱ و ۳۶/۲ درصد و به ترتیب مربوط به رقم مهدوی و لاین WS-82-9 بود (جدول ۳). تیمار تنش با مصرف کود روی در همه ژنوتیپ‌ها درصد افت عملکرد را کاهش داد. با این وجود فقط در مورد سه ژنوتیپ پیشتاز، بک کراس روشن و الوند عملکرد در حالت وجود تنش و مصرف روی نسبت به حالت تنش و عدم مصرف روی افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۳). بهبود عملکرد سه ژنوتیپ پیشتاز، بک کراس روشن و الوند نسبت به شرایط تنش رطوبت بدون مصرف روی به ترتیب برابر ۱۱/۷، ۱۴/۸ و ۱۵ درصد بود. محلول‌پاشی روی از شیوه‌های مختلف مثل جلوگیری از آسیب به اندام‌های نر و ماده گیاه و تداوم فرآیندهای متابولیک ضروری (Hera *et al.*, 2018) و هم‌چنین تأثیر بر جذب و سوخت‌وساز نیتروژن و باروری بهتر دانه‌های گرده (Cakmak, 2008) شرایط تنش رطوبتی را تعدیل می‌نماید. با این وجود، واکنش ارقام مختلف گندم به تأمین روی و نقش آن در تعدیل شرایط تنش خشکی متفاوت است (Ghasal *et al.*, 2017). برهمکنش تأثیر ژنوتیپ و تنش رطوبتی بر وزن هزار دانه از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین افت وزن هزار دانه در اثر تنش رطوبتی بدون مصرف روی معادل ۳۸/۸ و ۳۹/۴ درصد و به ترتیب در دو ژنوتیپ سیروان و ارگ مشاهده گردید. محلول‌پاشی روی در حالت تنش رطوبتی در همه ژنوتیپ‌ها باعث تعدیل اثرات تنش بر وزن هزار دانه شد (جدول ۴). محلول‌پاشی روی در ژنوتیپ‌هایی مثل پیشتاز، بک کراس روشن و الوند به ترتیب منجر به افزایش ۱۲/۷، ۱۸/۴ و ۲۰/۵ درصدی وزن هزار دانه نسبت به شرایط تنش بدون مصرف روی شد.

اثر منفی تنش خشکی بر وزن هزار دانه گندم در برخی پژوهش‌های دیگر نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Beigzadeh

et al., 2013). در پژوهشی که در اهواز انجام شد محلول‌پاشی دو نوبت روی در شرایط تنش رطوبتی در مرحله گرده‌افشانی باعث تعدیل اثرات تنش و بهبود وزن هزار دانه گندم از ۴۴/۸۸ گرم به ۴۷/۶۶ گرم شد (Monjezi *et al.*, 2013). برخی محققین معتقدند برای تأثیر مثبت محلول‌پاشی روی بر وزن هزار دانه حداقل دو نوبت محلول‌پاشی مورد نیاز است (El-Dahshouri, 2018).

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش اثر تنش رطوبتی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه

Table 3- Mean comparison of water stress and genotype on the grain yield

ژنوتیپ Genotype	لاین WS-82-9 WS-82-9 line	سیروان Sirvan	لاین WS-86-14 WS-86-14 line	پیشتاز Pishtaz	فارسی Parsi	یک کراس روشن Back Cross Roshan	ارگ Arg	روشن Roshan	پیشگام Pishgam	الوند Alvand	مهدوی Mahdavi
شاهد Control	7371 a	9534 a	8457 a	8834 a	9138 a	8394 a	8868 a	6970 a	10008 a	9386 a	8700 a
تنش رطوبتی Water stress	4705 b	4925 b	4741 b	4535 c	3747 b	3995 c	3959 b	3883 b	4898 b	4330 c	3992 b
تنش رطوبتی +روی Water stress+ Zinc	5061 b	5222 b	5020 b	5064 b	4042 b	4587 b	4244 b	4088 b	5154 b	4980 b	4286 b
کاهش عملکرد در حالت تنش رطوبتی نسبت به شاهد Decreased yield in water stress compared to control (%)	36.2	48.3	43.9	42.7	59.0	45.4	55.4	44.3	51.1	50.0	54.1
افزایش عملکرد در حالت تنش رطوبتی+ روی نسبت به تنش رطوبتی Increased yield in the state of water stress + zinc compared to water stress (%)	7.6	6.0	5.9	11.7	7.9	14.8	7.2	5.3	5.2	15.0	7.4

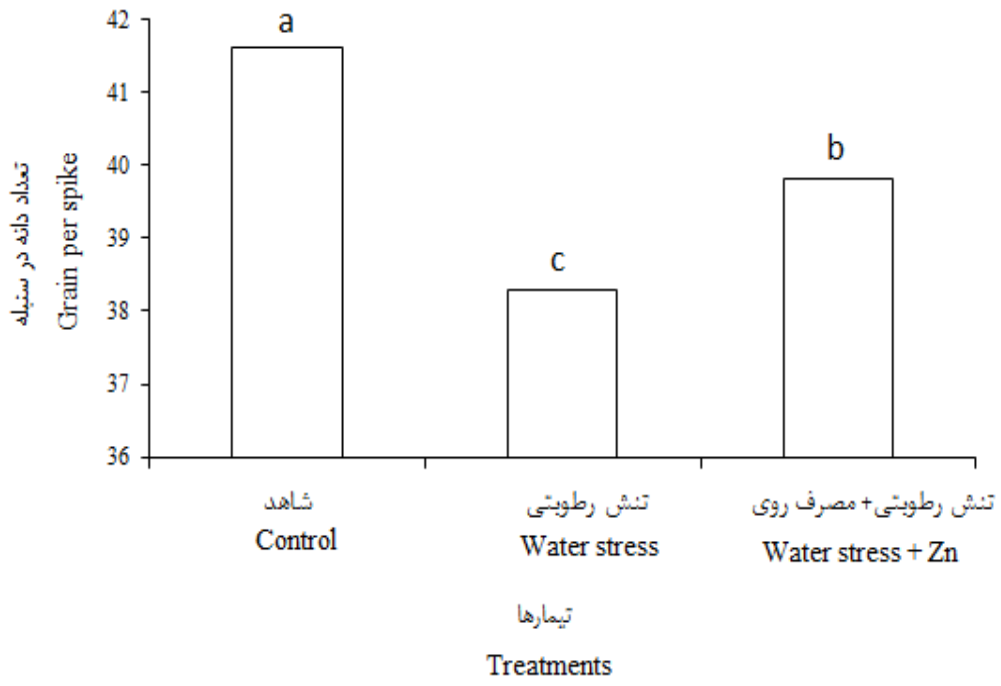
جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش اثر تنش رطوبتی و ژنوتیپ بر وزن هزار دانه

Table 4- Mean comparison of water stress and genotype on the 1000 grain weight

ژنوتیپ Genotype	لاین WS-82-9 WS-82-9 line	سیروان Sirvan	لاین WS-86-14 WS-86-14 line	پیشتاز Pishtaz	فارسی Parsi	یک کراس روشن Back Cross Roshan	ارگ Arg	روشن Roshan	پیشگام Pishgam	الوند Alvand	مهدوی Mahdavi
شاهد Control	32.2 a	32.2 a	32.0 a	30.4 a	32.8 a	25.4 a	29.7 a	35.9 a	33.1 a	29.9 a	29.2 a
تنش رطوبتی Water stress	21.0 b	19.7 b	20.7 b	18.9 c	22.5 b	16.8 c	18.0 b	23.0 b	21.8 b	19.0 c	20.1 b
تنش رطوبتی+روی Water stress+ Zinc	22.5 b	21.0 b	21.1 b	21.3 b	23.2 b	19.9 b	20.0 b	24.2 b	23.4 b	22.9 b	21.0 b
کاهش وزن هزار دانه در حالت تنش رطوبتی نسبت به شاهد Decreased yield in water stress compared to control (%)	34.8	38.8	35.3	37.8	31.4	31.1	39.4	36.0	34.1	36.4	31.5
افزایش وزن هزار دانه در حالت تنش رطوبتی+ روی نسبت به تنش رطوبتی Increased yield in the state of water stress + zinc compared to water stress (%)	7.1	6.6	1.9	12.7	3.2	18.4	11.1	5.2	7.4	20.5	4.5

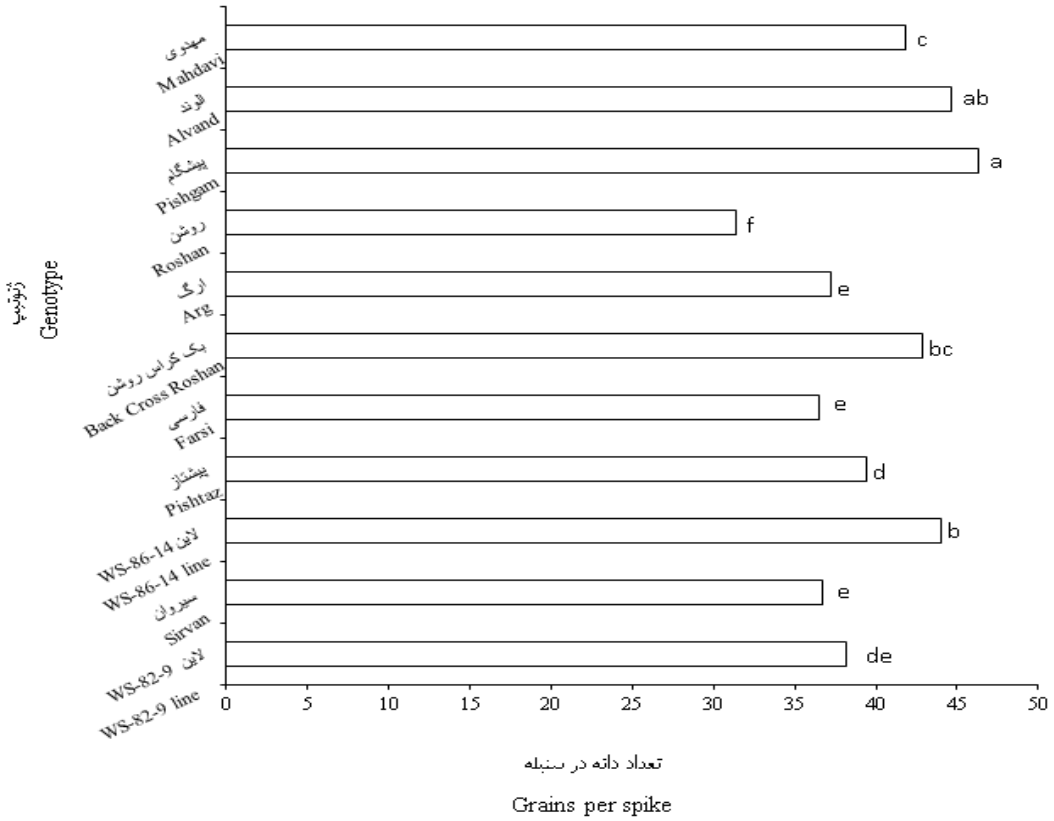
اگرچه برهمکنش تأثیر تنش رطوبتی و ژنوتیپ بر تعداد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲) ولی در شرایط تنش رطوبتی به همراه مصرف روی، تعداد دانه کاهش کمتری نسبت به تیمار تنش بدون مصرف روی داشت (شکل ۶). کاهش تعداد دانه در سنبله در تیمار تنش رطوبتی و تیمار تنش رطوبتی بعلاوه محلول‌پاشی روی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب برابر ۸ و ۴/۳ درصد بود. البته به این نکته نیز باید توجه داشت که توان ذاتی ژنوتیپ‌ها از نظر صفت تعداد دانه در سنبله متفاوت بود (شکل ۷). تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ-هایی مثل پیشگام و الوند به‌طور معنی‌دار بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. در شرایط تنش رطوبتی تیمار روی باعث جلوگیری از آسیب اندام‌های زایشی گیاه می‌شود. به عنوان مثال در مطالعه‌ای باوجود شرایط تنش رطوبتی، محلول‌پاشی عنصر روی در مرحله گرده‌افشانی و ظهور سنبله نسبت به عدم مصرف آن باعث افزایش ۷ درصدی طول سنبله، افزایش ۲۱/۵ درصدی تعداد دانه در سنبله و افزایش ۴ درصدی وزن هزار دانه گندم شده است (Hera *et al.*, 2018). باروری بهتر دانه‌های گرده از دلایل دیگر افزایش تعداد دانه در سنبله با محلول‌پاشی روی در شرایط تنش رطوبتی تشخیص داده شده است (Cakmak, 2008). در پژوهشی تأثیر محلول‌پاشی ۵ کیلوگرم روی باعث افزایش تعداد دانه در سنبله از ۴۳/۵۷ به ۵۱/۲۶ شد ولی بین لاین‌ها تفاوت معنی‌دار از این نظر وجود داشت (Ghasal *et al.*, 2017).

طول سنبله از دیگر صفاتی است که به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفت (جدول ۲). طول سنبله در تیمار شاهد، تیمار تنش رطوبتی بدون مصرف روی و تیمار تنش به همراه مصرف روی به ترتیب برابر ۱۰۰/۵، ۹۴/۱ و ۹۷/۶ میلی‌متر بود (شکل ۸). طول سنبله در حالت مصرف روی در حالت تنش نسبت به حالت عدم مصرف روی ۳/۷ درصد بیشتر بود. ژنوتیپ-های استفاده شده در این پژوهش نیز به صورت ذاتی دارای تفاوت طول سنبله بودند (شکل ۹). ژنوتیپ الوند با طول سنبله ۱۱۱/۲ میلی‌متر دارای بیشترین و رقم پیشگام با طول سنبله ۹۲/۲ میلی‌متر کمترین طول سنبله را داشتند. افزایش ۷ درصدی طول سنبله در شرایط تنش رطوبتی بعلاوه مصرف روی در زمان گرده‌افشانی در برخی پژوهش‌ها اشاره شده است (Hera *et al.*, 2018). در مطالعه شش لاین امیدبخش گندم، کاربرد روی باعث افزایش طول سنبله در چهار لاین گردید (Ghasal *et al.*, 2017).



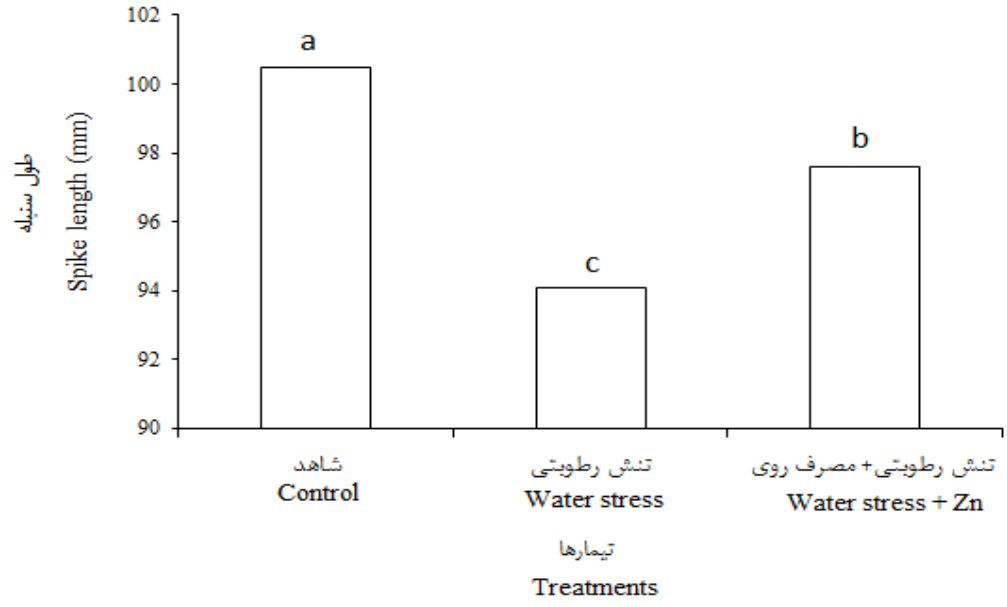
شکل ۶- مقایسه تیمارهای تنش رطوبتی و شاهد از نظر تعداد دانه در سنبله. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 6- Comparison of water stress and control treatments in terms of seeds per spike. Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).



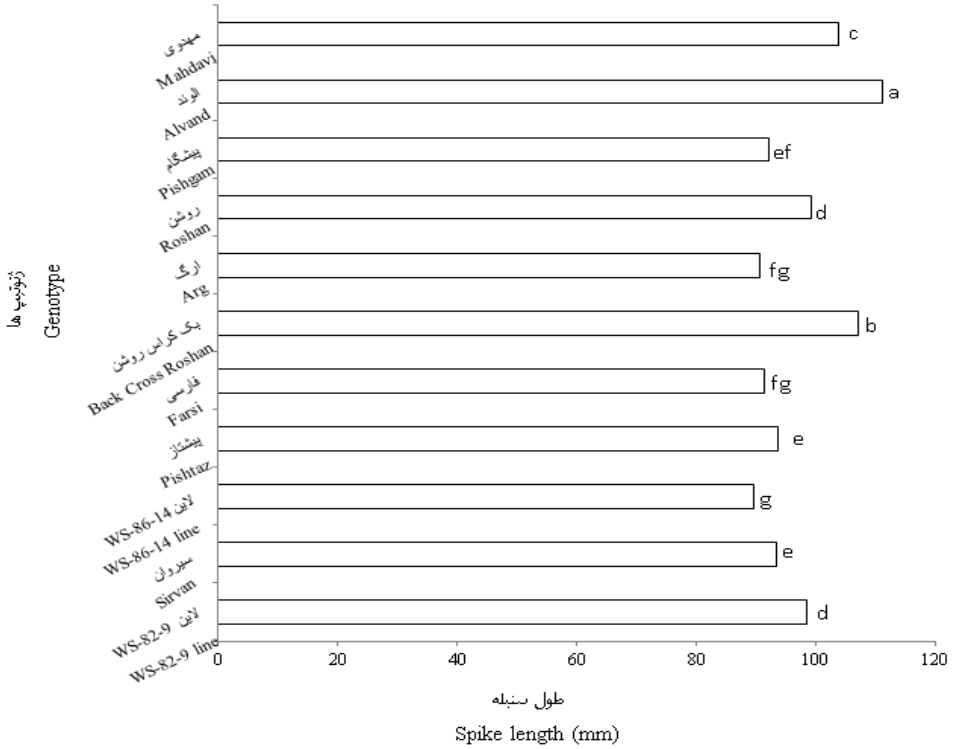
شکل ۷- مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف از نظر تعداد دانه در سنبله. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 7- Comparison of different genotypes in terms of seeds per spike. Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).



شکل ۸- مقایسه تیمارهای تنش رطوبتی و شاهد از نظر طول سنبله. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 8- Comparison of water stress and control treatments in terms of spike length. Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).



شکل ۹- مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف از نظر طول سنبله. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 9- Comparison of different genotypes in terms of spike length. Common letters in the columns indicate no significant difference (Duncan 5 %).

جدول ۵- مقایسه واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گندم به کاربرد روی در شرایط تنش رطوبتی

Table 5- Comparison of responses of different wheat genotypes to zinc application under water stress conditions

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه بدون روی Grain yield (-Zn)	عملکرد دانه با روی Grain yield (+Zn)	کارایی روی Zn efficiency (%)
لاین WS-82-9 WS-82-9 line	4705	5061	92.97
سیروان Sirvan	4925	5222	94.31
لاین WS-86-14 WS-86-14 line	4741	5020	94.44
پیشتاز Pishtaz	4535	5064	89.55
فارسی Parsi	3747	4042	92.70
بک کراس روشن Back Cross Roshan	3995	4587	87.09
ارگ Arg	3959	4244	93.28
روشن Roshan	3883	4088	94.99
پیشگام Pishgam	4898	5154	95.03
الوند Alvand	4330	4980	86.95
مهدوی Mahdavi	3992	4286	93.14

کارایی عنصر روی

کارایی روی در بین ژنوتیپ‌های آزمایش‌شده دامنه‌ای از ۸۶/۹۵ تا ۹۵/۰۳ درصد داشت (جدول ۵). بر اساس طبقه‌بندی ارقام با کارایی کمتر از ۸۰ درصد کارایی ضعیف، ارقام با کارایی ۹۰-۸۰ کارایی متوسط و ارقام با کارایی بیش از ۹۰ درصد کارایی بالا دارند (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2009). در این پژوهش ارقام پیشتاز، بک کراس روشن و الوند در گروه ارقام با کارایی متوسط روی و سایر ژنوتیپ‌ها جزو ارقام با کارایی بالا قرار گرفتند. رابطه عملکرد و جذب روی رابطه‌ای پیچیده بوده که عوامل مختلف بر آن تأثیرگذار هستند، به عنوان مثال ممکن است یک ژنوتیپ از نظر کارایی روی ضعیف باشد ولی در شرایط کمبود روی عملکرد بالاتری نسبت به ارقام با کارایی روی بالا از خود نشان دهد (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2009) و یا اینکه ارقام مقاوم‌تر به کمبود روی نسبت به ژنوتیپ‌های حساس به کمبود روی کارایی روی بالاتری داشته باشند (Fageria, 2001). انتقال عنصر روی از خاک به ریشه‌های گیاه در شرایط محدودیت رطوبت کاهش می‌یابد ولی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در این زمینه متفاوت بوده و برخی ژنوتیپ‌ها توانایی بیشتری در تداوم انتقال روی به ریشه‌ها در شرایط محدودیت رطوبت دارند (Bageci *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، محلول‌پاشی عنصر روی می‌تواند باعث بهبود عملکرد و تعدیل شرایط نامساعد ایجادشده به دلیل تنش رطوبتی گردد. با این وجود واکنش ژنوتیپ‌ها در این زمینه یکسان نیست. ژنوتیپ‌هایی مثل پیشتاز، بک کراس روشن و الوند در این زمینه واکنش مناسب‌تری داشتند. افزایش طول سنبله و تعداد دانه در سنبله با محلول‌پاشی روی در شرایط تنش از دلایل اصلی بهبود عملکرد بودند. وزن هزار دانه بیشتر نیز از جمله دلایل دیگر افزایش عملکرد دانه با محلول‌پاشی روی در شرایط تنش خشکی بود. به این نکته نیز باید توجه داشت که اثرات تنش خشکی ارتباط تنگاتنگ با دمای محیط و تنش گرمایی دارد و آزمایش‌های تکمیلی با در نظر گرفتن تلفیق این دو عامل می‌تواند اطلاعات بهتری در اختیار گذارد.

سپاس‌گزاری: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به جهت همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی سپاس-گزاری نمایند.

"نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد ".

References

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Abdeshah, H. and Kazemian, A. 2020. Agricultural Statistics, Crops. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Center, 89pp. (In Persian).

Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, 31: 537-548.

Bagci, S.A., Ekiz, H., Yilmaz, A. and Cakmak, I. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193: 198-206.

Beigzadeh, S., Fatahi, K., Sayedi, A. and Fatahi, F. 2013. Study of the effects of late-season drought stress on yield and yield components of irrigated barley lines within Kermanshah Province Temperate Regions. *World Applied Programming*, 3(6): 226-231.

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

Dastfal, M., Brati, V., Navabi, F. and Haghighat Nia, H. 2009. Effect of terminal drought stress on grain yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in dry and warm conditions in south of Fars province. *Seed and Plant Production*, 25: 329-344. (In Persian).

El-Dahshouri, M.F. 2018. Effect of zinc foliar application at different physiological growth stages on yield and quality of wheat under sandy soil conditions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19: 193-200.

Fageria, N.K. 2001. Screening method of lowland rice genotypes for zinc uptake efficiency. *Scientia Agricola*, 58: 623-626.

Ghasal, P.C., Shivay, Y.S., Pooniya, V., Choudhary, M. and Verma, R.K. 2017. Response of wheat genotypes to zinc fertilization for improving productivity and quality. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(11): 1597-1612.

Hera, M.H.R., Hossain, M. and Paul, A.K. 2018. Effect of foliar zinc spray on growth and yield of heat tolerant wheat under water stress. *International Journal of Biological and Environmental Engineering*, 1(1): 10-16.

Ihsan, M.Z., El-Nakhlawy, F.S., Ismail, S.M. and Fahad, S. 2016. Wheat phenological development and growth studies as affected by drought and late season high temperature stress under arid environment. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1-14.

Jenner, C.F., Ugalde, T.D. and Aspinall, D. 1991. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 18(3): 211-226.

Joudi, M. and Van Den Ende, W. 2018. Genotypic variation in pre-and post-anthesis dry matter remobilization in Iranian wheat cultivars: associations with stem characters and grain yield. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 54: 123-134.

Khoshgoftarmanesh, A.H., Sadrarhami, A., Sharifi, H.R., Afiuni, D. and Schulin, R. 2009. Selecting zinc-efficient wheat genotypes with high grain yield using a stress tolerance index. *Agronomy Journal*, 101(6): 1409-1416.

Mahrookashani, A., Siebert, S., Hüging, H. and Ewert, F. 2017. Independent and combined effects of high temperature and drought stress around anthesis on wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(6): 453-463.

Monjezi, F., Vazin, F. and Hassanzadehdelouei, M. 2013. Effects of iron and zinc spray on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) in drought stress. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 46(1): 23-32.

Pahlavan-Rad, M.R. and Pessarakli, M. 2009. Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese applications and uptake and concentration of zinc, iron, and manganese in wheat grains. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(7-8): 1322-1332.

Pearson, J.N. and Rengel, Z. 1994. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 45: 1829-1835.

Pradhan, G.P., Prasad, P.V.V., Fritz, A.K., Kirkham, M.B. and Gil, B.S. 2012. Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat. *Functional Plant Biology*, 39: 190-198.

Ramazan, Y., Hafeez, M.B., Khan, S., Nadeem, M., Batool, S. and Ahmad, J. 2020. Biofortification with zinc and iron improves the grain quality and yield of wheat crop. *International Journal of Plant Production*, 12: 1-10.

Saini, H.S. and Westgate, M.E. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy*, 68: 58-96.

Saradadevi, R., Palta, J.A. and Siddique, K.H.M. 2017. ABA-mediated stomata response in regulating water use during the development of terminal drought in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1-14.

Xue, Y.F., Yue, S.C., Zhang, Y.Q., Cui, Z.L., Chen, X.P. and Yang, F.C. 2012. Grain and shoot zinc accumulation in winter wheat affected by nitrogen management. *Plant Soil*, 361: 153-163.

Zhang, W., Liu, D.Y., Li, C., Cui, Z.L., Chen, X.P. and Yost, R. 2015. Zinc accumulation and remobilization in winter wheat as affected by phosphorus application. *Field Crop Research*, 184: 155-161.

Zhang, Y., Xue, Q., Li, J., Huang, J., Yao, D. and Wang, Z. 2017. Dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in wheat as affected by genotype and irrigation. *Journal of Plant Nutrition*, 40(16): 2279-2289.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 2, Autumn and Winter 2023, P. 305-320

The role of zinc foliar application on modulating the effects of drought stress in some wheat cultivars

Davood Amin Azarm[1*], Amir Hooshang Jalali[1], Leili Safaei[2]

[1] Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
[2] Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Esfahan, Iran

[*]Corresponding Author: dafiuni@yahoo.com

Received: 4 January 2022 Accepted: 4 February 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.323047.1178**

Abstract

Introduction : Wheat (*Triticum aestivum* L.), one of the most important crops in Iran during the 2018-2019 crop year, occupied more than 5,864,000 ha of the country's agricultural lands, of which 1,932,000 ha were irrigated. Wheat cultivation in various regions of the world is impacted by a variety of abiotic stresses, among which drought stress (particularly after the pollination stage) is regarded as one of the most significant factors. In the majority of regions of Iran, there is typically sufficient moisture and suitable temperature for wheat growth in autumn and winter, but high temperatures and a lack of water are typical in spring, coinciding with wheat reproduction. Approximately 50% of the world's grain-growing lands are zinc-deficient. Considering the importance of grains in providing the daily calories required by humans, the zinc deficiency in these lands results in a zinc-deficient diet.

Materials and Methods: The present study was conducted at the Kabootarabad Agricultural Research Station in Isfahan to determine the effect of drought stress in the pollination stage, with and without zinc spraying, in the two cropping years 2017-2018 and 2018-2019. For the study, a split plot experiment with a randomized complete block design and three replications was employed. The primary factor consisted of three irrigation levels (full irrigation, and stop irrigation at the pollination stage with and without zinc foliar application), while the secondary factor was comprised of 11 wheat genotypes (two lines and 9 cultivars). In both years, the test site was chosen in areas of the station that had been fallow the year before. The land preparation process included plowing, discing, and leveling. Using a furrower, furrows with a stack distance of 60 cm were created during the final phase of land preparation. In accordance with the soil analysis, 100 kg ha^{-1} of potassium fertilizer (in the form of potassium sulfate) and 100 kg ha^{-1} of phosphorus fertilizer (in the form of triple superphosphate) were applied. Before planting, stemming, and before the emergence of spikes, 280 kg ha^{-1} of nitrogen fertilizer (in the form of urea) was applied in equal proportions at three separate stages. This study measured the number of days to physiological maturity, the duration of the grain filling period, grain yield, number of spikes per unit area, number of seeds per spike, weight of 1,000 seeds, and zinc element efficiency. SAS were used to perform statistical analsysis, while Excel and Word were utilized to create graphs and tables. The means of the studied characteristics were statistically compared using Duncan's multi-range test at the 1% and 5% probability levels.

Results and Discussion: The interaction of stress and genotype on the number of days to physiological maturity, grain yield, and 1000-grain weight (at 1% level), as well as the effect of moisture stress on spike length at 1% level were significant. In three genotypes of Pishtaz, Backcross Roshan, and Alvand, zinc foliar application increased yield by 11.7%, 14.8%, and 15%, respectively, compared to moisture stress conditions without zinc consumption. Compared to the control treatment, the grain filling period was 33 and 30.6% shorter in the water stress treatment without zinc consumption and with zinc consumption, respectively. Among genotypes, zinc consumption efficiency ranged from 86.95% to 95.03%. This study revealed that under drought

stress, foliar application of zinc can mitigate the negative effects of stress, but the response of various cultivars varies in this regard.
Conclusion: According to the findings of this study, zinc foliar spraying can enhance plant performance and mitigate unfavorable conditions caused by moisture stress. Nevertheless, genotypes react differently in this field. In this regard, genotypes such as Pishtaz, Backcross Roshan, and Alvand performed better. The increase in spike length and number of seeds per spike in response to zinc foliar application under stressful conditions were the primary causes of the yield enhancement. In drought-stressed conditions, zinc foliar application also contributed to an increase in seed yield due to a higher 1000-seed weight. Additionally, it should be noted that the effects of drought stress are closely related to ambient temperature and heat stress, and that additional experiments considering the combination of these two factors can yield more accurate results.

Keywords: Physiological maturity, Spike length, Yield, Zinc efficiency