

## تحقیقات غلات

دوره ششم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۵ (۱۴۵-۱۵۸)

# اثر سولفات روی بر رشد و عملکرد گندم در شرایط کمبود روی خاک و تنش خشکی

امین عباسی<sup>۱\*</sup> و فریبرز شکاری<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۷

### چکیده

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش رشد و عملکرد گندم است که موجب کاهش جذب عناصر ریزمغذی به ویژه عنصر روی از خاک می‌شود. به منظور بررسی روش‌های مختلف مصرف روی در گندم رقم هما تحت شرایط تنش خشکی، پژوهشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۲ انجام شد. دو فاکتور شامل تنش خشکی (آبیاری کامل، تنش در مرحله ظهور برگ پرچم و تنش در مرحله ظهور نخستین ریشک‌ها) به عنوان فاکتور اصلی و روش‌های زی‌فزونی عنصر روی (بذر خشک، پیش‌تیمار، کاربرد خاکی و افشانه کردن) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که تنش خشکی بر ماده خشک کل، شاخص برداشت، عملکرد، وزن سنبله، طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن پدانکل، طول پدانکل، دمای کانوپی، پرولین، کلروفیل و میزان روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مصرف عنصر روی تحت تنش خشکی نیز در صفات ماده خشک کل، شاخص برداشت، عملکرد، وزن سنبله، طول سربند، دمای کانوپی، کلروفیل و میزان روی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با مصرف خاکی عنصر روی تحت تنش مرحله ظهور برگ پرچم، ماده خشک کل با افزایشی ۲۲ درصدی به مقدار ۴۷۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار، میزان عملکرد با افزایشی ۱۱ درصدی به مقدار ۱۷۳۲ کیلوگرم در هکتار و میزان روی دانه با افزایشی ۷۷ درصدی به مقدار ۲۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ارتقا یافت. با توجه به نتایج این پژوهش، برای مزارع دیم کشور مصرف خاکی این عنصر پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** دمای سایه‌انداز، شاخص برداشت، شاخص کلروفیل، غلظت پرولین، غلظت روی دانه

۱- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

\* نویسنده مسئول: [a.abbasi25@yahoo.com](mailto:a.abbasi25@yahoo.com)

## مقدمه

کشور ایران از نظر منابع و ذخایر آبی محدودیت دارد به نحوی که با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر، یک سوم متوسط بارندگی جهان را دارد (Heydari, 2008). وقوع خشکسالی‌های پی در پی در سال‌های اخیر را می‌توان خطری برای تولید کشاورزی دانست. تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی بوده که بیش از ۴۵ درصد از زمین‌های کشاورزی، که حدود ۳۸ درصد از جمعیت جهان را در خود جای داده، به طور دائم تحت تاثیر قرار می‌دهد (Ashraf and Foolad, 2007).

در ایران، غلات حدود ۶۳ درصد از جیره‌ی غذایی روزانه‌ی خانوارهای کشور را تشکیل داده و نزدیک به ۵۰ درصد از خوراک مردم این سرزمین از گندم و فرآورده‌های حاصل از آن تشکیل می‌شود که مقدار یاد شده در مناطق روستایی از این نیز بیش‌تر است (Babae, 2008).

از میان عناصر کم‌مصرف، روی (Zn) عنصری ضروری برای سازگان‌های (سیستم‌های) زیست‌شناختی است که یکی از وظایف فیزیولوژیک آن شرکت در فرایندهای مرتبط با متابولیسم گیاه می‌باشد (Clemens, 2014). کمبود روی در خاک‌های زیر کشت غلات در دنیا (از جمله ۴۰ درصد از زمین‌های زیر کشت گندم در ایران)، نه تنها موجب کاهش عملکرد این گیاهان می‌گردد بلکه، باعث کاسته شدن از ارزش غذایی دانه و سرانجام بروز سوء تغذیه خواهد شد (Sanchez and Swaminathan, 2005). با توجه به این که یکی از ارزشمندترین منابع خوراکی جهت فراهمی عناصر غذایی و از جمله روی برای تغذیه‌ی انسان، فرآورده‌های کشاورزی و به‌ویژه غلات می‌باشد لذا، وجود هر نوع کمبود (به خصوص کمبود روی در خاک)، می‌تواند به تولید فرآورده‌هایی با کیفیت پایین بیانجامد (ملکوتی، ۱۳۹۰). شایان ذکر است که با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک عنصر روی در محلول خاک کاهش یافته و با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به گونه‌ی مضاعفی با کمبود این عنصر مواجه خواهد شد (Hammantranjan, 1996). همچنین، مقدار جذب روی در مراحل مختلف رشد گیاه متفاوت است، به طوری که بیشترین جذب در اوایل رشد صورت گرفته و به مرور زمان از مقدار آن کاسته خواهد شد (Zhao et al., 2011). ساکال و همکاران (Sakal et al., 1988) اعلام نمودند که هر چه حاصلخیزی خاک بیشتر باشد به همان نسبت نیز مقدار تخلیه‌ی روی افزون‌تر خواهد بود. به عبارت دیگر، با

افزایش میزان روی خاک، مقدار جذب کل روی توسط گندم افزایش می‌یابد.

زی‌فزونی، آسان‌ترین و مطمئن‌ترین راه به منظور افزایش روی موجود در دانه است. منظور از زی‌فزونی روی، افزایش میزان روی دانه با بهره‌گیری از راهبردهای زیست‌شناختی است که به دو شیوه به‌زراعی و به‌نژادی قابل اعمال است (Malakoti, 2011). زی‌فزونی به‌زراعی روی به سه روش کاربرد خاکی، پیش‌تیمار و افشانه کردن می‌تواند صورت پذیرد (Velu et al., 2013). در رابطه با شیوه به‌زراعی، براون و همکاران (Brown and Cakmak, 1993) در یک بررسی بیان کردند که مصرف روی در گندم موجب افزایش بلندی گیاه و تعداد پنجه می‌شود و همچنین سرعت رشد گیاه را تسریع می‌کند که این امر در نهایت، باعث افزایش عملکرد و میزان روی دانه خواهد شد. چاکماک و همکاران (Cakmak et al., 2010a) نیز با کاربرد کود روی، به طور معنی‌داری توانستند عملکرد گندم را در کشتزارهای گوناگون کشور ترکیه افزایش دهند. در همین راستا، میزان رشد ریشه و اندام‌های هوایی و همچنین، میزان روی موجود در دانه‌ی گندم‌های تحت تیمار روی نیز توسط خان و همکاران (Khan et al., 2008) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان‌گر وجود اختلافات آشکار میان تیمارهای مصرف کود روی نسبت به سایر تیمارها بود.

در پژوهش کنونی تلاش شد تا اثر روش‌های گوناگون زی‌فزونی به‌زراعی روی شامل کوددهی، افشانه‌کردن و پیش‌تیمار، روی رقم هما در شرایط کشتزار، در راستای افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی و نیز اثر تیمارها بر تغییرات رشدی و مورفولوژیک و میزان روی دانه مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به منظور بررسی افزایش میزان عنصر روی بذر گندم رقم هما در شرایط تنش خشکی در سال ۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه اجرا شد. آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تنش خشکی شامل آبیاری

ارزیابی قرار گرفتند (Shekari et al., 2010). دمای سایه‌انداز در مرحله سنبله‌دهی در ساعت ۱۴-۱۲ روز با استفاده از دماسنج فرورسرخ (testo 830-T2) اندازه‌گیری شد.  $\Delta T$  از تفاضل دمای سایه‌انداز و دمای هوا به دست آمد. شاخص کلروفیل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلرفیل‌سنج دستی (SPAD Minolta-502) در زمان سنبله‌دهی در برگ ماقبل آخر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری غلظت روی شاخساره و دانه‌های برداشت شده از واحدهای آزمایشی با بهره‌گیری از روش wet ashing (Jon and Loon, 1980) به انجام رسید. در این روش برای تخریب بافت آلی از پرکلریدریک اسید و نیتریک اسید استفاده شد. در پی آن، میزان عنصر روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-6300) اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی میزان تجمع پرولین به عنوان یک عامل مهم در برآورد میزان مقاومت به خشکی در مرحله سنبله‌دهی، تعداد ۱۵ برگ پرچم از هر کرت نمونه‌برداری و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و سپس با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) میزان پرولین نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

پیش از تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و خطاها و افزایشی بودن اثر بلوک و تیمار بررسی شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت. برای انجام تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SPSS 17، GenStat 12 و Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش مصرف سولفات روی و تنش خشکی از نظر میانگین ماده خشک کل در واحد سطح تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). بیشترین وزن خشک کل مربوط به تیمار مصرف خاکی عنصر روی در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن مربوط به تیمار تنش خشکی در مرحله ظهور برگ پرچم (کد ۸) در هنگام افشانه کردن سولفات روی و عدم کاربرد سولفات روی در همین مرحله بود که با عدم کاربرد سولفات روی در مرحله ظهور نخستین ریشک‌ها (کد ۱۰/۱) تفاوتی را نشان نداد (شکل

کامل ۵) دور آبیاری بر اساس عرف منطقه، تنش در مرحله ظهور برگ پرچم (کد ۸ از کدبندی رشدی فیکس) و تنش در مرحله ظهور نخستین ریشک‌ها (کد ۱۰/۱ از کدبندی رشدی فیکس) به‌عنوان فاکتور اصلی و روش‌های زی‌فزونی شامل بذرخشک، پیش‌تیمار، کاربرد خاکی و افشانه کردن، به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. در خصوص تیمارهای فاکتور دوم، بذرخشک (بدون تیمار)، پیش‌تیمار (تیمار بذر با محلول ۵ درصد سولفات روی)، کاربرد خاکی (۲۵ کیلوگرم کود سولفات روی؛  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) و افشانه کردن (محلول ۵ درصد سولفات روی در مرحله ظهور برگ ماقبل برگ پرچم) انجام شد. برای جلوگیری از تاثیر بارندگی‌ها بر کشتزار آزمایشی و اثر آنها بر تیمارهای خشکی، پوشش‌های پلاستیکی با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی در روزهایی با احتمال بارش روی کشتزار کشیده شد و جهت یکنواختی شرایط محیطی در بین سطوح مختلف آبیاری، پوشش‌ها بی‌درنگ پس از سپری شدن روزهای بارانی برداشته شدند. به منظور برگزیدن خاک مناسب، نخست نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری کشتزارهای گوناگون تهیه و غلظت برخی از عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری و برای اجرای آزمایش، کشتزاری که دارای کمترین میزان عنصر روی بود، گزینش شد. مشخصات خاک این مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

تغذیه کودی کشتزار به دو شکل کود پایه و کود سرک صورت گرفت. کود پایه شامل فسفر (۱۶ کیلوگرم در هکتار از منبع کود فسفات آمونیوم) و نیتروژن (۹۲ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و ۱۰ کیلوگرم از منبع فسفات آمونیوم)، در هنگام دیسک زدن در سطح خاک پخش شد. صفات رشدی و ریخت‌شناختی مورد آزمایش شامل درازای پنالمیت و سرپند (پدانکل)، وزن پنالمیت و سرپند، بلندی بوته، وزن خشک سنبله، درازای سنبله و ماده خشک کل بودند. برای سنجش صفات یاد شده، از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به طور تصادفی در اواخر دوره پر شدن دانه گزینش و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند. عملکرد زیست‌توده، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت (درصد عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده) نیز مورد

میزان ماده خشک تولید شده را نسبت به تیمار عدم مصرف سولفات روی در همین مرحله تنش، ۱۰۵۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار بهبود بخشید. به همین ترتیب، کاربرد خاکی روی در هر دو مرحله اعمال تنش، از ماده خشک بیش‌تری نسبت به تیمارهای دیگر روی و بذر خشک برخوردار بود (شکل ۱).

۱). در این پژوهش، ماده خشک تولید شده در تیمار عدم استفاده از سولفات روی در شرایط آبیاری کامل در حدود ۵۰۶۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. به بیان بهتر، کاربرد خاکی سولفات روی در شرایط فوق باعث افزایش ۶۶۳/۳۳ کیلوگرمی ماده خشک در هر هکتار شد. کاربرد خاکی سولفات روی در تنش مرحله ظهور نخستین ریشک‌ها،

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده پیش از کاشت

Table 1. Physical and chemical analysis of soil before planting

Soil Texture	بافت خاک	Sandy loam	Total nitrogen	نیترژن کل	0.06
pH	اسیدیته گل اشباع	7.43	Availability P (Olsen method)	فسفر قابل جذب	3.96
Electrical conductivity (dS/m)	هدایت الکتریکی	0.42	Available K (mg/kg Amonium acetate)	پتاسیم قابل جذب	360
Equivalent CaCO <sub>3</sub>	کربنات کلسیم معادل	9.75	Availabile Zn (mg/kg ETPA)	روی قابل جذب	0.41
Organic carbon	کربن آلی	0.31	Availabile Mn ((mg/kg ETPA)	منگنز قابل جذب	1.53
Saturated moisture	رطوبت اشباع	45	Availabile Fe (mg/kg ETPA)	آهن قابل جذب	3.12

تنش رطوبتی، به‌طور معمول از راه کوتاه کردن میانگره‌ها حاصل می‌شود که این امر نیز موجب کاهش ماده خشک کل خواهد شد (Kilic and Tacettin, 2010). در این پژوهش، کمترین مقدار ماده خشک مربوط به تیمار تنش در مرحله ظهور برگ‌پرچم بود که با داده‌های حاصل از بلندی بوته در یک راستا قرار داشت (شکل ۱). از سویی، درازای سربند نیز در تیمار عدم کاربرد سولفات روی در مرحله ظهور برگ‌پرچم و افشانه کردن سولفات روی در همین مرحله با مقادیر ۱۱/۴۳ و ۱۱/۶۳ در کمترین مقدار بود (شکل ۳). طبق پژوهش‌های ایوانز و واردلو (Evans and Wardlaw, 1996) سربند به‌عنوان طولی‌ترین میان‌گره ساقه، تاثیر فراوانی در بلندی بوته دارد. فتوسنتز این اندام همراه با نزدیکی آن به سنبله و نقش آن در بازگسیل شیره پرورده از دلایل همبستگی عملکرد و درازای سربند محسوب می‌شود (Ehdaie et al., 2006; Izanloo et al., 2008). با کاربرد خاکی سولفات روی، بلندی گیاه در تیمارهای آبیاری کامل، تنش مرحله ظهور برگ‌پرچم و تنش مرحله ظهور نخستین ریشک‌ها به مقدار ۳/۸۶، ۷/۹ و ۹/۸ سانتی‌متر افزایش یافت (شکل ۲). بنا بر گزارش کیلیچ و همکاران (Kilic and Tacettin, 2010) کاربرد اولیه روی می‌تواند منجر به انباشت ماده خشک نهایی شود. نتایج این پژوهش نیز اثر معنی‌دار فاکتورهای آزمایشی را بر وزن سربند در سطح احتمال یک درصد

گزارش‌های متعدد خاکی از افزایش عملکرد اندام‌های هوایی در نتیجه کاربرد خاکی روی می‌باشد (Wajiha et al., 2014; Pandey et al., 2013; Rezaul Karim et al., 2012; Cakmak, 2008). نتایج مشابهی توسط راما و چاندرا (Rama and Chandra, 2014) و آکتاز و همکاران (Aktas et al., 2006) مبنی بر اثر کود سولفات روی بر افزایش وزن خشک ساقه گزارش شده است. بر پایه گزارش‌های مختلف کاربرد سولفات روی سبب افزایش تولید ایندول استیک اسید می‌شود که نتیجه آن افزایش طول ساقه و به تبع آن ماده خشک گیاه است. امروزه آشکار شده است که افزایش ماده خشک کل با مصرف عنصر روی می‌تواند به علت افزایش غلظت کلروفیل گیاه، افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و افزایش کارایی جذب عناصر پرمصرف در حضور روی باشد (Malakoti, 2008). ارتفاع بوته نیز تحت تاثیر برهمکنش سطوح تنش خشکی و کاربرد سولفات روی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته با مقدار ۵۹/۱۶ سانتی‌متر مربوط به کاربرد خاکی سولفات روی در شرایط بدون تنش بود و کمترین ارتفاع بوته با مقادیر ۴۳/۳۳، ۴۴ و ۴۴/۰۳ سانتی‌متر به‌ترتیب مربوط به تیمارهای عدم کاربرد سولفات روی در تنش مرحله ظهور برگ‌پرچم، پیش‌تیمار سولفات روی در همین مرحله و افشانه کردن سولفات روی در همین مرحله بود (شکل ۲). کاهش بلندی بوته در اثر

اثر سولفات روی بر عملکرد گندم تحت شرایط کمبود روی و تنش خشکی  
 نشان داد (جدول ۲). بیشترین وزن سربند با ۸/۹۶ گرم،  
 مربوط به کاربرد خاکی سولفات روی در شرایط آبیاری  
 کامل و کمترین مقدار آن با ۶/۲ و ۶/۲۶ گرم به ترتیب  
 مربوط به تیمارهای بدون استفاده از سولفات روی در تنش  
 مرحله ظهور برگ پرچم و افشانه کردن این ماده در همین  
 مرحله بود (جدول ۳، شکل ۴). طبق گزارش‌های چاکماک  
 (Cakmak, 2009a) کاربرد سولفات روی باعث افزایش  
 ریشه و اندام‌های هوایی گندم می‌شود. در پژوهشی دیگر  
 ملکی و همکاران (Maleki et al., 2014) کاهش اندازه  
 میانگره‌ها را عامل اصلی کاهش درازای گیاه معرفی کردند  
 و کاربرد عنصر روی را موجب رفع این مشکل و افزایش  
 عملکرد و میزان روی دانه دانستند.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی رقم‌ها تحت تأثیر سولفات روی و اعمال تنش خشکی  
 Table 2. Analysis of variance of the studied traits affected by zinc sulfate and drought stress

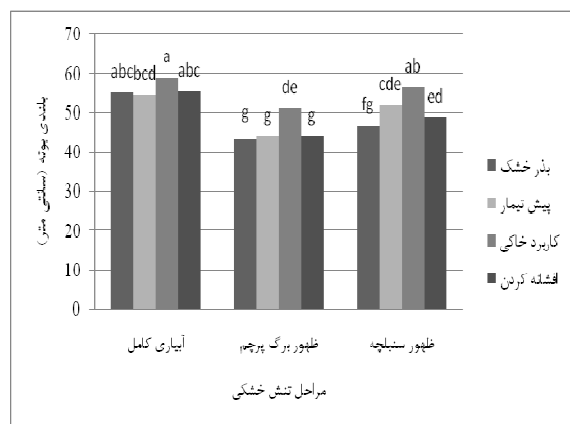
منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		ماده خشک کل Total dry matter	بلندی گیاه Plant height	وزن سربند Peduncle weight	طول سربند Peduncle length	دمای سایه‌انداز Canopy temperature	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	پرولین Proline
تکرار Replication	2	9747 <sup>ns</sup>	0.161 <sup>ns</sup>	0.034 <sup>ns</sup>	0.1658 <sup>**</sup>	0.6102 <sup>**</sup>	0.6536 <sup>**</sup>	2.79 <sup>ns</sup>
تنش Stress	2	6975551 <sup>**</sup>	332.400 <sup>**</sup>	10.134 <sup>**</sup>	26.560 <sup>**</sup>	91.9519 <sup>**</sup>	144.4536 <sup>**</sup>	2116.01 <sup>**</sup>
خطای اصلی Main error	4	1033	2.068	0.010	0.005	0.0140	0.0003	123.26
روی Zn	3	1427684 <sup>**</sup>	93.128 <sup>**</sup>	2.068 <sup>**</sup>	2.623 <sup>**</sup>	2.3322 <sup>**</sup>	16.3518 <sup>**</sup>	94.31 <sup>ns</sup>
روی×تنش Stress×Zn	6	45453 <sup>**</sup>	7.805 <sup>*</sup>	0.221 <sup>**</sup>	1.645 <sup>**</sup>	7.4441 <sup>**</sup>	0.6843 <sup>**</sup>	158.82 <sup>*</sup>
خطای فرعی Sub-error	18	2994	1.405	0.015	0.0370	0.0632	0.0388	62.04
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.2	7.3	1.4	2.5	1.9	1.5	15.5

<sup>ns</sup>, \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.  
<sup>ns</sup>, \* and \*\*: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- ادامه  
 Table 2. Continued

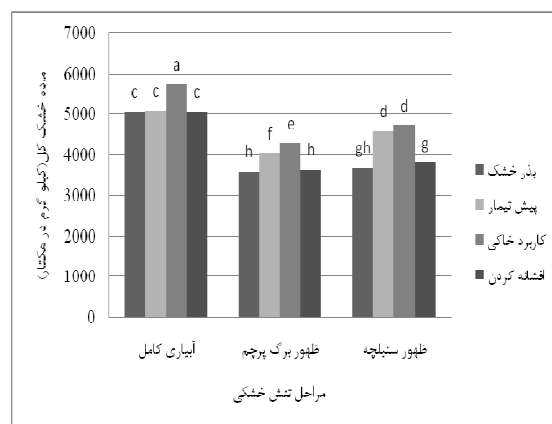
منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square				
		عملکرد دانه Grain yield	وزن سنبله Spike weight	طول سنبله Spike length	شاخص برداشت Harvest index	غلظت روی Zinc content
تکرار Replication	2	194 <sup>ns</sup>	0.1658 <sup>**</sup>	0.0006 <sup>ns</sup>	0.919 <sup>ns</sup>	0.4953 <sup>ns</sup>
تنش Stress	2	3448090 <sup>**</sup>	26.5600 <sup>**</sup>	0.6387 <sup>**</sup>	556.663 <sup>**</sup>	61.3553 <sup>**</sup>
خطای اصلی Main error	4	978	0.0054	0.0038	0.652	0.1978
روی Zn	3	123570 <sup>**</sup>	2.6220 <sup>**</sup>	0.1363 <sup>**</sup>	37.155 <sup>**</sup>	1868.1700 <sup>**</sup>
روی×تنش Stress×Zn	6	18346 <sup>**</sup>	1.6449 <sup>**</sup>	0.0083 <sup>ns</sup>	10.59 <sup>**</sup>	13.2060 <sup>**</sup>
خطای فرعی Sub-error	18	1162	0.0370	0.0017	1.002	0.4329
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.1	2.9	5.7	8.8	3.2

<sup>ns</sup>, \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.  
<sup>ns</sup>, \* and \*\*: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



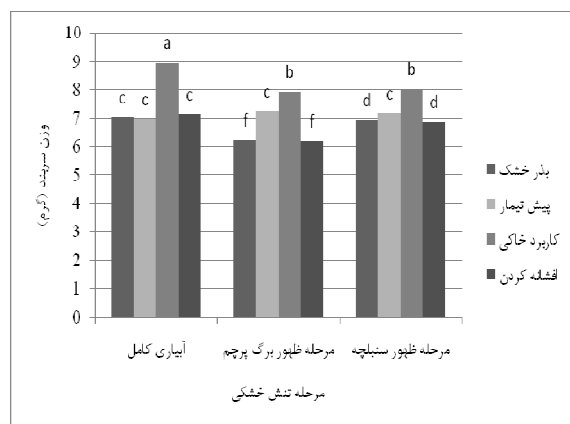
شکل ۲- اثر روش‌های کاربرد روی بر بلندی بوته در مراحل مختلف تنش خشکی

Figure 2. Effect of zinc application on plant height under drought stress at different stages



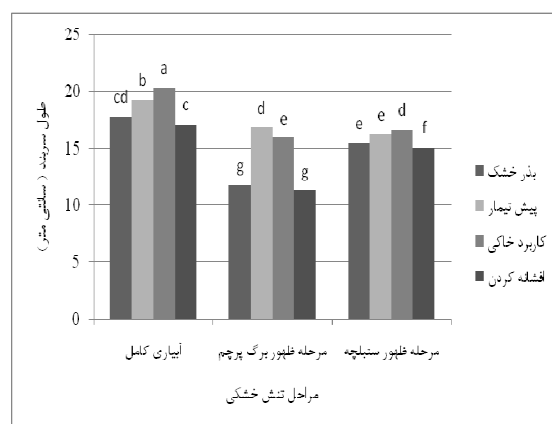
شکل ۱- اثر روش‌های کاربرد روی بر ماده خشک کل در مراحل مختلف تنش خشکی

Figure 1. Effect of zinc application on total dry matter under drought stress at different stages



شکل ۴- اثر روش‌های کاربرد روی بر وزن سربند در مراحل مختلف تنش خشکی

Figure 4. Effect of zinc application on peduncle weigh under drought stress at different stages



شکل ۳- اثر روش‌های کاربرد روی بر طول سربند در مراحل مختلف تنش خشکی

Figure 3. Effect of zinc application on peduncle length under drought stress at different stages

(Blum *et al.*, 1989). به بیان دگر، باز و بسته شدن روزنه‌ها، شدت تعرق را کنترل می‌کند و در چنین شرایطی دمای سایه‌انداز افزایش می‌یابد.

برخی از پژوهشگران بر این عقیده‌اند که میزان رطوبت و وضعیت تعرق در گیاه، نقش مهمی در تنظیم دمای گیاه در شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند. کاهش دمای اندام‌های گیاه نسبت به محیط با میزان تبخیر و تعرق و اثر خنک‌کنندگی این فرایندها و نیز هدایت گرمایی سایه‌انداز گیاهی مرتبط است. طی این پژوهش، کاهش دمای کانوپی به عنوان یک صفت فیزیولوژیک نشان داد که تحت تنش رطوبتی توازن بین گیاه و محیط به هم

بیشترین دمای سایه‌انداز مربوط به تیمارهای عدم کاربرد سولفات روی تحت اعمال تنش در مراحل ظهور برگ پرچم و ظهور نخستین ریشک‌ها و نیز افشانه کردن سولفات روی در مرحله ظهور برگ پرچم و ریشک‌ها و کمترین آن مربوط به کاربرد خاکی سولفات روی در شرایط آبیاری کامل بود (شکل ۵). افزایش تغییرات اختلاف دمای سایه‌انداز ( $\Delta T$ ) (اختلاف دمای میان سایه‌انداز و هوای پیرامونی)، در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش تعرق به واسطه بسته شدن روزنه‌ها است. از آنجا که تعرق فرآیندی گرماگیر است، از این رو کاهش تعرق به صورت افزایش  $\Delta T$  بروز می‌کند که همراه با تنش گرمایی است

خورده و دمای داخل کانوپی به دمای محیط نزدیک می‌شود (۰/۳ درجه سلسیوس). در حالی که در مصرف خاکی عنصر روی تحت آبیاری کامل، اختلاف دمای کانوپی و محیط، ۱/۵۳ درجه سلسیوس بود (شکل ۵). در پژوهش‌های متعدد، همبستگی بین کاهش دمای کانوپی با عملکرد و تعداد دانه در واحد سطح به اثبات رسیده است (Richards *et al.*, 2001; Araus *et al.*, 2002; ) (Bahar *et al.*, 2008).

بررسی تاثیر سولفات روی در تنش خشکی بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول

جدول ۳- مقایسه میانگین وزن سربند، شاخص کلروفیل، پرولین و وزن سنبله رقم هما تحت تاثیر سولفات روی و تنش خشکی  
Table 3. Mean comparisons of peduncle weight, chlorophyll index, proline and spike weight in Homa cultivar affected by zinc sulfate and drought stress

تنش خشکی Drought stress	تیمار Treatment	وزن سربند Peduncle weight (g)	شاخص کلروفیل Chlorophyll	پرولین (درصد) Proline	وزن سنبله Spike weight (g)	
آبیاری کامل Complete irrigation	No-treatment	بذر خشک	7.03 <sup>c</sup>	41.66 <sup>c</sup>	49.83 <sup>b</sup>	1.63 <sup>b</sup>
	Priming	پیش تیمار	6.96 <sup>c</sup>	41.9b <sup>c</sup>	49.56 <sup>b</sup>	1.65 <sup>b</sup>
	Soil application	کاربرد خاکی	8.96 <sup>a</sup>	48.16 <sup>a</sup>	49.8 <sup>b</sup>	1.85 <sup>a</sup>
	Spraying	افشانه کردن	7.13 <sup>c</sup>	41.36 <sup>c</sup>	50.93 <sup>b</sup>	1.47 <sup>c</sup>
مرحله ظهور برگ پرچم Emergence of flage leaf	No-treatment	بذر خشک	6.22 <sup>f</sup>	39.2 <sup>d</sup>	49.83 <sup>b</sup>	1.16 <sup>e</sup>
	Priming	پیش تیمار	7.23 <sup>c</sup>	41.8 <sup>bc</sup>	49.7 <sup>b</sup>	1.14 <sup>e</sup>
	Soil application	کاربرد خاکی	7.93 <sup>b</sup>	44.03 <sup>b</sup>	58.6 <sup>a</sup>	1.39 <sup>cd</sup>
	Spraying	افشانه کردن	6.2 <sup>f</sup>	40.1 <sup>cd</sup>	49.2 <sup>b</sup>	1.17 <sup>e</sup>
مرحله ظهور ریشک‌ها Emergence of awn	No-treatment	بذر خشک	6.93 <sup>d</sup>	40.43 <sup>cd</sup>	49.2 <sup>b</sup>	1.22 <sup>e</sup>
	Priming	پیش تیمار	7.16 <sup>c</sup>	39.16 <sup>d</sup>	50.03 <sup>b</sup>	1.33 <sup>d</sup>
	Soil Application	کاربرد خاکی	8.03 <sup>b</sup>	41.26 <sup>c</sup>	62.2 <sup>a</sup>	1.45 <sup>cd</sup>
	Spraying	افشانه کردن	6.86 <sup>d</sup>	40.5 <sup>cd</sup>	52.06 <sup>b</sup>	1.20 <sup>e</sup>

(2001)، یانگ و همکاران (Yong *et al.*, 2003)، نتو و همکاران (Netto *et al.*, 2005) و مجدی و همکاران (Majdi *et al.*, 2008, 2009) علت کاهش مقدار کلروفیل در برگ‌های تنش دیده در ارقام گندم را در نتیجه خسارت به غشا کلروپلاست طی تنش اعلام کردند. آنها بیان داشتند که با توجه به تاثیر سوء شرایط تنش بر واکنش نوری و انتقال الکترون در مسیرهای صدمه رسان، تولید انواع اکسیژن فعال افزایش چشمگیری می‌یابد و این مولکول‌ها باعث واکنش‌های فتواکسیداسیون در کلروپلاست و نیز اکسیداسیون کاروتنوئیدها و پروتئین‌ها می‌شوند. تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش

همانطور که پیش‌تر ذکر شد، بیشترین دمای سایه‌انداز مربوط به تیمارهای عدم کاربرد سولفات روی تحت اعمال تنش در مراحل ظهور برگ پرچم و ظهور ریشک‌ها و همچنین، افشانه کردن سولفات روی در مرحله ظهور برگ پرچم و ریشک‌ها و کمترین دمای سایه‌انداز به تیمار مصرف خاکی عنصر روی در شرایط آبیاری کامل اختصاص داشت (شکل ۵). در همین رابطه فیتز و های (Fitter and Hay, 2002) گزارش کردند که افزایش دما از طریق تخریب کلروفیل‌ها و همچنین بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش میزان فتوسنتز برگ می‌گردد که تاثیر مستقیمی بر روی عملکرد گیاه دارد. آروکا و همکاران (Aroca *et al.*, )

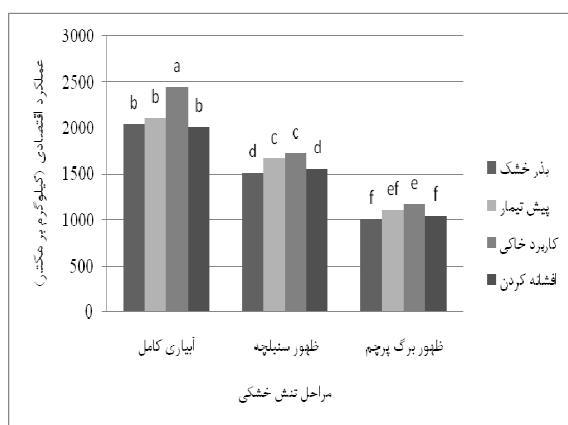
کاربرد خاکی سولفات روی در تیمار آبیاری کامل و همچنین کاربرد خاکی و پیش تیمار سولفات روی در تیمارهای تحت تنش بیشترین مقادیر عملکرد دانه را از آن خود کرد (شکل ۶). کمبود روی در گندم، نخست رشد و سپس عملکرد نهایی گیاه را کاهش می‌دهد، زیرا عنصر روی در دامنه گسترده‌ای از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیولوژیک تاثیر دارد (Khan *et al.*, 2008). در این پژوهش، با کاربرد خاکی سولفات روی در شرایط آبیاری کامل میزان عملکرد گندم به ۲۴۴۹/۶ کیلوگرم در هکتار رسید (شکل ۶). با مصرف سولفات روی تحت تنش مرحله ظهور ریشک‌ها میزان عملکرد به مقدار ۲۰۷/۳ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار عدم کاربرد این عنصر افزایش نشان داد. همچنین، کاربرد خاکی سولفات روی تحت تنش مرحله ظهور برگ‌پرچم عملکرد را به میزان ۱۶۱/۶۶ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار عدم کاربرد این عنصر افزایش داد. در همین راستا، چاکماک (Cakmak, 2009b) گزارش کرد که بهره‌گیری از سولفات روی نسبت به غلظت صفر در شرایط بدون تنش، باعث افزایش ۲۷ درصدی عملکرد دانه شد. باید توجه داشت که کمبود عنصر روی نیز نخست در برگ‌های جوان نمایان می‌شود. وجود رطوبت بین بافتی کمک بیش‌تری در گسیل آن از خاک به اندام‌های هوایی و سرانجام بخش گل‌آذین خواهد داشت (Cakmak, 2009b). مقایسه میانگین وزن سنبله در پژوهش نشان داد که بیش‌ترین وزن سنبله با مقدار ۱/۸۵ گرم مربوط به کاربرد خاکی عنصر روی در شرایط آبیاری کامل بود اما به ترتیب تیمارهای پیش تیمار، عدم کاربرد سولفات روی و افشانه کردن سولفات روی در تیمار اعمال تنش در مرحله ظهور برگ‌پرچم پایین‌ترین مقادیر وزن سنبله را به خود اختصاص دادند که این نتایج با مقایسه میانگین عملکرد در یک راستا می‌باشد (جدول ۳). بالاترین میزان شاخص برداشت به مقدار ۴۴/۳ درصد در تیمار بدون تنش با کاربرد خاکی کود سولفات روی مشاهده شد که این مقدار در اثر اعمال تنش رطوبتی کاهش معنی‌داری یافت. کمترین مقدار شاخص برداشت در تیمارهای بذر خشک، پیش تیمار بذر و افشانه کردن تحت تنش مرحله ظهور برگ‌پرچم مشاهده شد (شکل ۷). این در حالی هست که میزان شاخص برداشت در شرایط

خشکی باعث از بین رفتن کلروفیل و کاهش مقدار آن در واحد سطح می‌شود (Gue *et al.*, 2006; Wahid *et al.*, 2007). عنصر روی به صورت مستقیم در تشکیل کلروفیل نقش اساسی ندارد اما این عنصر می‌تواند بر غلظت دیگر عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل همانند آهن و منیزیم موثر می‌باشد (Kaya and Higgs, 2002). موحدی‌دهنوی و همکاران (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2004) در تحقیقی دریافتند که محلول پاشی عنصر روی می‌تواند موجب افزایش کلروفیل در گیاه گلرنگ شود که این امر می‌تواند به علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد.

در پژوهش حاضر، برهم‌کنش کاربردهای مختلف سولفات روی در مراحل تنش بر غلظت پرولین گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر همین پایه بیشترین غلظت این ماده در کاربرد خاکی سولفات روی تحت تیمارهای تنش در دو مرحله ظهور برگ‌پرچم و ظهور ریشک‌ها حاصل شد. کم‌ترین مقدار پرولین نیز مربوط به همه سطوح کاربرد سولفات روی و تیمار بدون تنش بود (جدول ۳). یکی از شاخص‌های ارزیابی گیاه تحت تنش خشکی، انباشت پرولین در اندام‌های مختلف گیاهی است (Leinhose and Bergman, 1995; Zengin, 2006). اثر تنظیم کننده اسمزی پرولین در توازن آب و تحمل تنش خشکی در پژوهش گوناگون نشان داده شده است (Bajji *et al.*, 2001; Mohammadkhani and Heidary, 2008; Heidary and Moaveni, 2009). تاثیر عنصر روی در افزایش غلظت پرولین توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است (Udayakumar *et al.*, 1976; Zengin, 2006). بررسی رنسبورگ و همکاران (Rensburg *et al.*, 1993) نشان داد که انباشتگی میزان پرولین با میزان تحمل به خشکی گیاه ارتباط مستقیم دارد. در این زمینه گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر این‌که، پرولین اثر منفی تنش خشکی را بر تثبیت کربن اصلاح و کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو را تحت چنین شرایطی تعدیل کند (Fendina *et al.*, 1993). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که با افزایش غلظت روی مقدار پرولین اندام هوایی افزایش می‌یابد (Singh *et al.*, 2014).



مرحله اشاره کرد. پلگ و همکاران (Peleg *et al.*, 2008) بیشترین میزان کاهش شاخص برداشت را در تنش خشکی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه گزارش کردند که با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد. ریچارد و همکاران (Richards *et al.*, 2002) دلیل اصلی افت شاخص برداشت را کاهش مقدار آب در مرحله پس از کرده افشانی گزارش کردند.

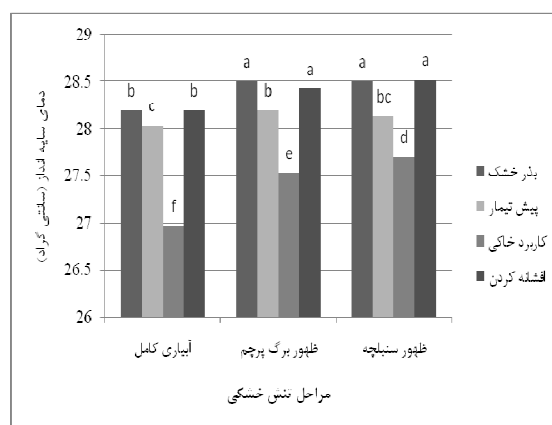


شکل ۶- اثر روش‌های کاربرد روی بر عملکرد اقتصادی در مراحل مختلف تنش خشکی

Figure 6. Effect of zinc application on grain yield under drought stress at different stages

افزایش دهد. این در حالی است که افشانه کردن سولفات روی در همه مراحل تنش خشکی قادر به افزایش معنی دار این مولفه به بیش از حد بحرانی شد (شکل ۸). اوزتورک و همکاران (Ozturk *et al.*, 2006) و چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 2010) نیز اشاره کردند که افشانه کردن برگ روی بسیار بیش تر از کاربرد خاکی آن در افزایش غلظت روی دانه موثر است. آنها افشانه کردن روی در مراحل آخر پر شدن دانه را موثرترین راه برای بهینه سازی غلظت روی دانه دانستند. گزارش‌هایی مبنی بر موثر بودن افشانه کردن برگ روی در مراحل بوتینگ و شیری دانه نیز وجود دارد که به طور متوسط غلظت روی دانه را تا حدود ۱۴۰ درصد افزایش می‌دهد (Cakmak, 2010b). همچنین، بهره‌گیری از سولفات روی در روش افشانه کردن کارایی افزون تری نسبت به سایر روش‌ها داشت (Cakmak, 2008; Shahid *et al.*, 2010).

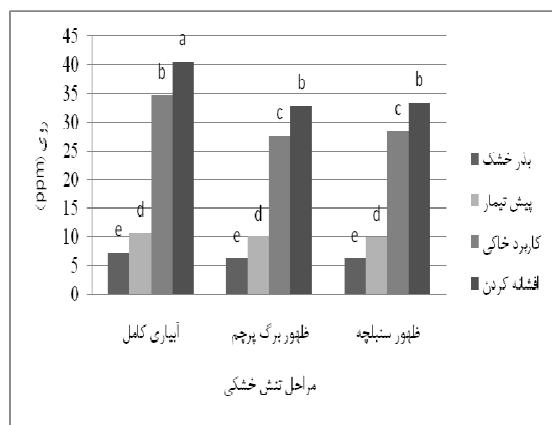
تنش نسبت به شرایط بهینه کاهش معنی داری یافت. طی این پژوهش در تیمارهایی با تنش خشکی که در مرحله ظهور برگ پرچم انجام شد، کاهش عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیک بیشتر می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۶) که در نهایت منجر به کاهش شاخص برداشت شد. از جمله این تیمارها می‌توان به تیمارهای عدم استفاده عنصر روی تحت تنش خشکی در مرحله ظهور برگ پرچم و افشانه کردن و پیش تیمار روی تحت تنش در همین



شکل ۵- اثر روش‌های کاربرد روی بر دمای سایه‌انداز در مراحل مختلف تنش خشکی

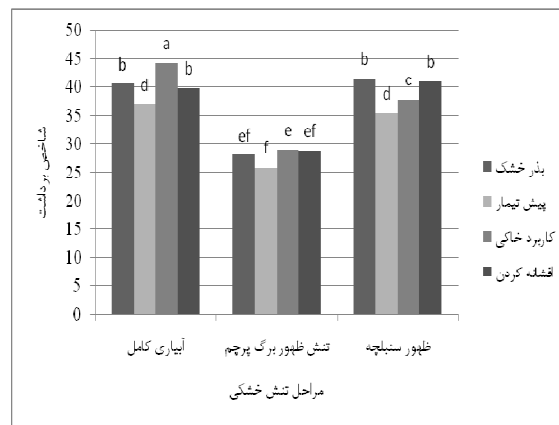
Figure 5. Effect of zinc application on canopy temperature under drought stress at different stages

برهم‌کنش سولفات روی و تنش خشکی بر غلظت روی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان عنصر روی در دانه با مقدار ۴۰/۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به تیمار افشانه کردن روی در شرایط بدون تنش بود (شکل ۸). موحدی‌دهنوی و همکاران (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2009) گزارش کردند که افشانه کردن عنصر روی بر اندام‌های هوایی، علاوه بر رشد ریشه و شاخساره، موجب افزایش عملکرد و غلظت روی دانه می‌شود. بر اساس گزارش لازیم و همکاران (Lazim *et al.*, 1989) غلظت بحرانی عنصر روی در دانه ۲۷ پی‌پی‌ام می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش مشخص می‌شود که غلظت روی در تیمار عدم کاربرد سولفات روی پایین تر از میزان یاد شده بوده است. گذشته از این، انجام پیش تیمار با سولفات روی در این پژوهش نتوانست میزان روی را به بیشتر از حد بحرانی



شکل ۸- اثر روش‌های کاربرد روی بر میزان روی دانه در مراحل مختلف تنش خشکی

Figure 8. Effect of zinc application on grain zinc content under drought stress at different stages



شکل ۷- اثر روش‌های کاربرد روی بر شاخص برداشت در مراحل مختلف تنش خشکی

Figure 7. Effect of zinc application on harvest index under drought stress at different stages

کلروفیل از  $39/2$  به  $44/03$ ، تعدیل دمای سایه‌انداز از  $28/5$  به  $27/5$  درجه سلسیوس و افزایش وزن سنبله از  $1/16$  به  $1/39$  گرم طی تنش خشکی مرحله ظهور برگ پرچم را نشان داد. بیشترین تاثیر مثبت بر رشد و عملکرد، از کاربرد خاکی این ترکیب فراهم شد، در حالی که در مورد افزایش غلظت روی دانه، بر خلاف این موارد، افشانه کردن سولفات روی تاثیر افزون تری را نشان داد. در بین تیمارهای سولفات روی، پیش تیمار نتوانست اثر بارزی نسبت به تیمارهای افشانه کردن و کاربرد خاکی روی در افزایش عملکرد و افزایش روی دانه داشته باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که بروز تنش خشکی به ویژه در مرحله ظهور برگ پرچم با تاثیر بر رشد اندام‌های گیاه موجب کاهش عملکرد زیست‌توده و عملکرد نهایی شد. بهره‌گیری از عنصر روی از یک سو با تاثیر بر ساخت اسمولیت‌هایی مانند پرولین موجب تخفیف آثار تنش و از سوی دیگر با جلوگیری غیرمستقیم از تخریب کلروفیل موجب ادامه رشد و تسهیم بهینه آسمیلات‌ها در گیاه می‌شود. نتایج این پژوهش نیز افزایش پرولین از  $49/8$  به  $58/6$  درصد، افزایش شاخص

### References

- Aktas, H., Abak, K., Ozturk, L. and Cakmak, I. 2006. Effect of zinc on growth and shoot concentration of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 407-412.
- Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. and Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? *Annals of Botany* 89: 925-940.
- Aroca, R., Irigoyen, J. J. and Sánchez-Díaz, M. 2001. Photosynthetic characteristics and protective mechanisms against oxidative stress during chilling and subsequent recovery in two maize varieties differing in chilling sensitivity. *Plant Science* 161: 719-726.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Babae, P. 2008. Wheat situation in Iran and the world. *Journal of Flour and Food Industry* 4 (13): 18-21.
- Bahar, B., Yildirim, M., Barutcular, C. and Genc, I. 2008. Effect of canopy temperature depression on grain yield and yield components in bread and durum wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 36 (1): 34-37.

- Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J. M. 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science** 160: 669-681.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. and Tear I. D. 1973.** Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil** 39: 205-207.
- Blum, A., Shpiler, L., Golan, A. and Mayer, J. 1989.** Yield stability and canopy temperature of heat genotypes under drought stress. **Field Crops Research** 22: 289-286
- Brown, P. H. and Cakmak, I. 1993.** Form and function of zinc in plants. In: Robson, A. O. (ed.). Zinc in soil and plant. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp: 93-106.
- Cakmak, I. 2008.** Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil** 302: 1-17.
- Cakmak, I. 2009a.** Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology** 10: 10-16.
- Çakmak, İ. 2009b.** "Biofortification of cereal grains with zinc through fertilizer strategy". 19<sup>th</sup> International Congress of Nutrition. October 4-9, 2009, Bangkok, Thailand.
- Cakmak, I. 2010a.** Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy. 2010 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. August 1-6, 2010, Brisbane, Australia.
- Cakmak, I. 2010b.** Biofortification of cereal grains with zinc by applying zinc fertilizers. <http://www.biokemi.org/biozoom/issues/525/articles/2396>.
- Cakmak, I., Kalayci, M., Kaya, Y., Torun, A. A., Aydin, N. and Wang, Y. 2010.** Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 58: 9092-9102.
- Clemens, S. 2014.** Zn and Fe biofortification: The right chemical environment for human bioavailability. **Plant Science** 225: 52-57.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waines, G. 2006.** Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I: Post-anthesis changes in internodes dry matter. **Crop Science** 46: 735-746.
- Evans, L. T. and Wardlaw, I. F. 1996.** Wheat. In: Zamski, E. and Schaffer, A. A. (Eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops. Marcel Dekker INC, New York. pp: 501-518.
- Fendina, I. S., Tsonev, T. and Guleva, E. L. 1993.** The effect of pretreatment with proline on the responses of *Pisum sativum* L. to salt stress. **Photosynthetica** 29: 521-527.
- Fitter, A. H. and Hay, R. 2002.** Environmental physiology of plants. 3<sup>rd</sup> Ed. Academic Press. San Diego, CA, USA.
- Hammantranjan, A. 1996.** Physiology and biochemical significance of zinc in plants. **Advanced Micronutrient Research** 151-178.
- Heidary, Y. and Moaveni, P. 2009.** Study of drought stress on aba accumulation and proline among in different genotypes forage corn. **Research Journal of Biological Sciences** 4 (10): 1121-1124.
- Izanloo, A., Condon, A. G., Langridge, P., Tester, M. and Schnurbusch, T. 2008.** Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two south Australian bread wheat cultivars. **Journal of Experimental Botany** 59: 3327-3346.
- Jon, C. and Loon, V. 1980.** Analytical atomic absorption spectroscopy. Chapter 5: Analysis of organic compounds. Academic Press Inc. pp: 158-220.
- Kaya, C. and Higgs, D. 2002.** Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. **Scientia Horticulturae** 93: 53-64.
- Khan, M. A., Fuller, M. P. and Baloch, F. S. 2008.** Effect of soil applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. **Cereal Research Communications** 36 (4): 571-582.
- Kilic, H. and Tacettin, Y. 2010.** The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. Durum) cultivars. **Otulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca** 38 (1): 164-170.
- Lazim, I. T., Mutradha, N. S. and Salih, A. M. 1989.** Wheat (*Triticum aestivum* L.) response to Zn applications and its critical level in soils of central part of Iraq. **Soil and Water Resources** 8 (1): 81-92.
- Leinhose, V. and Bergman, H. 1995.** Changes in the yield lignin content and protein pattern of barley induced by drought stress. **Angewandte Botanik** 69: 206-210.

- Majdi, M., Karimzadeh, G. and Mahfoozi, S. 2008.** Effects of low temperature and exogenous calcium on the quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm) and relative content of chlorophyll in cold susceptible and tolerant wheat cultivars. **Pajouhesh and Sazandegi** 77: 175-181. (In Persian with English Abstract).
- Majdi, M., Karimzadeh, G. and Mahfoozi, S. 2009.** The relationship between developmental accumulation of leaf soluble proteins and vernalization response of wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell). **Agricultural Sciences in China** 8: (4): 410-417.
- Malakoti, M. J. 2008.** The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 32: 215-220.
- Malakoti, M. J. 2011.** Solution to improve the quality of bread consumption in the country. **Journal of Food Science and Technology** 8 (31): 2-11.
- Maleki, A., Fazel, S. H., Naseri, R., Rezaei, K. and Heydari, M. 2014.** The Effect of potassium and zinc sulfate application on grain yield of maize under drought stress conditions. **Advances in Environmental Biology** 8 (84): 890-893.
- Rezaul Karim, M. D., Yue-Qiang, Z., Rong-Rong, Z., Xin-Ping, C., Fu-Suo, Z. and Chun-Qin, Z. 2012.** Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron and manganese. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 175: 142-151.
- Mohammadkhani, N. and Heidary, R. 2008.** Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. **World Applied Sciences Journal** 3: 448-453.
- Mohanty, N. 2003.** Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of flag leaf and the grain yield in two cultivars of (*Triticum aestivum* L.) exposed to warmer growth conditions. **Journal of Plant Physiology** 160: 71-74.
- Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A. M., Soroush-Zade, A. and Jalali, M. 2004.** Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and manganese. **Biaban** 9: 93-110.
- Movahhedi Dehnavy, M., Modarres Sanavi, A. M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009.** Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. **Industrial Crops Products** 30: 82-92.
- Pandey, N., Gupta, B. and Chandra Pathak, G. 2013.** Foliar application of Zn at flowering stage improves plant's performance, yield and yield attributes of black gram. **Indian Journal of Experimental Biology** 51: 548-555.
- Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun H. J., Sayers Z. and Cakmak I. 2006.** Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum** 128: 144-152.
- Peleg, Z., Saranga, Y., Yazici, A., Fahima, T., Ozturk, L. and Cakmak, I. 2008.** Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. **Plant and Soil** 306: 57-67.
- Rama, D. P. and Chandra, S. 2014.** Effect of zinc sulphate application and the cyclic incorporation of cereal straw on yields, the tissue concentration and uptake of Zn by crops and availability of Zn in soil under rice-wheat rotation. **The International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture** 3: 1-12.
- Rensburg, V. L., Kruger, C. H. and Kruger, H. 1993.** Proline accumulation as drought tolerance selection criterion: Its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotiana glauca* L. **Journal of Plant Physiology** 141: 188-194.
- Richards, R. A., Condon, A. G. and Rebetzke, G. J. 2001.** Traits to improve yield in dry environments. In: Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. I. and McNab, A. (Eds.). Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D. F. CIMMYT.
- Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G. and Van Herwaarden, A. F. 2002.** Breeding opportunities for increasing of water use and crop yield in temperate cereals. **Crop Science** 42: 111-121.
- Sakal, R., Sing, A. P. and Sinha R. B. 1988.** Effect of different soil fertility levels on the response of wheat to zinc application on Calciorthent. **The Journal of the Indian Society of Soil Science** 36 (1): 125-127.
- Sanchez, P. A. and Swaminathan, M. S. 2005.** Hunger in Africa: The link between unhealthy people and unhealthy soils. **Lancet** 365: 442-444.

- Shahid, H., Maqsood, M. A. and Rahmatullah. 2010.** Increasing grain zinc and yield of wheat for the developing world: A review. **Emirates Journal of Food and Agriculture** 22 (5): 326-339.
- Shekari, F., Shekari, F. and Esfandiari, E. A. 2010.** Crop physiology (Translation). University of Maragheh Press, Maragheh, Iran. 412 pages. (In Persian).
- Singh, J., Padmalochan, H. and Jolly, B. 2014.** Potential of *Vigna unguiculata* as a phytoremediation plant in the remediation of Zn from contaminated soil. **American Journal of Plant Sciences** 5: 1156-1162.
- Udayakumar, B. M., RamaRao, S., Prasad, T. G. and KrishnaSastry, K. S. 1976.** Effect of potassium on protein accumulation in cucumber cotyledons. **New Phytologist** 77: 593-598.
- Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hao, Y. and Singh, R. P. 2013.** Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. **Journal of Cereal Science** 59: 365-372.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007.** Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany** 61: 199-223.
- Wajiha, A., Muhammad, A., Shaukat, A. S., Farooq, A., Zahed, M. and Umer, R. 2014.** Effects of exogenously applied Zn on the growth, yield, chlorophyll contents and nutrient accumulation in wheat line L-5066. **International Journal of Chemical and Biological Sciences** 5: 11-15.
- Yong, I. J. S., Nilda, R., Tay, E., Oksoo, H., Baik, S. and Ock, G. 2003.** Antioxidative enzyme offer protection from chilling damage in rice plants. **Crop Science** 43: 2109-2117.
- Zengin, K. F. 2006.** The effects of  $Co^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Strike) seedlings. **Journal of Environmental Biology** 27: 441-448.
- Zhao, A., Xinchun, L., Zihui, C., Xiaohong, T. and Xiwen, Y. 2011.** Zinc fertilization methods on zinc absorption and translocation in wheat. **Journal of Agricultural Science** 3 (1): 28-35.



University of Guilan  
Faculty of Agricultural  
Sciences

**Cereal Research**  
Vol. 6, No. 2, Summer 2016 (145-158)

## **Effect of zinc sulfate on growth and yield of wheat under soil zinc deficiency and drought stress**

**Amin Abbasi<sup>1\*</sup> and Fariborz Shekari<sup>1</sup>**

Received: March 15, 2015

Accepted: December 28, 2015

### **Abstract**

Drought stress is a major contributor to decrease growth and yield of wheat that decline the absorption of micronutrients especially zinc from the soil. To assess application methods of zinc in wheat cultivar Homa under drought stress conditions, an experiment was carried out as split plot in a randomized complete block design with three replications in Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran, in 2013. Two factors including drought stress (complete irrigation, drought stress at emergence of flage leaf and stress at emergence of awns) as main factor and zinc application methods (no-application, priming, soil application, spraying) as sub-factor were used. The results showed that total dry matter, harvest index, yield, spike weight, spike length, plant height, peduncle weight, peduncle length, canopy temperature, proline, chlorophyll and grain zinc content significantly affected by drought stress at 1% probability level. Zinc consumption method under drought stress was also significant on total dry matter, harvest index, yield, spike weight, peduncle length, canopy temperature, chlorophyll and grain zinc content at 1% probability level. The soil application of zinc at emergence of flage leaf stage increased total dry matter up to 4733.3 kg/ha (22%), grain yield up to 1732 kg/ha (11%) and grain zinc content up to 27.7 mg/kg (77%). The results of this research showed that soil application of zinc can be recommended for rainfed fields.

**Keywords:** Canopy temperature, Chlorophyll index, Grain zinc content, Harvest index, Proline content

---

1. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

\* Corresponding author: [a.abbasi25@yahoo.com](mailto:a.abbasi25@yahoo.com)