مطالعه اثر محلول‌پاشی روی برعملکرد کمی و کیفی گندم در شرایط کمبود آب

جواد طباطبائیان[1]

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سولفات روی برعملکرد کمی و کیفی گندم در شرایط کمبود آب، آزمایشی در سال‌های زراعی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل شرایط رطوبتی مختلف از قبیل آبیاری معمول، تنش رطوبتی انتهای فصل رشد با قطع آبیاری از زمان گرده‌افشانی تا انتهای رشد و تنش رطوبتی انتهای فصل رشد با قطع آبیاری از زمان شیری تا انتهای رشد و فاکتورهای فرعی شامل سه ژنوتیپ گندم شامل مهدوی، شیراز و پیشتاز و سه غلظت مختلف ۰، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات روی بودند. نتایج این آزمایش نشان دادکه با افزایش شدت تنش رطوبتی، عملکرد دانه، مقدار ماده خشک و شاخص برداشت کاهش یافته و مقدار پروتیین دانه افزایش یافت. با افزایش تنش رطوبتی، عملکرد دانه در همه رقم‌ها کاهش نشان داد، اما ملاحظه شد که با قطع آب در مرحله گرده‌افشانی، رقم پیشتاز حداکثر عملکرد دانه را نشان داد (۶۱۰۷ کیلوگرم در هکتار). در شرایط آبیاری کامل، همه رقم‌ها به‌ویژه رقم مهدوی عملکرد بالایی داشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد سولفات روی اثر مثبت معنی‌داری روی اکثر صفات داشت، به‌طوری‌که مصرف سولفات روی به میزان ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط آبیاری کامل باعث افزایش ۲۷ درصدی عملکرد دانه شد. هم‌چنین با مصرف سولفات روی، غلظت روی در دانه به طور معنی‌داری افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، پروتیین، گندم، سولفات روی و تنش رطوبتی.

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/٤/۵

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت، اردستان، ایران، taba805@gmail.com

مقدمه

کم آبی از جمله مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. کشور ایران با میانگین نزولات جوی ۲۴۰ میلی‌متر در سال در زمره این مناطق طبقه‌بندی می‌گردد. بارش نامنظم در نواحی خشک دنیا محصولات را در معرض شدت‌های مختلف تنش خشکی با شرایط کمبود آب قرار می‌دهد.

با توجه به این‌که بخشی از اراضی آبی گندم نان (*Trticum aestivum* L.) و غالب دیم‌زارها در کشور با مشکل کمبود آب روبرو هستند، بنابراین دور از انتظار نیست که تنش خشکی از جمله عوامل محدودکننده تولید گندم در کشور به شمار آید (Gupta, 1998). در شرایط محدودیت آب موجود که سیستم تولید گندم بیشتر به بارندگی‌های فصلی بستگی دارد، می‌بایستی از منابع آب موجود به بهترین نحو استفاده شود. برخی از کشاورزانی که گندم آبی کشت می‌نمایند نیز به دلیل نداشتن آب کافی در بهار نمی توانند به میزان کافی مزارع گندم آبی را آبیاری کنند و در نهایت نتیجه مطلوب از کشت ارقام پرتوقع آبی به دست نمی‌آورند. هم‌چنین ممکن است در نتیجه کم آبیاری مخصوصاً در مراحل پایانی پر شدن دانه، بذر غیر استاندارد و چروکیده تولید نمایند (Cakmak, 2009). افزایش جمعیت و افزایش استانداردهای زندگی، باعث ایجاد فشار مضاعف بر منابع طبیعی آب، خاک و انرژی می‌گردد. از مهم‌ترین آثار تنش‌های خشکی می‌توان به کاهش آب قابل استفاده گیاه، فعالیت اندک در گیاه، ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، کاهش رشد و کیفیت محصول اشاره نمود. در شرایط تنش خشکی، غلظت سدیم معمولاً بیش از غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بوده و این امر موجب می شود در گیاهان تحت تنش خشکی، عدم تعادل تغذیه‌ای از جهات گوناگون بروز کند. این مطالعات بیانگر آنست که بخش عمده مشکلات تغذیه‌ای گیاهان در شرایط تنش خشکی و شوری، از طریق تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی امکان‌پذیر است (Molabashi *et al*., 2007). تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش ها نقش بسزایی دارد. در این میان عنصر (Zn) یکی از دو عنصر ضروری شرکت کننده در مجموعه مکانیزم‌های حفاظتی بدن و ترمیم سریع‌تر زخم‌ها و یکی از مواد معدنی کمیاب است که پس از آهن بیشترین میزان را در بدن دارا است (Khan *et al*., 2008). عنصر روی در ساختمان ۲۰۰ نوع آنزیم و پروتیین مشارکت دارد و کمبود آن فعالیت چندین آنزیم مهم از جمله فسفاتازها، الکل دی‌هیدروژناز، دیمیدین کیناز، کربوکسی پپتیداز و پلیمراز RNA و DNA را کاهش می‌دهد (Graham, 2004). در برخی مطالعات نشان داده شده است که در گیاهان مواجه با شرایط شوری و خشکی، مصرف مقادیر بالاتر عنصر روی موجب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی و شوری و عملکرد آن می‌شود (Chker *et al*., 2009). محققین گزارش کردند که تنش خشکی و کمبود عنصر روی دو فاکتور اصلی محدودکننده عملکرد تولید گندم در مناطق نیمه‌خشک بوده است (Peleg *et al*., 2008). کمبود روی در گیاهان و خاک در طیف گسترده‌ای مشاهده می‌گردد و در این رابطه خاک‌های با واکنش قلیایی (به خاطر فراهمی کم عنصر روی)، خاک‌های شنی و در خاک‌های شدیداً آبشویی یافته شیوع بیشتری دارد (Chker *et al*., 2009). در ایران کمبود عنصر روی در خاک عمدتاً ناشی از آهکی بودن خاک‌های زراعی، pH بالا، حضور بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری، مصرف فراوان و بیش از نیاز کودهای فسفاته و در نهایت عدم رواج مصرف کودهای محتوی عنصر روی است (Movahedy-Danesh *et al*., 2009).غلظت بحرانی روی در حدود ۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک برگ است (Khan *et al*., 2008) که با توجه به شرایط فیزیکی و خواص شیمیایی حاکم بر اکثر خاک‌های کشور ما که به آن‌ها اشاره شد تأمین این عنصر ضروری می‌باشد. محققین چنین بیان می‌کنند که بالا بودن pH ، آهکی بودن و پایین بودن ماده آلی در خاک مشکل اساسی کشاورزی مناطق مدیترانه‌ای می‌باشد و به کمبود شدید دو عنصر ریز مغذی روی و آهن در گیاهان زراعی و درختان میوه آبدار اشاره کرد و مصرف خاکی یا محلول‌پاشی با سولفات آهن و سولفات روی به میزان ۵ در هزار در چند مرحله را راه حل آن می‌دانند (Graham, 2004). مدیریت آبیاری، کود و تراکم گیاهی به‌طور پایداری موجب افزایش عملکرد گندم خواهد شد (Khan *et al*., 2008). محققین در بررسی اثر کمبود آب روی عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ارقام جو نشان دادند که بروز تنش کمبود آب موجب کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد و کمبود آب موجب افزایش درجه حرارت داخل سایه‌انداز و کاهش میزان کلروفیل

شده و اثر آبیاری بر کارایی فتوشیمیایی معنی‌دار بود (Mamnouie *et al*., 2006). هم‌چنین محلول‌پاشی عنصر روی اثر مثبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان داشت (Thalooth *et al*., 2005). محققین به این نتیجه رسیدند که کاربرد محلول‌پاشی عنصر روی ۲٪ موجب افزایش عملکرد بادام زمینی و صفات کیفی آن شد (Khan *et al*., 2008). حد بحرانی عنصر روی در خاک‌های زراعی در سه سطح کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب کمتر از ۰/۵ ، ۳- ۱/۱ و بیش از ٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (Malakouti and Tehrani, 2001). غالباً در محلول‌پاشی عنصر روی از دو ترکیب رایج یعنی سولفات روی (ZnSo4) و کلات روی (Zn EDTA) استفاده می‌شود که در این بین سولفات روی به علت ارزان‌تر بودن از اولویت بیشتری برخوردار است. محققین نشان دادند که بین اثر این دو منبع روی تفاوت معنی‌داری در گندم مشاهده نشد و بنابراین می‌توان از سولفات روی ارزان‌تر به جای کلات روی استفاده کرد (Peleg *et al*., 2008).

در راستای هدایت تحقیقات به‌نژادی و به‌زراعی بر مبنای استراتژی‌های اقلیمی و خشکسالی و با توجه به افت شدید منابع آبی و جدی‌تر شدن بحران آب، انجام آزمایشی بر روی ارقام گندم آبی تحت شرایط کم آبیاری یا آبیاری محدود همراه با کاربرد عنصر روی به صورت محلول پاشی سولفات روی به عنوان یک روش بسیار موثر و نفوذپذیر برای جذب بهتر عنصر روی ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه با اهداف ارزیابی ارقام گندم نان از لحاظ عملکرد اقتصادی و اجزای عملکرد تحت شرایط تنش کم آبی در انتهای فصل و هم‌چنین بررسی اثرات کاربرد سولفات روی تحت شرایط تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی گندم انجام شد.

مواد وروش‌ها

این آزمایش در دو فصل زراعی طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد واقع در ٢٤ کیلومتری شرق شهرستان اصفهان انجام گردید. میانگین دراز مدت بارندگی و درجه حرارت سالیانه منطقه به ترتیب ۱۱۲ میلی‌متر و ۱۵/۸ درجه سلسیوس و جمع بارش در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به ترتیب برابر با ۷۷/۸ و ١٦٦/٧ میلی‌متر می‌باشد. خاک محل آزمایش لومی سیلتی با قابلیت هدایت الکتریکی ۳/۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر، اسیدیته ۷/۵ و میزان ۰/۷۷ درصد مواد آلی و ۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم عنصر روی بود. برای ارزیابی اثر کمبود آب و کاربرد سولفات روی بر سه رقم گندم به نام‌های مهدوی (V_1)، شیراز (V_2) و پیشتاز (V_3) آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. رژیم‌های مختلف تنش رطوبتی شامل شرایط آبیاری معمول (W_1)، شرایط تنش رطوبتی انتهای فصل رشد با قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی تا زمان رسیدگی (W_2) و شرایط تنش رطوبتی انتهای فصل رشد با قطع آبیاری مرحله شیری گیاه تا زمان رسیدگی (W_3) بودند. در هنگام اعمال تنش رطوبتی از شلتر استفاده شد. مقدار آبیاری از طریق پارشال فلوم اندازه‌گیری شد.

کاربرد سولفات روی در این آزمایش در مرحله پنجه‌زنی (۷۰ روز پس از کاشت) به صورت محلول‌پاشی روی اندام هوایی انجام شد و این تیمارها شامل سه سطح ذیل بود:

Z_1: عدم کاربرد سولفات روی (شاهد)

Z_2: کاربرد ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات روی در مرحله پنجه‌زنی (۵ کیلوگرم در هکتار)

Z_3: کاربرد ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات روی در مرحله پنجه‌زنی (۱۰ کیلوگرم در هکتار)

در این تحقیق فاکتور اصلی شامل سه رژیم مختلف رطوبتی کم آبیاری و ۹ کرت فرعی شامل آرایش فاکتوریل رقم و محلول‌پاشی سولفات روی بودند. هر کرت آزمایشی شامل ۸ ردیف کاشت به طول ۳ متر بود که فاصله خطوط ۲۰ سانتیمتر و تراکم بذر در حدود ٤۰۰ بذر در متر مربع برای هر رقم در نظر گرفته شد. از اعماق ۳۰-۰، ٦۰-۳۰ و ۹۰-٦۰ سانتی‌متری عمق خاک نمونه‌برداری صورت گرفت و میانگین خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک محل اجرای آزمایش به شرح جداول ۱و۲ می‌باشد. کاشت بذور در سال‌های اول و دوم آزمایش در تاریخ ۱۵ آبان ماه صورت گرفت و بلافاصله بعد از کاشت آبیاری انجام گردید و به عنوان تاریخ کاشت محسوب شدند.

در این تحقیق صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، غلظت روی در دانه و مقدار پروتئین در دانه ارزیابی شد. اندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی به‌شرح زیر بود.

عملکرد بیولوژیک: در زمان رسیدگی کامل، بوته‌های مربوط به هر کرت آزمایشی با حذف اثر حاشیه (یک متر مربع) برداشت شده وعملکرد بیولوژیک بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد.

عملکرد دانه: در زمان رسیدگی کامل و پس از خرمن کوبی و بوجاری، عملکرد دانه در واحد سطح بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد.

شاخص برداشت: نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک بر حسب درصد.

مقدار روی در دانه: بعد از خشک شدن کامل، دانه‌ها را با آسیاب خرد کرده و از روش خاکسترگیری خشک، میزان عنصر روی اندازه‌گیری شد (Helrich *et al.*, 1990).

پروتیین دانه: با روش کجلدال مقدار نیتروژن در دانه هر تیمار را بدست آورده و با اعمال ضریب ٦/٢٥ درصد، پروتیین دانه محاسبه گردید (Helrich *et al.*, 1990). برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به صورت تجزیه مرکب از نرم افزار Mstatc، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای تفکیک و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

بین سال‌های آزمایش از نظر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول۳). بعلت بهتر بودن شرایط اقلیمی، صفات عملکرد در سال دوم بیشتر از سال اول بود. نتایج بدست آمده حاصل از تجزیه واریانس مرکب دو سال آزمایش نشان داد که قطع آبیاری در سطح احتمال ۱٪ روی عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و پروتئین دانه ارقام گندم اثر گذار بوده است (جدول ۳). هم‌چنین کارآیی سولفات روی، روی همه صفات معنی‌دار بود و بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (دو ساله) در جدول۳ بین رقم‌ها به‌جز شاخص برداشت در بقیه صفات اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

اثر متقابل تنش رطوبتی و سولفات روی، روی اکثر صفات معنی‌دار بود (جدول۳). نتایج نشان داد که سولفات روی ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط عدم تنش رطوبتی به‌ویژه در سطوح مختلف تنش رطوبتی روی اغلب صفات بیشترین مقدار را داشت (جدول ٤).

عملکرد دانه

با توجه به نتایج حاصل شده عملکرد دانه در مقایسه با غلظت صفر به ۹۲۷۹ کیلوگرم در هکتار (۲۷ درصد) افزایش یافت. البته با قطع آبیاری در مرحله گرده افشانی (W2) عملکرد دانه ۲۲ درصد کاهش یافت، اما با مصرف سولفات روی ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، عملکرد دانه از ٧٢٨٦ به ٦٣١٣ کیلوگرم در هکتار رسید (۱۳ درصد کاهش). به عبارت دیگر با مصرف سولفات روی، ۹ درصد جبران کاهش عملکرد شده است. گراهام (Graham, 2004) بیان کرد که غالباً عنصر روی در گیاه به صورت یون آزاد و یا به صورت یک کمپلکس محلول با وزن مولکولی کم وجود دارد و عنصر روی محلول در آب به طور گسترده بیشترین حالت فیزیولوژیکی فعال را دارد. سولفات روی، در حفظ فعالیت فتوسنتزی شامل حفظ فعالیت چندین آنزیم متحمل به تنش خشکی نقش مؤثری دارد و از این طریق در بهبود وضعیت گیاه و افزایش صفات عملکرد دانه و اجزای وابسته آن تأثیر داشته است. محققین نقش محلول‌پاشی ریز مغذی‌ها بخصوص روی را در شرایط تنش خشکی و شوری گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد مؤثر می‌دانند (Sakaro *et al.*, 2007).

اثر متقابل تنش رطوبتی و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول۳). نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش رطوبتی همه رقم‌ها به‌ویژه رقم مهدوی عملکرد بالایی داشتند. اگرچه با افزایش تنش رطوبتی عملکرد دانه در همه رقم‌ها کاهش نشان داد، اما ملاحظه شد که با قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی (W_2) رقم پیشتاز با میزان ٦١٠٧ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت (شکل۱). رقم پیشتاز به عنوان یک رقم متحمل به دلیل داشتن پتانسیل ژنتیکی مناسب در شرایط تنش نسبت به رقم مهدوی عملکرد بالاتری داشت. سالمی و همکاران (Salemi *et al.*, 2006) گزارش نمودند که تنش آبی یکنواخت در طول فصل رشد سبب کمترین و بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب در رقم‌های مهدوی (٦١٥٥ کیلوگرم در هکتار) و پیشتاز (٧٤١٢ کیلوگرم در هکتار) گردید.

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیکی با مصرف ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات روی در شرایط آبیاری کامل به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (جدول ٤). این امر از آن‌جا ناشی می‌شود که مصرف روی سبب انتقال بهتر آب از خاک به گیاه شده و باعث افزایش ماده خشک کل می‌شود. چاکماک (Cakmak, 2009) نیز مصرف سولفات روی را باعث افزایش ریشه و اندام هوایی گندم گزارش کرد. اثر متقابل سولفات روی و تنش رطوبتی بر مقدار روی در دانه از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول۳). تجزیه داده‌ها نشان داد که در آبیاری

کامل و تنش رطوبتی (W_3)، افزایش غلظت محلول‌پاشی سولفات روی تا ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اثر مثبتی بر مقدار روی دانه داشت، به‌گونه‌ای که میزان ذخیره عنصر روی بیش از ۵۵ درصد افزایش نشان داد. در حالی که در تنش شدید (W_2) این روند تا ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر قرار بود (جدول ٤). ظاهراً غلظت زیاد ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط کم آبی شدید (W_2) با کشتن سلول‌هایی که در معرض برخورد با آن قرار می‌گیرند، از جذب و هدایت بخشی از عنصر روی به طرف دانه جلوگیری می‌کند، به همین علت غلظت روی در دانه با مصرف ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمی کمتر از ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم شده است. خان و همکاران (Khan *et al*., 2004) گزارش کردند که در مناطق فقیر از عنصر روی مواجه با تنش خشکی، تغذیه روی می‌تواند نقش مهمی در بهبود وضعیت گیاه و مقدار ذخیره روی در دانه داشته باشد. اثر متقابل تنش رطوبتی و سولفات روی بر مقدار پروتیین دانه بسیار معنی‌دار بود (جدول۳).

مقدار پروتیین دانه

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول٤) نشان داد که در شرایط بدون تنش رطوبتی (W_1) و قطع آب در مرحله گرده‌افشانی (W_2) با افزایش غلظت سولفات روی مقدار پروتیین دانه بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت، اما به نظر می‌رسد در شرایط عدم تنش رطوبتی، اثر کاربرد سولفات روی در افزایش پروتیین دانه واکنش بیشتری از شرایط (W_2) نشان داد، به‌گونه‌ای که مصرف سولفات روی در شرایط بدون تنش، ۲۷ درصد بود، اما در شرایط (W_2) فقط ٦ درصد باعث افزایش پروتیین دانه شد. این نتیجه نشان می‌دهد که سولفات روی با وجود فراهمی آب تأثیر بیشتری بر اسیدهای آمینه و RNA در رابطه با پروتیین‌سازی داشته و افزایش پروتیین در شرایط (W_2) بیشتر در ارتباط با کاهش آندوسپرم و افزایش نسبی سبوس دانه بوده است. از طرف دیگر هاسلت و همکاران (Haslet *et al*., 2001) بیان کردند که غالباً در محلول‌پاشی عنصر روی از دو ترکیب رایج یعنی سولفات روی (ZnSO4) و کلات روی (Zn EDTA) استفاده می‌شود که نقش مؤثری در جهت ساختن اکسین (IAA) از اسید آمینه تریپتوفان، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی و افزایش قابل ملاحظه پروتیین دانه دارد.

شاخص برداشت

اثر متقابل تنش رطوبتی و رقم بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول۳). مقایسه میانگین شاخص برداشت نشان داد که در شرایط عدم تنش، رقم مهدوی با شاخص برداشت ٤۳ درصد در صدر بود و با افزایش تنش، شاخص برداشت آن به شدت کاهش یافت، در حالی که شاخص برداشت رقم پیشتاز چه در هنگام فراهمی آب و چه در هنگام تنش، در حد ۳۸ درصد ثابت بود (شکل۲). به نظر می‌رسد از نظر ضریب انتقال مواد فتوسنتزی به دانه رقم مهدوی در شرایط عدم تنش برتر از دیگر ارقام بوده است. در حالی که رقم پیشتاز نشان داد هم در شرایط فراهمی آب و هم در شرایط تنش، تسهیم ماده خشک خود را بین دانه و کاه حفظ نموده است. سالمی و همکاران (Salemi *et al*., 2006) گزارش نمودند که تنش آبی یکنواخت در طول فصل رشد سبب کاهش شاخص برداشت رقم مهدوی و بهبود شاخص برداشت پیشتاز شد. اثر متقابل سولفات روی و رقم بر پروتیین دانه معنی‌دار شد (جدول۳). نتایج نشان داد که در همه غلظت‌های سولفات روی، رقم مهدوی بیشترین مقدار پروتیین را داشت. هم‌چنین با مصرف سولفات روی در همه رقم‌ها افزایش پروتیین دیده شد (شکل ۳)، ولی بیشترین واکنش را به سولفات روی رقم مهدوی نشان داد، به‌طوری که با مصرف ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، پروتیین آن به ١٤/٦ درصد رسید.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام مورد مطالعه از نظر کلیه صفات به‌جز شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری با هم نشان دادند. برای کلیه صفات در شرایط محیطی نرمال رقم مهدوی بیشترین مقدار را نشان داد اما در شرایط تنش شدید در کلیه صفات رقم پیشتاز برتری خوبی از خود نشان داد. کاربرد سولفات روی در همه صفات معنی‌دار شد و نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات روی بیشترین اثر را روی صفات مورد مطالعه داشته است. مصرف سولفات روی ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سطوح مختلف تنش رطوبتی و به‌ویژه در شرایط بدون تنش رطوبتی باعث افزایش عملکرد دانه شد، به‌طوری‌که مصرف غلظت ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات روی نسبت به غلظت صفر در شرایط بدون تنش باعث افزایش ۲۷ درصدی عملکرد دانه شد. به‌طورکلی کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی انتهای فصل رشد عمدتاً باعث کاهش دوره پر شدن

دانه، چروکیدگی و کوچکی اندازه دانه، کاهش فتوسنتز و انتقال کمتر مواد فتوسنتزی حاصل از آن به دانه‌ها می‌باشد و با کاربرد سولفات روی تا حدی خسارت ناشی از تنش خشکی بهبود یافت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش رطوبتی (W_1) و قطع آب در مرحله گرده‌افشانی (W_2) با افزایش غلظت سولفات روی مقدار پروتیین دانه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. تجزیه و تفسیر نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با کاربرد سولفات روی مقدار ذخیره عنصر روی در دانه به طور چشم‌گیری افزایش یافت و میزان ذخیره عنصر روی بیش از ۵۵ درصد افزایش نشان داد.

سپاسگزاری

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان به جهت همکاری در اجرای این طرح پژوهشی تشکر می‌شود.

Table 1. Chemical properties of soil **جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک**

Saturated mud PH	Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)	Organic carbon (%)	P absorption ($mg.kg^{-1}$)	K absorption ($mg.kg^{-1}$)	Zinc absorption ($mg.kg^{-1}$)
7.5	3.2	0.77	11.6	230	0.5

Table 2. Physical properties of different layers of soil **جدول ۲- خصوصیات فیزیکی لایه‌های مختلف خاک**

Soil depth (cm)	Soil texture (%)			Soil texture class	Bulk density (g/cm3)
	Sand %	Silt %	Clay %		
0-30	10	58	32	Silty-Loam	1.47
30-60	22	46	30	Clay-Loam	1.46
60-90	40	35	25	Loam	1.42

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، مقدار روی و پروتیین دانه در ارقام مختلف گندم

Table 3. Combined analysis of variance for biological yield, grain yield, harvest index, grain Zn and grain protein in different varieties of wheat

S.O.V.	D.F.	Grain protein	Grain Zn	Harvest index	Biological yield	Grain yield
Year (Y)	1	0.07^{ns}	0.22^{ns}	938^{**}	541780167^{**}	6648627^{**}
Replication×Year (R×Y)	4	3.38^{ns}	41^{ns}	36^{ns}	17304002^{ns}	2347330801^{ns}
Water deficit (W)	2	155.5^{**}	20.28^{ns}	315^{**}	309747549^{**}	95793781^{**}
Y×W	2	$0/003^{ns}$	0.022^{ns}	217^{*}	23925798^{ns}	4245603^{*}
error 1 (E1)	8	6.7	12.93	26	6037776	568947
Zink sulfate(Z)	2	20^{**}	2527.65^{**}	93^{*}	33605487^{**}	10500895^{**}
Y×Z	2	0.001^{ns}	0.005^{ns}	90^{*}	24080403^{*}	155844^{ns}
W×Z	4	21.9^{**}	103.6^{*}	41^{ns}	37208866^{**}	6340566^{**}
Y×W×Z	4	0.001^{ns}	0.058^{ns}	78^{*}	19855305^{*}	1054418^{*}
Variety (V)	2	6^{*}	189.3^{**}	63^{ns}	26813793^{*}	3903971^{**}
Y×V	2	0.002^{ns}	0.033^{ns}	74^{ns}	26420359^{*}	374868^{ns}
W×V	4	1.49^{ns}	54.9^{ns}	195^{**}	1662145^{ns}	6273167^{**}
Y×W×V	4	0.002^{ns}	0.021^{ns}	8^{ns}	5480878^{ns}	1471503^{**}
Z×V	4	6.4^{**}	19.96^{ns}	26^{ns}	1816051^{ns}	64775^{ns}
Y×Z×V	4	0.002^{ns}	0.01^{ns}	26^{ns}	6479006^{ns}	111267^{ns}
W×Z×V	8	4.1^{*}	56.6^{ns}	42^{ns}	11621178^{*}	547255^{ns}
Y×W×Z×V	8	0.001^{ns}	0.01^{ns}	31^{ns}	8294798^{ns}	336074^{ns}
error 2 (E2)	96	1.7	31.54	24	5664448	407061
C.V. (%)	-	10	17	13	12	9

ns، * و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد احتمال

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

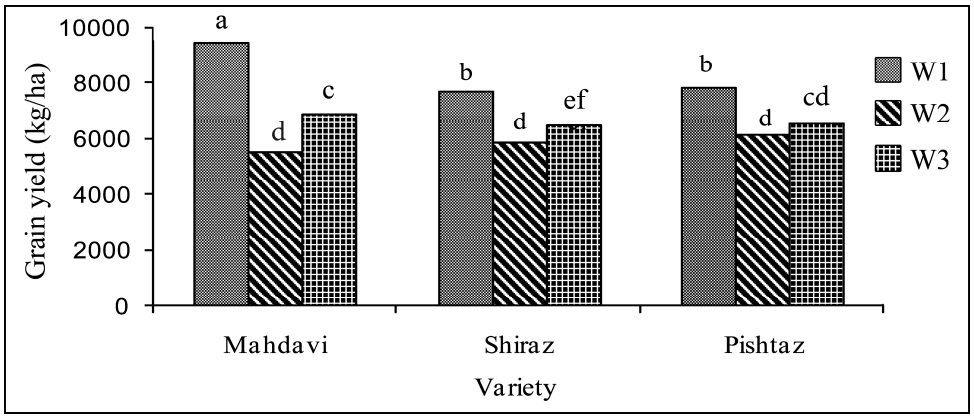
جدول ٤- مقایسه میانگین اثر تنش رطوبتی و کاربرد سولفات روی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، مقدار روی و پروتئین در دانه در دو سال

Table 4. Mean comparison of effect of water deficit and zinc sulfate application on grain yield, biological yield, harvest index, grain Zn and grain protein in two years

Treatments		Grain protein ($mg.kg^{-1}$)	Grain Zn ($mg.kg^{-1}$)	Harvest index (%)	Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
	Z_1	9 ^{e}	26 ^{bc}	37 ^{bc}	19981 ^{bc}	7286 ^{c}
W_1	Z_2	11 ^{d}	33 ^{ab}	39 ^{ab}	23994 ^{a}	9279 ^{a}
	Z_3	11.5 ^{cd}	37 ^{a}	42 ^{a}	20903 ^{b}	8590 ^{b}
	Z_1	13.8 ^{b}	23 ^{c}	32 ^{d}	17720 ^{de}	5707 ^{e}
W_2	Z_2	14.1 ^{ab}	38 ^{a}	36 ^{bc}	17830 ^{cde}	6313 ^{d}
	Z_3	14.7 ^{a}	36 ^{ab}	34 ^{cd}	16147 ^{e}	5339 ^{e}
	Z_1	13.2 ^{bc}	26 ^{bc}	35 ^{bc}	17273 ^{bcd}	6637 ^{d}
W_3	Z_2	13.6 ^{b}	34 ^{a}	38 ^{abc}	17596 ^{de}	6686 ^{d}
	Z_3	13.9 ^{b}	39 ^{a}	36 ^{bc}	17723 ^{de}	6414 ^{d}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% of probability level- using Duncan's Multiple Range Test.



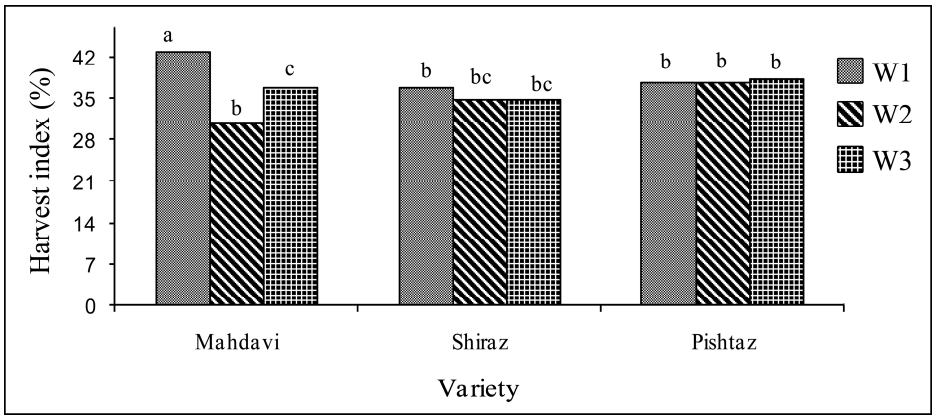
شکل۱- اثر تنش رطوبتی بر عملکرد دانه در ارقام گندم

Figure 1. The effect of deficit on grain yield of wheat cultivars

W1: Normal condition

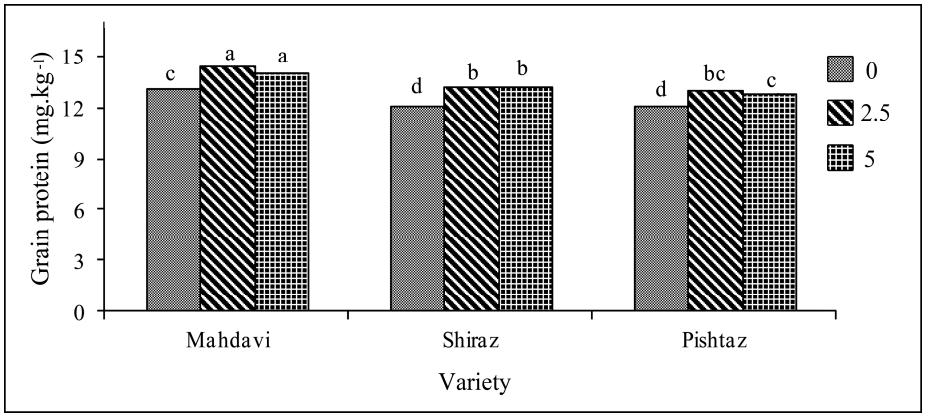
W2: Water stress condition from pollination to ripening

W3: Water stress condition from milky stage to ripening



شکل ۲- اثر تنش رطوبتی بر شاخص برداشت ارقام گندم

Figure 2. The effect of water stress on harvest index of wheat cultivars



شکل ۳- اثر کاربرد سولفات روی بر پروتیین دانه در ارقام گندم

Figure 3. The effect of zinc sulfate on grain protein of wheat cultivars

References

Cakmak I (2009) 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.

Chker Alhosseini M, Mohtashami R, Oliyae HR (2009) Effects of zinc source and method of fertilizer application on crop yield and quality of rice (Cheram variety). Journal of Agricultural Science 5(1): 33-43.

Graham AW (2004) Effects of zinc nutrition and high temperature on the growth, yield and grain quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). Ph.D. Thesis, University of Adelaide, USA.

Gupta US (1998) Production and improvement of crops for dryland. (Translated by A. Koocheki). Jihad-e-Daneshgahi Publications, Mashhad University, Iran. First Edition, pp. 52-54. [In Persian with English Abstract].

Haslett BS, Reid RJ, Rengel Z (2001) Zinc mobility in wheat: Uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. Annals of Botany 87: 379-386.

Helrich K (1990) Association of official analytical chemists. 15th Edition. Volume 1. AoAc, Inc. 673 pp.

Khan HR, McDonald GK, Rengel Z (2004) Zinc fertilization and water stress affects plant water relations, stomata conductance and osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arientinum* L.). Plant and Soil 267: 271-284.

Khan MA, Fuller MP, Baloch FS (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.

Malakouti MJ, Tehrani MM (2001) Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products. Micronutrients with macronutrients. (2nd Edition). Tarbiat Modarres University Press, 299 pp. [In Persian with English Abstract].

Mamnouie E, Fotohi Ghazvini R, Esfahany M, Nakhoda B (2006) The effects of water deficit on crop yield and the physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. Journal of Agricultural Science and Technology 8: 211- 219.

Mollabashi A, Khorshidi M, Farbodi M (2007) The relationship between grain yield and dry matter after flowering with no stress and drought stress conditions in the last season in promising cultivars of winter wheat. Journal of Agricultural Science, University of Tabriz 1(3): 67-78. [In Persian with English Abstract].

Movahedy–Dehnavy M, Modarres–Sanavy SAM, Bidgoli M (2009) Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crop and Productions 30: 82-92.

Peleg Z, Saranga Y, Yazici A, Fahima T, Ozturk L, 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.

Salemi HR, Malek S, Afiuni D (2006) Effect of limited irrigation on grain yield and qualitative traits of six new wheat cultivars in Kabouta-Abad, Isfahan. Journal of Agricultural Engineering Research 7(27): 132-146. [In Persian with English Abstract].

Sarkaro D, Mandel B, Kundu MC (2007) Increasing use efficiency of boron fertilizers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. Plant and Soil 301: 77–85.

Thalooth A, Badr NM, Mohamed MH (2005) Effect of foliar spraying with zinc and different levels of phosphatic fertilizer on growth and yield of sunflower plants grown under saline conditions. Egyptian Journal of Agronomy 27: 11-22.