نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره ۳۰ - شماره ۲- پیاپند ۱۱۵ تابستان ۹۶

تأثیر قارچ مایکوریزا و نانو اکسید روی بر عملکرد، تجمع ماده خشک، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم در شرایط شوری خاک

The effects of mycorrhizal fungi and nano zinc oxide on yield, dry matter accumulation, grain-filling rate and duration in wheat under soil sa-linity condition

رئوف سید شریفی، [۱*] راضیه خلیل زاده[۲]، ثریا سلطان مرادی[۳]

۱. استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی. (نگارنده مسئول)
۲. دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه محقق اردبیلی.
۳. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه محقق اردبیلی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱

چکیده

سید شریفی، ر.، خلیل زاده، ر.، سلطان مرادی، ث. تأثیر قارچ مایکوریزا و نانو اکسید روی بر عملکرد، تجمع ماده خشک، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم در شرایط شوری خاک
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۰ - شماره ۲- پیاپند ۱۱۵ تابستان ۹۶: ۴۹-۳۱

به منظور مطالعه اثر مایکوریزا و نانو اکسید روی بر عملکرد، تجمع ماده خشک، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم در شرایط شوری خاک، آزمایش فاکتوریلی با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری خاک در سه سطح (عدم اعمال شوری، شوری ٤٠ و ٨٠ میلی مولار با نمک NaCl)، کاربرد مایکوریزا در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد میکوریزا از گونه *Glomus mosseae*) و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در سه سطح (عدم مصرف، مصرف ٠/٤ و ٠/٨ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که تعداد دانه در سنبله، وزن ریشه، حداکثر وزن دانه، سرعت و طول دوره پر شدن دانه، دوره موثر پر شدن دانه، عملکرد تک بوته و توده زنده کل به طور معنی داری تحت تاثیر میکوریز، سطوح شوری و نانواکسید روی قرار گرفتند. مقایسه میانگین ها نشان داد بالاترین عملکرد (٠/٤٥ گرم در بوته)، سرعت پر شدن دانه (٠/٠٠٢٢ گرم در روز)، طول دوره پر شدن (٢٨ روز)، دوره موثر پر شدن دانه (٢٨/٥٥ روز) و حداکثر وزن دانه (٠/٠٦٠٦ گرم) به ترکیب تیماری کاربرد میکوریز، محلول‌پاشی ٠/٨ گرم در لیتر نانو اکسید روی و عدم اعمال شوری به‌دست آمد. اعمال شوری ٨٠ میلی‌مولار، عملکرد دانه را ٢١ درصد کاهش داد و محلول‌پاشی بالاترین سطح نانو اکسید روی و کاربرد مایکوریزا ٦٦ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کرد. از این رو می توان پیشنهاد نمود که به منظور افزایش عملکرد، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه و برخی دیگر از شاخص های رشدی مانند توده زنده کل در شرایط شوری، کاربرد میکوریز و محلول پاشی با نانواکسید روی به کار برده شود.

واژه های کلیدی: کودهای زیستی، زیست‌توده کل، میکوریز، عناصر ریز مغذی، محلول‌پاشی

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

شوری یکی از مهم ترین تنش‌های محیطی است که با کاهش پتانسیل اسمزی و کاهش میزان دسترسی ریشه به آب موجب می‌شود که گیاهان با تنش خشکی نیز مواجه شوند (El-bassiouny, 2005). مهمترین واکنش گیاه به شوری خاک یا آب، کاهش رشد است. اگر غلظت املاح به بیش از آستانه تحمل گیاه برسد، به موازات افزایش غلظت املاح محلول (شوری)، رشد گیاه کاهش می‌یابد، که البته آهنگ کاهش رشد به نوع گونه گیاهی، سطوح شوری و ترکیب یونی نمک بستگی دارد (Martyniak *et al*., 2007). اظهار داشت که تنش شوری به علت اختلال در فرایند فتوسنتز در اثر سمیت یونی و کاهش سطح فتوسنتزی در اثر تنش اسمزی ناشی از تنش شوری، موجب کاهش طول دوره و افزایش سرعت پر شدن دانه میشود (Pessarakli, 1999). یکی از راه‌های ارزیابی عملکرد، بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک موثر بر عملکرد و مدیریت مزرعه در جهت بهبود این شاخص‌ها می‌باشد. ماده خشک کل در واحد سطح از شاخص‌های رشدی مهمی است که علاوه بر ژنوتیپ، تحت تأثیر فاکتورهای محیطی و روش‌های مدیریتی، عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gollagi *et al*., 2009).

شوری در ذرت موجب کاهش سرعت رشد نسبی و به تبع آن کاهش ماده خشک کل گیاه گردید (Abid *et al*., 2001).

وزن نهایی دانه به دو عامل سرعت پر شدن دانه، دوره پر شدن دانه و برهمکنش بین آن‌ها بستگی دارد (Sadras & Egli, 2008). پر شدن دانه معمولاً ۱۵ روز بعد از گرده‌افشانی شروع می‌شود، که اندازه و وزن نهایی دانه، در نهایت عملکرد دانه را در مرحله رسیدگی کامل تعیین می‌کند (Sangtarash, 2010). طولانی بودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبداء به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد. نظر بر این است که تعداد و وزن دانه در این دوره رشدی تنظیم می‌شوند و تغییر در توانایی جذب آب در طول گرده‌افشانی یا مدت کوتاهی بعد از مرحله گرده‌افشانی، می‌تواند تأثیر عمده در عملکرد گندم داشته باشد (Hammer *et al*., 2008). گزارش شد که در اثر شوری تعداد کل سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Rayca *et al*., 1994).

یکی از راه کارهای مناسب برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش شوری، استفاده از قارچ‌های مایکوریزا است (Seyed sharifi & Namvar, 2015). این قارچ‌ها با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی از جمله بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه، حفظ نسبت پتاسیم به سدیم، تولید هورمون‌های محرک رشد ریشه و گیاه، از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب توسط گسترش ریسه‌های خود در خاک و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد (Dodd & Perez-Alfocea, 2012)، القای تغییرات بیوشیمیایی (تجمع پرولین، کربوهیدرات‌ها و آنتی اکسیدان) و فیزیولوژیکی (کارایی فتوسنتزی، نفوذپذیری نسبی و تجمع آبسیزیک اسید) موجب بهبود

تحمل گیاه میزبان در مواجهه با تنش شوری می‌گردند (Abdel-Fattah & Asrar, 2012).

یکی دیگر از اثرات ناشی از محدودیت آبی بر هم زدن تعادل تغذیه ای گیاه به خصوص در مورد عناصر ریز مغذی است. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم مصرف از طریق محلول پاشی، می توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. در این راستا انتظار می رود کاربرد نانو ذرات به دلیل سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات بسیار بیشتر از فرم معمول باشد (Cakmak, 2008). برتری ذرات نانو را به حلالیت بیشتر، سبک و کوچک بودن و شانس برخورد بیشتر این ذرات با گیاه نسبت داده شد (Tamaskoni & Salehi 2008). در بین عناصر کم مصرف، Zn بر حساسیت گیاهان از طریق تنش‌های خشکی و شوری تأثیر می‌گذارد (Sharma *et al*., 2009). بسیاری از محققان اظهار داشتند که نقش اصلی روی در رشد گیاه شامل مکانیسم‌های فتوسنتز، جذب نیتروژن، تنفس و سایر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی است که می‌تواند منجر به تولید عملکردهای بالا در گیاهان شود (Zozi *et al*., 2012). افزایش غلظت روی موجب تجمع بیشتر ماده خشک در گیاهان می‌گردد (Karaman *et al*., 1999). مصرف روی موجب افزایش معنی داری در عملکرد دانه و اجزا آن از جمله تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می شود (Yilmaz *et al*., 1997). روی در افزایش انتقال ماده خشک به دانه و افزایش وزن دانه موثر است (Devarajan & Palaniappan 1995). به دلیل اهمیت کودهای بیولوژیک و نانو اکسید روی در بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش شوری و کمی بررسی‌های انجام شده در خصوص بر هم کنش توام این عوامل موجب گردید تا تأثیر این عوامل بر عملکرد و مولفه‌های مربوط به رشد دانه گندم در شرایط تنش شوری مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار با استفاده از نمک NaCl)، کاربرد مایکوریزا در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد میکوریزا از نوع *Glomus mosseae*) و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در سه سطح (عدم مصرف، مصرف ۰/۴ و ۰/۸ گرم در لیتر) بودند. قارچ میکوریزا استفاده شده از شرکت زیست فناوران توران تهیه گردید که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جداشده ریشه های آلوده بود. مقدار قارچ مورد استفاده ۲۰گرم در هر متر مربع خاک بود و تلقیح با قارچ میکوریزا به روش استاندارد و توصیه شده Gianinazzi و همکاران (۲۰۰۱) انجام شد. بذر گندم رقم بهاره آتیلا ۴ بود و از موسسه تحقیقات نهال و بذر کرج تهیه شد. نانو اکسید روی با میانگین اندازه ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر و سطح ویژه ذرات بالاتر از ۳۰ متر مربع در هر گرم بود. شوری در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله اول در ۶-۴ برگی و مرحله دوم دو هفته بعد از اعمال

شوری اول) اعمال گردید. اعمال شوری با استفاده از نرم افزار Salt Calc انجام گردید (Hagh Bahari & Seyed Sharifi, 2014). در این نرم افزار به اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع خاک نیاز است که با وارد نمودن داده های حاصل از اندازه گیری این دو پارامتر، مقدار گرم نمک لازم بر حسب میلی گرم در هر گرم خاک محاسبه می شود. در ضمن برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیر گلدانی قرار داده شده بود تا بعد از سه تا چهار نوبت آبیاری نمک های احتمالی وارد شده به زیر گلدانی دوباره در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در دو مرحله از دوره رشد رویشی (بعد از اعمال شوری اول و مرحله قبل از چکمه زنی یا آبستنی) انجام شد. به دلیل حلال نبودن نانو اکسید روی در آب، ابتدا در آب دی یونیزه به صورت معلق در آمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلو هرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول گردید (Prasad *et al*., 2012). خاک هر گلدان حاوی یک قسمت ماسه بادی، دو قسمت خاک معمولی و یک قسمت کود دامی بود. پس از تهیه خاک یکدست، ۲۵ کیلوگرم خاک به هر گلدان (با قطر ۳۵ سانتی متر و عمق ۵۰ سانتی متری) تا ارتفاع ۴۰ سانتی متری اضافه شد و به این ترتیب حجم یکسانی از خاک درون گلدان ها ریخته شد. ۴۰ عدد بذر در هر گلدان برای اعمال تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است، کشت شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. در طول دوره رشد کنترل علف های هرز به صورت دستی انجام شد. گلدان ها در شرایط گلخانه ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد با طول دوره روشنایی۱۶-۱۵ ساعت در طول دوره زایشی (با استفاده از ترکیبی از لامپ های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی۷±۶۵ درصد نگهداری شدند.

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر سرعت پر شدن دانه، نمونه برداری از ۱۳ روز بعد از گلدهی در فواصل زمانی هر سه روز یک بار و به تعداد هشت مرحله نمونه برداری انجام شد. هر بار دو خوشه از هر گلدان انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه دانه ها از خوشه جدا شده و به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد گردید (Ronanini *et al*., 2004). به منظور تجزیه و تحلیل پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه ای) به کمک رویه DUD و برنامه Proc NLIN نرم افزار SAS بر اساس رابطه ۱ استفاده گردید.

رابطه (۱)

که در آن GW وزن دانه،t زمان وb سرعت

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases}$$

پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند:

مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می دهد (Ellis & Pieta-Filho, 1992). با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پرشدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه فوق قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه گردید. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه ۲ و به صورت زیر استفاده شد (Ellis & Pieta-Filho, 1992):

رابطه (۲) $EFP=MGW/GFR$

در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است. برای بررسی شاخص های رشدی هر ده روز یک بار نمونه برداری به روش تخریبی صورت گرفت. هر بار دو بوته از هر گلدان انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۷۲ ساعت و یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) در آون الکتریکی تهویه دار در دمای ۵±۷۰ درجه سانتی گراد خشک شده و با ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم گرم توزین شدند. سپس وزن خشک کل با استفاده از روابط ۳ و به شرح زیر برآورد شد.

رابطه (۳) $TDM= e^{(a + bt + ct2 + dt3)}$

در این رابطه t زمان بین مراحل نمونه برداری و a، b، c و d ضرایب معادله هستند. ضریب تبیین بالا و معنی دار و توزیع مناسب نقاط واقعی در اطراف منحنی و منطقی بودن روند تغییرات از نظر فیزیولوژیک دلیل اصلی انتخاب صحیح این معادلات برای کلیه تیمارهای مورد بررسی بود.

برای تعیین وزن صد دانه، چهار توده بذری ۲۵ تایی وزن گردید و میانگین آن ها با ضرب در عدد چهار، به عنوان وزن صد دانه یادداشت گردید. در زمان رسیدگی به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، ۱۰ بوته از هر گلدان از سطح خاک کف بر شد و ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد تک بوته در بوته های انتخابی اندازه گیری و میانگین داده های حاصل از آن ها به عنوان ارزش آن صفت در جدول تجزیه واریانس منظور گردید. در پایان دوره رشد، پس از خارج سازی ریشه‌ها از خاک، ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱گرم توزین شد. برای تجزیه داده ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS و Excel و برای مقایسه میانگین ها از آزمون LSD استفاده شد.

نتایج و بحث

طول سنبله و تعداد دانه در سنبله: این صفات تحت تأثیر اثر اصلی مایکوریزا، نانو اکسید روی و شوری خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی هر یک از فاکتورهای مورد بررسی نشان داد بیشترین طول سنبله در تیمارهای عدم اعمال شوری (۴/۸۹ سانتیمتر)، کاربرد میکوریز (۶/۲۰ سانتیمتر) و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر

نانو اکسید روی (۶/۶۲ سانتیمتر) به دست آمد (جدول ۲). با افزایش سطوح شوری، طول سنبله کاهش یافت. به نظر می‌رسد تنش اعمال شده از یک سو موجب تسریع در گلدهی و کاهش طول دوره گلدهی شده و از سوی دیگر موجب رشد رویشی کمتر و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی کمتر می‌گردد که تحت این شرایط، گیاه بقا خود را با هزینه کاهش تعداد دانه در سنبله که در نهایت به کاهش طول سنبله می‌انجامد تضمین می‌کند. با توجه به اینکه سنبله‌های بلندتر دارای تعداد دانه بیشتری هستند، از این رو طول سنبله به‌طور غیر مستقیم در عملکرد دانه نقش مهمی دارد. نتایج مشابهی در تعداد دانه در سنبله به دست آمد. به نظر می‌رسد کاربرد مایکوریزا علاوه بر تولید هورمون‌های محرک رشد با افزایش وزن ریشه‌ای (جدول ۲) موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله و در نتیجه طول سنبله شده است. محققان نشان دادند که بهبود عملکرد دانه در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا ممکن است ناشی از تأثیر مثبت قارچ‌های مایکوریزا بر قابلیت دسترسی بهتر مواد غذایی برای گیاه به واسطه گسترش ریشه ها باشد (Khalvati *et al*., 2005). با تأمین عنصر روی همراه با سایر عناصر مورد نیاز گندم، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه افزایش می یابد(Zozi *et al*., 2012). نتایج تحقیقات Hemantaranjan و Grag (۱۹۸۸) نشان دادند که مصرف آهن و روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در متر مربع و طول خوشه شد و اظهار داشتند که این عناصر به دلیل افزایش مقدار کل کربوهیدرات، مقادیر نشاسته و پروتئین دانه موجب افزایش اجزای عملکرد و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه می شوند.

وزن صد دانه: این صفت تحت تاثیر اثر اصلی نانواکسید روی، سطوح شوری، قارچ میکوریز در سطح احتمال یک درصد و اثر ترکیب تیماری (اثر متقابل) هر یک از سه فاکتور مورد بررسی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری این سه عامل نشان داد که بیشترین وزن صد دانه (۴/۵۵ گرم) در عدم اعمال شوری، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کمترین آن (۳/۳۵ عدد) در شوری ۸۰ میلی‌مولار، عدم کاربرد مایکوریزا و عدم محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد بخشی از تغییرات وزن صد دانه با تأثیر فاکتورهای مورد بررسی بر مولفه‌های پر شدن مرتبط باشد، طوری که در این آزمایش بررسی سرعت، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه نشان داد که بیشترین طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه در شرایط عدم اعمال شوری، کاربرد مایکوریزا و نانو اکسید روی به‌دست آمد همان ترکیب تیماری که بیشترین وزن صد دانه را نیز به خود اختصاص داد. اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه که نتیجه تجمع املاح مضر در گیاه و همچنین بر هم خوردن تعادل یونی می‌باشد، ممکن است مهمترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط تنش باشد. به نظر می‌رسد در شرایط عدم اعمال شوری و کاربرد مایکوریزا افزایش عرضه عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی به خصوص در مرحله پر شدن دانه،

موجب بهبود میزان مواد ذخیره شده در دانه و همین امر منجر به افزایش وزن هزار دانه شده است. به دلیل افزایش مقدار کل کربوهیدرات، نشاسته و پروتئین دانه‌ی بواسطه مصرف روی در ذرت وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله و در نتیجه عملکرد دانه افزایش یافت (1984 Marschner). قارچ مایکوریزا ممکن است با فراهم آوردن نیتروژن کافی برای گیاه میزبان در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد موثر باشد(Sanchez-Blanco *et al*., 2004).

وزن ریشه: این صفت تحت اثر اصلی هر یک از فاکتورهای مورد بررسی در آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۱)**.** مقایسه میانگین ها نشان داد بیشترین وزن خشک ریشه در عدم اعمال شوری (۰/۳۰ گرم)، کاربرد میکوریز (۰/۳۰ گرم) و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی (۰/۳۳ گرم) به دست آمد (جدول ۲). کمترین وزن خشک ریشه به ترتیب در شوری ۸۰ میلی‌مولار (۰/۲۴ گرم)، عدم کاربرد مایکوریز (۰/۲۲ گرم) و عدم محلول‌پاشی (۰/۲۲ گرم) به‌دست آمد (جدول ۲). جذب آب در گندم با افزایش شوری به دلیل کاهش در قابلیت تراوایی ریشه که توسط هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه بیان می‌شود، به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Pessarakli, 1991). Hagh Bahari و Seyed Sharifi (2015) گزارش کردند که کاهش رشد ریشه با افزایش سطوح شوری تا ۶۰ میلی‌مولار ممکن است با بهم خوردن توازن یونی در ریزوسفر و همچنین درون ریشه مرتبط باشد که موجب می‌شود فرایند جذب آب، بزرگ شدن سلول و در نتیجه رشد سلول‌ها کند شود. (Panwar 1991) در گندم تلقیح شده با میکوریزا و باکتری آزوسپیریلیوم افزایش رشد ریشه را گزارش کردند، (Feng *et al*., 2002) در بررسی تأثیر کودهای زیستی بر میزان تحمل به خشکی گیاه ذرت، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجه همزیستی با میکوریز (جنس گلوموس) افزایش یافت. آن‌ها این موضوع را به افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول و مقدار الکترولیت در ریشه‌ها و ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی نسبت دادند. قارچ‌های مایکوریزا در تعامل با ریشه‌های گیاهان و جمعیت میکروبی خاص، توانایی افزایش رشد ریشه و حاصلخیزی گیاه را در شرایط تنش دارند (Abdel-Fattah & Asrar, 2012).

حداکثر وزن دانه و سرعت پر شدن دانه: این صفات تحت تاثیر اثر اصلی نانواکسید روی، سطوح شوری، قارچ میکوریز و اثر متقابل هر یک از سه فاکتور مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین وزن (۰/۰۶۰۶ گرم) و سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۲۲ گرم در روز) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری، کاربرد میکوریز و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کمترین این صفات به ترتیب (۰/۰۲۵۲ گرم و ۰/۰۰۱۱ گرم در روز) در بالاترین سطح شوری، عدم کاربرد مایکوریزا و عدم محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۳). اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها

به دانه که نتیجه تجمع املاح مضر در گیاه و همچنین بر هم خوردن تعادل یونی می‌باشد، ممکن است مهمترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط تنش باشد. همچنین وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پرشدن دانه است، بنابراین تنش‌های محیطی که موجب کوتاه کردن دوره پر شدن دانه شوند به طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند. Devarajan و Palaniappan (۱۹۹۵) اظهار داشتند که دانه‌های با وزن بالاتر، از سرعت پر شدن بالاتری نسبت به دانه‌های با وزن کمتر برخوردار می باشند و به نظر می‌رسد بالا بودن سرعت پر شدن دانه در شرایط عدم اعمال شوری و کودهای زیستی می تواند توجیه کننده بخشی از افزایش وزن دانه و به تبع از آن عملکرد دانه باشد. به نظر می رسد قارچ میکوریز با تولید هورمون های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم ساخته اند. نتایج مطالعات (Tsuno *et al*., 1994) نشان داد که مصرف کود در طول دوره‌ی رشد به ویژه دوره‌ی پر شدن دانه موجب بالا نگه داشتن میزان کلروفیل برگ‌های بالایی و تأخیر در پیری برگ می گردد و این امر موجب افزایش میزان مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام‌های فتوسنتز کننده و افزایش وزن دانه می‌گردد. دانه‌های با وزن بالاتر، از سرعت پر شدن بالاتری نسبت به دانه های با وزن کمتر برخوردار می باشند و به نظر می رسد بالا بودن سرعت پر شدن دانه در شرایط عدم اعمال شوری، کاربرد میکوریز و محلول‌پاشی نانو اکسید روی می تواند توجیه کننده بخشی از افزایش وزن دانه و به تبع از آن عملکرد دانه باشد (Valarmathi & Kumari 1998).

طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه: روند پر شدن دانه در تیمارهای مورد مطالعه از الگوی تقریباً مشابهی برخوردار بود. بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه در تیمارهای مختلف به صورت خطی افزایش یافت و به میزان حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به صورت خط افقی در آمد (شکل ۱). در ابتدای مراحل پر شدن دانه بین تیمارهای مختلف اختلاف چندانی از نظر وزن خشک دانه وجود نداشت ولی با گذشت زمان از آغاز پر شدن دانه اختلاف در وزن خشک دانه بین تیمارها افزایش یافت (شکل ۱). بیشترین طول دوره (۲۸/۵۵ روز) و دوره موثر پر شدن دانه (۲۸ روز) در ترکیب تیماری حاصل از عدم اعمال شوری، کاربرد میکوریز و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کمترین طول دوره (۲۴ روز) و دوره موثر پر شدن دانه (۲۲/۹ روز) در ترکیب تیماری ۸۰ میلی‌مولار شوری، عدم کاربرد مایکوریزا و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۳).

دوره پر شدن دانه نسبت به سرعت پرشدن دانه بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Royo *et al*., 2000). (Syverud *et al*., 2012) نشان دادند که محلول‌پاشی عناصر غذایی در طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش طول دوره موثر پر شدن دانه، عملکرد و درصد پروتئین دانه سویا شد. برخی محققان بیان کرده‌اند که استفاده از مواد

تحریک کننده‌ی رشد گیاه در مرحله زایشی، از طریق تولید و ترشح برخی هورمون‌های گیاهی و نیز تغییر در نسبت آن‌ها در گیاه، بر انتقال و توزیع مجدد فرآورده‌های فتوسنتزی در داخل گیاه تأثیر می‌گذارند به عبارت دیگر، این مواد در انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و سرعت پر شدن دانه‌ها در گیاه، تأثیر مثبت بیشتری داشته‌اند (Murkovic *et al*., 1996). هر عاملی از جمله انواع تنش های محیطی که این دوره را کوتاه تر کند موجب کاهش تعداد سلول های اندوسپرم و در نتیجه موجب کاهش وزن دانه می شود (Quarrie, 1997). سرعت و دوره پر شدن دانه در تعیین وزن دانه و عملکرد گندم در طول دوره رشد خطی اهمیت زیادی دارد (Grieve & Brule-Bable, 1994). تنش‌های محیطی از جمله شوری با کاهش طول دوره پر شدن دانه، به طور معنی داری وزن نهایی دانه را کاهش می‌دهند (Mass & Grieve, 1990). نتایج نشان داد که کاربرد توأم میکوریز و محلول‌پاشی با ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی در شرایط عدم اعمال شوری، بیشترین تأثیر را بر روی سرعت و طول دوره پر شدن دانه داشت. در این راستا (Baniabbass *et al*., 2012) اظهار داشتند که به دلیل نقش اساسی عنصر روی در ساختمان فسفو اینول پیروات کربوکسیلاز و اهمیتی که این عنصر در سنتز مستقیم مواد رشدی مانند اکسین دارد، موجب می‌شود که در حضور عنصر روی، توان فتوسنتزی و در نتیجه میزان کربوهیدرات های گیاه افزایش یافته و مواد خشک بیشتری تولید و در دانه به عنوان مخزن ذخیره نمایند.

توده زنده کل: روند تغییرات این شاخص نشان داد ۲۲ تا ۲۹ روز پس از کاشت، تجمع ماده خشک با سرعت کمی در کلیه ترکیب‌های تیماری افزایش داشته و پس از آن با سرعت زیادی افزایش و در ۸۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. سپس به دلیل افزایش سن گیاه و پیری برگ ها، مقدار ماده خشک کاهش یافت (شکل ۲). در شرایط عدم اعمال شوری، کاربرد توأم مایکوریزا و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی، میزان تجمع ماده خشک نسبت به سطوح شوری مختلف، عدم کاربرد مایکوریز و عدم محلول‌پاشی نانو اکسید روی روند افزایشی نشان داد. بیش ترین ماده خشک تولیدی به ترکیب تیماری عدم اعمال شوری، کاربرد مایکوریز و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کم ترین آن در ۸۰ روز پس از سبز شدن به ترکیب تیماری ۸۰ میلی‌مولار شوری، عدم کاربرد مایکوریزا و عدم محلول‌پاشی (شکل ۲) تعلق داشت. بررسی (Stancheva *et al*., 1992) نشان داد که در گیاه ذرت بر اثر مصرف کودهای بیولوژیکی وزن خشک بوته افزایش یافت. آن‌ها علت را به بهبود دسترسی و جذب بهتر عناصر غذایی گیاه نسبت دادند. به نظر می‌رسد مایکوریزا نیز در شرایط عدم تنش با اثر مثبتی که در جذب روی دارد (Saia *et al*., 2012) و روی با نقشی که در ساخته شدن آنزیم‌های مسئول فتوسنتز، سوخت و ساز دارد موجب بالا بردن بیوماس کل در گیاه شده است.

عملکرد تک بوته: در این بررسی عملکرد دانه تحت تأثیر اثر اصلی تنش شوری، مایکوریزا، محلول‌پاشی نانو اکسیدروی و اثرات ترکیب

تیماری این عوامل قرار گرفت (جدول ۱). افزایش شوری از صفر تا ۸۰ میلی‌مولار موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد، وزن صد دانه، سرعت و طول مدت پرشدن دانه گردید. بیشترین عملکرد تک بوته (۰/۴۵ گرم) به اثر ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کاربرد مایکوریزا در شرایط عدم اعمال شوری و کمترین آن (۰/۳۲ گرم) به عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد مایکوریز در بالاترین سطح شوری مربوط بود (جدول ۳). همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در شرایط تنش شوری، کاربرد مایکوریزا و نانو اکسید روی موجب افزایش وزن ریشه، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله شده است و به نظر می‌رسد همین امر با افزایش جذب مواد غذایی می‌تواند دلیل دیگر افزایش وزن صد دانه، سرعت و طول دوره پر شدن دانه تحت چنین شرایطی باشد. از آنجا که عملکرد دانه تابعی از اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه می باشد، بنابراین افزایش معنی دار تعداد دانه در سنبله و همچنین وزن صد دانه در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری، کاربرد مایکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب افزایش عملکرد دانه شده است. Ben Ghnaya (۲۰۰۷) اظهار داشت سیستم فتوسنتزی و فعالیت آن تحت اثر عنصر روی قرار می گیرد و همزیستی مایکورایزایی به دلیل افزایش پتانسیل جذب ریشه گیاه و یون‌های فلزی مانند روی و آهن موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه در طی پر شدن دانه می‌شوند. رایت و همکاران (Khalvati *et al*., 2005) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت شده توسط گیاهان مایکوریزایی شده به قارچ‌های مایکوریزا تخصیص می یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می کنند.

نتیجه گیری کلی

با افزایش شدت شوری، عملکرد، اجزای عملکرد، وزن ریشه، سرعت و طول دوره پر شدن دانه کاهش یافت. کاربرد مایکوریزا و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در مقایسه با عدم کاربرد آن ها منجر به افزایش عملکرد دانه گردید. طوری که بیشترین عملکرد دانه در حالت کاربرد میکوریز، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده گردید. به نظر می رسد کاربرد توأم نانو اکسید روی و میکوریزا می تواند در بهبود عملکرد و توده زنده کل در شرایط تنش شوری مؤثر واقع شود.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر نانو اکسید روی، مایکوریزا و تنش شوری بر عملکرد و برخی صفات گندم

Table 1. Analysis of variance for the effects of nano zinc oxide, mycorrhiza and salinity stress on yield and some traits of wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS								
		طول سنبله Spike length	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن صد دانه 100-grain weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	عملکرد دانه تک بوته Grain yield per plant
تکرار Replication	2	0.067 ns	13.68 ns	0.055 ns	0.0026**	0.000287**	6.65**	115.3 ns	316.09**	0.036 ns
نانواکسیدروی Nano zinc oxide	2	18.18**	198.46**	0.147**	0.057**	0.000311**	2.754**	5.43**	2.008**	0.166**
شوری Salinity	2	11.98**	163.18**	0.145**	0.018**	0.0000112**	0.063**	0.77**	0.01**	0.163**
قارچMycorrhiza	1	21.71**	104.17**	0.123**	0.042**	.0.000182**	1.02*	8.86**	1.233**	0.107**
شوری×نانو اکسید Nano zinc oxide×Salinity	4	0.2 ns	11.13 ns	0.0254 ns	0.001 ns	0.0000206**	0.096**	1.11*	0.096**	0.028 ns
نانواکسید × قارچ Nano zinc oxide× Mycorrhiza	2	0.04 ns	2.16 ns	0.082 ns	0.0002 ns	0.000048**	3.17**	2.2**	0.35**	0.05 ns
شوری × قارچ Mycorrhiza×Salinity	2	0.069 ns	0.22 ns	0.041 ns	0.0002 ns	0.0000405**	0.61**	0.99**	0.17**	0.034 ns
نانواکسید × قارچ ×شوری Nano zinc oxide ×Salinity× Mycorrhiza	4	0.038 ns	4.56 ns	0.03*	0.0004 ns	0.0000012**	0.059**	0.15*	0.0181*	0.033*
خطا Error	34	0.17	4.74	0.177	0.0005	0.0000005	0.986	0.0048	0.0003	0.02
ضریب تغییرات CV	-	2.79	8.38	2.23	23.8	8.06	7.98	5.31	10.108	2.032

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد. ns, * and **: non-significant and significant at the probability level of 5% and 1%, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات شوری، نانو اکسید روی و مایکوریزا **طول سنبله**، **تعداد دانه در سنبله**، **وزن خشک ریشه** گندم .

Table 2. Mean comparison for the effects of nano zinc oxide, mycorrhiza and salinity stress on spike length, number of grain per spike and root dry weight of wheat

تیمارها Treatments		طول سنبله Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن خشک ریشه Root dry weight(g)
	شوری Salinity			
No salinity	S_0= بدون اعمال شوری (شاهد)	4.98[a]	21.73[a]	0.3[a]
Salinity of 40 mM	S_1= شوری ٤٠ میلی مولار	4.11[b]	17.39[b]	0.27[b]
Salinity of 80 mM	S_2= شوری ٨٠ میلی مولار	3.79[c]	15.83[c]	0.24[C]
	نانو اکسید روی Nano zinc oxide			
No nano zinc oxide application	Zn_0= بدون اعمال نانو اکسید روی (شاهد)	4.61[C]	22.44[b]	0.22[c]
0.4 g.L^{-1} nano zinc oxide	Zn_1= ٠/٤ گرم در لیتر	5.5[b]	23.11[b]	0.26[b]
0.8 g.L^{-1} nano zinc oxide	Zn_2= ٠/٨ گرم در لیتر	6.62[a]	28.5[a]	0.33[a]
	مایکوریزا Mycorrhiza			
ıycorrhizal inoculation	M_0= بدون اعمال مایکوریزا (شاهد)	5.3[b]	23.29[b]	0.22[b]
Mycorrhizal incoculation	M_1= کاربرد مایکوریزا	6.2[a]	26.07[a]	0.3[a]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different at the probability level of 5% according to LSD test.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول پاشی نانواکسید روی و قارچ میکوریز بر عملکرد، وزن صد دانه، حداکثر وزن تک بذر، دوره موثر، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم تحت تنش شوری

Table 3. Mean comparison for the effects of combined treatments of nano zinc oxide and mycorrhiza on grain yield, 100- grain weight, maximum grain weight, effective grain filling period, rate and grain filling period of wheat under salinity stress

ترکیب تیماری Combined treatments	وزن صد دانه (گرم) 100- grain weight(g)	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period (day)	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه Gran filling rate (g.day)	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight(g)	عملکرد (گرم در بوته) Grain yield (g/plant)	معادله برازش شده Estimated equation
$Zn_0 \times S_0 \times M_0$	3.42^{fghi}	26.69^{n}	24.61^{o}	0.0013^{f}	0.0321^{m}	$.034^{bd}$	Y= -0.175+ 0.0016 X
$Zn_1 \times S_0 \times M_0$	3.75^{fghi}	27.72^{hi}	25.75^{fg}	0.0016^{d}	0.0412^{i}	0.36^{cd}	Y= -0.225+ 0.065 X
$Zn_2 \times S_0 \times M_0$	4.43^{bc}	28.25^{gh}	27.75^{m}	0.002^{c}	0.0555^{g}	0.44^{ab}	Y= -0.249+ 0.0020 X
$Zn_0 \times S_1 \times M_0$	3.46^{jk}	25^{j}	23.75^{j}	0.0012^{c}	0.0285^{i}	0.34^{j}	Y= -0.153+ 0.0012 X
$Zn_1 \times S_1 \times M_0$	3.7^{ghij}	26.5^{ef}	24.56^{ghi}	0.0016^{ef}	0.0385^{efg}	0.37^{fghi}	Y= -0.170+ 0.0016 X
$Zn_2 \times S_1 \times M_0$	4.15^{efgh}	27.83^{dc}	25.56^{cd}	0.0019^{e}	0.0485^{e}	0.4^{defg}	Y= -0.172+ 0.0019 X
$Zn_0 \times S_2 \times M_0$	3.2^{defg}	24^{k}	22.9^{j}	0.0011^{hi}	0.0252^{i}	0.27^{cdef}	Y= -0.145+ 0.0011 X
$Zn_1 \times S_2 \times M_0$	3.48^{efgh}	26^{gh}	24^{h}	0.0016^{j}	0.038^{hgi}	0.35^{j}	Y= -0.148+ 0.0015 X
$Zn_2 \times S_2 \times M_0$	4.02^{defg}	27.1^{f}	25^{ef}	0.0017^{ef}	0.0422^{cd}	0.39^{defg}	Y= -0.175+ 0.0016 X
$Zn_0 \times S_0 \times M_1$	3.72^{ghijk}	27.05^{ki}	57.05^{ij}	0.0015^{e}	0.0375^{jk}	0.36^{ab}	Y= -0.183+ 0.0015 X
$Zn_1 \times S_0 \times M_1$	4.06^{efgh}	28^{b}	26.2^{e}	0.0017^{b}	0.0445^{c}	0.4^{bc}	Y= -0.240+ 0.0017 X
$Zn_2 \times S_0 \times M_1$	4.55^{ab}	28.55^{a}	28^{a}	0.0022^{a}	0.0606^{a}	0.45^{a}	Y= -0.256+ 0.0022 X
$Zn_0 \times S_1 \times M_1$	3.6^{ghijk}	26^{fg}	23.21^{ghi}	0.0014^{e}	0.0325^{fgh}	0.35^{fghi}	Y= -0.161+ 0.0014 X
$Zn_1 \times S_1 \times M_0$	3.94^{cdef}	27.4^{e}	25.31^{gh}	0.0016^{f}	0.0405^{ef}	0.38^{cde}	Y= -0.168+ 0.0017 X
$Zn_2 \times S_1 \times M_0$	4.35^{bcd}	28^{c}	26.18^{c}	0.0021^{bc}	0.054^{dc}	0.43^{def}	Y= -0.176+ 0.0021 X
$Zn_0 \times S_2 \times M_0$	3.35^{ijk}	25.7^{g}	23.15^{j}	0.0014^{ghi}	0.0323^{hi}	0.32^{fghij}	Y= -0.146+ 0.0014 X
$Zn_1 \times S_2 \times M_0$	3.8^{hijk}	26.85^{hg}	24.65^{hi}	0.0016^{j}	0.0392^{hgi}	0.35^{ghij}	Y= -0.153+ 0.0016 X
$Zn_1 \times S_2 \times M_0$	4.16^{cde}	27.75^{ef}	25.43^{de}	0.0017^{cd}	0.0438^{bc}	0.41^{cd}	Y= -0.161+ 0.0017 X

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

Means with similar letters in each column are not significantly different

Zn_0، Zn_1 و Zn_2 به ترتیب صفر، ۰/٤ و ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی.

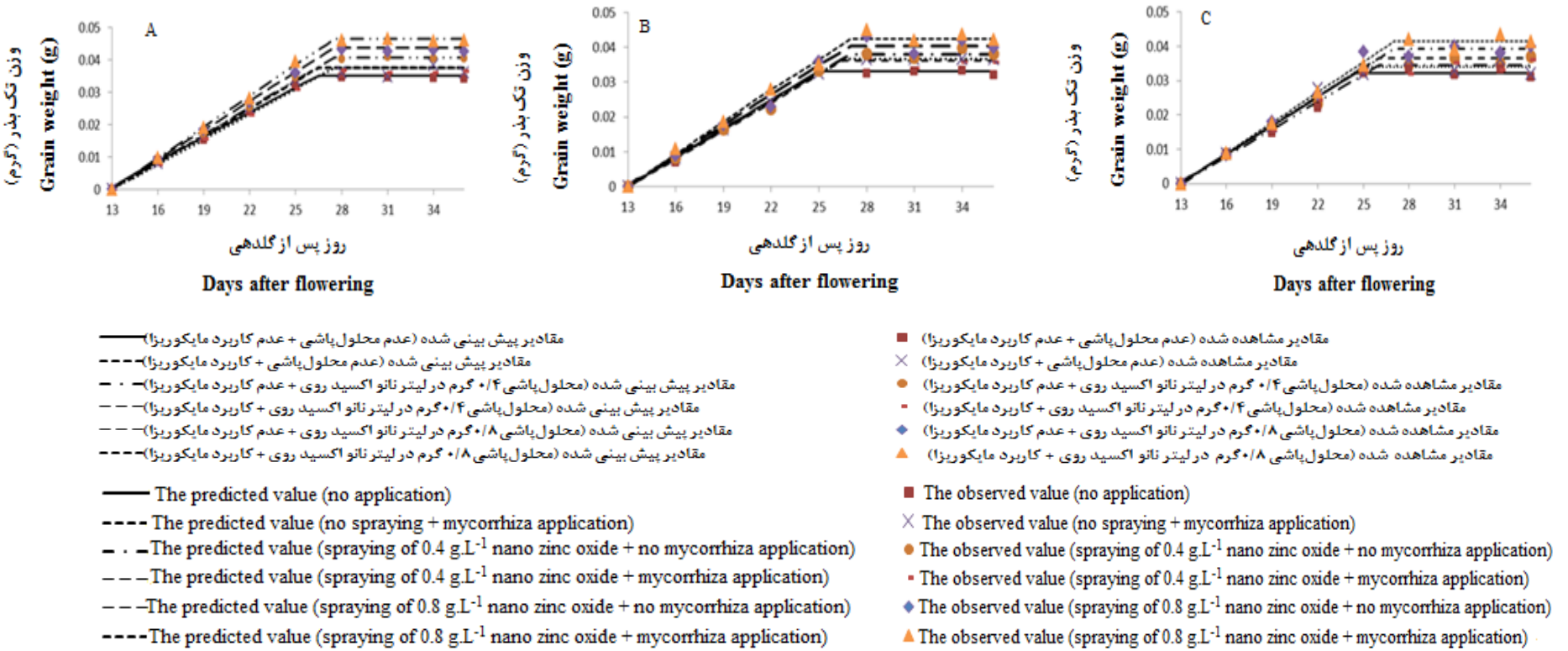
Zn_0, Zn_1 and Zn_2 indicate no nano zinc oxide, application of 0.4 and 0.8 $g.L^{-1}$, respectively.

S_0، S_1 و S_2 به ترتیب عدم شوری، شوری ٤۰ میلی مولار و شوری ۸۰ میلی مولار

S_1, S_0 and S_2 indicate no salinity application, salinity of 40 and 80 mM, respectively.

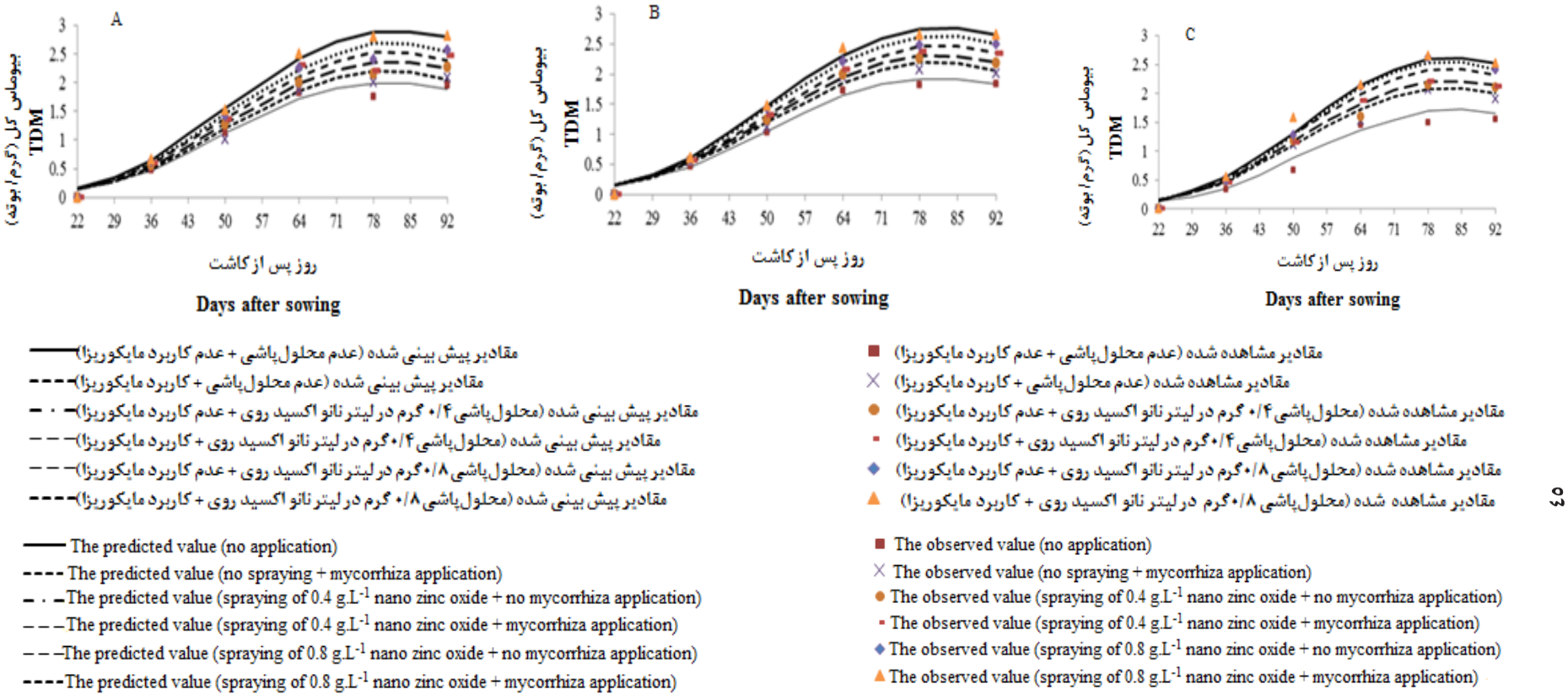
M_0 و M_1 به ترتیب عدم کاربرد مایکوریزا و کاربرد میکوریزا

M_0 and M_1 indicate no mycorrhizal inoculation and mycorrhizal inoculation.



شکل ۱- تغییرات سرعت پر شدن دانه گندم تحت تأثیر نانو اکسید روی و کاربرد مایکوریزا در عدم اعمال شوری (A)، سطح شوری ۴۰ میلی مولار (B) و سطح شوری ۸۰ میلی مولار (C)

Fig 1- Variations in grain filling rate as affected by nano zinc oxide and mycorrhiza treatments with no salinity applicaton (A), salinity of 40 (B) and 80 (C) Mm



شکل۲- تغییرات انباشت ماده خشک در کاربرد نانو اکسید روی و مایکوریزا در عدم اعمال شوری (A)، سطح شوری ۴۰ میلی مولار (B) و سطح شوری ۸۰ میلی مولار (C)

Fig 2- Variations in dry matter accumulation under nano zinc oxide and mycorrhiza treatments with no salinity applicaton (A), salinity of 40 (B) and 80 (C) Mm

References

Abdel-Fattah, G. M. and Asrar, A. A. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil. *Acta Physiologiae Plantarum*, *34*: 267-277.

Abid, M., Qayyum, A., Dasti, A.A. and Abdilwajid, R. 2001. Effect of salinity and SAR of irrigation water on yield, physiological growth parameters of maize and properties of the soil. Journal Research, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan26-33 :*)1 (12* ..

Baniabbass, Z., Zamani, G. and Sayyari, M. 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Biology,* 6: 518-525.

Ben Ghnaya, A. 2007. Morphological and physiological characteristics of rapeseed plants regenerated in vitro from thin cell layers in the presence of zinc. *Plant Biology, 3*:728-734.

Borrás, L., Slafer, G.A. and Otegui, M.E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: A quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, *86*:131-146.

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

Daguid, S. D. and Brule-Bable, A.L. 1994. Rate and duration of grain filling in five spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, *74*:681-686.

Devarajan, R. and Palaniappan, S.D. 1995. Zinc and molybdenum on yield and nutrition of soybean. *Madras Agricultural Journal*, *82*.188-189.

Dodd, I. C. and Perez-Alfocea, F. 2012. Microbial amelioration of crop salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, *63* .3415-3428 :)9(

El-bassiouny, H.S. 2005. Effect of nicotinamide and tryptophan on wheat. *International Journal of Agriculture and Biology, 7)4*653-659:*)*.

Ellis, H. R. and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barely and wheat. *Seed Science*, *2*:19-25.

Feng, G., Zhang, F. S., Li, X. L., Tian, C. Y., Tang, C. and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza. 12*:185-190.

Gianinazzi, S. Schuepp, H. Barea, J.M. and Haselwandter, K. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: Mycorrhiza. 13: 53-54. Lovato, P. Book Review.

Gollagi, S.G., Hiremath, S.M. and Chetti, M.B. 2009. Effects of growth regulator and nutrients on growth parameters and yield in chilli cv. Byadagi Kaddi.

International Journal of Agricultural Sciences, 5 123-125:*)1(*.

Hagh Bahari, M. and Seyed Sharifi, R. 2014. Effects of seed inoculation with growth promoting bacteria (PGPR) on yield, rate and grain filling at various levels of soil salinity. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 61*:65-75. (In Persian with Englisgh Summary).

Hagh Bahari, M. and Seyed Sharifi, R. 2014. Influence of soil salinity and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on sodium and potassium rates, stomatal conductance and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Biology. 1(2)*: 107-122**.** (In Persian with Englisgh Summary).

Hammer, G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Pszkiewicz, S. and Cooper, M. 2009. Can changes in canopy and/or root systemarchitecture explain historical maize yield trends in U.S. Corn Belt? *Crop Science, 49*: 299-312.

Hemantaranjan, A. and Grag, O. K. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum aestiuvm* L. *Journal of Plant Nutrition, 11 6-(* 1439-1450:*)11*.

Karaman, M.R. Brohi, A.R., Inal, A. and Taban, S. 1999. Effect of iron and zinc applications on growth and mineral nutrient concentrations of beans (Phaseolus vulgaris L.) grown in artificial siltation soils. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23*341-348:)2 (.

Khalvati, M.A., Mozafar, A. and Schmidhalter, U. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology. *Stuttgart. 7*:706-712.

Kumar, V, Behl, R.K. and Narula, N. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of Azotobacter chroococcum in rhizosphere and their effect on wheat under greenhouse conditions. *Microbiological Research, 156*: 87-93.

Kumari, S.L. and Valarmathi, G. 1998. Relationship between grain yield grain filling rate and duration of grain filling in rice. *Madras Agricultural Journal, 85*:210-211.

Marschner, H. 1984. Function of mineral nutrients: micronutrients. In: Mineral nutrition of higher plants, Acad Press. NewYork, Pp: pp: 269-300.

Martyniak, L., Dabrowska-Zielnska, K., Szymczyk, R. and Gruszczynska, M. 2007. Validation of satellite-derived soil-vegetation indices for prognosis of spring cereals yield reduction under drought conditions—case study from central-western Poland. *Advances in Space Research*. *39*: 67-72.

Mass, E.V. and Grieve, C.M. 1990. Spike and leaf development in salt stressed

wheat. *Crop Science, 30*:1309-1313.

Murkovic, M., Hillebrand, A., Winker, H. and Pfannhauser, W. 1996. Variability of vitamin E content in pumpkin seeds (Cucurbitapepo L.). Z. Lebensm Unters Forsch. 202:275-278.

Panwar, J.D.S. 1991. Effect of VAM and Azospirillum brasilenseon photosynthesis, nitrogen metabolism and grain yield in wheat. Indian. *Journal of Plant Physiology, 34*:357-361.

Pessarakli, M. 1999. Hand book of plant and crop stress. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.

Prasad, T.N., Sudhakar, P., Sreenivasulu,Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S. and Sajanlal, P. R. 2012. Effect of nanoscale Zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition, 35*: 905-927.

Quarrie, S.A. 1979. Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance and abssisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. *Annals of Botany, 44*:323-332.

Rayca, D., Pall, R. and Johri, B.N. 1994. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rainfed wheat fields.*Soil Biology and Biochemistry, 38*:1111-1120.

Ronanini, D.R., Savin, R. and Hall, A.J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crops Research, 83*:79-90.

Royo, C., Abaza, M., Blanco, R. and Garcı´a del Moral, L. F. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Australian Journal of Plant Physiology, 27*:1051-1059.

Sanchez-Blanco, M. J., Ferrandez, T., Navarro, A., Banon, S. and Alarcon, J. J. 2004. Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of Rosmarinus officinalis plants during and after transplanting. *Journal of Plant Physiology, 161*:1133-1142.

Sadras, V.O. and Egli, D.B. 2008. Seed size variation in grain crops: allometric relationships between rate and duration of seed growth. *Crop Science, 48*:408-416.

Saia, S., Ruisi, P., García-Garrido, J.M., Benítez, E., Amato, G. and Giambalvo, D. 2012. Can arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant nitrogen capture from organic matter added to soil? 17th Nitrogen Workshop. 26-29 June. Wexford, Ireland.

Salehi, M. and Tamaskoni, F. 2008. Effect nanocid at seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. *Seed Science and Technology, 2*:204-209.

Sangtarash, M.H. 2010. Responses of different wheat genotypes to drought stress applied at different growth stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 13*:114-119.

Seyed Sharifi, R. and Namvar, A. 2015. Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardabili press, 282 pp.(In Persian with Englisgh Summary).

Sharma, V., Shukla, R. K., Saxena, N., Parmar, D., Das, M. and Dhawan, A. 2009. DNA damaging potential of zinc oxide nanoparticles in human epidermal cells. *Toxicology Letters. 185*)3211-218:) .

Stancheva, I., Dimitrev, I., Kuloyanova, N., Dimitrova, A. and Anyelove, M. 1992. Effect of inoculation with Azospirillum brasilense, photosynthetic enzyme activities and grain yield in maize. *Agronomy Journal, 12*:319-324.

Stancheva, I., Geneva, M., Zehirov, G., Tsvetkova, G., Hristozkova, M., and Georgiev, G. 2006. Effects of combined inoculation of pea plants with arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium on nodule formation and nitrogen fixing activity. *General and Applied Plant Physiology, 4*:61-66.

Syverud, T.D., Walsh, L. M., Oplinger, E.S. and Kelling, K.A. 1980. Foliar fertilization of soybean (*Glycine max* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 11*:637-651.

Tsuno, Y., Yamaguchi, T. and Nakano, J. 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. *Agronomy Journal, 47*:1-10.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Guttekin, I, Karanlik, S., Baggi, S.A. and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in weat cultivars grown on zinc deficient calcarcous soils. *Journal of Plant Nutrition, 20*:461-471.

Zozi, T., Steiner, F., Fey, R., Castagnara, D.D. and Seidel, E.P. 2012. Response of wheat to foliar application of zinc. Ciência Rural Universidade Federal de Santa Maria, 42784-787 :(5).

The effects of mycorrhizal fungi and nano zinc oxide on yield, dry matter accumulation, grain-filling rate and duration in wheat under soil sa-linity condition

Seyed Sharifi[1*], R. khalilzadeh[2], S. Soltanmoradi[3] .

1. Professor, Faculty of Agricultural Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (Corresponding author)
2. Agronomy Ph.D Student (Crop Physiology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3. M.Sc. graduate (Crop Physiology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: January 2017 Accepted: March 2018

Extended Abstract

Sharifi, S., khalilzadeh, R., Soltanmoradi, S., The effects of mycorrhizal fungi and nano zinc oxide on yield, dry matter accumulation, grain-filling rate and duration in wheat under soil salinity condition **Applied Research in Field Crops Vol 30, No. 2, 2017 Page:7-9:** 31-49(in Persian)

Introduction: Salinity is one of the major environmental stresses that decreases water availability to plant roots through reduced osmotic potential in the soil. The most important response of plants to saline soils or salty irrigation water is a reduction in growth. Salt stress causes disturbance in photosynthetic processes by ionic toxicity and also decreases photosynthetic area by osmotic stress, leading to reduced plant growth period and increased grain-filling rate (Pessarakli, 1999). One of the suitable ways to improve crop yield under salinity is to use mycorrhizal fungi. These fungi employ various mechanisms, such as enhancing plant nutrient and water status or maintaining sodium-potassium ratio, to improve salt tolerance of host plants. Another impact of water scarcity is the disruption of plant nutritional equilibrium, particularly, in relation to micronutrients. A complementary supply of micronutrients through foliar spraying can enhance plant growth under stressful conditions. In this regard, nanoparticles are considered to be superior over other forms due to being light and having high solubility and mobility, which increase their chances of contacting plants (Salehi and Tamaskoni, 2008). The aim of this study was to evaluate the effects of bio-fertilizers and zinc on yield, dry matter accumulation, rate and duration of grain filling in wheat under soil salinity condition.

Email address of the corresponding author: raouf_ssharifi@yahoo.com

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of the Faculty of Agriculture Sciences, University of Mohaghegh Ardabili in 2015. Experimental factors were soil salinity at three levels (no salinity application as control, salinity of 40 and 80 Mm as NaCl) and mycorrhizal inoculation in two levels [no application, application of mycorhizal (*Glomus mosseae*)] and foliar application of nano zinc oxide in three levels (no spraying of nano zinc oxide, application of 0.4 and 0.8 g lit^{-1}). To investigate grain filling parameters in each sampling, two plants in each pot were taken. The first sampling was taken on day 13 after heading, and other samplings were taken in 3-day intervals to determine grain weight. We calculated total duration of grain filling for each treatment combination

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases}$$ odel:

Where GW is the grain dry weight, a– the GW-intercept, b– the slope of grain weight indicating grain filling rate. Effective grain filling period (EGFD) was calculated from the following equation:

EGFD = the highest grain weight (g)/ratio of grain filling (g day^{-1})

Conversely, an increase in kernel weight in filling period was calculated by using the above-cited equation in statistical software *SAS* via Proc NLIN DUD method.

Results and Discussion: The results showed that all the measured traits for wheat were significantly affected by mycorrhiza inoculation, salinity stress and nano zinc oxide application (Table 1). Increasing salinity level from 0 to 80 Mm reduced yield and yield components of wheat plant. The highest yield (0.45 g. per plant) was obtained from combined treatments of foliar spray of zinc nano oxide (0.8 $g.lit^{-1}$) and mycorrhizal inoculation without salinity application. The lowest yield (0.32 g.per plant) was associated with the greatest concentration of salinity where no foliar spraying and no mycorrhiza were applied (Table 3). Likewise, the highest grain weight (0.0606 g) and grain-filling rate (0.0022 g.day) were achieved by combined treatments of no salinity, mychorrhizal inoculation and foliar application of zinc nano oxide (0.8 $g.lit^{-1}$) and the lowest values for these traits (0.0252 g and 0.0011 g.day) were respectively obtained from the highest salinity level with no application of nano zinc oxide and mycorrhiza (Table 3). Simultaneous application of mycorrhiza and nano zinc oxide (0.8 $g.lit^{-1}$) with no salinity treatment resulted in the greatest grain filling period (28.55 days) and the highest effective grain filling period (28 days). Baniabbass (2012) stated that Zn increases plant photosynthetic capacity and consequently leads to increased carbohydrate amount in plants, which in turn, results in greater dry matter production that is stored as reserves in grain. This is attributed to the vital role of zinc in phosphoenolpyruvate carboxylase

structure and also its importance in direct synthesis of growth hormones such as auxin.

Conclusion: Our findings suggest that nano zinc oxide application together with mycorrhiza can improve yield and biomass performance in wheat under salinity stress.

Keywords: Bio-fertilizers, total biomass, mycorrhiza, microelement, foliar application

References

Baniabbass, Z. Zamani G. and Sayyari M. 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Environmental Biology Vol, 6. pp: 518-525.

Pessarakli, M. 1999. Hand book of plant and crop stress. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York

Salehi, M. and Tamaskoni, F. 2008. Effect nanocid at seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. Seed Science and Technology, Vol, 2. pp:204-209.