

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 - پایبند ۱۱۵ تابستان ۹۶: ۳۱-۴۹

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 بلوک های 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 ۴۰ و ۸۰ میلی مولار با نمک NaCl)، کاربرد مایکوریزا در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد میکوریزا از گونه *Glomus mosseae*) و محلول پاشی با نانو اکسید روی در سه سطح (عدم مصرف، مصرف ۰/۴ و ۰/۸ 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 نانو اکسید روی قرار گرفتند. مقایسه میانگین ها نشان داد بالاترین عملکرد (۰/۴۵ گرم در بوته)، سرعت پر شدن دانه (۰/۰۲۲ گرم در روز)، طول دوره پر شدن (۲۸ روز)، دوره موثر پر شدن دانه (۲۸/۵۵ روز) و حداکثر وزن دانه (۰/۰۶۰۶ گرم) به ترکیب تیماری کاربرد میکوریز، محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و عدم اعمال شوری به دست آمد. اعمال شوری ۸۰ میلی مولار، عملکرد دانه را ۲۱ درصد کاهش داد و محلول پاشی بالاترین سطح نانو اکسید روی و کاربرد مایکوریزا ۶۶ 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 نانو اکسید روی به کار برده شود.

واژه های کلیدی: کودهای زیستی، زیست توده کل، میکوریز، عناصر ریز مغذی، محلول پاشی

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

بستگی دارد (Sadras & Egli, 2008). پر شدن دانه معمولاً ۱۵ روز بعد از گرده افشانی شروع می شود، که اندازه و وزن نهایی دانه، در نهایت عملکرد دانه را در مرحله رسیدگی کامل تعیین می کند (Sangtarash, 2010). طولانی بودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبداء به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می سازد. نظر بر این است که تعداد و وزن دانه در این دوره رشدی تنظیم می شوند و تغییر در توانایی جذب آب در طول گرده افشانی یا مدت کوتاهی بعد از مرحله گرده افشانی، می تواند 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 می یابد (Rayca *et al.*, 1994).

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

شوری یکی از مهم ترین تنش های محیطی است که با کاهش پتانسیل اسمزی و کاهش میزان دسترسی ریشه به آب موجب می شود که گیاهان با تنش خشکی نیز مواجه شوند (El-bassiouny, 2005). مهم ترین 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 می یابد، 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 می شود (Pessaraki, 1999). یکی از راه های ارزیابی عملکرد، بررسی شاخص های فیزیولوژیک موثر بر عملکرد و مدیریت مزرعه در جهت بهبود این شاخص ها می باشد. ماده خشک کل در واحد سطح از شاخص های رشدی مهمی است که علاوه بر ژنوتیپ، تحت تأثیر فاکتورهای محیطی و روش های مدیریتی، عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می دهد (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 آن ها

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 روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های 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 مایکوریزا 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 مایکوریزا استفاده شده از شرکت زیست فناوران توران تهیه گردید که مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده بود. مقدار قارچ مورد استفاده ۲۰ گرم در هر متر مربع خاک بود و تلقیح با قارچ مایکوریزا 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

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، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. در این راستا انتظار می‌رود 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 (Zozl 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 می‌شود (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

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 روشنائی ۱۶-۱۵ ساعت در طول دوره زایشی (با استفاده از ترکیبی از لامپ های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی 65 ± 7 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 و b 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 می کند:

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. محلول پاشی 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

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 ریشه ها از خاک، ریشه ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم 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 محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر

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 داده ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن 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):

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{EFP} = \text{MGW} / \text{GFR}$$

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 5 ± 70 درجه سانتی گراد خشک شده و با ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم توزین شدند. سپس وزن خشک کل با استفاده از روابط ۳ و به شرح زیر برآورد شد.

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{TDM} = e^{(a + bt + ct^2 + dt^3)}$$

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

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 نانو اکسید روی، سطوح شوری، قارچ میکوریزا 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 محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کمترین آن (۳/۳۵ عدد) در شوری ۸۰ میلی مولار، عدم کاربرد مایکوریزا و عدم محلول پاشی به دست آمد (جدول ۳). به نظر می رسد بخشی از تغییرات وزن صد دانه با تاثیر فاکتورهای مورد بررسی بر مولفه های 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 به دست آمد همان ترکیب تیماری که بیشترین وزن صد دانه را نیز به خود اختصاص داد. اختلال در انتقال کربوهیدرات ها به دانه که نتیجه تجمع املاح مضر در گیاه و همچنین بر هم خوردن تعادل یونی می باشد، ممکن است مهمترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط تنش باشد. به نظر می رسد در شرایط عدم اعمال شوری و کاربرد مایکوریزا افزایش عرضه عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی به خصوص در مرحله پر شدن دانه،

نانو اکسید روی (۶/۶۲ سانتیمتر) به دست آمد (جدول ۲). با افزایش سطوح شوری، طول سنبله کاهش یافت. به نظر می رسد 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 می گردد که تحت این شرایط، گیاه بقا خود را با هزینه کاهش تعداد دانه در سنبله که در نهایت به کاهش طول سنبله می انجامد تضمین می کند. با توجه به اینکه سنبله های بلندتر دارای تعداد دانه بیشتری هستند، از این رو طول سنبله به طور غیر مستقیم در عملکرد دانه نقش مهمی دارد. نتایج مشابهی در تعداد دانه در سنبله به دست آمد. به نظر می رسد کاربرد مایکوریزا علاوه بر تولید هورمون های محرک رشد با افزایش وزن ریشه های (جدول ۲) موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام های 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 تاثیر مثبت قارچ های 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 (Zozani *et al.*, 2012). نتایج تحقیقات Hemantaranjan و Grag (۱۹۸۸) نشان دادند که مصرف آهن و روی موجب افزایش معنی دار تعداد خوشه در متر مربع و طول خوشه شد و اظهار داشتند که این عناصر به دلیل

جذب آب، بزرگ شدن سلول و در نتیجه رشد سلول‌ها کند شود. (Panwar 1991) در گندم تلقیح شده با میکوریزا و باکتری آزو اسپیریلیوم 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 میکوریزا 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 تأثیر اثر اصلی نانو اکسید 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 میانگین‌ها 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 میکوریزا و عدم محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۳). اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها

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 میکوریزا 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 میانگین‌ها 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 میکوریز (۰/۲۲ گرم) و عدم محلول‌پاشی (۰/۲۲ گرم) به دست 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 (Pessaraki, 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

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 محلول پاشی 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 میلی مولار شوری، عدم کاربرد مایکوریزا و عدم محلول پاشی به دست آمد (جدول ۳).

دوره پر شدن دانه نسبت به سرعت پر شدن دانه بیشتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می گیرد (Royo *et al.*, 2000). (Syverud *et al.*, 2012) نشان دادند که محلول پاشی 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 کرده اند که استفاده از مواد

به دانه که نتیجه تجمع املاح مضر در گیاه و همچنین بر هم خوردن تعادل یونی می باشد، ممکن است مهمترین دلیل کاهش وزن دانه در شرایط تنش باشد. همچنین وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پر شدن دانه است، بنابراین تنش های محیطی که موجب کوتاه کردن دوره پر شدن دانه شوند به طور معنی داری وزن دانه را کاهش می دهند. Devarajan و Palaniappan (۱۹۹۵) اظهار داشتند که دانه های 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 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 (Tsunno *et al.*, 1994) نشان داد که مصرف کود در طول دوره ی رشد به ویژه دوره ی پر شدن دانه موجب بالا نگه داشتن میزان کلروفیل برگ های بالایی و تأخیر در پیری برگ می گردد و این امر موجب افزایش میزان مواد فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز در اندام های فتوسنتز کننده و افزایش وزن دانه می گردد. دانه های 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 محلول پاشی نانو اکسید روی می تواند توجیه کننده بخشی

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 برگ‌ها، 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 مایکوریزا و عدم محلول‌پاشی نانو اکسید روی روند افزایشی نشان داد. بیش‌ترین ماده خشک تولیدی به ترکیب تیماری عدم اعمال شوری، کاربرد مایکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کم‌ترین 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 اکسید روی و اثرات ترکیب

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 تنش‌های محیطی که این دوره را کوتاه تر کند موجب کاهش تعداد سلول‌های اندوسپرم و در نتیجه موجب کاهش وزن دانه می‌شود *(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 مایکوریزا 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 پیرووات 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 کربوهیدرات‌های گیاه افزایش یافته و مواد خشک بیشتری تولید و در دانه به عنوان مخزن ذخیره نمایند.

توده زنده کل: روند تغییرات این شاخص

اضافی تثبیت شده توسط گیاهان مایکوریزایی شده به قارچ های مایکوریزا تخصیص می یابد و این قارچ ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسمیلات ها، 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 محلول پاشی 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، محلول پاشی 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 میکوریز می تواند در بهبود عملکرد و توده زنده کل در شرایط تنش شوری مؤثر واقع شود.

تیماری این عوامل قرار گرفت (جدول ۱). افزایش شوری از صفر تا ۸۰ میلی مولار موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد، وزن صد دانه، سرعت و طول مدت پر شدن دانه گردید. بیشترین عملکرد تک بوته (۰/۴۵ گرم) به اثر ترکیب تیماری محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کاربرد مایکوریزا در شرایط عدم اعمال شوری و کمترین آن (۰/۳۲ گرم) به عدم محلول پاشی و عدم کاربرد مایکوریزا در بالاترین سطح شوری مربوط بود (جدول ۳). همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود 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 می رسد همین امر با افزایش جذب مواد غذایی می تواند 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 محلول پاشی 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 یون های فلزی مانند روی و آهن موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه در طی پر شدن دانه می شوند. رایت و همکاران (Khalvati et al., 2005) اظهار داشتند که کربن

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

منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعیات 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}	
نانو اکسید روی 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 ^{**}	
قارچ مایکوریزا Mycorrhiza	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}	
نانو اکسید × 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}	
نانو اکسید × 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, * 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	بدون اعمال شوری (شاهد) S ₀	4.98 ^a	21.73 ^a	0.3 ^a
Salinity of 40 mM	شوری ۴۰ میلی مولار S ₁	4.11 ^b	17.39 ^b	0.27 ^b
Salinity of 80 mM	شوری ۸۰ میلی مولار S ₂	3.79 ^c	15.83 ^c	0.24 ^c
نانو اکسید روی				
ZnO=بدون اعمال نانو اکسید روی (شاهد)				
No nano zinc oxide application				
0.4 g.L ⁻¹ nano zinc oxide	گرم در لیتر ۰/۴ Zn ₁	4.61 ^c	22.44 ^b	0.22 ^c
0.8 g.L ⁻¹ nano zinc oxide	گرم در لیتر ۰/۸ Zn ₂	5.5 ^b	23.11 ^b	0.26 ^b
مایکوریزا				
Mycorrhiza				
mycorrhizal inoculation	بدون اعمال مایکوریزا (شاهد) M ₀	6.62 ^a	28.5 ^a	0.33 ^a
mycorrhizal inoculation	کاربرد مایکوریزا M ₁	5.3 ^b	23.29 ^b	0.22 ^b
		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 محصول باپاشی نانو اکسید روی و قارچ میکوریزا بر عملکرد، وزن صدانه، حداکثر وزن نکی بذرها، 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

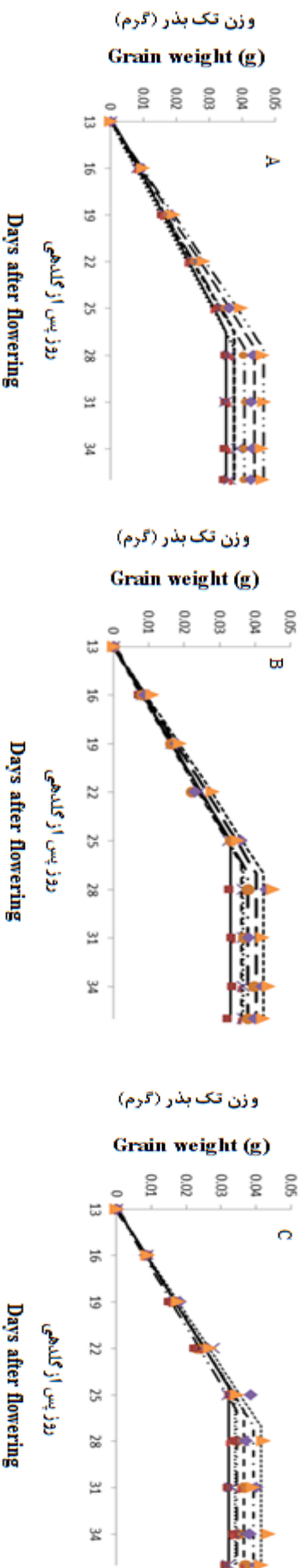
ترکیب تیماری Combined treatments	وزن صدانه (گرم) 100- grain weight(g)	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period (day)	دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (g/day)	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight(g)	عملکرد (گرم در بوته) Grain (g/plant)	معادله برازش شده Estimated equation
Zn ₀ ×S ₀ ×M ₀	3.42 ^{ghi}	26.69 ⁿ	24.61 ^o	0.0013 ^f	0.0321 ^m	0.34 ^{bd}	Y = -0.175 + 0.0016 X
Zn ₁ ×S ₀ ×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 ×S ₀ ×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 ×S ₁ ×M ₀	3.46 ^{ik}	25 ⁱ	23.75 ^j	0.0012 ^e	0.0285 ⁱ	0.34 ⁱ	Y = -0.153 + 0.0012 X
Zn ₁ ×S ₁ ×M ₀	3.7 ^{ghj}	26.5 ^{ef}	24.56 ^{ghi}	0.0016 ^{ef}	0.0385 ^{efg}	0.37 ^{fghi}	Y = -0.170 + 0.0016 X
Zn ₂ ×S ₁ ×M ₀	4.15 ^{efgh}	27.83 ^{de}	25.56 ^{cd}	0.0019 ^e	0.0485 ^e	0.4 ^{defg}	Y = -0.172 + 0.0019 X
Zn ₀ ×S ₂ ×M ₀	3.2 ^{defg}	24 ^k	22.9 ⁱ	0.0011 ^{hi}	0.0252 ⁱ	0.27 ^{cdef}	Y = -0.145 + 0.0011 X
Zn ₁ ×S ₂ ×M ₀	3.48 ^{efgh}	26 ^{gh}	24 ^h	0.0016 ^j	0.038 ^{hgi}	0.35 ⁱ	Y = -0.148 + 0.0015 X
Zn ₂ ×S ₂ ×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 ×S ₀ ×M ₁	3.72 ^{ghijk}	27.05 ^{ki}	57.05 ^{ji}	0.0015 ^e	0.0375 ^{jk}	0.36 ^{ab}	Y = -0.183 + 0.0015 X
Zn ₁ ×S ₀ ×M ₁	4.06 ^{efgh}	28 ^b	26.2 ^e	0.0017 ^b	0.0445 ^e	0.4 ^{bce}	Y = -0.240 + 0.0017 X
Zn ₂ ×S ₀ ×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 ×S ₁ ×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 ×S ₁ ×M ₁	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 ×S ₁ ×M ₁	4.35 ^{bcd}	28 ^e	26.18 ^e	0.0021 ^{bc}	0.054 ^{de}	0.43 ^{def}	Y = -0.176 + 0.0021 X
Zn ₀ ×S ₂ ×M ₁	3.35 ^{fjk}	25.7 ^g	23.15 ^j	0.0014 ^{ghi}	0.0323 ^{hi}	0.32 ^{fghi}	Y = -0.146 + 0.0014 X
Zn ₁ ×S ₂ ×M ₁	3.8 ^{hijk}	26.85 ^{hg}	24.65 ^{hi}	0.0016 ^j	0.0392 ^{hgi}	0.35 ^{fghi}	Y = -0.153 + 0.0016 X
Zn ₁ ×S ₂ ×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

Means with similar letters in each column are not significantly different

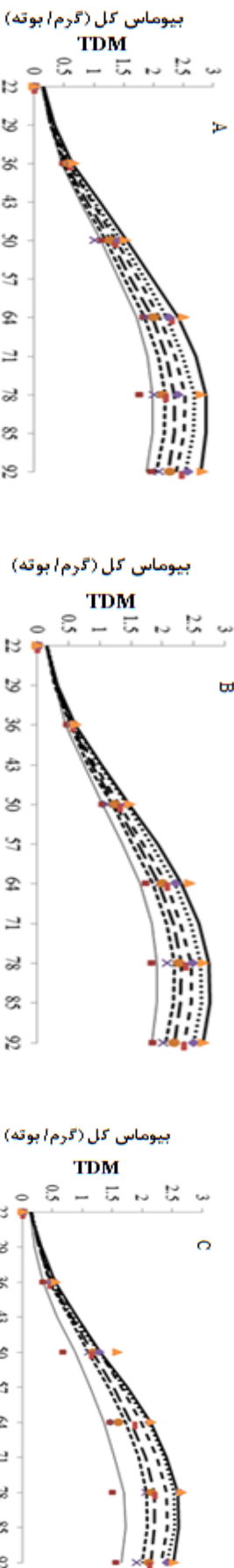
Zn₀, Zn₁ and Zn₂ indicate no nano zinc oxide, application of 0.4 and 0.8 g.L⁻¹, respectively; S₀, S₁ and S₂ indicate no salinity application, salinity of 40 and 80 mM, respectively.

M₀ and M₁ indicate no mycorrhizal inoculation and mycorrhizal inoculation.

M₀ and M₁ 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 کاربرد مایکوریزا در عدم اعمال شوری ۸۰ میلی مولار (C)



- مقداربر پیش بینی شده (عدم محلول پاشی + عدم کاربرد مایکوریزا)
- × مقداربر مشاهده شده (عدم محلول پاشی + کاربرد مایکوریزا)
- مقداربر مشاهده شده (محلول پاشی ۰/۴ گرم در لیتر نانو اکسید روی + عدم کاربرد مایکوریزا)
- مقداربر مشاهده شده (محلول پاشی ۰/۴ گرم در لیتر نانو اکسید روی + کاربرد مایکوریزا)
- ◆ مقداربر مشاهده شده (محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی + عدم کاربرد مایکوریزا)
- ▲ مقداربر مشاهده شده (محلول پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید روی + کاربرد مایکوریزا)
- The predicted value (no application)
- The predicted value (no spraying + mycorrhiza application)
- - - The predicted value (spraying of 0.4 g.L⁻¹ nano zinc oxide + no mycorrhiza application)
- · · The predicted value (spraying of 0.4 g.L⁻¹ nano zinc oxide + mycorrhiza application)
- The predicted value (spraying of 0.8 g.L⁻¹ nano zinc oxide + no mycorrhiza application)
- · · The predicted value (spraying of 0.8 g.L⁻¹ nano zinc oxide + mycorrhiza application)
- The observed value (no application)
- × The observed value (no spraying + mycorrhiza application)
- The observed value (spraying of 0.4 g.L⁻¹ nano zinc oxide + no mycorrhiza application)
- The observed value (spraying of 0.4 g.L⁻¹ nano zinc oxide + mycorrhiza application)
- ◆ The observed value (spraying of 0.8 g.L⁻¹ nano zinc oxide + no mycorrhiza application)
- ▲ The observed value (spraying of 0.8 g.L⁻¹ nano zinc oxide + mycorrhiza application)

شکل ۲- تغییرات انباشت ماده خشک در کاربرد نانو اکسید روی و مایکوریزا در عدم اعمال شوری (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, Pakistan* 26-33 :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)4653-659:).
- Ellis, H. R. and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley 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 English 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 English 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 system architecture 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 aestivum* L. *Journal of Plant Nutrition*, 11 1439-1450;)6-11(.
- 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*, 23341-348;)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 brasilense on photosynthesis, nitrogen metabolism and grain yield in wheat. *Indian Journal of Plant Physiology*, 34:357-361.
- Pessaraki, 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 abscisic 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 annuus 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 English 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)3 211-218:).
- 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 wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous 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*, 42:784-787 :(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 Sharifi¹, R. khalilzadeh², S. Soltanmoradi³ .

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 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.

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 mycorrhizal (*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

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

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.