



بررسی تحمل به خشکی گندم تلقیح یافته با قارچ میکوریزا و برهمکنش آن با نانو - ذرات مس

فاطمه طاهری حصارى^۱، حسین زاهدی^۲، علیرضا عیوضی^۳، یونس شرقی^۴، اکبر علی پور^۴

دریافت: ۹۸/۹/۳ پذیرش: ۹۹/۱/۱۰

چکیده

به منظور بررسی تحمل به خشکی گندم تلقیح یافته با قارچ میکوریزا و برهمکنش آن با نانوذرات مس آزمایش مزرعه‌ای به صورت اسپلیت اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری نرمال و کم آبیاری) و همزیستی قارچی در دو سطح (با استفاده و بدون استفاده) و نانو اکسید مس به صورت محلول پاشی با غلظت‌های (۵۰-۲۵۰-۴۵۰ ppm) بود. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد که رژیم آبیاری، میکوریزا، محلول پاشی و تمام اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورها بر تعداد سنبله در مترمربع، میزان پرولین معنی دار بود. اثر رژیم آبیاری، میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس بر عملکرد دانه مؤثر بود ولی اثر و اثرات متقابل رژیم آبیاری × محلول پاشی، میکوریزا × محلول پاشی و رژیم آبیاری × میکوریزا × محلول پاشی بر این صفت تأثیر معنی داری نداشت. مقایسه میانگین صفات نشان داد که حداکثر تعداد سنبله در مترمربع در تیمار کاربرد قارچ میکوریزا همراه با محلول پاشی ۵۰ ppm مس در آبیاری مطلوب با میزان ۷۸۰ عدد بدست آمد. بیشترین وزن هکتولتر گندم مربوط به تیمار اثر متقابل سه‌جانبه آبیاری معمول با قارچ و محلول پاشی ۴۵۰ ppm مس بود که اختلاف آماری معنی داری با تیمار اثر متقابل سه جانبه آبیاری معمول بدون قارچ و محلول پاشی ۲۵۰ ppm مس نداشت. حداکثر میزان پرولین در تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا همراه با محلول پاشی ۵۰ ppm نانو اکسید مس در کم آبیاری شدید با میزان ۲۳/۸ میلی گرم بر گرم وزن تازه بدست آمد که با سایر تیمارها حداقل در سطح ۵٪ اختلاف آماری معنی داری داشت. بیشترین عملکرد دانه با ۳۰۹/۶۱ گرم در مترمربع به تیمار آبیاری مطلوب تعلق داشت و مینیمم عملکرد دانه در تیمار کم آبیاری شدید مشاهده شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه با ۲۹۶/۷۳ گرم در مترمربع به تیمار کاربرد قارچ میکوریزا تعلق داشت و کمترین عملکرد دانه را تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا به خود اختصاص داد. ماکسیمم عملکرد دانه با ۲۸۷/۳۳ گرم در مترمربع به تیمار محلول پاشی ۲۵۰ ppm نانو اکسید مس تعلق داشت و مینیمم عملکرد دانه را تیمار محلول پاشی ۵۰ ppm نانو اکسید مس به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، رژیم آبیاری، عملکرد دانه، محلول پاشی

ظاهری حصارى، ف.، ح. زاهدی، ع. عیوضی، ی. شرقی و ا. علی پور. ۱۳۹۹. بررسی تحمل به خشکی گندم تلقیح یافته با قارچ میکوریزا و برهمکنش آن با نانوذرات مس. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۳: ۱۴۸-۱۳۶.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه کشاورزی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۲- استادیار گروه کشاورزی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران - مسئول مکاتبات. hzahedi2006@gmail.com

۳- استادیار گروه کشاورزی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۴- استادیار بخش تحقیقات نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ارومیه، ایران

مقدمه

گندم یکی از محصولات استراتژیک جهان است که با ۲۱۷ میلیون هکتار بیشترین سطح زیر کشت را در سراسر جهان به خود اختصاص داده و تولید سالانه گندم در مقیاس جهانی حدود ۶۵۱/۴ میلیون تن و متوسط عملکرد آن ۳ تن در هکتار است (انانی موس، ۲۰۱۵). و بخش بیشتری از کالری مورد نیاز مردم دنیا را تامین می‌کند (احمدی و امام، ۲۰۱۳). گیاهان در دوره رشد و نمو خود با انواع تنش‌های محیطی مواجه می‌شوند که شانس بقای گیاهان را محدود می‌کند (چاکرابرتی و همکاران، ۲۰۱۲). خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید گیاهان زراعی در سرتاسر جهان است (امیدی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین بیشترین مزارع زیر کشت ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته‌است و به دلیل کمبود منابع آب، عملکرد به شدت کاهش می‌یابد. کمبود آب شدید باعث تغییرات فیزیولوژیک، متابولیسمی و مورفولوژیک در گیاه و در نهایت باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (مقصود و همکاران، ۲۰۱۲). با این حال، برخی از مکانیسم‌های حفاظت در گیاه وجود دارد که می‌تواند در پاسخ به تنش خشکی مفید باشد. شناخت ویژگی‌های مرتبط با تحمل به تنش خشکی و بررسی رابطه آن‌ها با عملکرد دانه ضروری است. در واقع باید ویژگی‌هایی که باعث جلوگیری یا کاهش آسیب ناشی از تنش خشکی به گیاه می‌شوند، شناسایی شده و نقش و اثر هر کدام از آن‌ها بر میزان تحمل به تنش خشکی ارزیابی شود (سائینی و همکاران، ۲۰۱۰). یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به وجود آمده‌است، همزیستی میکوریزایی می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود برده و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند (ناصری و همکاران، ۲۰۱۶). قارچ میکوریزا با جذب عناصر غذایی از طریق گسترش سیستم ریشه ای گیاه و کاوش خاک به وسیله هیف‌های خارجی در ریشه‌های مویی و کاهش عناصر غذایی آن ناحیه به جذب عناصر کمک می‌کنند (خسروجردی، ۲۰۱۳). در اکثر نقاط دنیا کمبود عناصر کم-مصرف، علاوه بر آسیب‌های جدی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، موجبات فقر این عناصر در الگوی غذایی انسان را به وجود آورده‌است. در ایران نیز کمبود عناصر کم‌مصرف به شکل بارزی مشاهده می‌شود (جیریایی، ۲۰۱۵). برای حفظ سطح فعلی تولید محصولات کشاورزی، کاربرد کودهای متنوع مرسوم در سطح زیاد و برای مدت طولانی در بخش کشاورزی باعث ایجاد مسائل جدی زیست محیطی در سطح جهان شده‌است (لیو و

لال، ۲۰۱۵). نگرانی مربوط به کودهای مرسوم، ضرورت کاربرد نانوفناوری برای تحقیقات و توسعه کودها را آشکار می‌کند (دیروزا، ۲۰۱۰). استفاده از نانوفناوری در تولید کودها ممکن است موجب افزایش کارایی جذب عناصر غذایی موجود در کود شود که منجر به فواید اقتصادی و زیست محیطی قابل توجهی می‌گردد (لیو و لال، ۲۰۱۵). علاوه بر خواص شیمیایی نانوذرات، دو ویژگی اندازه ذرات و نسبت سطح به حجم بیشتر، ویژگی‌های غیرمنتظره‌ای به نانوذرات بخشیده‌است. هرچه اندازه‌ی ذرات کوچکتر باشد، قدرت آنتی‌باکتریایی آن قوی‌تر است. این ویژگی نانوذرات، کاربردهای مهمی از جمله نقش کاتالیزوری را به نانو-ذرات بخشیده‌است (آزم و همکاران، ۲۰۱۲). قارچ‌های مایکوریزایی می‌توانند با بهبود رشد ریشه و شاخ و برگ، بیوماس و تولید آنتی‌اکسیدانت‌ها تحمل گیاه به خشکی را افزایش دهند (رحیم‌زاده و پیرزاد، ۲۰۱۷). تولید آنتی‌اکسیدانت‌ها، هورمون‌های گیاهی، شبکه گسترده‌ای از سیستم ریشه‌ای و جذب بهتر عناصر غذایی از پروسه‌هایی هستند که می‌توانند تحمل گیاه به خشکی را افزایش داده و گیاه را سازگار به خشکی کنند (عبد-اللطیف و میرانصاری، ۲۰۱۴). هدف از انجام این آزمایش، تاثیر نانو اکسیدمس بر کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی، اثر قارچ در کاهش آسیب تنش خشکی، تاثیر نانوکودها بر فعالیت قارچ، بررسی اثر قارچ بر صفات کمی و کیفی گندم، بررسی اثر نانوکود و برهمکنش نانوکود بر صفات کمی و کیفی گندم، بررسی برهمکنش نانوکود و قارچ بر صفات کمی و کیفی گندم بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در ایستگاه ساعتلو شهرستان ارومیه با موقعیت طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی از استوا و ۱۳۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا انجام گرفت. آزمون خاک (جدول ۱) نیز اندازه‌گیری شد. رقم مورد کشت گندم، رقم آبی حیدری تهیه شده از مرکز تحقیقات بذر میاندوآب، مناسب برای کشت در اقلیم سرد با مشخصات (تیپ رشد متوسط، این رقم دارای پایداری تولید و سازگار با شرایط مختلف آبیاری نرمال و تنش خشکی پایان فصل می‌باشد، پتانسیل تولید بیش از ۱۰ تن در هکتار می‌باشد) انتخاب گردید. بذرها در مهر ماه کاشته‌شد. میزان بذر کشت شده با تراکم ۴۰۰ عدد در یک متر مربع بود. بذور در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۱/۵ متر کشت شدند. قارچ مایکوریزا به صورت بذرمال به همراه بذور کشت شد. قارچ مایکوریزا (مایکوروت) از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان (

گرفت. محلول پاشی تمام کرت‌ها هم زمان انجام بود. کرت‌های اصلی دو سطح آبیاری نرمال و تنش کم آبیاری داشت (آبیاری به وسیله لوله‌گذاری و اندازه‌گیری لیتر با کنتور انجام گرفت). تیمار آبیاری نرمال هر ۱۵ روز و تیمار کم آبیاری هر ۳۰ روز یک بار آبیاری شد. محصول در تیر برداشت شد. از هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای، به مقدار یک مترمربع برداشت شد و توزین و شمارش گردید. بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی، بوته‌های موجود در یک مترمربع در هر کرت توزین شدند، در مرحله بعدی سنبله‌ها از ساقه اصلی جدا شده و تعداد سنبله مشخص گردید. و تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری و میانگین آنها محاسبه شد.

www.bio-zpv.com تهیه شده بود. طرح آزمایشی اسپلیت اسپلیت پلات در بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار، که در آن تیمار آبیاری به عنوان فاکتور A در کرت‌های اصلی، قارچ مایکوریزا به عنوان فاکتور B در کرت‌های فرعی و دو سطح کود نانواکسیدمس به صورت محلول پاشی در سه غلظت (۰، ۵۰، ۲۵۰، ۴۵۰ ppm) در کرت‌های فرعی فرعی بود. کشت به روش پاشش انجام گرفت. محلول پاشی نانوذرات مس (CuO , 99.9%, 40nm, US Research Nano materials, Inc. [Www. Us_namo.com](http://Www.Us_namo.com)) با غلظت‌های (۰/۱، ۰/۵، ۰/۹) گرم بر دو لیتر آب مقطر) به صورت هفته‌ای یک بار، هر بار با غلظت ۰/۱ گرم بر دو لیتر آب دیونیزه شده برای هر کرت انجام

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش از عمق ۰-۳۵ سانتی متر

شوری ds/m	اسیدیته	درصد اشباع	آهک (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	کربن آلی (%)	کل نیتروژن (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
۰/۸	۸	۴۷	۱۶	۴۳	۴۳	۱۶	رسی لومی	۱/۲	۱۲	۱۲	۴۲۵

داده شد. پس از در آوردن نمونه‌ها از حمام آب جوش و خنک شدن آن‌ها، ده میلی‌لیتر بنزن به هر کدام از نمونه‌ها افزوده شد و به شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن گردد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند. استانداردهایی از پرولین در غلظت‌های چهار، هشت، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه گردید و در نهایت میزان جذب محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر PD-303 اندازه‌گیری شد.

وزن هکتولتر

ابتدا نمونه گندم را داخل استوانه مخصوص دستگاه تا خط نشان بالای آن می‌ریزیم. بعد گندم‌های داخل استوانه را وارد قسمت دیگری از دستگاه شامل دو استوانه روی هم که توسط تیغه‌ای مجزا شده‌اند، می‌کنیم: بدین شکل که گندم‌ها را در استوانه بالایی (روی) می‌ریزیم. سپس تیغه را با یک حرکت سریع بیرون می‌کشیم تا گندم‌ها در استوانه پایینی (زیرین) بریزند. این امر سبب می‌شود که فشار بیشتری به گندم‌ها وارد شده و فضای خالی بین دانه‌ها کاهش یافته و کار تعیین وزن حجمی دقیق‌تر باشد. سپس استوانه حاوی گندم را توسط

اندازه‌گیری صفات

پرولین

برای اندازه‌گیری میزان پرولین، ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاهی (برگ‌های توسعه یافته انتهایی در زمان ۸۰ درصد گلدهی) به همراه پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ در داخل هاون چینی کوبیده و له شد. قسمت بالایی محلول حاصله جدا گشته و رسوبات آن دو بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ شسته شده و فاز بالایی آن به قسمت رویی قبلی اضافه گردید. محلول به دست آمده در سانتریفوژ به مدت ده دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید و فاز مایع رویی برداشته شده و عصاره الکلی به دست آمده تا زمان اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول در داخل یخچال (چهار درجه سانتی‌گراد) نگهداری گردید.

برای تعیین غلظت پرولین، یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی تهیه شده را با ده میلی‌لیتر آب مقطر رقیق نموده و پنج میلی‌لیتر معرف نین هیدرین به آن اضافه شد (روش تهیه معرف نین هیدرین به ازای هر نمونه؛ ۰/۱۲۵ گرم نین هیدرین + دو میلی‌لیتر اسید فسفوریک شش مولار + سه میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال). پس از افزودن معرف نین هیدرین، پنج میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده شده و مخلوط حاصله پس از بهم زدن به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار

مترمربع در کم آبیاری و عدم کاربرد قارچ میکوریزا و محلول- پاشی ۰/۱g/l نانو اکسیدمس با ۵۵۰ عدد مشاهده شد. سایر تیمارها بین این دو مقادیر حداقل و حداکثر قرار گرفتند. در آبیاری مطلوب در کاربرد قارچ و محلول پاشی ۰/۱g/l نانو اکسید- مس نسبت به ۰/۵ و ۰/۹ گرم بر لیتر، تعداد سنبله در مترمربع را به ترتیب ۲/۵۶ و ۱/۲۸ درصد افزایش داد (شکل ۱). کاربرد محلول- پاشی نانو اکسیدمس در کاهش اثرات مضر کم آبیاری بسیار- چشمگیر بوده است. همبستگی مثبت و معنی داری بین تعداد سنبله در مترمربع با صفت عملکرد دانه ($r=0.87^{**}$) و شاخص برداشت ($r=0.78^{**}$) مشاهده شد. سایر صفات با میزان پرولین همبستگی نداشتند (جدول ۷). معنی دار بودن اثر تیمار میزان آب آبیاری بر تعداد سنبله در مترمربع، در تحقیقات شهبازپناهی و همکاران (۱۳۹۱) نیز تایید شده است. سعیدی و عبدلی (۲۰۱۵) بیان داشتند که تنش آب به ترتیب باعث کاهش ۳۴ و ۲۷ درصد در عملکرد دانه و وزن هزاردانه شد ولی تأثیر معنی داری بر تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع نداشت که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد. سعیدی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که کاهش قابل توجه در عملکرد دانه به علت تنش آبی ممکن است از کاهش تولید مواد فتوسنتزی (محدودیت منبع)، قدرت مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی مدت زمان پر شدن دانه باشد. آنها همچنین گزارش دادند که تعداد سنبله در مترمربع تحت تأثیر تنش آب قرار می گیرد.

ترازوی مخصوص هکتولتر و با استفاده از وزنه های مخصوص آن توزین می کنیم.

شاخص برداشت

برای این منظور از رابطه زیر استفاده شد.

$$100 \times \text{عملکرد بیولوژیک} / \text{عملکرد اقتصادی} = \text{شاخص برداشت (HI)}$$

عملکرد دانه

بعد از جدا کردن دانه ها از سطح یک متر مربع هر کرت و جدا کردن آنها از کاه و کلش عملکرد آنها توزین گردید.

تجزیه آماری داده ها و نرم افزارهای مورد استفاده

تجزیه داده های حاصل، توسط نرم افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین های هر صفت با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

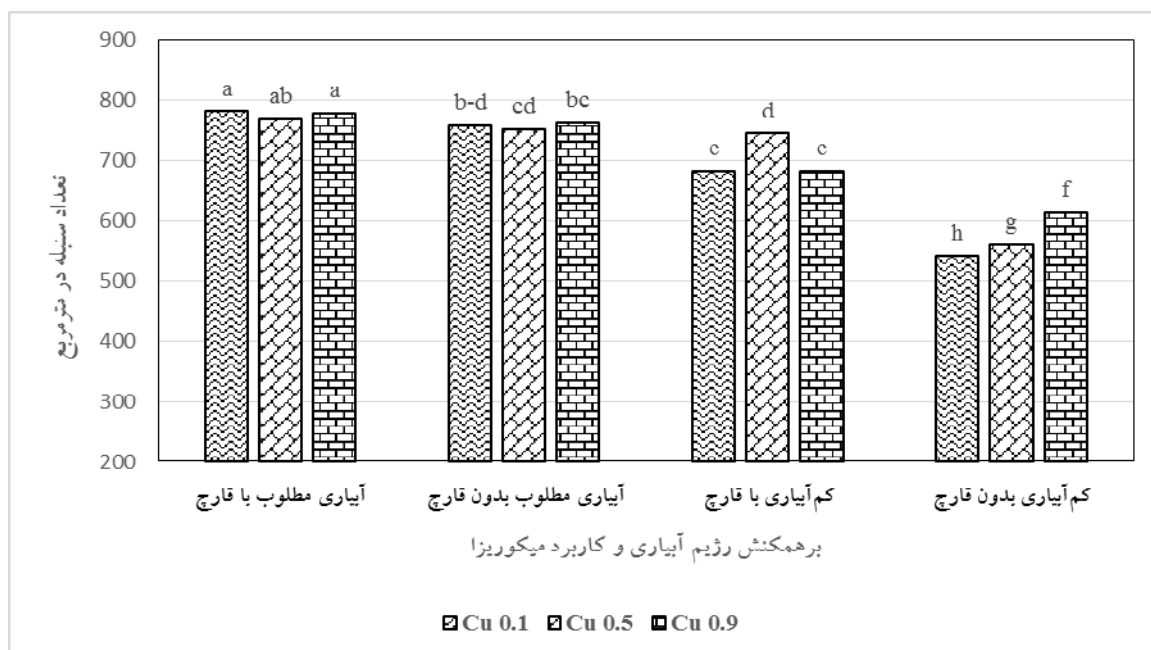
تعداد سنبله در مترمربع

رژیم آبیاری، میکوریزا، محلول پاشی و تمام اثرات متقابل دوگانه و سه گانه فاکتورها بر تعداد سنبله در مترمربع معنی دار بود ($P \geq 0.01$) (جدول ۲). حداکثر تعداد سنبله در مترمربع در تیمار کاربرد قارچ میکوریزا همراه با محلول پاشی ۰/۱g/l مس در آبیاری مطلوب با میزان ۷۸۰ عدد بدست آمد. حداقل تعداد سنبله در

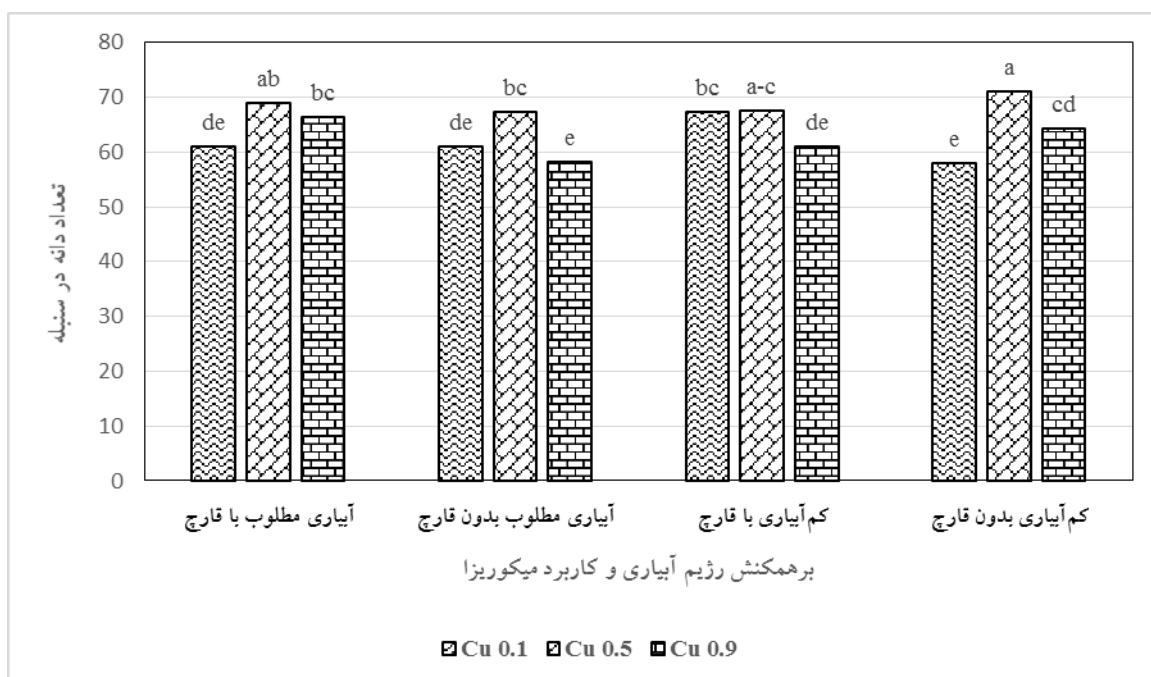
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف گندم تحت تأثیر رژیم های آبیاری، میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییر
وزن هکتولتر	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع		
۱۲/۰۶*	۰/۸۶	۵۶۵/۸۶	۲	تکرار
۱۴/۶۹*	۱۰/۰۳	۱۵۱۱۹۱/۳۶**	۱	رژیم آبیاری
۰/۲۲	۵/۰۳	۳۳۹/۳۶	۲	خطای کرت اصلی
۲۶/۶۹**	۳۸/۰۳	۵۰۸۵۰/۲۵**	۱	میکوریزا
۱۰/۰۳*	۱۲/۲۵	۲۸۷۳۰/۲۵**	۱	رژیم آبیاری * میکوریزا
۰/۵۷	۱۱/۳۹	۲۸/۳۳	۴	خطای کرت فرعی
۱۶/۵۸**	۱۷۴/۶۹**	۱۱۸۵/۳۶**	۲	محلول پاشی
۴/۱۹*	۱/۳۶	۲۰۲۱/۱۹**	۲	رژیم آبیاری * محلول پاشی
۱۲/۸۶**	۲۲/۸۶**	۲۵۸۴/۷۵**	۲	میکوریزا * محلول پاشی
۳/۰۳*	۸۴/۰۸**	۲۵۲۲/۵۸**	۲	رژیم آبیاری * میکوریزا * محلول پاشی
۰/۷۳	۴/۲۹	۸۱/۴۷	۱۶	خطای آزمایشی
۱/۰۳	۳/۲۲	۱/۲۸		ضریب تغییرات

بدون علامت، *، ** به ترتیب به معنی عدم معنی دار بودن، معنی دار بودن در سطح پنج و یک درصد می باشد



شکل ۱- برهمنکش رژیم آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس بر تعداد سنبله گندم در مترمربع



نمودار ۲- برهمنکش رژیم آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس بر تعداد دانه در سنبله گندم

تعداد دانه در سنبله
محلول پاشی و اثر متقابل دوگانه میکوریزا در محلول پاشی
و اثرات سه گانه فاکتورها بر تعداد دانه در سنبله معنی دار بود
(جدول ۲). حداکثر تعداد دانه در سنبله در تیمار عدم کاربرد قارچ

میکوریزا همراه با محلول پاشی ۰/۵g/l /مس در کم آبیاری با میزان
۷۱ عدد بدست آمد. حداقل تعداد دانه در سنبله در کم آبیاری و
عدم کاربرد قارچ میکوریزا و محلول پاشی ۰/۱g/l /نانو اکسید مس
با ۵۹ عدد مشاهده شد. سایر تیمارها بین این دو مقادیر حداقل و

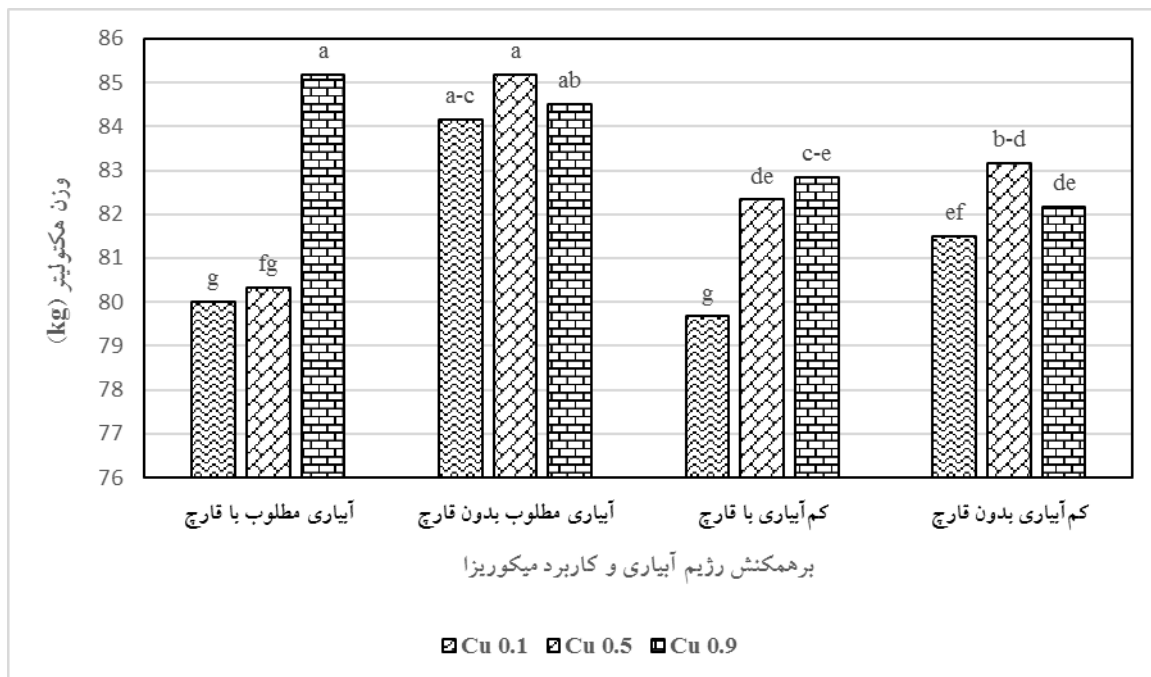
تعداد دانه در سنبله
محلول پاشی و اثر متقابل دوگانه میکوریزا در محلول پاشی
و اثرات سه گانه فاکتورها بر تعداد دانه در سنبله معنی دار بود
(جدول ۲). حداکثر تعداد دانه در سنبله در تیمار عدم کاربرد قارچ

مایکوریزا در محلول پاشی و نیز اثر سه جانبه تیمارهای رژیم آبیاری در میکوریزا در محلول پاشی تأثیر معنی داری را بر وزن هکتولتر گندم داشتند. مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیشترین وزن هکتولتر گندم مربوط به تیمار اثر متقابل سه جانبه آبیاری معمول با قارچ و محلول پاشی ۴۵۰ ppm مس بود که اختلاف آماری معنی داری با تیمار اثر متقابل سه جانبه آبیاری معمول بدون قارچ و محلول پاشی ۲۵۰ ppm مس نداشت و کمترین میزان را تیمار کم آبیاری و کاربرد قارچ میکوریزا و محلول پاشی ۵۰ ppm نانو اکسید مس به خود اختصاص داد (شکل ۳). کاظمی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه خود بیان داشتند که کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش وزن هکتولتر گردید به طوری که بیشترین وزن هکتولتر (۸۰۵/۳۷ گرم در لیتر) از تیمار تلقیح بذور رقم چمران با آزو سپیلیوم و استفاده از سویه *G. mossae* بدست آمد. به نظر می رسد که کاربرد کودهای زیستی باعث توسعه ریشه شده و شرایط را برای جذب عناصر غذایی فراهم می کنند که این به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می گردد. زمانی که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می گردد مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام های زایشی (دانه ها) منتقل میکند. کودهای زیستی از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هکتولتر می گردد.

حداکثر قرار گرفتند. در کم آبیاری و عدم کاربرد قارچ در محلول پاشی ۰/۵ g/l نانو اکسید مس نسبت به ۰/۱ و ۰/۹ گرم بر لیتر، تعداد دانه در سنبله را به ترتیب ۱۶/۹ و ۸/۴ درصد افزایش داد (شکل ۲). کاربرد محلول پاشی نانو اکسید مس در کاهش اثرات مضر کم آبیاری بسیار چشمگیر بوده است. همبستگی مثبت و معنی داری بین تعداد دانه در سنبله با هیچ یک از صفات مورد مطالعه مشاهده نگردید (جدول ۷). ناصری و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که بیشترین تعداد سنبله در متر مربع (۲۵۷/۵ سنبله)، تعداد دانه در سنبله (۴۳/۷ دانه) در تیمارهایی که تحت تأثیر قارچ مایکوریزا بودند مشاهده گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. یعقوبیان و همکاران (۱۳۹۱) بیان داشتند که اثر ساده تنش خشکی باعث کاهش معنی داری در وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته و طول سنبله شد. تیمارهای قارچی نیز بر تمامی صفات اندازه گیری شده اثر مثبت معنی داری داشت.

وزن هکتولتر

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۲) نشان داد که تیمارهای مایکوریزا و محلول پاشی تأثیر معنی داری را در سطح احتمال یک درصد بر وزن هکتولتر گندم داشته اند و همچنین تیمار اثر متقابل رژیم آبیاری در محلول پاشی و تیمار



شکل ۳- برهمکنش رژیم آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس بر وزن هکتولتر گندم رقم حیدری

میزان پرولین

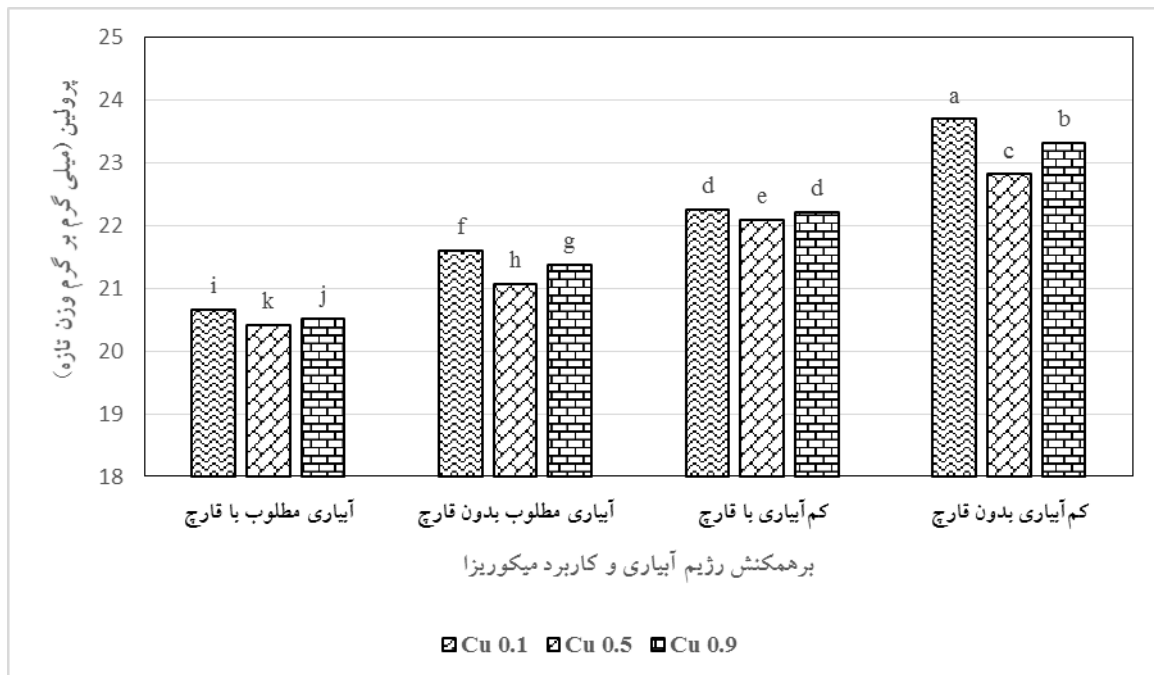
رژیم آبیاری، میکوریزا، محلول پاشی و تمام اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورها بر میزان پرولین معنی دار بود ($P \geq 0/01$) (جدول ۳). حداکثر میزان پرولین در تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا همراه با محلول پاشی $0/1 \text{ g/l}$ مس در کم‌آبیاری شدید با میزان $23/8$ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه بدست‌آمد که با سایر تیمارها حداقل در سطح 5% اختلاف آماری معنی داری داشت. حداقل میزان پرولین در آبیاری مطلوب و کاربرد قارچ میکوریزا و محلول پاشی $0/5 \text{ g/l}$ نانوآکسیدمس با $0/61\%$ مشاهده شد. سایر تیمارها بین این دو مقادیر حداقل و حداکثر قرار گرفتند. در هر یک از رژیم‌های آبیاری و کاربرد یا عدم کاربرد قارچ، محلول پاشی $0/1 \text{ g/l}$ نانوآکسیدمس بیشترین میزان پرولین را نسبت به دو تیمار دیگر نانوآکسیدمس داشت که از لحاظ آماری معنی دار بود و کاربرد $0/9 \text{ g/l}$ نانوآکسیدمس در مرتبه بعدی قرار گرفت و محلول پاشی $0/5 \text{ g/l}$ نانوآکسیدمس در پایین‌ترین سطح طبقه بندی واقع شد. تأثیر آبیاری بر میزان پرولین شدیدتر از کاربرد قارچ میکوریزا بود به طوری که بیشترین میزان پرولین در کم‌آبیاری شدید همراه با عدم کاربرد قارچ بدست‌آمد و در مرحله بعد کم‌آبیاری با کاربرد قارچ قرار گرفت و تیمار آبیاری مطلوب بدون قارچ و با قارچ به ترتیب کمترین میزان پرولین را به خود اختصاص دادند. در آبیاری مطلوب در عدم و کاربرد قارچ و محلول پاشی $0/1 \text{ g/l}$ نانوآکسیدمس نسبت به $0/5$ و $0/9$ گرم بر لیتر، میزان پرولین را به ترتیب $0/9$ و $0/4$ درصد و $3/2$ و $0/92$ درصد افزایش داد. همچنین در تیمار کم‌آبیاری و عدم و

کاربرد قارچ با محلول پاشی $0/1 \text{ g/l}$ نانوآکسیدمس نسبت به $0/5$ و $0/9$ گرم بر لیتر، میزان پرولین را به ترتیب $3/7$ و $2/1$ درصد و $0/9$ و $0/45$ درصد افزایش داد (شکل ۴). کاربرد محلول پاشی نانوآکسیدمس در کاهش اثرات مضر کم‌آبیاری بسیار چشمگیر بوده‌است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان پرولین با صفت عملکرد دانه ($r=0/96^{**}$) مشاهده شد. سایر صفات با میزان پرولین همبستگی نداشتند (جدول ۷). نتایج تحقیقات نشان داده‌است که جذب پرولین و قندهای محلول به‌وسیله گیاهان تحت شرایط کمبود آب، به دلیل کاهش ترقق، اختلال در سیستم انتقال فعال و نفوذپذیری غشاء و در نتیجه کاهش نیروی جذب-کندگی ریشه، کاهش می‌یابد (پیرزاد و همکاران، ۲۰۱۵). شافی و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش میزان پرولین می‌شود. سیدشرفی در سال (۱۳۹۶) آزمایشی را تحت عنوان تأثیر میکوریزا و محلول پاشی با نانوآکسید آهن و مس بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ مورد بررسی قرار داد و بیان نمود که کاربرد میکوریزا و نانوآکسید آهن و مس نیز در مقایسه با عدم مصرف آنها به افزایش محتوای پرولین می‌انجامد. حیدری و کرمی (۲۰۱۳) با بررسی اثر خشکی بر آفتابگردان گزارش نمودند که تیمار خشکی سبب افزایش مقادیر کربوهیدرات و پرولین در برگ‌های گیاه گردید و به‌صورت معنی‌داری منجر به کاهش وزن طبق، تعداد دانه بر در طبق و وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه شد که این نتایج با یافته‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش مطابقت داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف گندم تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		پرولین	عملکرد دانه
تکرار	۲	$0/0494^{**}$	$217/48^*$
رژیم آبیاری	۱	$29/1060^{**}$	$19237/23^{**}$
خطای کرت اصلی	۲	$0/0004$	$5/73$
میکوریزا	۱	$8/1701^{**}$	$3769/35^*$
رژیم آبیاری * میکوریزا	۱	$0/1695^{**}$	$15/88$
خطای کرت فرعی	۴	$0/0057$	$188/28$
محلول پاشی	۲	$0/6154^{**}$	$560/58^{**}$
رژیم آبیاری * محلول پاشی	۲	$0/0172^*$	$223/19$
میکوریزا * محلول پاشی	۲	$0/1944^{**}$	$130/30$
رژیم آبیاری * میکوریزا * محلول پاشی	۲	$0/0353^{**}$	$82/58$
خطای آزمایشی	۱۶	$0/0028$	$73/36$
ضریب تغییرات		$0/2439$	$2/99$

بدون علامت، * و ** به ترتیب به معنی عدم معنی دار بودن، معنی دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.



شکل ۴- برهمنکش رژیم آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس بر میزان پرولین برگ

عملکرد دانه

دانه با میزان پرولین ($T=0.96^{**}$)، مشاهده شد (جدول ۷). در تحقیقی بیشترین مقدار عملکرد دانه (۳۷۷۶/۵ کیلوگرم در هکتار) با غلظت ۰/۰۴ درصد محلول پاشی نانو اکسید مس به- دست آمد (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج شیخبگلو (۲۰۱۰)، نشان داد که کاربرد نانو اکسید مس سبب افزایش عملکرد دانه در سویا می شود. انصاری و همکاران (۱۳۹۰)، گزارش کردند که عملکرد دانه با افزودن قارچ میکوریزا افزایش می یابد. احتمالاً کاهش دسترسی گیاه به نیتروژن در شرایط عدم تلقیح سبب کاهش توان رشد رویشی شده و از این رو گیاه تولید حداقلی داشت. مصرف ریزوموجودات نیز احتمالاً از طریق خصوصیات مانند افزایش حجم اندام های فتوسنتزکننده باعث افزایش مقدار و ظرفیت تولید آسمیلات در منابع شده که در نهایت، منجر به بهبود عملکرد می شود. تحت شرایط خشکی، گیاهان میکوریزایی امکان استفاده از آب غیرقابل دسترس گیاهان را داشته و در نتیجه در این گیاهان روزه ها برای مدت طولانی تری باز مانده و به دنبال آن بهبود عملکرد در گیاه و بیوماس را شاهد خواهیم بود (رحیم زاده و پیرزاد، ۲۰۱۷). حمزه و همکاران در سال (۱۳۹۳) اثر دور آبیاری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه ای را مورد مطالعه قرار دادند و بیان نمودند که آبیاری و قارچ میکوریزا تأثیر مثبت و معنی داری بر عملکرد دانه گیاه دارد به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۷۵۵ گرم در مترمربع) از دور آبیاری ۱۴

اثر رژیم آبیاری، میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس بر عملکرد دانه مؤثر بود ولی اثر و اثرات متقابل رژیم آبیاری × محلول پاشی، میکوریزا × محلول پاشی و رژیم آبیاری × میکوریزا × محلول پاشی بر این صفت تأثیر معنی داری نداشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه با ۳۰۹/۶۱ گرم در مترمربع به تیمار آبیاری مطلوب تعلق داشت و مینیمم عملکرد دانه در تیمار کم آبیاری شدید مشاهده شد (جدول ۴). آبیاری مطلوب سبب افزایش ۱۴/۹۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به کم آبیاری شدید گردید. بیشترین عملکرد دانه با ۲۹۶/۷۳ گرم در مترمربع به تیمار کاربرد قارچ میکوریزا تعلق داشت و کمترین عملکرد دانه را تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا به خود اختصاص داد. کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش ۵/۹۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا گردید (جدول ۶). کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش ۶/۸۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا گردید. ماکسیمم عملکرد دانه با ۲۸۷/۳۳ گرم در مترمربع به تیمار محلول پاشی ۰/۵g/l نانو اکسید مس تعلق داشت و مینیمم عملکرد دانه را تیمار محلول پاشی ۰/۱g/l نانو اکسید مس به خود اختصاص داد (جدول ۵). کاربرد تیمار محلول پاشی ۰/۵g/l نانو اکسید مس به ترتیب سبب افزایش ۵/۰۱ و ۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به کاربرد تیمار محلول پاشی ۰/۱g/l و ۰/۹ نانو اکسید مس گردید. همبستگی مثبت و معنی داری بین عملکرد

روز و تلقیح با گونه قارچ *G. Mossea* به دست آمد و کمترین عملکرد دانه را ترکیب تیماری ۲۱ روز و عدم تلقیح با ۳۷۷ گرم

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه گندم حیدری تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

تیمارهای آزمایشی	عملکرد دانه (g m^{-2})
رژیم آبیاری	
آبیاری مطلوب	۳۰۹/۶۱±۳/۹۱a
کم آبیاری شدید	۲۶۳/۳۸±۰/۲۷b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و تیمار، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه گندم حیدری تحت تأثیر محلول‌پاشی نانوآکسیدمس

تیمارهای آزمایشی	عملکرد دانه (g m^{-2})
محلول‌پاشی (گرم در لیتر)	
Cu0.1	۲۷۹/۲۹±۸/۱۸b
Cu0.5	۲۸۷/۳۳±۹/۰۰a
Cu0.9	۲۹۲/۸۸±۷/۱۵a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و تیمار، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

شاخص برداشت

میکوریزا بر جذب عناصر غذایی مثل فسفر، نیتروژن و همچنین جذب آب در شرایط تنش، تولید هورمون‌های گیاهی، تعدیل اثر تنش‌های محیطی، افزایش مقاومت نسبت به عوامل بیماری‌زا در گیاه، کاهش آسیب‌های ریشه‌ای، تأثیر بر دانه‌بندی خاک، تشدید فعالیت تثبیت زیستی نیتروژن، همچنین بهبود خواص کمی موثر هستند. همچنین ایشان بیان داشتند که کاربرد تیمارهای میکوریزا تأثیر مثبت و معنی‌داری در شاخص برداشت گیاه دارد. رحیم‌زاده و پیرزاد (۲۰۱۷) گزارش نمودند که افزایش عملکرد گیاه میزبان به دلیل حضور انشعابات فراوان هیف‌های داخلی میکوریزا در داخل سلول‌های پوست ریشه گیاه است که سطح وسیعی را برای انتقال عناصر غذایی به گیاه میزبان فراهم می‌نماید که سبب افزایش شاخص برداشت نیز می‌گردد.

اثر میکوریزا بر شاخص برداشت مؤثر بود ولی اثر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی و اثرات متقابل رژیم آبیاری × محلول-پاشی، میکوریزا × محلول‌پاشی و رژیم آبیاری × میکوریزا × محلول‌پاشی بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت با ۲۹/۵۸ درصد به تیمار کاربرد قارچ میکوریزا تعلق داشت و کمترین شاخص برداشت را تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا به خود اختصاص داد (جدول ۶). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص برداشت با سایر صفات نظیر میزان پرولین ($r=0/93^{**}$) تعداد سنبله در مترمربع ($r=0/78^{**}$) و عملکرد دانه ($r=0/98^{**}$) مشاهده شد (جدول ۷). باوم و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود گزارش کردند قارچ‌های

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص برداشت گندم حیدری تحت تأثیر میکوریزا

تیمارهای آزمایشی	عملکرد دانه (g m^{-2})	شاخص برداشت (%)
میکوریزا		
با قارچ	۲۹۶/۷۳±۶/۳۴a	۲۹/۵۸±۰/۷۱a
بدون قارچ	۲۷۶/۲۷±۶/۰۸b	۲۷/۸۱±۰/۵۴

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و تیمار، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

جدول ۷- همبستگی صفات مختلف گیاه گندم تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶
پرولین (۱)	۱					
تعداد دانه در سنبله (۲)	-۰/۱۶	۱				
تعداد سنبله در مترمربع (۳)	-۰/۹۱**	۰/۰۰۳	۱			
شاخص برداشت (۴)	۰/۹۳**	۰/۰۴	۰/۷۸**	۱		
وزن هکتولتر (۵)	-۰/۱۶	-۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۱۷	۱	
عملکرد دانه (۶)	۰/۹۶**	۰/۰۶	۰/۸۷**	۰/۹۸**	۰/۲۳	۱

بدون علامت، * و ** به ترتیب به معنی عدم معنی دار بودن، معنی دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشد

نتیجه گیری

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد که رژیم آبیاری، میکوریزا، محلول پاشی و تمام اثرات متقابل دوگانه و سه گانه فاکتورها بر تعداد سنبله در مترمربع، میزان پرولین معنی- دار بود. اثر رژیم آبیاری، میکوریزا و محلول پاشی نانو اکسید مس بر عملکرد دانه مؤثر بود ولی اثر و اثرات متقابل رژیم آبیاری × محلول پاشی، میکوریزا × محلول پاشی و رژیم آبیاری × میکوریزا × محلول پاشی بر این صفت تأثیر معنی داری نداشت. مقایسه میانگین صفات نشان داد که حداکثر تعداد سنبله در مترمربع در تیمار کاربرد قارچ میکوریزا همراه با محلول پاشی ۵۰ ppm مس در آبیاری مطلوب بدست آمد. بیشترین وزن هکتولتر گندم مربوط به تیمار اثر متقابل سه جانبه آبیاری معمول با قارچ و محلول پاشی ۴۵۰ ppm مس بود که اختلاف آماری معنی داری با تیمار اثر متقابل سه جانبه آبیاری معمول بدون قارچ و محلول- پاشی ۲۵۰ ppm مس نداشت. حداکثر میزان پرولین در تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا همراه با محلول پاشی ۵۰ ppm مس در کم آبیاری شدید بدست آمد که با سایر تیمارها حداقل در

سطح ۵٪ اختلاف آماری معنی داری داشت. بیشترین عملکرد دانه به تیمار آبیاری مطلوب تعلق داشت و مینیمم عملکرد دانه در تیمار کم آبیاری شدید مشاهده شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه با ۲۹۶/۷۳ گرم در مترمربع به تیمار کاربرد قارچ میکوریزا تعلق داشت و کمترین عملکرد دانه را تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا به خود اختصاص داد. ماکسیمم عملکرد دانه با ۲۸۷/۳۳ گرم در مترمربع به تیمار محلول پاشی ۲۵۰ ppm نانو اکسید مس تعلق داشت و مینیمم عملکرد دانه را تیمار محلول پاشی ۵۰ ppm نانو اکسید مس به خود اختصاص داد.

سپاسگزاری

به رسم ادب و احترام لازم است از همه کسانی که به نوعی در انجام این پژوهش یاور و مددکار بنده بودند تشکر و قدردانی گردد. نهایت سپاس و قدردانی ام را تقدیم خانواده عزیزم می‌کنم که در تمام این مدت پشتیبان و حامی بنده بودند و سختی‌ها و مشکلات مرا صبورانه تحمل کردند. از خداوند متعال برای همه این عزیزان آرزوی شادکامی و سربلندی دارم.

منابع

- انصاری، م. ح.، م. منیری و ط. عبادی. ۱۳۹۰. اثر میکروارگانیزم‌های محرک رشد گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جو تحت شرایط دیم. مجله پژوهش‌های به‌زراعی، (۴): ۵۶۳-۵۵۱.
- بختیاری، م. پ. معاونی ب. ثانی. ۱۳۹۴. تأثیر محلول پاشی نانو ذرات آهن و مس بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گندم (*Triticum aestivum L.*) در منطقه شهر قدس. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. (۲): ۱۰۴-۱۱۹.
- حمزه، ج. و ف. صادقی می‌آبادی. ۱۳۹۳. اثر دور آبیاری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. (۱۲): ۲۱۱-۲۲۰.
- سیدشرفی، ر. ۱۳۹۶. تأثیر میکوریزا و محلول پاشی با نانو اکسید آهن و مس بر عملکرد، درصد روغن و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ در شرایط محدودیت آبی. مجله به‌زراعی کشاورزی. (۳): ۷۳۳-۷۴۹.

- شهبازپناهی، ب.ف. پاک‌نژاد، د. حبیبی، م. صادق شعاع، م. نصری و ع. پاکزی. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام مختلف گندم. مجله زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۸: شماره ۲. صص ۱۸۵-۱۹۷.
- کاظمی، ش.، فرهمندفر، ا.، پیردشتی، ه.، محمودی، م.، بابایی‌زاد. ۱۳۹۶. تأثیر همزیستی گونه‌های قارچ میکوریزا و شبه‌میکوریزا بر بهره‌وری آب ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری و فسفر در شرایط مختلف اقلیمی در استان مازندران. مجله به‌زراعی دانشگاه تهران، ۲(۱۹): ۳۷۱-۳۸۶.
- ناصری، ر.، م. براری، م.ج. زارع، ک. خاوازی و ز. طهماسبی. ۱۳۹۸. سیستم ریشه‌دهی و عملکرد دانه تحت تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر گندم در شرایط دیم. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۷ (۱).
- یعقوبیان، ی.، ه. پیردشتی، ا. محمدی گل‌تپه، و. فیضی اصل و ع. اسفندیاری. ۱۳۹۱. ارزیابی واکنش گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) رقم آذر ۲ به همزیستی با قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و شبه میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی. مجله علمی پژوهشی بوم‌شناسی کشاورزی. جلد (۴): ۶۳-۷۳.
- Abdel Latif, A. A., and Miransari, M. 2014. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress. In: M. Miransari (ed.), Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses, Springer Science Business Media, New York, Pp. 23-38.
- Ahmadi Lahijani, M., and Emam, Y. 2013. Response of wheat genotypes to terminal drought stress using physiological indices. Journal of Crop Production and Processing, 9(3): 163-176. (In Persian with English Summary).
- Anonymous. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations, July, 20, from <http://faostat.fao.org>.
- Azam, A., Arham S. Ahmed and Mohammad and Mohammad S Khan and Sami S Habib and Adnan Memic, (2012). "Antimicrobial activity of metal oxide nano particles against Gram-positive and Gram-negative bacteria a comparative study". International Journal of Nanomedicine. 6003-6009.
- Baum C, El-Tohamy W and Gruda N, 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Scientia Horticulturae, 187:131-141.
- Chakraborty, K., Raj, S., and Bhattacharya, R. C. 2012. Differential expression of salt overly sensitive pathway genes determines salinity stress tolerance in Brassica genotypes. Plant Physiology and Biochemistry, 51: 90-101.
- DeRosa MC, Monreal C, Schnitzer M, Walsh R, Sultan Y (2010) Nanotechnology in fertilizers. Nature Nanotechnology 5:91.
- Heydari, M., and Karami, V. 2013. Effects of water stress and different mycorrhiza species on yield and yield components, chlorophyll and biochemical components of sunflower. J. Environ. Stress. Crop Sci., 6: 1. 17-28.
- Jiriaie M., Fateh E., Ayneband A., Sepehr E. 2015. Changes in nutrient content of root and grain of wheat cultivars inoculated by azospirillum and mycorrhiza. Journal of Water and Soil, 29 (1): 102-113. (In Persian).
- Khosrojerdi M., Shahsavani S., Gholipor M., Asghari H.R. 2013. Effect of *Rhizobium* inoculation and mycorrhizal fungi on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. Electronic Journal of Crop Production, 6 (3): 71-87. (In Persian).
- Liu R, Lal R (2015) Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the Total Environment 514: 131-139.
- Maqsood, M., M.A. Shehzad, S. Ahmad and S. Mushtaq, 2012. Performance of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes associated with agronomical traits under water stress conditions. Asian J. Pharm. Biol. Res., 2: 45-50
- Naseri R., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., Tahmasebi Z. 2016. Effect of phosphate solubilizing bacteria and Mycorrhizal fungi on agronomic important traits in two wheat cultivars under dryland conditions. Journal of Agroecology, in press. (In Persian).
- Omidi H., Movahadi, F., and Movahadi, S.H. 2012. The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of *Prosopis* (*Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. Iranian Journal of Range and Desert Research, 18: 608-623. (In Persian with English Summary).
- Pirzad A, Shakiba MR, Zehtab-Salmasi S and Mohammadi S A. 2015. Effects of water stress on some nutrients uptake in *Matricaria chamomilla* L. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi), 104: 1-7. (In Persian).

- Rahimzadeh, S., and Pirzad, A. 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi and pseudomonas in reduce drought stress damage in flax (*Linum usitatissimum* L.): a field study. *Mycorrhiza*. 27(6): 537-552.
- Saeidi, m., Abdoli, m. Effect of Drought Stress during Grain Filling on Yield and Its Components, Gas Exchange Variables, and Some Physiological Traits of Wheat Cultivars. *J. Agr. Sci. Tech.* (2015) Vol. 17: 885-898.
- Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Spehri, R., Najafian, G. and Shabani, A. 2010. The Effects of Terminal Water Stress on Physiological Characteristics and Sink- Source Relations in Two Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. *Iranian J. Crop Sci.*, 12: 392-408.
- Saini, H. S., Sedgley, M. & Aspinall, D. 2010. Effect of Heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal Plant Physiology*, 10, 137-144.
- Shafi, M., Bakht, J., Yousaf, M., and Khan, M.A. 2013. Effects of irrigation regime on growth and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Bot.*, 45: 1995-2000.

Study of drought tolerance of wheat inoculated with mycorrhiza fungi and its interaction with copper nanoparticles

F. Taheri Hesari¹, H. Zahedi², A.R. Eivazi², Y. Sharghi³, A. Alipour²

Received: 2019-11-24 Accepted: 2020-3-29

Abstract

A split-split plot field experiment using the randomized complete block design with three replicates was carried out to investigate drought tolerance of wheat inoculated with mycorrhiza fungi and its interaction with copper nanoparticles. The factors included two irrigation levels (optimum irrigation and deficit irrigation), two levels of fungal symbiosis (with or without a symbiotic relationship), and three spray concentrations of copper oxide nanoparticles (50, 250, and 450 ppm). The results of ANOVA revealed that Analysis of variance showed that proline content and spike/m² were significant in irrigation regime, mycorrhiza, foliar application, and all the interaction effects of double and triple factors. The effect of irrigation regime, mycorrhiza and foliar application of copper nano oxide was effective on grain yield, but the effects and interactions of irrigation regime × foliar application, mycorrhiza × foliar application and irrigation regime × mycorrhiza × foliar application have no significant effect on that characteristic; Comparison of mean traits showed that the maximum number of spikes/m² in mycorrhizal fungi application with 50 ppm copper nano oxide foliar application in optimum irrigation was 780 numbers. The highest hectolitre weight of wheat was related to triple interactions, optimum irrigation with fungus and foliar application of 450 ppm copper nano oxide that was not statistically significant effect with triple interactions, optimum irrigation without fungus and foliar application of 250 ppm copper nano oxide. Maximum proline content was obtained in non-mycorrhizal fungi treatment with 50 ppm foliar spray under deficit irrigation (23.8 mg/g fresh weight) which was statistically significant at least at 5% level with other treatments. The highest grain yield (309.61 g/m²) belonged to optimum irrigation treatment and minimum grain yield was observed in severe deficit irrigation. Also, the highest grain yield (2696.96 g/m²) belonged to mycorrhizal fungi treatment and the lowest grain yield was obtained by non-mycorrhizal fungi treatment. Maximum grain yield (2787.33 g/m²) belonged to 250 nm copper spraying treatment and minimum grain yield was 50 nm copper spraying treatment.

Keywords: Foliar application, irrigation regime, mycorrhiza, proline

1- Ph.D. Candidate, Department of Agriculture, Eslamshahr Branch, Islamic Azad University, Eslamshahr, Iran

2- Assistant professor, Department of Agriculture, Eslamshahr Branch, Islamic Azad University, Eslamshahr, Iran

3- Assistant professor, Department of seed and plant improvement research, West Azerbaijan agricultural and natural resources research and education center, AREEO, Urmia, Iran