اثر مقدار و روش‌های مختلف مصرف آهن و مس بر عملکرد کمی و کیفی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشتاز در شرایط گلخانه

محمد رضا بوربوری*[1]، داود ارادتمند اصلی[2] و محمد مهدی طهرانی[3]

چکیده

اثر روش‌های مختلف کود دهی آهن و مس بر عملکرد کمی و کیفی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشتاز، طی سال ۱۳۸۷ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه بررسی شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح مصرف خاکی آهن و مس (شاهد، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سولفات مس و شاهد، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک سولفات آهن) و دو سطح مصرف محلول‌پاشی این دو عنصر (با غلظت شاهد و ۲ در هزار کلات مس و آهن EDTA) بودند. هیچ کدام از تیمارها روی درصد پروتئین و تعداد پنجه گندم اثر معنی‌داری نداشتند. مصرف خاکی کود آهن موجب افزایش معنی دار اجزای عملکرد، محتوای جذب آهن در دانه و اندام هوایی و تعداد پنجه بارور به ترتیب به میزان ۳۷، ۳۱، ۱۱ و ۲۹ درصد گردید. در صورتی که کاربرد خاکی کود مس موجب افزایش معنی دار اجزای عملکرد، محتوای جذب مس در دانه و غلظت مس در دانه و اندام هوایی به ترتیب به میزان ۱۲، ۴۲، ۴۰ و ۴۲ درصد شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاربرد عنصر آهن بصورت محلول‌پاشی در مقایسه با شاهد موجب افزایش معنی دار عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، محتوای جذب آهن در دانه و غلظت آهن در دانه و اندام هوایی به میزان ۲۰، ۴، ۶، ۱۴ و ۲ درصد گردید، در صورتی که کاربرد عنصر مس به‌صورت محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار غلظت مس در دانه و اندام هوایی و محتوای مس در دانه به ترتیب به میزان ۳۱، ۳۳ و ۳۱ درصد شد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان دهنده این است که بین عناصر آهن و مس برهم کنش منفی وجود دارد و با افزایش آهن، درصد مس در گیاه کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: **کلات، محلول‌پاشی، مصرف خاکی، مس، آهن، اثرآنتاگونیستی**

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۲/۶ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۲۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران.

۲ - عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران.

۳- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات آب و خاک، کرج، ایران.

***مسئول مکاتبات: m.boorboori@yahoo.com**

مقدمه

کشت مداوم، مصرف همه‌ساله و نامتعادل کودهای نیتروژن و فسفاته در چند دهه گذشته بدون توجه به نیاز غذایی گیاه به سایر عناصر کم مصرف همراه با شرایط محیطی هم‌چون طبیعت مواد مادری خاک‌ها، حاکمیت شرایط آهکی و بی کربناته بودن آب‌های آبیاری، فرسایش و آب‌شویی خاک‌ها و غیره، گسترش کمبود عنصر آهن و مس و سایر عناصر کم مصرف را در اراضی زیر کشت غلات به ویژه گندم فراهم ساخته است، به طوری که کمبود شدید آهن در ۳۷ درصد از مزارع زیر کشت غلات و کمبود شدید مس در ٢٤ درصد از مزارع گزارش شده است (Balali *et al*., 2000). ضرورت آهن برای گیاه از سال ۱۸٦۰ توسط Knop و Vansachs معلوم شده است (Glass, 1989). اسمیت (Smith, 1984) گزارش داد که آهن نقش مهمی در سوخت و ساز گیاهی به خصوص در ساخت کلروفیل ایفا می کند. از این رو تامین غلظت مناسب این عنصر در دانه گندم از اهمیت خاصی برخوردار است. آگراوال (Agrawal, 1992) ضمن مطالعه نیاز گندم به عناصر کم مصرف و از جمله آهن در خاک، حد بحرانی آن را که با روش DTPA عصاره گیری شده بود، ۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک تعیین کرد. درحالی که لندزی و نورول (Lindsy and Norvel, 1978) به وسیله این روش، حد بحرانی آهن را در خاک بین ۲/۵ تا ٤/۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم خاک گزارش کردند. نتایج حاصل از تحقیقات بلالی و همکاران (Balali *et al*., 2001 a) در مورد کاربرد آهن نشان داد که اگر هدف از کوددهی افزایش عملکرد باشد، کاربرد خاکی و اگر هدف افزایش غلظت باشد، روش محلول پاشی توصیه می گردد و زمانی که هر دو فاکتور مورد نظر باشد روش توام خاکی و محلول پاشی توصیه می شود. بلالی و ملکوتی (Balali and Malakooti, 2002) در آزمایش‌های خود در مزارع گندم ۱۰ استان ایران، به این نتیجه رسیدند که با مصرف سکوسترین آهن، علاوه بر افزایش ۲۰ درصدی عملکرد، غلظت آهن در دانه و کلش گندم، افزایش و درصد پروتیین نیز بهبود می یابد. دمیرکیران (Demirkiran, 2009) در آزمایشات خود درباره روش‌های مصرف آهن در مزارع گندم، در یک خاک آهکی نشان داد که محلول پاشی آهن موجب ایجاد بالاترین غلظت و جذب آهن در اندام هوایی می‌شود و مصرف خاکی موجب ایجاد بالاترین عملکرد دانه می‌گردد. همنترنجان و گرگ (Hemantaranjan and Grag, 2000) ضمن مطالعات خود نشان دادند که مصرف آهن موجب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در مترمربع، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم شد.

بلالی و همکاران (Balali *et al.,* 2001 b) در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند که کاربرد مس به‌صورت خاکی و محلول پاشی و کاربرد توام آن‌ها باعث افزایش مس در دانه، اندام هوایی و افزایش عملکرد و هم‌چنین میزان پروتئین شد. سدری و ملکوتی (Sadri and Malakooti, 2000) نیز به این نتیجه رسیدند که افزایش سولفات مس باعث افزایش عملکرد، افزایش غلظت مس در دانه و کلش گندم و هم‌چنین افزایش پروتئین دانه گردید. کیسیال (Kisiel *et al.,* 1998) چنین نتیجه‌گیری کردند که مصرف خاکی مس قبل از کاشت و به طریقه محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن به ترتیب منجر به افزایش عملکرد در حدود ۰/٤۵ تا ۰/۹ تن در هکتار شد. شهابی فر و همکاران (Shahabifar *et al.,* 2003) گزارش کردند که با مصرف سولفات مس به صورت خاکی، علاوه بر افزایش عملکرد، غلظت مس در دانه و کلش گندم افزایش و تعداد پنجه و پنجه بارور و درصد پروتیین نیز افزایش یافت. بنسال و نایار (Bansal and Nayyar, 1990)، گزارش کردند که با مصرف کود مس برای محصولاتی نظیر گندم و سورگوم در خاک‌های دارای کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس قابل جذب، افزایش عملکرد حاصل شد. تسیدال و همکاران (Tisdale *et al.,* 1993). هم‌چنین به برهم کنش منفی بین دو عنصر مس و آهن نیز اشاره کرده‌اند که این پدیده امکان دارد به دلیل رقابت برای اشغال مکان‌های حمل‌کننده یکسان صورت گیرد.

هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر دو روش کاربرد (خاکی و محلول‌پاشی) عناصر آهن و مس بر اندام هوایی (ساقه و برگ) و دانه گیاه گندم می‌باشد. هم‌چنین در این آزمایش به بررسی این موضوع که آیا سطوح مختلف این عنصر می‌تواند از طریق اثر بر یک یا چند جز عملکرد، بر میزان عملکرد کیفی و کمی این گیاه موثر باشد پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مقدار و روش مصرف عناصر آهن و مس بر خصوصیات کمی و کیفی گندم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۷ در گلخانه مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واحد ساوه واقع در یک کیلومتری شمال غرب شهرستان ساوه به اجرا در آمد. پیش از انجام آزمایش نمونه های مرکبی از خاک تهیه شد و پس از خشک شدن در هوا و غربال به وسیله الک دو میلی‌متری، مقدار آهن و مس خاک به وسیله DTPA استخراج و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Lindsy and Norvel, 1978). نیتروژن موجود در خاک نیز با روش کجلدال (Mremner and Mulvaney, 1982) و مواد آلی با استفاده از روش اکسیداسیون تر مورد اندازه گیری قرار گرفت (Nelson and Sommers, 1982). فسفر قابل جذب خاک نیز با استفاده از روش اولسن (کربنات سدیم، pH = ۸/۲) و رنگ سنجی قرائت گردید (Olsen and Sommers, 1982). هم‌چنین پتاسیم قابل جذب خاک به وسیله محلول استات آمونیوم نرمال عصاره گیری و با روش شعله سنجی اندازه‌گیری شد (Mohammad *et al.*, 1990). pH سوسپانسیون ۱:۱ ($pH_{1:1}$) و گل اشباع (pH_e) تعیین شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای این تحقیق عبارت بودند از مصرف آهن (با سطوح مصرفی شاهد، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک به صورت مصرف خاکی از منبع کودی سولفات آهن و محلول پاشی با محلول شاهد و ۲ در هزار کلات آهن EDTA-Fe) و مصرف مس با سطوح مصرفی شاهد، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک به صورت مصرف خاکی از منبع کودی سولفات مس و محلول‌پاشی با محلول شاهد و ۲ در هزار کلات مس (EDTA-Cu) بود (Sadri and Yilmaz *et al.*, 1997; Malakooti, 2000). محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی، ساقه رفتن و سنبله رفتن انجام شد. به منظور جبران کمبود مواد غذایی برای هر گلدان ۱۶۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره در سه نوبت (۸۰ میلی‌گرم قبل از کشت و ۴۰ میلی‌گرم در مرحله پنجه‌زنی و ۴۰ میلی‌گرم در مرحله ساقه رفتن) در نظر گرفته شد. با توجه به آزمون خاک، فسفر و پتاسیم از منابع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به مقدار توصیه شده قبل از کشت به خاک هر گلدان اضافه شد. در نیمه اول آبان ماه در داخل هر گلدان تعداد ۱۰ بذر گندم رقم پیشتاز کشت شد. پس از ۱۰ روز تعداد بوته‌ها به چهار عدد کاهش یافت. گلدان‌ها در داخل گلخانه و در محیط کنترل شده از لحاظ دما ($۲۵ \pm ۳^{\circ}C$ در طول روز و $۱۷ \pm ۳^{\circ}C$ در طول شب) نگهداری شد و بوته‌ها در شرایط طبیعی از لحاظ طول روز رشد کردند (طول روز در حدود ۱۲ ساعت بود). در طول مدت آزمایش و با توزین گلدان‌ها و استفاده از آب، رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه نگهداشته شد. طول دوره آزمایش ٦٧ روز بود. پس از رسیدن محصول، گیاهان از محل طوقه قطع شدند. نمونه‌های سنبله و ساقه هر گلدان پس از شستشو با آب مقطر، در آون در دمای ٦٥ درجه سلسیوس خشک شدند. برای اندازه‌گیری غلظت و محتوای جذب عنصر آهن و مس در کاه و دانه گندم، نمونه‌ها آسیاب شده و به روش خاکستر خشک به وسیله دستگاه جذب اتمی نوع Perkin Elemer مدل ۲۱۰۰ اندازه‌گیری گردید (Lindsy and Norvel, 1978). درصد پروتئین دانه گندم نیز به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری نیتروژن (دستگاه تقطیر Büchi، B- Distillation 323) با روش کجلدال با اعمال ضریب نیتروژن به پروتیین (Mremner and Mulvaney, 1982) تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات گرد آوری شده به وسیله نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج آزمایش نشان داد که اثر مصرف محلول‌پاشی و خاکی آهن بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. در جدول ۳ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار عملکرد دانه با مصرف ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک به دست آمد. در جدول ۵ نیز مشاهده می‌شود که افزایش مصرف محلول‌پاشی آهن، موجب افزایش عملکرد دانه شد. ضیاییان و ملکوتی (Ziaeyan and Malakouti, 2001) بیان کردند که افزایش توان تجمع مواد غذایی در بخش عملکرد اقتصادی در گیاه گندم در اثر کاربرد آهن، احتمالاً به دلیل تأثیر آن بر کلروفیل برگ و هورمون ایندول استیک اسید (IAA) باشد. اثر کاربرد خاکی عنصر مس بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد

معنی‌دار بود، در حالی که محلول‌پاشی با عنصر مس تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم نشان نداد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد خاکی عنصر مس باعث افزایش میزان عملکرد دانه شد (جدول ۲) که علت این امر می‌تواند تأثیر عنصر مس در سنتز کلروفیل باشد که باعث افزایش عملکرد می‌گردد. نتایج مشابهی توسط کیسیال (Kisiel *et al.*, 1998) و بلالی و ملکوتی (Balali and Malakouti, 2002) گزارش شده است.

وزن هزار دانه

اثر روش مصرف خاکی آهن بر وزن هزاردانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. در جدول ۳ نشان داده شده است که بیشترین وزن هزادانه در کاربرد مقدار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مصرف خاکی آهن به میزان ٤۲/۵ گرم در گلدان بدست آمد. اثر روش محلول پاشی آهن بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۲). دمیرکیران (Demirkiran, 2009) ژنوتیپ و هم‌چنین تامین عناصر غذایی کم مصرف به‌ویژه آهن را در شرایط بهینه از عوامل موثر بر وزن هزار دانه دانسته است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس ، اثر کاربرد خاکی عنصر مس بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، درحالی که محلول‌پاشی با آن اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نشان نداد. در جدول ۲ مشاهده می شود که بیشترین وزن هزار دانه با مصرف ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد، که ممکن است به دلیل تاثیر عنصر مس در افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی باشد. فعالیت آنزیم‌هایی مرتبط با مس، سبب افزایش تولید کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود. لندسی و نورول (Lindsy and Norvel, 1979) و بلالی و همکاران (Balali *et al.*, 2001 b) در تحقیقات خود نتایج مشابهی را ارایه کرده اند.

تعداد دانه در سنبله

تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف خاکی و هم‌چنین محلول‌پاشی آهن بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین تعداد دانه در سنبله با کاربرد ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم آهن خاکی به‌دست آمد. جدول ٤ نیز نشان می‌دهد که با افزایش غلظت محلول‌پاشی کلات آهن از صفر به ۲ در هزار تعداد دانه در سنبله از ٤۳/٦٦ به ٤۵/۱۱ عدد افزایش یافت. این نتایج با یافته‌های ضیاییان و ملکوتی (Ziaeianand Malakooti, 2001) که افزایش آهن را باعث افزایش تعداد دانه در سنبله می‌دانند، مطابقت دارد. نتایج نشان داد که اثر کاربرد خاکی عنصر مس بر تعداد دانه در سنبله گیاه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده در حالی‌که محلول‌پاشی با عنصر مس معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله نشان نداد. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین تعداد دانه در سنبله با کاربرد ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس خاکی به‌دست آمد. گندم یکی از گیاهان حساس به کمبود مس است. کمبود مس در غلات دانه ریز موجب زردی عمومی گیاه و عدم تشکیل کامل سنبله بر اثر تلقیح ناقص دانه‌های گرده به ویژه در سنبله‌های انتهایی می‌گردد (Ziaeeian, 2003). این نتایج با یافته‌های کیسیال و همکاران (Kisiel *et al.*, 1998) مطابقت دارد.

تعداد پنجه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش‌های محلول‌پاشی و مصرف خاکی آهن و مس بر صفت تعداد پنجه و تعداد پنجه های بارور معنی دار نشد. تاندون (Tandon, 2003) بیان کرد که تعداد پنجه در غلات بویژه گندم و جو بیشتر توسط عوامل ژنتیکی تعیین می گردد و نقش تغذیه در تعیین تعداد پنجه نسبت به عوامل ژنتیکی بسیار ناچیز است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات مصرف خاکی آهن بر صفت تعداد پنجه بارور در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش مصرف خاکی آهن از غلظت ۵ میلی گرم بر کیلوگرم به ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم تعداد پنجه بارور به طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی میان غلظت ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و تیمار شاهد (بدون مصرف) تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری وجود نداشت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش مصرف آهن میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه افزایش می‌یابد. از این رو گیاه می‌تواند تعداد پنجه بیشتری را بارور کرده و از این طریق دانه بیشتری تولید کند (Agrawal, 1992).

غلظت آهن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف خاکی و محلول‌پاشی عنصر آهن و هم‌چنین مصرف خاکی مس روی

غلظت آهن دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، در صورتی‌که کاربرد محلول‌پاشی مس در غلظت عنصر آهن در دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. همان‌طور که در جدول ۳ و ۵ مشاهده می‌شود، بیشترین غلظت آهن دانه در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مصرف خاکی آهن به همراه تیمار محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم بر لیتر آهن EDTA بدست آمد. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات بلالی و همکاران (Balali *et al.*, 2001 b) و دمیرکیران (Demirkiran, 2009) مطابقت دارد، اما بیشترین غلظت آهن دانه در تیمار بدون مصرف خاکی و محلول پاشی مس بدست آمده است (جدول ۲ و ٤) که این خود نشان از برهمکنش منفی بین این دو عنصر دارد و افزایش یکی باعث کاهش غلظت دیگری در گیاه می‌گردد. یلماز و همکاران (Yilmaz *et al.*, 1997) گزارش مشابهی را ارایه کردند که افزایش عنصر آهن در گیاه باعث کاهش غلظت عنصر مس در گیاه می‌گردد.

محتوی آهن دانه

اثر مصرف خاکی و محلول پاشی آهن و مصرف خاکی مس بر محتوی (جذب) آهن دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود در حالی‌که محلول‌پاشی مس اثر معنی‌داری بر محتوی آهن دانه نشان نداد. کلانتری زاده (Kalantari Zadeh, 2009) بیان کرد که محتوی یک عنصر متاثر از وزن خشک و غلظت آن عنصر در گیاه می‌باشد. افزایش وزن خشک یا افزایش غلظت عنصر و یا افزایش توام وزن خشک و غلظت عنصر می تواند موجب افزایش محتوای عنصر در گیاه شود. در این آزمایش نیز بیشترین میزان غلظت آهن دانه و وزن هزار دانه در بالاترین سطح مصرف خاکی و محلول پاشی آهن بدست آمد. از این رو می توان انتظار داشت که بیشترین جذب آهن دانه نیز در بالاترین سطح مصرف خاکی و محلول‌پاشی حاصل شود. بیشترین غلظت آهن از مصرف ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک ، به همراه تیمار محلول پاشی ۲ میلی‌گرم بر لیتر آهن EDTA بدست آمد (جداول ۳ و ۵). به عقیده دمیرکیران (Demirkiran, 2009) افزایش آهن بصورت خاکی و محلول‌پاشی سبب افزایش محتوای آهن دانه می‌شود. اما بیشترین محتوی آهن دانه در تیمار بدون مصرف خاکی مس بدست آمد (جدول ۲) که این خود نشان از برهم‌کنش منفی بین دو عنصر مس و آهن می‌باشد و افزایش یک عنصر به گیاه غلظت عنصر دیگری را در گیاه کاهش می‌دهد. کیسیال و همکاران (Kisiel *et al.*, 1998) گزارش مشابهی را ارایه کرده‌اند. همیشه کمبود آهن در گیاه ناشی از کمی مقدار کل آن در خاک نیست، بلکه بیشتر اوقات وجود عناصر دیگر در خاک و ترکیب آهن با آن‌ها موجب کاهش فراهمی آن می‌شود به عنوان مثال، افزایش جذب نیتروژن نیتراتی توسط گیاه موجب عدم تعادل نسبت کاتیون - آنیون می‌گردد که این امر منجر به تراوش بی‌کربنات از ریشه به ریزوسفر و در نتیجه کاهش جذب آهن می‌شود. زیادی فسفر نیز با سازوکارهایی که برای آن ذکر کرده‌اند می‌تواند غلظت آهن گیاه را کاهش دهد همین برهمکنش‌های منفی توسط بلالی و همکاران (Balali *et al.*, 2000) در مورد منگنز - آهن و مس - آهن، نیز گزارش شده است.

غلظت مس در دانه

اثر مصرف خاکی، محلول‌پاشی آهن و مس بر غلظت و محتوای مس در دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همان‌طور که در جدول ۲ و ٤ مشاهده می‌شود، بیشترین غلظت و محتوای مس دانه در تیمار ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مصرف خاکی مس به همراه تیمار محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم بر هزار مس EDTA بدست آمد. این مسایل در کل، بیانگر نقش مثبت عنصر مس بر بالا بردن توان تجمع مس در بخش عملکرد کیفی در این گیاه می‌باشد. این نتایج با نتایج بلالی و همکاران (Balali *et al.*, 2001 b) و دمیرکیران (Demirkiran, 2009) مطابقت دارد، اما بیشترین غلظت و محتوای مس دانه در تیمار بدون مصرف خاکی و محلول پاشی آهن بدست آمد (جدول ۳ و ۵) که این خود نشان از برهم‌کنش منفی بین این دو عنصر می‌باشد. یلماز و همکاران (Yilmaz *et al.*, 1997) گزارش مشابهی را ارایه داده‌اند.

غلظت مس و آهن در اندام هوایی

نتایج نشان داد که اثرات مصرف خاکی و محلول‌پاشی عنصر مس و آهن، بر غلظت مس و آهن در اندام هوایی گیاه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. همان‌طور که در جدول ۲ و ٤ مشاهده می‌شود، بیشترین غلظت مس در اندام هوایی در تیمار ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مصرف خاکی مس به همراه تیمار ۲ میلی‌گرم بر هزار محلول‌پاشی مس به‌دست آمد، در صورتی‌که بیشترین غلظت آهن در اندام هوایی زمانی به

دست آمد که هیچ مصرف خاکی و یا محلول‌پاشی مس انجام نشده است، که این نشان از نقش مثبت کاربرد مس بر بالا بردن توان تجمع مس در اندام هوایی و نقش آن در کاهش غلظت آهن در اندام هوایی دارد. مطالعات انجام شده توسط محققین دیگر از جمله بلالی و همکاران (Balali *et al.,* 2001 b) و سدری و ملکوتی (Sadri and Malakooti, 2000) نیز تایید می کند که افزایش عنصر مس و آهن چه بصورت خاکی و چه به صورت محلول‌پاشی اثر عکس بر غلظت عنصر دیگر در اندام هوایی گیاه دارد. اما جداول ۳ و ۵ نشان‌دهنده آن است که بیشترین غلظت آهن در اندام هوایی با تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مصرف خاکی آهن و یا مصرف تیمار ۲ میلی‌گرم بر لیتر محلول‌پاشی آهن بدست آمد. در صورتی‌که بیشترین غلظت مس در اندام هوایی از بدون مصرف خاکی یا محلول‌پاشی عنصر آهن مشاهده شد. این نتایج با نتایج بلالی و همکاران (Balali *et al.,* 2001 b) و دمیرکیران (Demirkiran, 2009) مطابقت دارد، به این صورت‌که آن‌ها نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که افزایش کود آهن باعث افزایش غلظت آهن و کاهش غلظت مس در اندام هوایی می‌گردد.

پروتئین دانه

اثر روش‌های مختلف مصرف خاکی، محلول پاشی آهن و مس بر میزان پروتئین دانه از لحاظ آماری معنی‌دار نشد. یافته‌های متفاوتی درمورد اثر مصرف آهن بر میزان پروتیین دانه گندم وجود دارد. بلالی و ملکوتی (Balali and Malakouti, 2002) گزارش دادند که با افزایش مصرف آهن و مس میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد، ولی کشاورز (Keshavarz, 2002) در بررسی خود روی چهار رقم گندم نان نشان داد که افزایش غلظت آهن مصرفی موجب کاهش پروتئین دانه می‌گردد. اسمیت (Smith, 1984) میزان پروتیین دانه گندم را تحت تاثیر شرایط محیطی به ویژه میزان آب در دسترسی گیاه و میزان نیتروژن خاک می داند. از آن جا که این دو عامل در تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش به یک میزان اعمال شده بودند در نتیجه می‌توان معنی‌دار نشدن میزان پروتیین دانه را توجیه کرد.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد دانه، بیشتر به کاربرد خاکی آهن و مس واکنش نشان داد تا محلول پاشی این دو عنصر و بیشترین عملکرد در بالاترین سطح مصرف خاکی آهن و مس (تیمار ۵ میلی گرم در کیلوگرم مس و تیمار ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم آهن) حاصل شد. از طرفی بیشترین میزان جذب آهن و مس در دانه از طریق مصرف خاکی و محلول‌پاشی آهن و مس و در بالاترین سطح مصرف در مصرف خاکی ۵ میلی گرم در کیلوگرم مس و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن و در محلول پاشی تیمار محلول ۲ در هزار کلات آهن و مس EDTA بدست آمد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای افزایش عملکرد کمی دانه گندم بهتر است از روش مصرف خاکی آهن و مس استفاده شود، ولی برای بالا بردن غلظت آهن و مس در دانه و افزایش عملکرد کیفی دانه گندم روش مصرف خاکی و محلول پاشی آهن و مس پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. Results of chemical analysis of the soil studied

Copper	Iron	Phosphorus	Potassium	CEC (Mol^{+}/Kg)	Organic Carbon (%)	Clay (%)	Lime (%)	pH	EC dS/m
$mg.kg^{-1}$				18.2	0.48	29	11/3	7.25	1.5
035	0.52	6.3	65						

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر مقادیر مختلف مصرف خاکی مس بر صفات کیفی مورد مطالعه در گندم رقم پیشتاز در گلخانه

Table 2. Mean comparison of Cu- soil application effects on qualitative traits of wheat (var. Pishtaz) in the greenhouse.

Soil application of Cu ($mg.kg^{-1}$)	Grain yield ($g.pot^{-1}$)	1000 seed weight (g)	Grain Numbers per spike	Seed – Fe ($mg.kg^{-1}$)	Seed – Cu ($mg.kg^{-1}$)	Fe content of grain ($mg.plant^{-1}$)	Cu content of grain ($mg.plant^{-1}$)	Shoot – Fe ($mg.kg^{-1}$)	Shoot - Cu ($mg.kg^{-1}$)
Control	8.30 b	37.46 b	27.38 b	39.01 a	14.41 c	1.54 a	0.56 c	99.80 a	40.19 c
2.5	8.16 b	37.29 b	27.46 b	37.08 b	21.52 b	1.45 c	0.84 b	96.05 b	62.23 b
5	9.44 a	38.57 a	28.26 a	37.19 b	24.18 a	1.51 b	0.97 a	86.97 c	70.41 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد با همدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different at 5% level of probability.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر با مقادیر مختلف مصرف خاکی آهن بر صفات اندازه‌گیری شده در گندم رقم پیشتاز گلخانه

Table 3. Mean comparison of the Fe soil application effects on the studied traits of wheat (cv. Pishtaz) in the greenhouse

Soil application of Fe ($mg.kg^{-1}$)	Grain yield ($g.pot^{-1}$)	1000 seed weight (g)	Grain numbers per spike	Number of fertile tillers	Seed – Fe ($mg.kg^{-1}$)	Seed - Cu ($mg.kg^{-1}$)	Fe content of grain ($mg.plant^{-1}$)	Cu content of grain ($mg.plant^{-1}$)	Shoot – Fe ($mg.kg^{-1}$)	Shoot – Cu ($mg.kg^{-1}$)
Control	8.30 b	37.46 b	27.38 b	3.02 b	39.01 c	14.41 a	1.54 c	0.56 a	99.80 c	40.19 a
5	8.55 b	37.68 b	28.6 b	3.30 b	46.13 b	12.16 b	1.92 b	0.45 b	105.48 b	36.44 b
10	13.38 a	42.15 a	33.27 a	4.30 a	47.62 a	10.87 c	2.24 a	0.43 b	112.35 a	32.25 c

جدول ٤- اثر محلول‌پاشی مس(Cu- EDTA) بر میانگین صفات کیفی مورد مطالعه در گندم رقم پیشتاز در گلخانه

Table 4. The effect of copper spraying (Cu- EDTA) on the qualitative traits of wheat (cv. Pishtaz) in the greenhouse.

Foliar - Cu ($mg.L^{-1}$)	Seed – Fe ($mg.kg^{-1}$)	Seed - Cu ($mg.kg^{-1}$)	Cu content in the grain ($mg.plant^{-1}$)	Shoot – Fe ($mg.kg^{-1}$)	Shoot – Cu ($mg.kg^{-1}$)
Control	39.01 a	14.41 b	0.56 b	99.80 a	40.19 b
2000	37.56 b	20.92 a	0.82 a	93.38 b	60.37 a

جدول٥- اثر محلول‌پاشی آهن (Fe- EDTA) بر میانگین صفات کیفی گندم رقم پیشتاز در گلخانه

Table 5. Effect of iron spraying (Fe- EDTA) on the qualitative traits of wheat (cv. Pishtaz) in the greenhouse.

Foliar - Fe ($mg.L^{-1}$)	Grain yield ($g.pot^{-1}$)	Grain numbers per spike	Seed – Fe ($mg.kg^{-1}$)	Seed - Cu ($mg.kg^{-1}$)	Fe content of grain ($mg.plant^{-1}$)	Cu content of grain ($mg.plant^{-1}$)	Shoot - Fe ($mg.kg^{-1}$)	Shoot – Cu ($mg.kg^{-1}$)
Control	8.30 b	27.38 b	39.01 b	14.41 a	1.54 b	0.56 a	99.80 b	40.19 a
2000	10.38 a	28.75 a	45.64 a	12.15 b	1.65 a	0.44 b	101.45 a	36.45 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری در سطح احتمال ٥ درصد با همدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different at 5% level of probability.

References

Agrawal HP (1992) Assessing the micronutrient requirement of winter wheat. Soil Science and Plant Analasis 23: 2555-2568

Balali M, Malakooti MJ, Mashayekhi H, Khademi Z (2000) Micronutrients effects on the yield and determining the critical level of nutrients in the soil under wheat cultivation in Iran. Balanced nutrition of wheat. Jihad-e-Agriculture Ministry of Iran, Education Organization Pub., 572 pp. [In Persian with English Abstract].

Balali M, Malakooti MJ, Khademi Z, Manuchehri S (2001 a) Micronutrient distribution in soils under wheat cultivation in Iran. Proceedings of the Seventh Congress of Soil Science. Shahrekord, Iran. [In Persian with English Abstract].

Balali M, Malakooti MJ, Ziaeeian A, Khoogar Z, Farajnia A, Kalhor M, Agha Lotfolahi M, Golchin A, Azizi M, Ghaderi J, Kazemi Talachi M (2001 b) Comparison of micronutrient application effects on yield quantity and quality of wheat in different provinces of Iran. Journal of Water and Soil 5(2): 11-29. [In Persian with English Abstract].

Balali MR, Malakouti MJ (2002) Effects of different methods of micronutrient application on uptake of nutrients by wheat grains in 10 provinces. Soil Science 15(2): 1-11. [In Persian with English Abstract].

Bansal RL, Singh SP, Nayyar VK (1990) The critical zinc deficiency level and response to zinc application of wheat on typical Ustrochrepts. Experimental Agriculture 26: 303-306.

Demirkiran AR (2009) Determination of Fe, Cu and Zn contents of wheat and corn grains from different growing sites. Journal of Animal and Veterinary Advances 8(8): 1563-1567

Glass ADM (1989) Plant nutrition. An introduction to current concepts. Jones and Barttlett Publisher. Boston, USA.

Hemantaranjan A, Grag OK (2000) Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *Triticum asetivum* L. Journal of Plant Nurtition 7 (1-5): 23-46.

Kalantari Zadeh K (2009) Effect of mycorrhizal fungi on micronutrient (iron, zinc and copper) and macronutrient (nitrogen, phosphorus and potassium) uptake in some sunflower varieties. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Saveh Branch. 134 pp. [In Persian with English Abstract].

Keshavarz P (2001) Comparison of zinc and iron use efficiency in wheat. Water and Soil Science 13(1): 20-32.

Kisiel RD, Borzacka D, Kaliszewicz D (1998) Effect of nitrogen and copper fertilizer application on yield and direct production costs of wheat. Acta Academica Agricultural Technical Olstensis Economic 31: 33-45.

Lindsy WL, Norvel WA (1978) Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.

Mohammad W, Iqbal MM, Shah SM (1990). Effect of application mode of zinc and iron on yield of wheat (cv. Pak-81). Sarhad Journal of Agriculture 6(6): 615-618.

Mremner JM, Mulvaney CS (1982) Nitrogen. In: Page, AL (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 595-624.

Nelson DW, Sommers LP (1982) Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, AL (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 539-579.

Olsen SR, Sommers LE (1982) Phosphorus. In: Page, A.L. (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 403-430.

Sadri MH, Malakooti MJ (2000) Effect of iron, zinc and copper properties in improving quality and quantity of wheat. In: Malakooti M (Ed.), Balanced way toward self-sufficiency in grain supply and provision of health care. Jihad-e- Agriculture Ministry of Iran, Agricultural Education Organization Pub. pp. 189-169. [In Persian with English Abstract].

Shahabifar J, Ardalan M, Lofolahi M (2003) Optimal use of fertilizers containing micronutrients and potassium and its role in crop performance. Third National Conference on Application of Biological Materials and Efficient Use of Fertilizers and Pesticides in Agriculture. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Karaj, Iran.

Smith BN (1984) Iron in higher plants: Storage and methabolic. J. Plant Nutr.7: 759-766

Tandon, H.L.S (2003) Micronutrient in soils, crops and fertilizers. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India. 177 pp.

Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, Havline JL (1993) Soil fertility and fertilizers. 5th edition. Mac Millan, pub. Co. New York. 634 pp.

Yilmaz A, Ekiz H, Torun B, Gultekin I, Karanlik S, Bagci SA, 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(4,5): 461-471.

Ziaeyan AH, Malakouti MJ (2001) Determination of critical level of iron. (Fe) in wheat farms and its effects on the yield and grain fortification in highly Calcareous soils of Iran. Iranian Journal of Soil and Water Sciences 12 (13): 45-56. [In Persian with English Abstract].

Ziaeeian A (2003) Use of micronutrients in agriculture. Ministry of Jihad-e- Agriculture of Iran, Agricultural Research and Extension Organization. Karaj, Iran.