تأثیر کاربرد مس بر غلظت و جذب مس، منگنز، پتاسیم و فسفر در ذرت علوفه‌ای

عادل ریحانی‌تبار[۱*]، الهام عبدالملکی[۲] و امید کمانگر[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۴)

چکیده

مس (Cu) یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای تغذیه گیاهان است. مصرف مس می‌تواند تأثیر به‌سزایی در ایفای نقش منگنز (Mn)، پتاسیم (K)، فسفر (P) و سایر عناصر در تغذیه گیاهان داشته باشد. در این پژوهش، تأثیر مصرف مس بر غلظت و جذب مس، منگنز، پتاسیم و فسفر توسط گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در ۲۱ نمونه خاک آهکی بررسی شد. جهت اندازه‌گیری غلظت و میزان جذب عناصر موردمطالعه، یک آزمایش گلخانه‌ای بر روی گیاه ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در دو سطح صفر و ۷/۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک از منبع سولفات‌مس ($CuSO_4.5H_2O$) در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. بر طبق نتایج حاصله، با مصرف مس وزن خشک شاخسار، غلظت و جذب مس شاخسار و غلظت مس ریشه افزایش معنی‌دار یافت ($p\leq0.01$). اما مس مصرفی بر وزن خشک ریشه، غلظت پتاسیم و فسفر شاخسار بی‌تأثیر بود. همچنین مس مصرفی غلظت منگنز شاخسار را به طور معنی‌دار کاهش داد ($p\leq0.05$). در نهایت اثر متقابل نوع خاک × مس مصرفی بر وزن خشک و غلظت مس شاخسار در سطح احتمال ($p\leq0.01$) و با غلظت منگنز و فسفر شاخسار در سطح احتمال ($p\leq0.05$) معنی‌دار بود. همچنین اثر مس بر فاکتور انتقال پتاسیم و فسفر معنی‌دار شد که این موضوع دلالت بر دخالت مس بر انتقال این عناصر از ریشه به شاخسار گیاه دارد. بطورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات غلظت مس در گیاه ذرت بر غلظت عنصر منگنز و انتقال عناصر پرمصرف پتاسیم و فسفر تأثیر گذاشته و بنابراین می‌تواند بر تعادل تغذیه‌ای گیاه مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: برهم‌کنش منفی، خاک آهکی، رقم سینگل کراس، فاکتور انتقال

۱-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز (مکاتبه‌کننده)

۲ و ۳- دانش آموختگان کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

* پست الکترونیک: areyhani@tabrizu.ac.ir

مقدمه

با توجه به روند سریع رشد جمعیت و کاهش منابع غذایی، به‌نظر می‌رسد در آینده‌ای نه چندان دور، فراهم کردن مواد غذایی مورد نیاز جوامع انسانی به یکی از مشکلات اساسی تبدیل شود. ذرت (*Zea mays* L.) با سطح کشت جهانی ۱۴۰ میلیون هکتار و تولید بیش از ۶۰۰ میلیون تن در سال و عملکرد متوسط ۴۲۹۶ کیلوگرم در هکتار، یکی از منابع اصلی تأمین کننده غذای انسان، دام و طیور است. با توجه به شرایط آب و هوایی کشور ایران، در بیشتر مناطق کشور نسبت به کاشت این محصول زراعی اقدام می‌گردد. همچنین با توجه به کمبود مراتع غنی و تراکم زیاد دام در ایران، تولید ذرت علوفه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد (Mostashari, 1997). اگرچه میزان جذب مس توسط ذرت در مقایسه با سایر عناصر کمتر است و این میزان در دانه ذرت حدود ۰/۰۸ و در بخش کاه و کلش ۰/۰۵ کیلوگرم بر هکتار گزارش شده است (Havlin *et al*, 2007)، اما این عنصر در واکنش‌های متعدد انتقال الکترون در هر دو فرآیند فتوسنتز و تنفس، متابولیسم لیپید و اسیدهای چرب نقش مهمی دارد. ملکوتی و طهرانی(Malakouti & Tehrani, 2005) معتقدند که در مقایسه با عنصر روی (Zn)، حد بحرانی مس در خاک‌های ایران برای گیاهان زراعی کمتر بوده و در حدود ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می باشد. البته در سال‌های اخیر، استفاده از کودهای لجنی، قارچ‌کش‌ها و نیز کاربرد فاضلاب شهری برای آبیاری زمین‌های کشاورزی منجر به افزایش میزان مس خاک‌ها شده است (Tiller & Merry, 1981). منگنز (Mn) پنجمین فلز از نظر فراوانی در پوسته زمین است و در خاک به صورت ترکیبی از کانی‌های سولفید، اکسید، کربنات و سیلیکات یافت می‌شود. مهم‌ترین نقش منگنز در گیاه دخالت در آزاد سازی اکسیژن فتوسنتزی در جریان شکستن مولکول آب است و به همین دلیل کمبود منگنز موجب کاهش فتوسنتز می‌شود (Marschner & Rommheld, 1995). پتاسیم نیز یکی از عناصر پرمصرف اولیه در تغذیه گیاهی است که همانند نیتروژن در بافت‌های گیاهی وجود دارد و واکنش‌های مهم فیزیولوژیکی از جمله فعال کردن آنزیم‌ها، فتوسنتز، تنفس، روابط آبی گیاهی و توازن یونی را در گیاه بر عهده دارد. به طوری که از این عنصر به نام عنصر کیفیت نام برده می‌شود (Malakouti & Tehrani, 2005). فسفر از عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاه بوده و در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی ترکیبات انرژی‌زا و ساز و کارهای انتقال انرژی دخالت دارد. افزون بر آن فسفر در ساختمان بسیاری از ترکیب‌های مهم سلولی مانند اسید نوکلئیک نقش به‌سزایی دارد. به‌علاوه جذب کافی فسفر منجر به تولید ریشه‌های فراوان و عمیق شده و باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود. بنابراین تأمین این عنصر برای گیاه جهت بدست آوردن عملکرد مطلوب ضروری است و کشاورزی مدرن کاملاً به این عنصر وابسته است (Setua *et al*, 2007).

در بسیاری از خاک‌های دنیا برهمکنش فلزات به عنوان عامل مهمی برای محدودیت رشد گیاهان شناخته شده است. اگرچه در زمینه برهمکنش مس با سایر عناصر تحقیقات منتشر شده متعددی وجود دارد، درک این برهمکنش‌ها در بهبود کارآیی گیاهان زراعی و عملکرد آنها حائز اهمیت است. معمولاً با مصرف نیتروژن، مصرف توأم کود مس برای حصول عملکرد بهینه ضرورت پیدا می کند. همچنین سطح بحرانی مس با افزایش فراهمی نیتروژن افزایش می‌یابد (Basra, 1997). فاجریا (Fageria, 2002) گزارش کرد که مس بر جذب فسفر، پتاسیم و منگنز در برنج دیم در اکسی‌سول‌های برزیل اثر تشدید کنندگی داشت، اما غلظت کلسیم، منیزیم و آهن در اثر مصرف مس در بوته های برنج کاهش یافت. ایشان همچنین گزارش کرد که مس تأثیر معنی‌داری بر جذب روی در برنج نداشت. ایشان گزارش کرد که در لوبیا، مس جذب روی را افزایش داد، در حالی که اثر معنی‌داری بر جذب فسفر، پتاسیم، منیزیم، منگنز و آهن نداشت. ایشان در نهایت گزارش کرد که غلظت زیاد مس در خاک، در جذب و انتقال سایر عناصر ضروری ایجاد اختلال می‌کند. اوزونیدو و همکاران (Ouzounido *et al*, 1995) گزارش کردند که در اثر مصرف کود مس، جذب مس و پتاسیم در ذرت تغییر معنی‌داری نکرد ولی جذب آهن کاهش یافت. موکوت و همکاران (Mocquot, *et al*, 1996) هیچ تغییر معنی‌داری را در جذب کلسیم، پتاسیم، فسفر و آهن در گیاه ذرت در اثر سمیت مس مشاهده نکردند. اما در بوته های سویا، مس اثر معنی‌داری بر افزایش جذب فسفر و منیزیم داشت، ولی اثر معنی‌داری روی سایر عناصر نداشت. در بوته های گندم نیز مس اثر مثبت بر جذب فسفر و اثر منفی معنی‌دار بر جذب کلسیم و منیزیم داشت. با توجه به گزارش شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Besharati, 2014)، ۲۰ درصد خاک‌های زراعی ایران و حدود ۳۰ درصد در استان

آذربایجان شرقی دچار کمبود مس قابل جذب هستند. لذا هدف از انجام این تحقیق مطالعه تأثیر مس بر غلظت و جذب مس، منگنز، پتاسیم و فسفر در گیاه ذرت علوفه‌ای در ۲۱ نمونه خاک آهکی شمال غرب کشور (استان آذربایجان شرقی) بود.

مواد و روش‌ها

۴۰ نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی بر مبنای برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک همچون مس قابل‌جذب و کل، بافت خاک، درصد کربنات‌کلسیم فعال و با استفاده از نقشه مناطق ذرت‌کاری شده از خاک‌های استان آذربایجان شرقی برداشته شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و ویژگی‌هایی همچون بافت خاک به روش هیدرومتری چهار زمانه (Gee & Or, 2002)، pH در عصاره گل اشباع (Richards, 1954)، کربن آلی (OC) خاک به روش اکسایش تر (Nelson & Sommers, 1996)، درصد کربنات‌کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتر کردن با سود، کربنات‌کلسیم معادل فعال (ACCE) با اگزالات آمونیوم در pH برابر با ۹ (Allison & Moodie, 1965)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع (Rhoades, 1996) و رطوبت در حالت اشباع (SP) تعیین شدند. برای ادامه تحقیق، ۲۱ نمونه بر اساس تجزیه کلاستر انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. به‌طوری‌که ویژگی‌های خاک از بیشترین ضریب تغییرات ([۱۰۰× (میانگین/انحراف معیار) = ضریب تغییرات ٪]) ممکن برخوردار بودند. ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در گلخانه در خاک‌های موردبررسی و در دو سطح صفر و ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات‌مس ($CuSO_4.5H_2O$) در ۳ تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل و طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در گلدان‌های حاوی ۳ کیلوگرم خاک کاشته شد. نیتروژن در سه مرحله (قبل از کاشت، پنجه‌دهی، ساقه‌دهی) به مقدار ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع اوره [$CO(NH_2)_2$] در همه گلدان‌ها مصرف شد. اما سایر عناصر بر اساس آزمون خاک مصرف شدند. برای این منظور سطح بحرانی فسفر به روش اولسن ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، پتاسیم به روش استات آمونیوم ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، روی و آهن و منگنز به روش DTPA، به‌ترتیب ۱، ۴ و ۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شدند (Malakouti & Tehrani, 2005). پس از دو هفته خواباندن خاک‌ها در رطوبت ظرفیت زراعی، در هر گلدان پنج عدد بذر ذرت در عمق دو و نیم سانتی‌متری کاشته شد و پس از استقرار و سبز شدن کامل بذور در پایان هفته دوم، تعداد گیاهان هر گلدان به سه بوته یکنواخت تنک گردید. برای تأمین شرایط رشد گیاه در اتاق رشد، درجه حرارت روز در حدود ۲±۲۵ درجه سلسیوس و در شب حدود ۲±۲۰ درجه سلسیوس، طول دوره روشنایی ۱۲ ساعت و مقدار نور بین ۸۰۰۰ تا ۹۰۰۰ لوکس با نور لامپ‌های فلورسنت مهتابی و آفتابی تنظیم گردید. بعد از تعیین رطوبت ظرفیت مزرعه برای هر یک از خاک‌ها به روش صفحات تحت فشار[1] در آزمایشگاه فیزیک خاک، آبیاری گلدان‌ها به روش وزنی با استفاده از آب مقطر انجام شد. رطوبت خاک در طول دوره رشد بین ۸۰ تا ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. پس از اتمام دوره رشد رویشی (دو ماه)، شاخسار ذرت از محل طوقه قطع و با ترازوی دیجیتالی (±۰/۰۰۱) توزین گردید. برای جداسازی کامل ریشه، بعد از برداشت شاخسار از محل طوقه، خاک گلدان به همراه ریشه در یک ظرف آب غوطه‌ور شد. شاخسار و ریشه با آب شهری، سپس با آب مقطر شسته و روی توری‌های پلاستیکی پخش شد تا آب اضافی موجود در سطح آن‌ها خشک شود. سپس وزن تر شاخسار و ریشه با ترازوی دیجیتالی توزین و سپس داخل کاغذ خشک‌کن جهت حذف رطوبت موجود قرار گرفتند. در نهایت نمونه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک شاخسار و ریشه اندازه‌گیری گردید. غلظت عناصر معدنی در گیاه ذرت پس از هضم نمونه گیاه به روش سوزاندن خشک تعیین گردید (Jones, 2001). غلظت فسفر در نمونه گیاهی با روش وانادومولیبدو فسفریک‌اسید (روش زرد) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدلAPEL, PD-303) و غلظت مس و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (شیمادزو AA6300) اندازه‌گیری شد. میزان جذب عناصر از حاصلضرب غلظت در مقدار ماده خشک گیاهی و فاکتور انتقال نیز از تقسیم غلظت هر عنصر در شاخسار به غلظت همان عنصر در ریشه محاسبه شد. ضرایب همبستگی و توصیف آماری داده‌ها با

1- Pressure plate

استفاده از SPSS، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

در جدول شماره ۱ و ۲ به‌ترتیب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۲۱ نمونه خاک استفاده شده در این تحقیق و توصیف آماری آن‌ها ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، از آنجا که هیچ‌یک از خاک‌های موردمطالعه هدایت الکتریکی بالاتر از چهار دسی‌زیمس بر متر نداشتند، لذا مشکل شوری به عنوان متغیر ثانویه مطرح نبود و از نظر درصد رس و شن خاک‌ها از تنوع خوبی برخوردار بودند. دامنه pH خاک‌ها محدود بود که این موضوع به آهکی بودن خاک‌ها برمی‌گردد و دامنه مس قابل‌جذب ۰/۵۹ تا ۳/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که سطح بحرانی مس در خاک‌های موردمطالعه به روش تصویری کیت-نلسون و به‌وسیله عصاره‌گیر DTPA-TEA یک میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک به دست آمد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۲۱ خاک مورد استفاده در این تحقیق

Table 1. Physical and chemical properties of 21 used soils in this study

شماره خاک	منطقه	شن	رس	سیلت	ظرفیت زراعی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربنات کلسیم فعال	غلظت مس
Soil No	Area	Sand	Clay	Silt	FC	pH	EC	ACCE	Cu concentration
		(g 100 g^{-1})					(dS m^{-1})	(g 100g^{-1})	(mg kg^{-1})
1	سردرود Sard rood	77	9	14	10	8.13	3.49	3.49	0.79
2	آذرشهر Azar shahr	52	14	34	17	8.12	1.36	1.36	1.21
3	عجب شیر Ajabshir	37	24	39	21	8.1	1.62	1.62	1.53
4	عجب شیر Ajabshir	47	25	28	23	8.14	2.14	2.14	3.81
5	بناب Bonab	75	9	16	12	7.97	2.87	2.87	0.59
6	مراغه Maragheh	43	28	29	25	8.17	0.97	2.04	0.45
7	مراغه Maragheh	53	20	27	14	8.28	0.95	0.95	1.74
8	بستان آباد (قوریگل) Bostan abad (Ghorigal)	72	12	17	16	8.27	1.44	1.44	0.94
9	بستان آباد Bostan abad	52	21	27	18	8.21	0.91	0.91	1.01
10	بستان آباد (قره بابا) Bostan abad (Ghareh baba)	27	39	34	25	8.03	0.84	0.84	1.03
11	هشترود Hasht rood	46	26	28	30	7.93	1.94	1.94	2.27
12	سه راهی- هوراند Se rahi-Horand	29	32	39	26	8.12	2.4	2.4	1.81
13	هوراند- کلیبر Horand-Kalibar	48	23	29	23	8	3.04	3.04	1.47
14	کلیبر- اسلاندوز Kalibar-Oslandoz	64	13	23	11	8	2.16	2.16	3.62
15	مرند Marand	13	34	54	26	8.05	1.15	1.15	1.82
16	مرند- هادی شهر Marand-Hadi shahr	26	29	45	23	8.11	1.08	1.08	1.81
17	مرند- هادی شهر Marand-Hadi shahr	34	27	38	21	8.06	3.6	3.6	1.19
18	ارس- جلفا Aras-Jolfa	43	15	42	19	8.1	1.67	1.67	1.49
19	جلفا- هادی شهر Jolfa-Hadi shahr	31	18	51	12	8.15	1.33	1.33	1.98
20	هادی شهر Hadi shahr	86	5	9	11	8.08	1.4	1.4	1.71
21	جلفا- مرند Jolfa-Marand	83	5	12	16	7.93	1.04	1.04	0.61

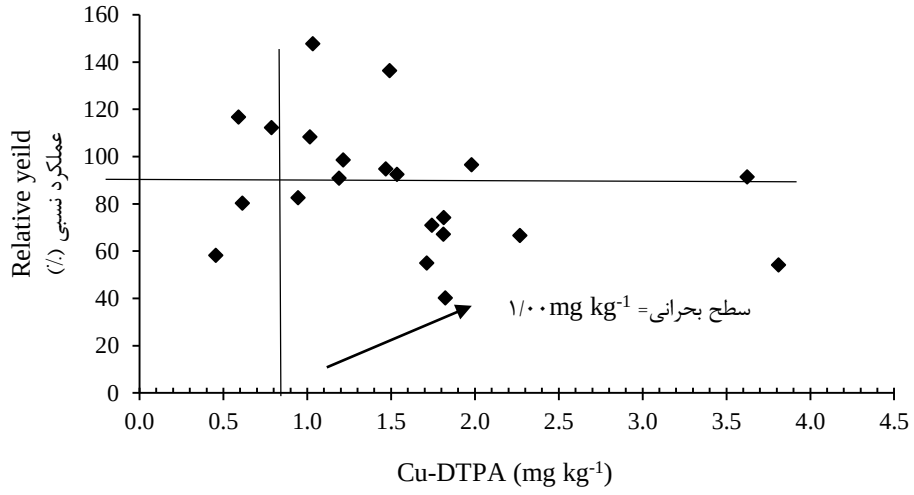
جدول ۲- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۲۱ خاک مورد استفاده در این تحقیق

Table 2. Statistical description of physical and chemical properties of 21 used soils in this study

ضریب تغییرات Coefficient of variation	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum		پارامتر Parameter
41.04	20.28	49.42	86.12	12.56		شن Sand
47.26	9.6	20.31	39.48	5.01		رس Clay
41.35	12.51	30.26	53.86	8.51	(g 100g^{-1})	سیلت Silt
69.69	8.30	11.91	26.41	1.62		کربنات کلسیم معادل CCE
67.52	3.24	4.8	10.74	0.86		کربنات کلسیم فعال ACCE
57.8	0.45	0.77	2.3	0.14		کربن‌آلی OC
1.2	0.1	8.1	8.28	7.93		pH پ‌هاش
47.81	0.85	1.77	3.6	0.84		هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})
79.47	2.72	3.42	12.73	0.76		آهن* Fe
55.0	3.32	6.04	15.37	0.67		منگنز* Mn
55.51	0.87	1.57	3.81	0.45	(mg kg^{-1})	مس* Cu
82.57	0.39	0.48	1.24	0.07		روی* Zn
37.02	107.55	290.45	474.83	142.82		پتاسیم* K
49.18	3.58	7.28	12.6	1.49		فسفر* P
43.97	16.25	36.95	90.57	21.50		مس کل Cu-Total

* غلظت قابل‌جذب ارائه شده است.

*Available concentration



شکل ۱- سطح بحرانی مس خاک با روش نموداری کیت-نلسون و عصاره‌گیر DTPA-TEA **برای ۹۰ درصد عملکرد نسبی**

Figure 1. Critical level of Cu by graphical Cate-Nelson and DTPA-TEA method for 90 % relative performance

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر مس بر وزن خشک ریشه (جدول ۳)، غلظت پتاسیم شاخسار، غلظت فسفر شاخسار و ریشه (جدول ۴) و مقدار جذب منگنز و پتاسیم شاخسار (جدول ۵) غیرمعنی‌دار، امّا در سایر شاخص‌ها همچون وزن خشک شاخسار (جدول ۳)، غلظت و مقدار جذب مس شاخسار، غلظت منگنز شاخسار و غلظت پتاسیم ریشه این اثر معنی‌دار بود (جداول ۴ و ۵). از آنجا که با مصرف مس، وزن خشک شاخسار افزایش معنی‌دار داشت، لذا غلظت منگنز شاخسار احتمالاً به دلیل اثر رقت کاهش معنی‌دار نشان داد. رضاخانی و همکاران (Rezakhani *et al.*, 2012) گزارش کردند که مصرف مس اثر معنی‌دار بر غلظت منگنز شاخسار گیاه اسفناج داشت و با افزایش سطح مس مصرفی، غلظت منگنز شاخسار کاهش یافت.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مس و نوع خاک بر شاخص‌های رشد ذرت

Table 3. Variance analysis of the effect of copper level and soil type on the growth of corn

منابع تغییر Change source	درجه آزادی Degrees of freedom	وزن تر شاخسار Shoot fresh weight (g pot^{-1})	وزن خشک شاخسار Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight (g pot^{-1})	وزن خشک ریشه Root dry weight (g pot^{-1})
بلوک Block	2	1119.24**	3.09 ns	143.82**	0.19 ns
خاک Soil	20	1663.72**	15.80**	62.66**	0.80**
مس Copper	1	6589.56**	40.20**	35.10 ns	0.28 ns
خاک× مس Soil× copper	20	612.50*	6.73**	30.64**	0.35*
خطای آزمایش Experimental error	82	309.50 ns	2.74 ns	13.33 ns	0.30 ns
ضریب تغییرات Coefficient of variation		37.65	28.71	32.32	32.74

ns، * و** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار ، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns, *, ** not significantly, significantly different by Duncan test at P < 0:05 and P < 0:01.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مس و نوع خاک بر غلظت برخی عناصر غذایی گیاه

Table 4. Variance analysis of the effect of copper level and soil type on concentration of some nutrients in plant

منبع تغییر Change source	درجه آزادی Degrees of freedom	غلظت مس شاخسار Shoot Cu concentration (mg kg^{-1})	غلظت مس ریشه Root Cu concentration (mg kg^{-1})	غلظت منگنز شاخسار Shoot Mn concentration (mg kg^{-1})	غلظت پتاسیم شاخسار Shoot K concentration (mg g^{-1} dw)	غلظت پتاسیم ریشه Root K concentration (mg g^{-1} dw)	غلظت فسفر شاخسار Shoot P concentration (mg g^{-1} dw)	غلظت فسفر ریشه Root P concentration (mg g^{-1} dw)
بلوک Block	2	1.42 ns	0.04 ns	125.16 ns	111.70 ns	17.72 ns	0.31 ns	0.00 ns
خاک Soil	20	126.48**	0.73**	921.06**	244.34**	51.03*	0.51**	0.05**
مس Copper	1	860.73**	21.67**	7092.01**	63.51 ns	350.68**	0.03 ns	0.01 ns
خاک× مس Soil× copper	20	26.68**	0.15 ns	231.92*	108.25 ns	6.54 ns	0.23*	0.08**
خطای آزمایش Experimental error	82	2.11 ns	0.05 ns	81.25 ns	97.40 ns	16.84 ns	0.13 ns	0.01 ns
ضریب تغییرات Coefficient of variation		7.71	6.88	13.43	15.67	22.83	16.17	18.11

ns، * و** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار ، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns, *, ** not significantly, significantly different by Duncan test at P < 0:05 and P < 0:01.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مس و نوع خاک بر مقدار جذب برخی عناصر غذایی در گیاه

Table 5. Variance analysis of the effect of copper level and soil type on absorption of some nutrients by plant

	مقدار جذب عنصر Absorption of nutrient (mg pot^{-1})				
منبع تغییر Change source	درجه آزادی Degrees of freedom	مس Copper	منگنز Manganese	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus
بلوک Block	2	0.001^{ns}	0.04^{ns}	21799.95^{ns}	34.78^{ns}
خاک Soil	20	0.002^{ns}	0.11**	6149.46**	83.34**
مس Copper	1	0.065**	0.01^{ns}	14738.60^{ns}	248.01**
خاک× مس Soil× copper	20	0.002^{ns}	0.03^{ns}	26995.55^{ns}	41.11^{ns}
خطای آزمایش Experimental error	82	0.001^{ns}	0.01^{ns}	14309.50^{ns}	14.71^{ns}
ضریب تغییرات Coefficient of variation		28.73	31.57	33.11	29.52

ns، * و** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار ، معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns, *, ** not significantly, significantly different by Duncan test at P < 0:05 and P < 0:01.

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، اثر نوع خاک فقط برای فاکتور انتقال پتاسیم معنی‌دار نبود، به‌طوری‌که برای سایر شاخص‌های مهم رشد ذرت اثر معنی‌دار دیده شد. میانگین پتاسیم قابل‌جذب ۲۱ خاک موردمطالعه ۲۹۰/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (جدول ۱) بود که از سطح بحرانی پتاسیم برای گیاه ذرت (۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر بود (Kamkar *et al.*, 2011)، لذا شاید همین وضعیت مطلوب پتاسیم قابل‌جذب خاک دلیل معنی‌دار نبودن اثر خاک بر فاکتور انتقال پتاسیم باشد. همچنین اثر متقابل خاک و مصرف مس بر وزن خشک شاخسار، غلظت مس و منگنز شاخسار و غلظت فسفر شاخسار و ریشه معنی‌دار بود.

در جدول ۶ میانگین شاخص‌های گیاه ذرت در دو سطح شاهد و تیمار ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، تأثیر مس مصرفی بر وزن خشک شاخسار و غلظت پتاسیم ریشه کاملاً معنی‌دار بود ($p<0.01$). حاتم و رونقی (Hatam & Ronaghi, 2011) نیز گزارش کردند که در خاک‌های آهکی شیراز با مس قابل‌جذب ۱/۳۸ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک، با مصرف ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک، افزایش ماده خشک گیاه معنی‌دار بود، اما در سطح ۱۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک، ماده خشک شاخسار ذرت کاهش یافت و دلیل آن را اثر آنتاگونیستی مس با منگنز مصرفی (۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم منگنز بر کیلوگرم خاک) گزارش کردند. در شرایط این تحقیق گلخانه‌ای، در وزن خشک ریشه، غلظت پتاسیم شاخسار و مقدار جذب منگنز بین سطح صفر و سطح ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در سطح ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک غلظت منگنز شاخسار کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۲) که می‌توان دلیل آن را به رابطه آنتاگونیستی بین این دو عنصر ربط داد. موسوی و رونقی (Mosavi & Ronaghi, 2007) نشان دادند که کاربرد منگنز باعث کاهش معنی‌دار غلظت و مقدار مس در برگ لوبیا شد و دلیل آن را اثر بازدارنده منگنز بر انتقال مس از ریشه به اندام‌های هوایی گزارش کردند. آنان همچنین گزارش کردند که کاربرد منگنز باعث کاهش غلظت و مقدار جذب مس در برگ‌های گیاه لوبیا شد. آنان دلیل این امر را اثر بازدارنده منگنز بر فاکتور انتقال مس از ریشه به اندام‌های هوایی اعلام کردند. رضاخانی و همکاران (Rezakhani *et al.*, 2012) گزارش کردند که در خاک‌های آهکی استان زنجان با مقدار مس قابل‌جذب ۰/۳۶ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک، مصرف مس اثر معنی‌دار بر غلظت منگنز شاخسار اسفناج داشت و با افزایش سطوح مس از غلظت منگنز کاسته شد. رضاخانی و همکاران (Rezakhani *et al.*, 2012) همچنین گزارش کردند که با افزایش سطح مس مصرفی تا ۱۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک، وزن خشک شاخسار اسفناج افزایش یافت اما در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک، کاهش وزن خشک شاخسار مشاهده شد. کوسار و همکاران (Kausar *et al.*, 1976) گزارش کردند که در خاک‌های آهکی پاکستان با ۲/۴۴ میلی‌گرم مس قابل‌جذب بر کیلوگرم خاک، مصرف ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک باعث افزایش ماده خشک گیاه برنج شد، در حالی‌که مصرف

۱۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک برای گندم در برخی خاک‌ها افزایش و در برخی دیگر کاهش ماده خشک را به‌همراه داشت. چراکه خاک‌های موردبررسی در تحقیق آنان دارای دامنه گسترده‌ای (۰/۸۲ تا ۳/۸۰) از مس استخراج شده به‌وسیله عصاره‌گیر DTPA-TEA بودند و سطح مس مصرفی (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برخی خاک‌ها باعث ایجاد سمیت شده بود. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2009) با مصرف ۱/۵ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک در خاک‌های آهکی هند، افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه را گزارش کردند. آنان نتیجه مشاهده شده را چنین تفسیر نمودند که مس در ساخت پروتئین‌ها و تنظیم اکسین نقش دارد و لذا می‌تواند باعث طویل شدن سلول‌ها و افزایش ارتفاع گیاه شود.

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های شاخص‌های رشد ذرت برای اثرات اصلی مس مصرفی

Table 6. Comparison of means of corn growth characteristics of corn for the main effects of applied copper

غلظت مس ریشه Root Cu concentration (mg kg^{-1} dw)	غلظت مس شاخسار Shoot Cu concentration (mg kg^{-1} dw)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g pot^{-1})	وزن خشک شاخسار Shoot dry weight (g pot^{-1})	(mg Cu kg^{-1} soil)
23.91 b	16.31 b	1.01 a	4.92 b	0
52.98 a	21.47 a	1.17 a	6.79 a	7.5
غلظت فسفر ریشه Root P concentration (mg kg^{-1} dw)	**غلظت فسفر شاخسار Shoot P concentration (mg kg^{-1} dw)**	**غلظت پتاسیم ریشه Root K concentration (mg kg^{-1} dw)**	**غلظت پتاسیم شاخسار Shoot K concentration (mg kg^{-1} dw)**	
0.70 a	2.30 a	19.65 a	63.70 a	0
0.68 a	2.26 a	16.31 b	62.27 a	7.5
فاکتور انتقال فسفر P translocation factor	**فاکتور انتقال پتاسیم K translocation factor**	**فاکتور انتقال مس Cu translocation factor**	**غلظت منگنز شاخسار Shoot Mn concentration (mg kg^{-1} dw)**	
3.43 a	3.41 b	0.67 a	74.64 a	0
3.63 a	4.06 a	0.44 b	59.63 b	7.5
مقدار جذب فسفر P absorption (mg pot^{-1})	**مقدار جذب پتاسیم K absorption (mg pot^{-1})**	**مقدار جذب منگنز Mn absorption (mg pot^{-1})**	**مقدار جذب مس Cu absorption (mg pot^{-1})**	
11.60 b	327.10 b	0.39 a	0.08 b	0
14.40 a	395.50 a	0.37 a	0.13 a	7.5

با توجه به جدول ۶، به‌طور میانگین در ۲۱ خاک مورد استفاده در این تحقیق، غلظت مس شاخسار و ریشه و مقدار جذب مس به‌وسیله شاخسار ذرت در سطح ۷/۵ میلی‌گرم مس مصرفی بر کیلوگرم خاک نسبت به سطح صفر افزایش معنی‌دار نشان داد. این در حالی است که میانگین مس قابل جذب خاک‌ها (Cu-DTPA-TEA) ۱/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که از سطح بحرانی گزارش شده برای غلات در ایران به‌وسیله برخی محققان نظیر ضیائیان و ملکوتی (Ziaeian & Malakouti, 1999) بیشتر بود. البته میانگین غلظت مس در شاخسار ذرت حتی بعد از مصرف سولفات-مس نیز در دامنه نرمال (۷ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده در منابع برای مس بود (Fageria *et al.*, 1997). همچنین مشاهده می‌شود که فاکتور انتقال مس از نظر عددی کمتر از یک بوده که نشان‌دهنده تمایل ذرت به تجمع مس در ریشه است تا ارسال آن به شاخسار، و با مصرف مس این تمایل گیاه تشدید شد. چون فاکتور انتقال به طور معنی‌داری کاهش یافت. محصلی (Mohaseli, 2003) گزارش کرد که با مصرف ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک، وزن خشک گندم رقم فلات، غلظت مس شاخسار و مقدار جذب مس نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. صفیان و همکاران (Safian *et al.*, 2011) گزارش کردند که با مصرف ۵ میلی‌گرم مس و مصرف توأم ۵ و ۲/۵ میلی‌گرم مس و منگنز بر کیلوگرم خاک برای ذرت رقم سینگل کراس ۳۰۲ در خاک‌های آهکی اصفهان، وزن خشک و عملکرد گیاه افزایش معنی‌دار یافت و بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار ترکیبی مس و منگنز (به‌ترتیب ۵ و ۲/۵ میلیگرم بر کیلوگرم خاک) مشاهد شد. در جدول‌های

۷ تا ۹ مقایسه میانگین‌های شاخص‌های گیاه که اثر برهم‌کنش خاک و مس مصرفی برای آن‌ها معنی‌دار شده بود، ارائه شده است. بیشترین وزن تر و خشک هوایی (جدول ۷)، غلظت مس شاخسار (جدول ۸)، غلظت فسفر ریشه (جدول ۹) در سطح ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب در خاک‌های ۱، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۹ و ۲۱ و بیشترین غلظت منگنز شاخسار (جدول ۸) در خاک‌های شماره ۲ و ۷ و غلظت فسفر شاخسار در خاک شماره ۶ در شاهد مشاهده شد. با توجه به جدول شماره ۸، مشاهده می‌شود که مصرف مس باعث کاهش معنی‌دار غلظت منگنز در شاخسار ذرت شد که می‌توان این امر را ناشی از رابطه آنتاگونیستی این دو عنصر دانست. اما اثری بر مقدار جذب منگنز گیاه نداشت، چرا که مس مصرفی باعث افزایش وزن خشک شده بود. نتایج به‌دست آمده با نتایج حاتم و رونقی (Hatam & Ronaghi, 2011)، سدبری و همکاران (Sedberry *et al.*, 1980) مطابقت داشت. خاک ۱۱ دارای کربنات‌کلسیم فعال کم (۰/۸۶ درصد) بود (جدول ۱). بنابراین شاید بتوان گفت تأثیر کربنات‌کلسیم بر جذب مس کمتر بوده و لذا فعالیت مس در فاز محلول بیشتر بوده و باعث افزایش وزن تر شاخسار و ریشه و وزن خشک ریشه شده است. کلاس بافتی خاک شماره ۱ لوم شنی بود و دارای مس قابل‌استخراج ۰/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است (جدول ۱)، بنابراین قابل انتظار بود که با مصرف مس غلظت مس گیاه در این خاک افزایش نشان دهد. کمترین وزن خشک ریشه، غلظت منگنز شاخسار، غلظت فسفر شاخسار و ریشه در سطح ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب در خاک‌های ۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۲۱ و کمترین وزن تر و خشک هوایی و غلظت مس شاخسار در شاهد خاک‌های شماره ۱ و ۵ مشاهده شد. ممکن است بافت سبک خاک به‌همراه مس قابل‌جذب کم خاک شماره ۱ دلیل کمترین وزن خشک شاخسار باشد. خاک شماره ۱۵ درصد کربنات‌کلسیم فعال بالایی داشت (جدول ۱) که ممکن است ممانعت از جذب منگنز را بر اثر مصرف مس (۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک) تشدید کرده باشد. خاک ۵ دارای درصد کربنات‌کلسیم فعال بالا بود (جدول ۱) و همین امر می‌تواند یکی از دلایل احتمالی غلظت کم مس شاخسار باشد. چرا که در حضور کربنات‌کلسیم به‌ویژه شکل فعال آن، احتمال جذب سطحی مس یا حتی رسوب مس مصرفی به‌شکل کربنات‌مس یا هیدروکسیدمس بالا است (Tabandeh *et al.*, 2008).

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های وزن خشک شاخسار و ریشه ذرت برای اثر متقابل مس و نوع خاک

Table 7. Comparison of means of the dry weight of corn Shoot and root for Cu × Soil type interaction

وزن خشک شاخسار ($g\ pot^{-1}$) Shoot dry weight ($g\ pot^{-1}$)		وزن خشک ریشه ($g\ pot^{-1}$) Root dry weight ($g\ pot^{-1}$)		
mg Cu 7.5 kg^{-1} Soil	Control شاهد	mg Cu 7.5 kg^{-1} Soil	Control شاهد	Soil No شماره خاک
2.25 ^{jk}	2^{k}	0.35 ^{e}	0.50 ^{df}	1
5.90 $^{c-i}$	5.82 $^{c-i}$	1.22 $^{b-e}$	1.33 $^{a-e}$	2
9.95 $^{c-i}$	6.43 $^{b-h}$	1.58 $^{a-d}$	1.58 $^{a-d}$	3
8.04^{b-e}	4.50 $^{f-k}$	1.48 $^{a-d}$	0.83 ^{cde}	4
4.20 $^{f-k}$	3.60^{h-k}	1.21 $^{b-e}$	0.98 $^{b-e}$	5
7.36 $^{b-f}$	4.30 $^{f-k}$	1.12 $^{b-e}$	0.70^{d-e}	6
5.31^{e-j}	3.77 $^{g-k}$	0.95 $^{b-e}$	0.70^{d-e}	7
7.07 $^{b-g}$	5.85 $^{c-i}$	1.97 ^{ab}	1.26^{a-e}	8
6.30 $^{b-h}$	5.81^{c-i}	1.19 $^{a-e}$	1.30 $^{a-e}$	9
9.12 $^{a-c}$	6.17^{b-h}	1.10 ^{ab}	1.12 $^{b-e}$	10
9.42 ^{ab}	6.28 $^{b-h}$	2.33^{a}	1.35^{a-e}	11
8.70 $^{a-d}$	6.45 $^{b-h}$	1.35 $^{a-e}$	1.48^{a-d}	12
7.18 $^{b-f}$	6.81^{b-h}	0.90 $^{b-e}$	1.52 $^{a-d}$	13
4.11 $^{f-k}$	3.76^{g-k}	0.61 ^{de}	0.62 ^{de}	14
11.55 ^{a}	4.64 $^{f-k}$	1.92 ^{abc}	0.95 $^{b-e}$	15
8.70^{a-d}	5.85 $^{c-i}$	0.94^{b-e}	0.74^{de}	16
5.21 $^{e-k}$	4.74^{e-k}	1.02 $^{b-e}$	1.27 $^{a-e}$	17
7.04 $^{b-g}$	5.16 $^{e-k}$	0.72 ^{de}	1.17 $^{b-e}$	18
3.60^{h-k}	3.48 $^{h-k}$	0.56 ^{de}	0.90 $^{b-e}$	19
4.86 $^{e-k}$	2.67 $^{i-k}$	1 $^{b-e}$	0.56^{de}	20
6.72 $^{b-h}$	5.40 $^{d-j}$	1.15 $^{b-e}$	1.05 $^{b-e}$	21
6.79	4.92	1.17	1.01	Mean میانگین

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های غلظت مس و منگنز شاخسار ذرت برای اثر متقابل مس و نوع خاک

Table 8. Comparison of means of the corn Shoot Concentration Cu and Mn for Cu × Soil type interaction

غلظت منگنز شاخسار ($mg\ kg^{-1}$)		غلظت مس شاخسار ($mg\ kg^{-1}$)		
Shoot Concentration of Manganes		Concentration of copper Shoot		
mg Cu 7.5 kg^{-1} Soil	Control شاهد	mg Cu 7.5 kg^{-1} Soil	Control شاهد	Soil NO شماره خاک
61.66 d-h	75.86 a-g	37.95 a	29.94 b	1
60.90 d-h	96.50 a	21.63 ef	17.31 j-p	2
69.36 a-g	92.70 abc	20.86 fgh	13.50 st	3
70.20 a-g	94.27 ab	21.08 fg	16.04 k-s	4
53.38 e-h	69.61 a-g	26.97 c	12.54 t	5
59.48 d-h	82.67 a-e	23.71 de	15.61 m-s	6
65.03 b-g	96.96 a	17 j-q	16.74 j-r	7
45.47 gh	62.37 c-h	18.79 g-k	13.41 st	8
77.34 a-f	95.31 ab	18.14 h-n	13.94 rst	9
69.54 a-g	89.58 a-d	18.53 g-l	14.86 p-t	10
68.84 a-g	94.96 ab	16.12 j-s	14.18 q-t	11
60.57 d-h	73.12 a-g	16.61 j-r	15.18 o-t	12
64.97 b-g	72.37 a-g	17.96 i-o	14.30 q-t	13
56.80 e-h	58.38 e-h	18.28 h-m	15.45 m-s	14
33.44 h	48.23 fgh	15.78 l-s	15.38 n-s	15
46.65 fgh	55.38 e-h	18.70 j-p	17.78 i-o	16
57.04 e-h	68.67 a-g	21.05 fg	14.90 p-t	17
59.78 d-h	59.85 d-h	18.91 g-j	15.45 m-s	18
50.44 fgh	70.22 a-g	37.30 a	21.88 ef	19
48.28 fgh	60.34 d-h	20.35 f-i	18.18 h-n	20
73.18 a-g	50.10 fgh	25.22 cd	14.60 p-t	21
59.63	74.64	21.47	16.24	Mean میانگین

جدول۹- مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر شاخسار و ریشه ذرت برای اثر متقابل مس و نوع خاک

Table 9. Comparison of means of the corn Shoot and Root Concentration P and for Cu × Soil type interaction

غلظت فسفر ریشه ($mg\ g^{-1}\ dw$)		غلظت فسفر شاخسار ($mg\ g^{-1}\ dw$)		
Root concentration P		Shoot concentration P		
mg Cu 7.5 kg^{-1} Soil	Control شاهد	mg Cu 7.5 kg^{-1} Soil	Control شاهد	Soil No شماره خاک
0.54 l-o	0.91 ab	2.22 b-e	2.55 b-e	1
0.80 b-g	0.60 k-o	2.07 b-e	2.03 b-e	2
0.90 abc	0.34 pq	2.55 b-e	1.96 cde	3
0.82 a-f	0.76 b-h	2.52 b-e	2.32 b-e	4
0.60 j-o	0.67 f-m	2.63 bcd	2.75 b	5
0.86 a-d	0.76 b-i	2.68 bc	3.96 a	6
0.67 g-m	0.75 c-j	2.16 b-e	2.31 b-e	7
0.66 g-m	0.83 a-e	2.11 b-e	2.23 b-e	8
0.70 e-k	0.70 e-l	1.92 de	2.14 b-e	9
0.62 h-n	0.62 h-n	2.09 b-e	1.92 de	10
0.83 a-e	0.82 a-f	2.30 b-e	2.24 b-e	11
0.60 j-o	0.65 g-n	2.01 b-e	2.08 b-e	12
0.70 e-l	0.80 a-g	2.12 b-e	2 b-e	13
0.26 q	0.70 e-k	2.56 b-e	2.05 b-e	14
0.90 abc	0.75 c-j	2.52 b-e	2.20 b-e	15
0.60 j-o	0.52 mno	2.30 b-e	2.14 b-e	16
0.51 no	0.61 i-o	1.84 e	2.10 b-e	17
0.57 k-o	0.82 a-f	2.44 b-e	2.21 b-e	18
0.58 k-o	0.80 a-g	2.23 b-e	2.30 b-e	19
0.68 e-l	0.71 d-k	1.94 cde	2.53 b-e	20
0.94 a	0.46 op	2.25 b-e	2.12 b-e	21
0.68	0.7	2.26	2.3	میانگین (Mean)

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل، در خاک‌های موردمطالعه با مصرف ۷/۵ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک که تقریباً معادل ۳۰ کیلوگرم سولفات مس بر هکتار بود، وزن خشک شاخسار ذرت علوفه‌ای، غلظت و جذب مس شاخسار و ریشه افزایش یافت. همچنین مشخص گردید که کود مس نمی‌تواند در شرایط این آزمایش یعنی پتاسیم و فسفر قابل‌جذب کافی و البته در گلخانه با دوره رشد دو ماهه، بر جذب و غلظت پتاسیم و فسفر گیاه ذرت علوفه ای اثر معنی‌داری داشته باشد. با مصرف مس، غلظت منگنز کاهش معنی‌دار نشان داد که مطابق مطالب منتشر شده در منابع معتبر می‌توان دلیل این امر را رابطه آنتاگونیست این دو عنصر دانست. همچنین اثر متقابل نوع خاک و مصرفی بر وزن خشک، غلظت مس، غلظت منگنز، غلظت فسفر شاخسار و غلظت فسفر ریشه معنی‌دار بود. در خاتمه لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده در این پژوهش قابل‌تعمیم به مزرعه نبوده و از آن‌جا که مطالعات گزارش شده تاکنون مربوط به چندین سال گذشته هستند، ضرورت دارد ضمن تداوم پژوهش‌ها در مزارع کشور و مقایسه با نتایج گلخانه‌ای تصمیم‌گیری نهایی راجع به مصرف یا عدم مصرف کود با مشارکت دانشگاه و موسسه تحقیقات خاک و آب کشور باشد.

سپاسگزاری: بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تأمین هزینه تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Allison L.E., and Moodie C.D. 1965. Carbonate. In: Black C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part-2. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp. 1379-1396.

Basra A.S. 1997. Mechanisms of Environmental Stress Resistance in plants. Amsterdam, the Netherlands: Harwood Academic Publishers, 407p.

Fageria N.K., Baligar V.C., and Jones C.A. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. 2nd Ed. New York.

Fageria N.K. 2002. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:1765-1772.

Gee G.W., and Or D. 2002. Particle size analysis. In: Black C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part-4. Physical Methods, *Soil Science Society of America*, Madison, WI, pp. 201-214.

Hatam Z., and Ronaghi A. 2011. Influence of compost and compost leachate on growth and chemical composition of barley and the bioavailability of some nutrients in calcareous clay loam and sandy soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 3:197-206. (In Persian)

Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., and Nelson W.L. 2007. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. Prentice Hall, Upper Saddle River, pp. 244-289.

Jones J.B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. Cereals Research of Community Press.

Kamkar B., Langroodi A.R., and Mohammadi R. 2011. The Use of Nutrients in Crops Plants. (Translation) .University of Mashhad Press. (In Persian)

Kausar M.A., Chaudhry A., Rashid A., Latif A., and Alam S.M. 1976. Micronutrient availability to cereals in calcareous soils. *Plant and Soil*, 45: 397-410.

Kumar R., Mehrotra N.K., Nautiyd B.D., Kumar P., and Singh P.K. 2009. Effect of copper on growth, yield and concentration of Fe, Mn, Zn and Cu in wheat plants (*Triticum aestivum* L). *Journal of Environmental Biology*, 30: 485-488.

Malakooti M.J, and Tehrani M.M. 2005. Effects of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products. Tarbiat Modarres University Press, 396p. (In Persian).

Marschner H., and Rommheld V. 1995. Strategies of plants for acquisition of iron. Iron Nutrition in Soil and Plants. *Kluwer Academic Publishers*, pp. 375-388.

Mocquot B., Vangronsveld J., Clijsters H., and Mench M. 1996. Copper toxicity in young maize plants: effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and enzyme activities. *Plant and Soil*, 182: 287-300.

Mohasseli V. 2003. Effects of different levels of copper on growth and chemical composition of wheat, variety of Falat Staff . *Research and Construction,* 61: 25 - 31. (In Persian)

Mosavi S.A.A., and Ronaghi A.M. 2007. Effects of iron and manganese soil application and foliar application on dry matter yield and nutrients in the beans, Proceedings of the Tenth. Congress of Soil Science Branch, Karaj, Iran. (In Persian)

Mostashari M. 1997. Investigate the interactions between phosphorus and micronutrients (iron and zinc) in dominant series of the Qazvin plain soils. M.Sc. Thesis. University of Tehran. Iran, p.87. (In Persian)

Nelson D.W., and Sommers L.E. 1966. Total carbon, organic chemical methods. In: Sparks D.L., Page P.A., Helmke R.H., Loppert P.N., Soltanpour M.A., Ouzouniou G., Ciamporova M., Moustakas M., and Karrtaglis S. (Ed.), Response maize plants to copper stress. I. Growth, mineral content and ultrastructure of roots. *Environmental and Experimental Botany*, pp. 961-1010.

Rezakhani L., Golchin A., and Shafiei S. 2012. Effects of different levels of copper and cadmium on the growth and chemical composition of spinach. *Journal of Crop*, 8:87-100. (In Persian)

Rhoades J.D. 1996. Salinity electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L. (ED.), Methods of Soil Analysis, Part-3. Chemical Methods. *Soil Science Society of America and America Society of Agronomy*, Madison, WI, pp. 417-436.

Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Handbook. No, 60, U. S. Government printing office, Washington DC, 84p.

Safian N., Naderi M.R., Shamsi M., and darkhal H. 2011. Check foliar feeding micro elements on growth and yield of maize 302 KSC in the Isfahan area. First national conference on agricultural issues in Islamic Azad University of Saveh. (In Persian)

Sedberry J.E., Eun J.R., Wilson M.Y., Barndon F.E., and Bligh D.M. 1980. Effect of application of copper and zinc on yield of Satarn rice grown on Crowley silt loam and on chemical composition of rice-leaf tissue. Annual Progress Report, Rice Experiment Station Crowley, Louisiana, pp.91-95.

Setua G.C., Kar R., Ghosh J.K., and Dassen K.K. 2007. Influence of arbuscular mycorrhizae on growth, leaf yield and phosphorus uptake in Mulberry (*Mornus Alba* L.) under rainfed, Lateritic Soil Conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 98-103.

Shahbazi K., and Besharati H. 2014.Overview of agricultural soil fertility status of Iran. *Journal of Land Management*, 1:1-17.

Tabandeh L., Maftoun M., karimian N.A., and Emam I. 2008. Effect of copper on rice yield and chemical composition and determination of critical level in some calcareous soils of Fars province. *Journal of Soil and Water Sciences*, 22: 1-10. (In Persian)

Tiller K., and Merry R.H. 1981. Copper pollution of agricultural soils. In: Loneragan J.F., Robson A.D., Graham R.D. (Ed.), *Copper in Soils and Plants*. Academic Press, pp. 119-137.

Ziaeian A., and Malakooti M.J. 1999. The effect of Fe, Mn, Zn and Cu application on wheat production in high calcareous soil of Fars provience (Green house study). *Scientific Research Journal of Soil and Water*, 12(6): 201-206.

Effects of Copper (Cu) Application on Concentration and Uptake of Cu, Manganese (Mn), Potassium (K) and Phosphorus (P) on Corn Plant

Adel Reyhanitabar[1], Elham Abdolmaleki[2] and Omid Kamangar[3]

(Received: January 2016 Accepted: July 2017)

Abstract

Copper (Cu) is an essential micronutrient for plant growth. Copper application can have a significant impact on Mn, K, P and other nutrients in plants nutrition. In this study the effect of applied Cu on corn (*Zea mays* L.) growth, concentration and uptake of Cu, Mn, K and P in 21 calcareous soils was checked out. In order to measure the concentration and content of uptake of the studied elements, in a greenhouse experiment, corn plant (*Zea mays* L.) single cross 704 variety cultivated in two levels of Cu, zero (control) and 7.5 mg Cu per kg^{-1} of soil as $CuSO_4.5H_2O$. The experiment was carried out as factorial in a randomized complete blocks design with three replications. According to the results, by application of copper, corn shoot dry weight, shoot Cu concentration and uptake and root Cu concentration were significantly increased ($p<0.05$). But applied Cu couldn't significantly increase root dry weight, shoot K and P concentration and shoot Mn uptake. Nevertheless, applied Cu significantly decreased shoot Mn concentration ($p<0.05$). Finally, the interaction of soil × applied Cu on shoot dry weight; shoot Cu, Mn and P concentration was significant ($p<0.05$). Moreover, the interaction of applied Cu on P and K translocation factor was significant that indicated Cu effects on translocation of this two nutrient from root to shoot.

Keywords: Antagonist, Calcareous soil, Single cross variety, Translocation factor.

1-Associate Prof., Department of Soil Science, University of Tabriz.
2 & 3-MSc. Graduate, Department of Soil Science, University of Tabriz.
* Corresponding Author Email: areyhani@tabrizu.ac.ir