

بررسی برخی صفات زراعی ذرت (*Zea mays* L.) متأثر از شکل‌های مس در خاک‌های استان آذربایجان شرقی

عادل ریحانی تبار^{۱*}، امید کمانگر^۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۴ تاریخ پذیرش ۹۶/۲/۱۱

۱-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲-دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

چکیده

مس یکی از عناصر ضروری و کم‌مصرف برای گیاهان است و قابلیت دسترسی آن در خاک‌های آهنی کم می‌باشد. قابلیت دسترسی مس برای گیاهان به توزیع نسبی شکل‌های مختلف شیمیایی آن در خاک بستگی دارد که البته تابعی از ویژگی‌های خاک است. در این پژوهش گلخانه‌ای، شکل‌های مختلف مس کل خاک به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای در ۲۱ نمونه خاک سطحی استان آذربایجان شرقی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متنوع، جزئی بندی شد. بر طبق نتایج حاصله غلظت شکل‌های مختلف مس به ترتیب مس باقی‌مانده (Cu-Res) < مس پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری (Cu-CFeOX) < مس پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل (Cu-AFeOX) < مس پیوسته به مواد آلی (Cu-OM) < مس کربناتی (Cu-Car) < مس تبدلی (Cu-Ex) < مس پیوسته به اکسیدهای منگنز (Cu-MnOX) بود. مطالعات همبستگی نشان داد که ماده خشک بخش هوایی و ریشه ذرت، غلظت مس بخش هوایی ذرت و مقدار جذب مس بخش هوایی ذرت با هیچ کدام از شکل‌های مس همبستگی معناداری نداشتند. شکل‌های Cu-Res، Cu-AFeOX، Cu-MnOX، Cu-Car با غلظت مس بخش ریشه ذرت همبستگی مثبت و معناداری داشتند. همچنین، شکل باقی‌مانده مس با غلظت و مقدار جذب مس توسط ریشه و بخش هوایی همبستگی معناداری داشت.

واژه‌های کلیدی: ذرت، شکل‌های شیمیایی مس، عصاره‌گیری دنباله‌ای، غلظت، مس

Study of Some Agronomical Traits of Corn (*Zea mays* L.) as Affected by Copper Fractions in Soils of East Azerbaijan

Adel Reyhanitabar^{1*}, Omid Kamangar²

Received: June 13, 2016 Accepted: May 1, 2017

1- Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Graduated MSc Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

Abstract

Copper (Cu) is a necessary micronutrient for crops and its availability in calcareous soils is low. Phytoavailability of Cu depends on the relative distribution of different chemical Cu forms in soil, which is function of soil properties. In this greenhouse research, total soil Cu fractionated into different forms by sequential extraction procedure in 21 surface soil samples of East Azarbayjan province that varied in physical and chemical properties. According to the results, different Cu fractions concentration were as: Residual copper (Cu-Res) > Crystalline Fe oxides bound (Cu-CFeOX) > amorphous Fe oxides bound (Cu-AFeox) > Oranically bound (Cu-OM) > Carbonates bound (Cu-Car) > soluble +exchangeable (Cu-Ex) > Mn oxide bound (Cu-Mnox). Correlation coefficient showed that the corn shoot dry matter, corn shoot copper concentration and corn shoot copper content hadn't significant correlation with soil copper forms. Cu-Car, Cu-MnOX, Cu-AFeOX, and Cu-Res had a significant relationship with corn shoot and root copper concentration.

Keywords: Chemical Forms of Copper, Concentration, Copper, Corn, Sequential Extraction

مقدمه

کمبود مس در خاک‌های آلی و خاک‌های شنی که بطور معمول مقدار مس کل کمی دارند و در خاک‌های آهکی که مس قابلیت جذب گیاهی کمی دارد عمومیت بیشتری دارد (گوان و همکاران ۲۰۱۱). مس (Cu) یک عنصر کم مصرف برای رشد گیاهان است. این عنصر در واکنش‌های متعدد انتقال الکترون در هر دو فرآیند فتوسنتز و تنفس دخالت دارد. مس همچنین در متابولیسم لیپید و اسیدهای چرب نقش دارد (گانکل و

همکاران ۲۰۰۴). مس یکی از اجزای تشکیل دهنده پروتئین کلروپلاست یعنی پلاستوسیانین می‌باشد (مارشور ۱۹۹۵). تحقیقات هالس وورت و همکاران (۱۹۶۰) نشان می‌دهد که به دلیل نقش مس در ساخت لگ هموگلوبین، این عنصر نقش مهمی را در تثبیت همزیست نیتروژن ایفا می‌کند. مس در ساختمان پروتئین‌های تنظیمی، زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، تنفس میتوکندریایی، پاسخ به تنش اکسیداتیو، متابولیسم دیواره سلولی و سیگنال‌های هورمونی شرکت دارد (راون و همکاران ۱۹۹۹). مس به عنوان

ویلیر ۲۰۰۲). عصاره‌گیری دنباله‌ای از روش‌های رایج جداسازی شکل‌های شیمیایی مس می‌باشد که به منظور درک بهتر فرآیندهای مؤثر در فراهمی این عنصر به کار برده می‌شوند (خانمیرزایی و همکاران، ۱۳۹۱). در روش عصاره‌گیری دنباله‌ای نمونه خاک با مجموعه‌ای از عصاره‌گیرها برای حل شدن و جداسازی شکل‌های هدف عناصر واکنش داده می‌شود و فرض بر این است که واکنش دهنده‌ها برای انحلال یک قسمت ویژه از خاک به طور انتخابی عمل می‌کنند و بر فازهای غیر هدف کمترین اثر را داشته و آنها را به مقدار ناچیز حل می‌کنند (کاظمی و همکاران ۲۰۱۲). روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای گوناگونی تاکنون ابداع شده است. در سال ۱۹۷۲ جداسازی شکل‌های معدنی عناصر کم مصرف کاتیونی توسط چائو پیشنهاد شد (به نقل از استوویر و همکاران ۱۹۷۹)، که بعدها توسط اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) اصلاح شد. در این روش شکل‌های تبدیلی، محلول، جذب سطحی شده به مواد آلی، کربناتی و باقی‌مانده جداسازی می‌شوند. شومن (۱۹۸۵) در خاک‌های اسیدی آیالات متحده آمریکا برای جداسازی شکل‌های مختلف عناصر کم مصرف کاتیونی روشی ارائه داد که در آن جزء متصل به کربنات‌ها وجود نداشت. تسیر و همکاران (۱۹۷۹) نیز روشی برای تعیین شکل‌های مس ارائه دادند که در آن شکل‌های مس به پنج جزء تبدیلی، کربناتی، آلی، پیوند یافته آهن و منگنز، آلی و باقی‌مانده تفکیک شدند. روش سینگ و همکاران (۱۹۸۸) نیز تلفیقی از روش‌های تسیر، شومن و چائو می‌باشد که مس را به شکل‌های تبدیلی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی‌شکل و اکسیدهای آهن بلوری و باقی‌مانده جداسازی می‌کند. مزیت همه روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای این است که در هنگام استفاده برای خاک‌های کشاورزی می‌توانند جزء محلول و قابل تبادل که قابل جذب گیاه است را جداسازی کنند (علوی و همکاران ۲۰۱۲). باید توجه داشت که انتخاب یک عصاره‌گیر برای استخراج یک

جزئی از پروتئین‌ها و آنزیم‌های دخیل در انتقال الکترون و واکنش‌های احیایی بوده و در بسیاری از واکنش‌های بیولوژیکی مهم به‌عنوان کوفاکتور آنزیمی (سیتوکروم اکسیداز و آمین اکسیداز) و همپنین به‌عنوان یک ناقل الکترون در فسفریلاسیون اکسیداتیو و فتوسنتز شرکت می‌نماید (ویلهم و همکاران ۲۰۰۷). مس یکی از اجزای تشکیل دهنده پروتئین کلروپلاست یعنی پلاستوسیانین است. این عنصر همچنین بخشی از زنجیره انتقال الکترون را تشکیل می‌دهد که دو سیستم فتوشیمیایی فتوسنتز را به هم مرتبط می‌سازد (بیشاپ ۱۹۹۶، بوردمن ۱۹۷۵). پروتئین‌های حاوی مس نقش مهمی در فرآیندهای از قبیل فتوسنتز، تنفس و ساخت لیگنین ایفاء می‌نمایند. همچنین مس همانند سایر عناصر غذایی کم‌مصرف در مقاومت گیاهان به بیماریهای مختلف ایفای نقش می‌کند (سیمس و جانسون ۱۹۹۱). مس به مقدار نسبتاً کم به‌وسیله گیاه جذب می‌شود و سطح بحرانی مس در بسته به نوع گیاه، اندام و مرحله رشد گیاهی دارد (مارشور ۱۹۸۵). مقدار مس گیاهان به طور وسیعی بسته به اندام گیاه، مرحله رشد، رقم، غلظت مس در خاک و شرایط اقلیمی تغییر می‌کند (الس زوسکا و همکاران ۲۰۰۸).

در مطالعه مربوط به خاک-گیاه، اطلاع از توزیع عناصر ضروری بین اجزای خاک، برای درک بهتر شیمی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در شناخت برهم-کنش آنها با ریشه‌های گیاه در ریزوسفر کمک زیادی می‌کند. مس از این امر مستثنی نبوده و آگاهی از شکل‌های شیمیایی آن در فهم شیمی آن در خاک، درک جنبه‌های حاصلخیزی و تغذیه گیاهی این عنصر اهمیت دارد (هان و همکاران، ۲۰۰۳). غلظت کل مس در خاک شاخص خوبی از تحرک آن در خاک و یا جذب آن به وسیله گیاه نیست، زیرا تنها بخشی از غلظت کل برای گیاه قابل دسترس بوده اگرچه در نهایت حداکثر مقدار و حداکثر زمانی که خاک می‌تواند مس قابل جذب گیاه را تأمین کند توسط مس کل تعیین می‌شود (کیوویو

غلظت کمپلکس آلی Cu^{2+} در محلول خاک وابستگی کمتری به pH خاک دارد. pH بالاتر حتی ممکن است حل شدن کمپلکس آلی Cu^{2+} را تحریک کند (مکبریچ ۱۹۸۹).

ذرت گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد بالاست که قدرت تطابق و سازگاری آن با شرایط اقلیمی گوناگون زیاد بوده و از نظر فتوسنتزی گیاهی چهار کربنه است. بوته های ذرت از لحاظ فنوتیپی بسیار گوناگون بوده و از نظر نوع مصرف هم به دندان اسبی، آردی، شیرین، مومی و ... تقسیم بندی می شوند. ذرت مصارف زیادی در تغذیه انسان، طیور و دام، صنایع داروسازی، تولید نشاسته، الکل، روغن و غیره دارد (ملکوتی و طهرانی ۲۰۰۵). در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای در کشور حدود ۲۸۲۰۰۰ هکتار برآورد شده بود. همچنین ۹/۶٪ از کل میزان تولید غلات می از کل تولید ذرت دانه‌ای در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ سهم استان آذربایجان شرقی بود. استان آذربایجان شرقی به لحاظ سطح تولید محصولات زراعی دارای رتبه سوم کشوری است (آمارنامه کشاورزی ۲۰۱۳). به دلیل پر نیاز بودن و بروز شکل‌های علایم کمبود معمولاً از این گیاه به عنوان گیاه محک در مطالعات حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه استفاده می شود. همچنین در شرایط گلخانه ای ذرت از رشد خوبی برخوردار است.

شهبازی و بشارتی (۲۰۱۴) با استفاده از اطلاعات موسسه تحقیقات خاک و آب کشور گزارش کردند که اگر سطح بحرانی مس به روش DTPA ۱ میلی گرم بر کیلوگرم فرض شود ۳۰ درصد خاک‌های زراعی ایران و حدود ۲۷ درصد خاک‌های زراعی استان آذربایجان شرقی از کمبود مس قابل جذب رنج می برند. اگرچه کمبود مس قابل جذب در کشور ما به شدت عناصر آهن و روی نیست، اما در صورت بروز می‌تواند همانند

شکل ویژه از یک فلز از خاک نه تنها نسبت آن فلز در بین شکل‌های گوناگون بلکه مقدار کل آن فلز در آن شکل را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا تا حد ممکن باید دقت شود از عصاره‌گیرهایی استفاده گردد که فقط شکل ویژه یک عنصر را تحت تأثیر قرار دهند. به عنوان مثال در استخراج شکل تبادل، کلرید منیزیم یا نیترات منیزیم بر استات آمونیم ترجیح داده می‌شود، زیرا استات آمونیم ممکن است سبب انحلال شکل‌های کربناتی نیز بشود (به نقل از ریحانی تبار و همکاران ۲۰۰۶). با توجه به موارد ذکر شده امروزه برای جداسازی و تعیین شکل‌های شیمیایی مس در خاک، بیشتر از روش تلفیقی سینگ و همکاران (۱۹۸۸) استفاده می‌شود. از محاسن این روش می‌توان به اهمیت دادن به تمام شکل‌های مختلف مس در خاک به ویژه جزء کربناتی و سریع بودن فرآیند عصاره‌گیری اشاره کرد که امتیاز اخیر از نظر تکنیکی مهم است.

در کشاورزی پایدار با مشخص کردن روابط بین شکل‌های مختلف مس و ویژگی‌های خاک، تمهیدات لازم برای تغییر برخی پارامترهای خاکی با هدف افزایش قابلیت استفاده مس را می‌توان تدارک دید. از سوی دیگر، تناسب و کارایی روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای در پیش بینی زیست فراهمی عناصر عموماً از طریق مقایسه با مقادیر عناصر در قسمت‌های مختلف گیاه به ویژه در بخش هوایی گیاهان ارزیابی می‌گردد. مقدار نسبی شکل‌های مختلف مس در هر خاک بسته به میزان هوادیدگی، نوع مواد مادری، مقدار ماده آلی، pH، میزان رطوبت و مصرف کود متفاوت است. حالت تعادل هیچ-گاه به طور کامل در خاک پذیرد نمی‌آید. زیرا تغییرات مداوم دما، مقدار آب و فعالیت‌های زیستی پیوسته خاک را از تعادل دور نگه می‌دارد. ال-خرباوی و ساندروز (۱۹۸۴) گزارش کردند که افزایش pH، غلظت یون مس در بخش قابل تبادل را کاهش داد. منگل و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که غلظت Cu^{2+} در محلول خاک با افزایش pH به شدت کاهش می‌یابد، در حالی که

عصاره‌گیری دنباله‌ای و کشت گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند.

تعیین شکل‌های شیمیایی مس

برای جداسازی و تعیین شکل‌های شیمیایی مس در خاک‌ها از روش اصلاح شده سینگ و همکاران (۱۹۸۸) استفاده شد. برای این منظور ۲/۵ گرم از هر نمونه خاک هوا خشک عبور کرده از الک دو میلی‌متری در دو تکرار توزین و به درون لوله‌های سانتریفوژ که قبلاً وزن آن‌ها یادداشت شده بود، ریخته شد. بقیه مراحل عصاره‌گیری دنباله‌ای و ترکیب هر عصاره‌گیر به روشی که در پژوهش حاضر به کار رفته به طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است که برای به حداقل رساندن تأثیر ماده زمینه، استانداردهای مس در محلول‌هایی که از نظر ترکیب و غلظت مشابه عصاره‌گیرهای هر مرحله بود تهیه گردید. مس عصاره‌گیری شده با دستگاه جذب اتمی مدل شیمادزو (۶۳۰۰) اندازه‌گیری شد.

آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش گلخانه‌ای با کشت گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ با ۲۱ نوع خاک در سه تکرار در گلدان‌های چهار کیلوگرمی انجام شد. به غیر از مس بقیه عناصر به صورت محلول طبق آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی مصرف شدند. سپس در هر گلدان ۵ عدد بذر در عمق مناسب 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. آبیاری گدان‌ها به طور روزانه با توزین گلدان‌ها و با آب مقطر صورت گرفت. رطوبت خاک در طول دو ماه رشد بین ۸۰ تا ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. شاخص کلروفیل در برگ با استفاده از کلروفیل‌متر قبل از برداشت گیاه اندازه‌گیری شد. پس از ۶۰ روز از تاریخ کشت (اواخر دوره

سایر عناصر تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاهان داشته باشد. این در حالی است که گزارش منتشر شده‌ای از شکل‌های شیمیایی مس و ارتباط آنها با شاخص‌های گیاهان زراعی استان وجود ندارد. لذا، این تحقیق با هدف تعیین شکل‌های مختلف مس در برخی خاک‌های استان آذربایجان شرقی و بررسی روابط این شکل‌ها با برخی شاخص‌های زراعی گیاه ذرت انجام شد که برای بررسی جامع شیمی و حاصلخیزی مس در خاک‌های منطقه ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

بر اساس نقشه‌های تهیه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی نمونه‌برداری به تعداد ۴۱ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر به صورت تصادفی و مرکب انجام گرفت. پس از خشک کردن و گذراندن خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها به شرح زیر تعیین شد:

بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه (گی و اور ۲۰۰۲)، pH و EC در عصاره اشباع خاک (ریچاردز ۱۹۵۴)، کربن آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی کردن با اسید و تیترا نمودن اسید باقی‌مانده با محلول سود (آلیسون و مودی ۱۹۶۵)، کربنات کلسیم معادل فعال با روش اگزالات آمونیم (دروینین ۱۹۴۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از روش باور (باور و همکاران، ۱۹۵۲) و مقدار مس قابل جذب خاک با روش DTPA (لیندزی و نورول ۱۹۷۸) اندازه‌گیری شد. با توجه به این ویژگی‌ها تعداد ۲۱ نمونه که از بیشترین ضریب تغییرات ($100 \times$ میانگین/انحراف معیار) = ضریب تغییرات) از نظر ویژگی‌های فوق برخوردار بودند بر اساس تجزیه کلاستر انتخاب و برای آزمایش

جدول ۱- روش تغییر یافته سینگ و همکاران (۱۹۸۸) برای عصاره‌گیری دنباله‌ای مس خاک

میلی‌لیتر عصاره‌گیر برای ۲/۵ گرم خاک	محلول عصاره‌گیر	مدت تکان دادن (ساعت)	علامت	شکل شیمیایی مس
۱۰	1M Mg(NO ₃) ₂	۲	CuEx	محلول + تبادل
۱۰	1M NaOAc + CH ₃ COOH (pH=5)	۵	CuCar	کربناتی
۵*	0.7M NaOCl (pH=8.5)	۰/۵ (حمام آب جوش)	CuOM	آلی
۲۵	0.1M NH ₂ OH.HCl + HNO ₃ (pH=2)	۰/۵	CuMnox	پیوسته به اکسیدهای منگنز
۲۵	0.25M NH ₂ OH.HCl + 0.25M HCl	۰/۵ (دمای C ۵۰°)	CuAFeox	پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل
۲۵	0.2M (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ +0.2M H ₂ C ₂ O ₄ +0.1M C ₆ H ₈ O ₆ (pH =3)	۰/۵ (حمام آب جوش)	CuCFeox	پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری
۲۱/۲۵	4M HNO ₃	۱۶ (حمام آب جوش)	CuRes	باقی‌مانده

* : دو مرتبه عصاره‌گیری می‌شود.

تکامل یافته استان آذربایجان شرقی قابل انتظار بود. همچنین از داده‌های جدول استنباط می‌شود که خاک-های مورد استفاده در این تحقیق شور نبودند. از نظر مس قابل جذب گیاهی از کمبود شدید تا کفایت کامل اعداد متغیر بودند و با تکیه به میانگین مس قابل جذب خاک‌ها و اعداد گزارش شده برای سطح بحرانی مس در خاک‌های آهکی ایران به طور میانگین کمبود مس قابل جذب حاکم نبود (ملکوتی و طهرانی ۲۰۰۵). همچنین ضریب تغییرات اکثر صفات اندازه‌گیری شده بیشتر از ۵۰ درصد بود که نشان می‌دهد ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق از دامنه خوبی برخوردار بودند.

رشد رویشی) گیاهان برداشت و برخی از صفات زراعی شامل وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه و مقدار جذب مس توسط بخش هوایی و ریشه اندازه-گیری شدند. غلظت مس کل با روش خشک سوزانی تعیین شد. مقدار جذب مس نیز از حاصلضرب غلظت در مقدار ماده خشک محاسبه شد (جونز ۲۰۰۱). مطالعات آماری شامل محاسبه ضرایب همبستگی و رگرسیون چند متغیره گام به گام (Stepwise) با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. بر پایه این جدول، دامنه تغییرات pH در خاک‌های مورد استفاده زیاد نبود (۷/۹۳ تا ۸/۲۸) و این مقادیر در خاک‌های آهکی کمتر

جدول ۲- توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات %
Sand	۱۲/۵۶	۸۶/۱۲	۴۹/۴۲	۲۰/۲۸	۴۱/۰۴
Clay	۵/۰۱	۳۹/۴۸	۲۰/۳۱	۹/۶	۴۷/۲۶
Silt	۸/۵۱	۵۳/۸۶	۳۰/۲۶	۱۲/۵۱	۴۱/۳۵
CCE (%)	۱/۶۲	۲۶/۴۱	۱۱/۹۱	۸/۳۰	۶۹/۶۹
ACCE	۰/۸۶	۱۰/۷۴	۴/۸	۳/۲۴	۶۷/۵۲
OC	۰/۱۴	۲/۳	۰/۷۷	۰/۴۵	۵۷/۸
OM	۰/۲۳	۳/۹۶	۱/۳۲	۰/۷۷	۵۷/۸
FC	۱۰	۳۰	۱۹	۵/۵	۲۵
SP	۲۱/۶۳	۵۰/۳۸	۳۶/۱۵	۹/۸۱	۲۷/۱۴
pH	۷/۹۳	۸/۲۸	۸/۱	۰/۱	۱/۲
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	۹/۸۲	۳۸/۳۶	۲۳/۲۵	۹/۲۵	۳۴/۷۲
EC (dS m ⁻¹)	۰/۸۴	۳/۶	۱/۷۷	۰/۸۵	۴۷/۸۱
DTPA-Cu (mg kg ⁻¹)	۰/۴۵	۳/۸۱	۱/۵۷	۰/۸۷	۵۵/۵۱

CCE: کربنات کلسیم معادل، ACCE: کربنات کلسیم معادل فعال، OC: کربن آلی، SP: درصد رطوبت اشباع CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

این پژوهش میانگین فراوانی مقادیر مختلف مس به ترتیب زیر به دست آمد:

مس باقی‌مانده (Cu-Res) < مس پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری (Cu-CFeOX) < مس پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل (Cu-AFeOX) < مس پیوسته به مواد آلی (Cu-OM) < مس کربناتی (Cu-Car) < مس تبدالی (Cu-Ex) < مس پیوسته به اکسیدهای منگنز (Cu-MnOX)

مطابق با نتایج تحقیق حاضر، علوی و همکاران (۲۰۱۲) نیز در خاک‌های آهکی استان گلستان گزارش کردند که شکل پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری و شکل باقی‌مانده مس بیشترین مقدار را در بین شکل‌های مس به خود اختصاص داده‌اند. تابنده و همکاران (۲۰۱۲) در خاک‌های آهکی استان فارس نیز گزارش کردند که شکل پیوسته به اکسیدهای منگنز و تبدالی کمترین مقدار را بین شکل‌های مس به خود اختصاص داده‌اند.

در جدول ۳ توصیف آماری شکل‌های مس خاک ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مس پیوسته به اکسیدهای منگنز، مس تبدالی و مس کربناتی مقادیر ناچیزی از مس کل را به خود اختصاص دادند. در حالی که مس پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری ۱۸/۱۲ و مس باقی‌مانده ۶۲/۶۲ درصد از مس کل را تشکیل دادند. تقریباً می‌توان اظهار داشت که مس خاک عمدتاً در همین دو شکل توزیع شده است که می‌تواند حاکی از نقش مهم کانی‌های خاک در جذب و نگهداشت مس در این خاک‌ها باشد. سینگ و همکاران (۱۹۸۸) نیز با بررسی توزیع شکل‌های مس در ۱۱ خاک آهکی هند گزارش کردند که شکل‌های آلی، پیوسته به اکسیدهای منگنز، تبدالی و کربناتی، کمترین مقدار مس را به خود اختصاص دادند. بنا به گزارش آنان قسمت عمده مس خاک را مس پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری و مس باقی‌مانده به ترتیب با ۱۷ و ۶۲ درصد به خود اختصاص دادند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در

جدول ۳- توصیف آماری شکل‌های مس در خاک‌های مورد مطالعه

مجموع	Cu-Res	Cu-CFeox	Cu-AFeox	Cu-Mnox	Cu-OM	Cu-Car	Cu-Ex	
	(mg.kg ⁻¹)			(mg.kg ⁻¹)				
۴۱/۱۶	۲۴/۵۸	۵/۲۶	۲/۴۸	۰/۱۲	۰/۵۳	۱/۲۹	۰/۲۴	حداقل
۱۱۸/۲۳	۷۹/۵۳	۲۵/۳۲	۱۶/۱۲	۲/۳۱	۵/۷۴	۳/۵۲	۱/۸۰	حداکثر
۶۷/۱۱	۴۱/۴۳	۱۱/۹۹	۶/۸۵	۰/۹۵	۲/۵۵	۲/۲۹	۱/۰۵	میانگین
۹/۵۱۲	۵/۷۴۷	۴/۵۱۶	۰/۲۸۲	۱۰	۲/۱۳	۱/۶۳	۰/۷۵	انحراف معیار

برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۱ مراجعه شود.

همبستگی معناداری بین مس استخراج شده به وسیله DTPA و شاخص های زراعی ذرت مشاهده نشد. لیندزی و نورول (۱۹۷۸) در خاک‌های کلرادوی آمریکا گزارش کردند که ضریب همبستگی معنادار زمانی مشاهده خواهد شد که دامنه مس استخراج شده از خاک وسیع و تعداد خاک‌های مورد استفاده زیاد باشد. همچنین ضریب همبستگی خطی بین مس قابل جذب خاک (Cu-DTPA) فقط با مس پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری معنادار شد ($r=0.49^*$). اگرچه روابط آماری علی و معلولی نیستند ولی احتمالاً این شکل مس نقش مهمی در مقدار مس استخراجی توسط این عصاره گیر دارد.

در این تحقیق همبستگی خطی ماده خشک بخش هوایی و ریشه گیاه با شکل‌های مس معنادار نشد. همچنین مقدار جذب مس توسط بخش هوایی ذرت با شکل‌های مس همبستگی معناداری نشان نداد. علوی و همکاران (۲۰۱۲) نیز در خاک‌های آهکی استان گلستان گزارش کردند که به جز شکل تبدالی مس بقیه شکل‌های مس همبستگی معناداری با مقدار جذب بخش هوایی گیاه ذرت نداشتند. مقدار جذب مس بخش ریشه ذرت فقط با شکل باقی‌مانده مس در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی مثبت معناداری را نشان داد. این امر احتمالاً مؤید اثر مثبت بخش باقی‌مانده بر قابلیت استفاده مس در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد. در این مطالعه

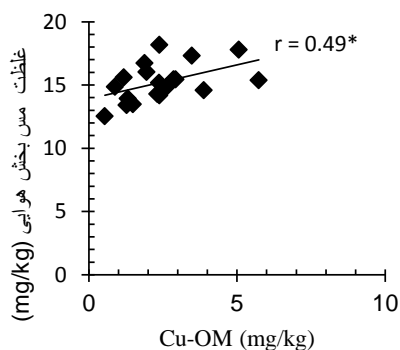
معادله رگرسیونی مقدار جذب بخش ریشه گیاه به صورت زیر بود:

$$\text{Cu uptake (mg/pot)} = 0.35 \text{ Cu Res} + 10.568 \quad R^2=0.36$$

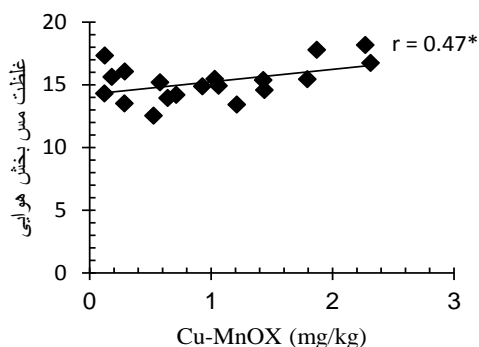
معناداری نشان نداد (جدول ۴). اما با دقت در داده‌ها مشخص گردید که با حذف یک یا دو خاک مورد مطالعه با فرض پرت بودن داده‌ها، اکثر شکل‌های مس خاک با غلظت مس بخش هوایی همبستگی مثبت معناداری نشان دادند که نشان از نقش این شکل‌ها در تأمین مس بخش هوایی ذرت می‌باشد (شکل‌های ۱ تا ۴). معمولاً حد کفایت مس در ذرت تا ۴۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت ۲۰-۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (منگل و همکاران ۲۰۰۱). میانگین غلظت مس در گیاه ذرت در

احتمالاً پس از جذب مس توسط ریشه مقدار مس قابل جذب در محیط اطراف ریشه کاهش یافته و مس از شکل‌های با حلالیت کم آزاد و توسط ریشه جذب می‌شود. همچنین می‌توان گفت که به دلیل بالا بودن غلظت مس باقی‌مانده نسبت به سایر شکل‌های مس و توانایی گیاه ذرت در استفاده از این شکل مس، مس باقی‌مانده منبع قابل جذبی برای گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه بوده است. در این تحقیق، غلظت مس بخش هوایی گیاه ذرت با شکل‌های مس خاک همبستگی

منگنز، پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل، باقی‌مانده و مس کل همبستگی معناداری در سطح احتمال ۱ درصد داشتند.



شکل ۲- رابطه مس پیوسته به مواد آلی با غلظت مس بخش هوایی بعد از حذف خاک شماره ۱



شکل ۴- رابطه مس پیوسته به اکسیدهای آهن بلوری با غلظت مس بخش هوایی بعد از حذف خاک شماره ۱

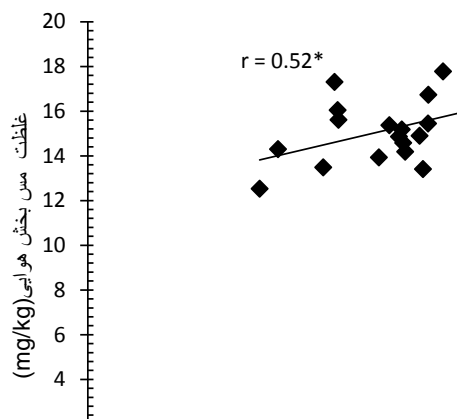
اکسیدهای آهن بی‌شکل و کربناتی مس وارد مدل رگرسیونی شدند:

$$\text{Total-Cu (mg/kg)} = 3.968\text{CuAFeOX} - 2.602$$

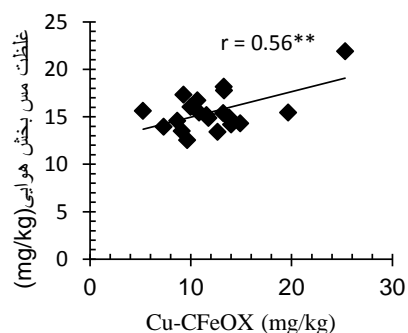
$$\text{Total-Cu (mg/kg)} = 3.057\text{CuAFeOX} + 12.027\text{CuCar} - 23.853$$

ریشه‌ها، در ساختارهای دیواره سلولی یا در بین فضای دو غشاء متمرکز می‌شوند بدون آنکه با مواد

این تحقیق در دامنه فوق‌تر قرار گرفت و علایم کمبود مس نیز مشاهده نشد. در این پژوهش غلظت مس بخش ریشه گیاه با شکل‌های کربناتی، پیوسته به اکسیدهای



شکل ۱- رابطه مس کربناتی با غلظت مس بخش هوایی بعد از حذف خاک شماره ۹



شکل ۳- رابطه مس پیوسته به اکسیدهای منگنز با غلظت مس بخش هوایی بعد از حذف خاک شماره ۱۹

رگرسیونی چند متغیره گام به گام (شکل‌های مس به عنوان متغیر مستقل و غلظت مس بخش ریشه گیاه به عنوان متغیر وابسته) نشان داد که شکل‌های پیوسته به

$$R^2 = 0.59 \quad \text{گام اول}$$

$$R^2 = 0.77 \quad \text{گام دوم}$$

این نتیجه دور از انتظار نبود چرا که بخش اعظم مس در ریشه‌ها انباشته می‌شود. ۹۰ درصد کل مس در

آلی تشکیل ترکیبات پیچیده داده و یا به اندام هوایی منتقل گردد (مارشزر ۱۹۹۵). همچنین در این تحقیق ضریب همبستگی شاخص کلروفیل برگ ذرت پس از ۶۰ روز با شکل‌های مختلف مس خاک معنادار نشد.

جدول ۴ - ضرایب همبستگی (r) غلظت مس بخش هوایی و ریشه ذرت با شکل‌های مس در خاک‌های مورد مطالعه

Cu-t	Cu-Res	Cu-CFeOX	Cu-AFeOX	Cu-MnOX	Cu-OM	Cu-Car	Cu-Ex	
								غلظت مس
-۰/۰۵	-۰/۰۰۲	۰/۱۱	۰/۰۵	-۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۰۸	-۰/۲۵	بخش هوایی
۰/۶۱**	۰/۶۴**	۰/۲۵	۰/۷۷**	۰/۶۷**	۰/۰۴	۰/۶۹**	۰/۲۲	غلظت مس ریشه

تر بخش هوایی و وزن خشک بخش هوایی گیاه همبستگی مثبت و معناداری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد. درصد کربن آلی با وزن تر بخش ریشه رابطه مثبت و معنادار داشت. pH نیز با شاخص‌های رشد گیاه رابطه معناداری نداشت. عدم وجود همبستگی معنادار pH، EC و شاخص‌های زراعی ذرت هم به دامنه محدود این دو صفت بر می‌گردد.

همبستگی خطی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص‌های رشد گیاه

جدول ۵ ضرایب همبستگی (r) بین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص‌های رشد گیاه را نشان می‌دهد. درصد شن با بخش خشک هوایی گیاه همبستگی منفی و معناداری در سطح احتمال ۵ درصد داشت. درصد رس با وزن خشک ریشه، وزن

جدول ۵ - ضرایب همبستگی (r) بین برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه با برخی شاخص‌های رشد ذرت

شاخص	وزن تر	وزن خشک	وزن تر	بخش خشک	بخش هوایی	بخش جذب مس	شاخص کلروفیل
Sand	-۰/۲۴	-۰/۳۸	-۰/۴۲	-۰/۴۳*	۰/۱۷	-۰/۰۵	
Clay	۰/۳۳	۰/۴۸*	۰/۴۹*	۰/۵۱*	-۰/۰۷	۰/۰۴	
Silt	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۳۰	-۰/۲۲	۰/۰۵	
CCE	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۲۰	-۰/۱۷	۰/۱۱	
ACCE	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۵	-۰/۱۲	۰/۰۷	
OC	۰/۶۳**	۰/۳۱	-۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۲۳	
SP	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۰۸	-۰/۰۷	
pH	-۰/۰۹	-۰/۱۶	-۰/۱۰	-۰/۱۴	۰/۱۷	-۰/۳۳	
CEC	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۲۱	-۰/۱۲	-۰/۳۰	
EC	-۰/۰۲	-۰/۰۴	-۰/۴۰	-۰/۲۲	-۰/۲۱	۰/۱۱	

* و ** به ترتیب نشان دهنده معناداری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش بیشترین میزان مس خاک‌های مورد مطالعه به مس باقی‌مانده تعلق داشت. از شکل‌های شیمیایی مس در خاک شکل‌های کربناتی، پیوسته به اکسیدهای آهن بی‌شکل و باقی‌مانده مس با برخی از صفات زراعی ذرت همبستگی معناداری نشان دادند. مقدار جذب و غلظت مس بخش هوایی ذرت با شکل‌های مس در ابتدا همبستگی معناداری نشان ندادند اما بعد از حذف یک یا دو خاک اکثر شکل‌های مس

همبستگی معناداری با غلظت مس بخش هوایی نشان دادند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تامین هزینه انجام این تحقیق تشکر می‌شود. همچنین از کلیه داوران محترم این مقاله که ما را با ارایه نظرات ارزشمند خویش مستفید نمودند کمال تشکر را داریم.

منابع مورد استفاده

- Alavi, H, Barani Motlagh M, and Dordipor A, 2012. Determination of chemical forms of copper and its relationship with the characteristics of the soil and plant responses in some soils of Golestan province. *Journal of Soil and water Conservation Research*.19: 42 - 63
- Allison LE and Moodie CD. 1965. Carbonate. Pp. 1379-1396. In: Black CA (Ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 3. American Society of Agronomy and America, and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Agricultural Statistics. 2013. The first volume of agricultural crops, 2011-2012. Ministry of Agricultural Jihad, Vice Chancellor for of Planning and Economic, Center of Information and Communication Technology. (In Persian).
- Alloway BJ.1995. *Heavy Metals in Soils*, Blackie Academic and professional, Glasgow.368p.
- Bawer CA, Reitemeier RF and Fire-man M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soil. *Soil Science*, 73:251-261.
- Bishop NJ. 1966. Partial reactions of photosynthesis and photo reduction. *Ann. Rev. Plant Physiology*, 17: 185- 208.
- Boardman NK. 1975. Trace elements in photosynthesis. P. 199-212. In E. D. Nicholas. *Trace elements in soil-plant-animal systems*. Academic Press. London, UK
- Drouineau G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol: Nouvelles donne' es sur la se' parathion et la nature des fractions calcaires. *Agronomy*, 12:441-450.
- Gunkel P, Roth E and Fabre B.2004. Sequential extraction of copper from soils and relationships with copper in maize. *Environment Chemistry Letters*, 2:99-103.
- Guan TX, He HB, Zhang XD and Bai Z. 2011. Cu fractions, mobility and bioavailability in soil-wheat system after Cu-enriched livestock manure applications. *Chemosphere*, 82: 215–222.
- Gee GW and Or D. 2002. Particle size analysis. In: H. D Jacob and G. Clarke Topp, (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Journal. Madison, WI. 201-214.
- Hallsworth EG, Wilson S, and Greenwood EAN, 1960. Copper and cobalt in nitrogen fixation. *Nature*, 187: 79- 80.
- Han FX, Kingery WL and Selim HM, 2003. Accumulation, redistribution, transport, and bioavailability of heavy metals in waste-amended soil. In: Iskandar IK Kirkham MB, (eds.), *Trace elements in soil*, LEWIS Publisher. Pp. 145-173.
- Jones JB. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*, CRC press.

- Kalra Y.1997. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, CRC Press.
- KazemiA, Shariatmadari H, and Kalbasi M.2012. Chemical Forms and DTPA Extractable Iron in Soils Treated with Slag and Converter Sludge of Esfahan Steel Mill.2012. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 16(59):87-99.(In Persian).
- Khanmirzaei, E, Bazargan, K, Moezi, E, and shahbazi, K. 2012. The relationship between chemical forms of cadmium in soil and its concentration in wheat grain in some soil of Khuzestan province. Journal of Soil Science, 26 (4): 347-355 (In Persian).
- Lindsay WL and Norvell WA.1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron,manganes and copper. Soil Science Society of America Journal, 42:421-428.
- Malakouti M, and Tehrani MM. 2005. Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products. 3rd edition with complete revision.Tarbiat Modarres University Press. (In Persian).
- Marschner H.1995. Mineral Nutrition of Higher Plants.2nd ed.,Academic Press,San Diego ,CA.889p
- McBride MB. 1989. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. Adv. Soil Science, 10:1-56.
- Mengel KE, Kirkby A, Kosegarten H and Appel T. 2001. Principles of Plant Nutrition, 5th edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nelson DW and Sommers LE. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D. L. (Eds). Methods of Soil Analysis: part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Journal. Madison, WI. 961-1010.
- Olszewska M, Grzegorzcyk S, Alberski J, Baluch-Malecka A and Kozikowski A. 2008. Effect of copper deficiency on gas exchange parameters, leaf greenness (SPAD) and yield of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.). Elementology Journal, 13(4):597-604.
- Quevauviller P. 2002. Methodologies in soil and sediment fractionation studies: single and sequential extraction procedures. The Royal Society of chemistry.
- Raven JA, Evans MCW and Korb RE . 1999. The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O₂-evolving organisms. Photosynth Resource, 60:111-149.
- Richards LA. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Handbook. No, 60, U. S. Government printing office: Washigton, DC 84.
- Reyhanitabar A, Karimian N, ArdalanM, Savaghebi GR, and Ghanadha MR.2006. Zinc fractions of selected calcareous soils of Tehran province and their relationships with soil characteristics, 10(3)125-136.(In Persian).
- Shahbazi K, and Besharati H.2014. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Journal of Land Management, 1(1):1-17. (In Persian).
- Shuman LM.1985. Fractionation method for soil microelements. Soil Science, 140:1.11-22.
- Sims JT and Johnson GV. 1991. Micronutrient Soil Tests. pp. 427- 476. In J. J. Mortvedt et al. (ed.) Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Singh JP, Karwasra SPS and Singh M.1998. Distribution and forms of copper, Iron ,manganese , and zinc in calcareous soils of Indiana. Soil Science, 146:5.359-366.
- Sposito G, Lund LJ and Chang AC.1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in soil phases. Soil Science Society America Journal, 46:260-264.
- Stover RC, Sommers LE and Silviera DJ.1976. Evaluation of metal in wastewater sludge. Journal of Water Pollution Control Federation, 48: 2165-2175.

- Tabande L, Bakhshi MR and Karimian NA. 2013. Evaluation of the relationships between Cu chemical forms and Cu uptake by Soybean in several calcareous soils in Fars Province. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 3(1):183-198. (In Persian).
- Tessier A, Campbell PGC and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals. *Analysis Chemistry*. 51:844 – 851.
- Wilhelm M, Eberwein G, Hölzer J, Glatke D, Angerer J and Marczynski B. 2007. Influence of industrial sources on children's health – Hot spot studies in North Rhine Westphalia, Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 210: 591–599.