

## تغییر در قابلیت استفاده و اجزاء مس در ریزوسفر گندم (*Triticum aestivum* L.) در تعدادی از خاک‌های آهکی

حمیدرضا متقیان<sup>۱\*</sup> - علیرضا حسین پور<sup>۲</sup> - جهانگرد محمدی<sup>۳</sup> - فائز رئیسی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۱۴

### چکیده

ریزوسفر ناحیه‌ای کوچک با ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی متفاوت از توده خاک است. این تحقیق با هدف بررسی اثر ریزوسفر گندم بر قابلیت استفاده و جزءبندی مس با استفاده از ریزوباکس در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تعداد ۳ بذر گندم در هر ریزوباکس کاشته شد. پس از ۸ هفته گیاهان برداشت و خاک‌های ریزوسفری و توده جدا شدند. کربن آلی خاک، کربن آلی محلول، کربن بیوماس میکروبی، مس قابل استفاده (با استفاده از ۷ روش عصاره‌گیری شیمیایی) و جزءبندی مس در خاک‌های ریزوسفری و توده تعیین شدند. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری ( $p < 0.01$ ) داشتند. مقدار مس عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری کمتر از خاک‌های توده بود. در خاک‌های ریزوسفری مس تبادل، مس پیوندشده با کربنات‌ها و مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز کاهش یافته و مس پیوندشده با ماده آلی و جزء باقیمانده افزایش یافته بودند. مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس باقیمانده در خاک‌های ریزوسفری و توده با مس عصاره‌گیری شده با روش‌های AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ همبستگی معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) داشتند. همبستگی بین شاخص غلظت و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های AB-DTPA و مهلیچ ۳ در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بود. همچنین شاخص جذب با مس عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) داشت. نتایج نشان داد که شاخص‌های غلظت و جذب با مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس باقیمانده در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) داشتند. ضریب همبستگی بین شاخص‌های گندم و مس عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های شیمیایی و اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری بیشتر از خاک‌های توده بود.

واژه‌های کلیدی: ریزوسفر، گندم، جزءبندی، مس

### مقدمه

به دلیل مجاورت خاک در این ناحیه با ریشه پدید آمده‌اند (۳۶). مس از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان و حیوانات است (۳۰). نقش اصلی این عنصر در گیاهان فعال کردن آنزیم واکنش اکسایش-کاهش است (۲). از سال ۱۹۵۵ مس به‌عنوان عنصری ضروری برای انسان تشخیص داده شد (۲۹). کمبود مس در خاک‌های آلی و خاک‌های شنی که بطور معمول مقدار مس کل کمی دارند و در خاک‌های اسیدی و خاک‌های آهکی که مس قابلیت استفاده کمی دارند، عمومیت بیشتری دارد. پژوهش انجام شده در تعدادی از مزارع گندم نشان داده است که حدود ۲۴ درصد از خاک‌های مورد مطالعه زیر کشت گندم آبی در ایران از کمبود مس رنج می‌برند (۱). روش‌های عصاره‌گیری یک و چند مرحله‌ای برای برآورد مس قابل استفاده در خاک‌ها استفاده می‌شوند (۲۰). روش‌های

ریزوسفر به عنوان ناحیه در برگرفته ریشه‌های فعال مؤثر بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک در نظر گرفته می‌شود (۱۰). در ریزوسفر تغییراتی مانند اسیدی شدن، افزایش مقدار مواد آلی در هر دو فاز مایع و جامد، هوازادگی و تغییر در کانی‌ها و تغییر در فعالیت و بیوماس میکروبی اتفاق می‌افتد (۱۸). بنابراین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک ریزوسفری متفاوت از توده خاک هستند. این ویژگی‌های متفاوت بر جذب عناصر بوسیله گیاهان مؤثر بوده و

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، دانشیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(Email: hrm\_61@yahoo.com)

(\*- نویسنده مسئول)

به دلیل افزایش ترکیبات آلی ترشح شده در ریزوسفر بیان کردند. نتایج آنها نشان داد که اجزاء مس با غلظت مس در بخش هوایی گندم همبستگی معنی داری نداشتند و بین مس محلول در آب، مس تبادل‌ی و مس پیوندشده با کربنات‌ها، مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس پیوندشده با ماده آلی و غلظت مس در ریشه گندم همبستگی معنی داری (ضرایب همبستگی به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۵۲ و ۰/۴۹) داشت.

تراوشات و فعالیت ریشه و ریزجانداران می‌تواند بر اجزاء مس و قابلیت استفاده و جذب آن به وسیله گیاه مؤثر باشند. این تحقیق با هدف تعیین قابلیت استفاده و اجزاء مس در خاک ریزوسفری و توده، بررسی همبستگی بین اجزاء مس و مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

این تحقیق با استفاده از ۱۰ نمونه خاک سطحی (۳۰ - ۰ cm) استان چهارمحال و بختیاری که از نظر مس قابل استفاده، درصد رس و درصد کربنات کلسیم معادل تغییرات زیادی داشتند انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۷)، pH خاک در سوسپانسون دو به یک آب به خاک (۵۵)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک (۴۴)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۳۳)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در pH برابر با ۷ (۵۲)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۴۱) تعیین شدند. مقدار کل و قابل استفاده مس به ترتیب با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۴ مولار (۵۱) و DTPA-TEA (۳۲) تعیین شد.

### کشت گلخانه‌ای

در این تحقیق برای کشت گندم از ریزوباکس (۵۷ و ۵۹) استفاده شد. ریزوباکس‌های مورد استفاده دارای طول ۲۰۰ میلی‌متر، عرض ۱۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر شامل سه بخش بودند. بخش مرکزی یا ناحیه ریزوسفری (دارای عرض ۳۰ میلی‌متر) که با استفاده از پارچه نایلونی (دارای مش ۳۰۰) از دو بخش غیر ریزوسفری (دارای عرض ۵۰ میلی‌متر) جدا شده بود (شکل ۱).

مقدار ۴/۵ کیلوگرم خاک در سه تکرار به هر ریزوباکس منتقل شد. به هر ریزوباکس ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به صورت تقسیط در سه مرحله، ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و ۵ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین ۱۳۸ اضافه شد.

عصاره‌گیری یک مرحله‌ای مانند عصاره‌گیرهای حاوی کلات‌کننده DTPA برای ارزیابی قابلیت استفاده مس برای گیاه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۴۸) و مس عصاره‌گیری شده با DTPA با غلظت مس در گیاهان همبستگی معنی داری داشته است (۹ و ۴۲). قابلیت استفاده مس برای گیاه با اجزاء مس در خاک در ارتباط است (۴۶). مس می‌تواند با اجزاء خاک پیوند داده و ایجاد اجزاء مختلف مانند مس محلول و تبادل‌ی، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و کربنات‌ها، پیوندشده یا جذب شده با ماده آلی و پیوندشده با کانی‌های رسی کند (۳). اجزاء مس دارای قابلیت نگهداری و آزادسازی متفاوت هستند که اهمیت زیادی بر مقدار مس قابل استفاده دارند (۲۶).

روابط پیچیده ریشه و خاک می‌تواند منجر به تغییر در خصوصیات خاک ریزوسفری و در نتیجه تغییر در اجزاء عناصر در این محیط شوند (۲۴). مقدار عناصر کم‌نیاز پیوندشده با کربنات‌ها و یا اکسیدها می‌تواند در شرایط احیایی و یا اسیدی ناشی از تغییر در pH یا پتانسیل اکسید و احیا در ریزوسفر تغییر کرده و منجر به تغییر در قابلیت استفاده این عناصر در خاک ریزوسفری شود (۳۷). همچنین عناصر کم‌نیاز کاتیونی از طریق ایجاد کلات با فیتوسایدروفورها و اسیدهای آلی آزادشده از ریشه گیاه و ریزجانداران در محلول خاک افزایش می‌یابند (۲۲). بنابراین ویژگی‌های متفاوت خاک ریزوسفری می‌تواند منجر به تغییر در اجزاء مس و قابلیت استفاده آن شوند. برخی از محققین به بررسی اثر ریزوسفر بر قابلیت استفاده مس پرداختند (۱۲، ۵۳ و ۵۷). تاو و همکاران (۵۳) به بررسی اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفر ذرت و با استفاده از ریزوباکس پرداختند. نتایج آنها حاکی از تغییر در اجزاء مس در ریزوسفر نسبت به توده خاک بود. چینو و همکاران (۱۰) گزارش کردند که مس محلول در نزدیک ریشه افزایش یافت در حالی که مقدار کل مس تغییر زیادی نداشت. در مقابل فن و اسدیان (۱۵) افزایش مقدار مس محلول در ریزوسفر گیاهان دو ساله را مشاهده کردند. همچنین چری و همکاران (۱۱) کاهش در مقدار مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای EDTA، DTPA و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار را در ریزوسفر گزارش کردند. وانگ و همکاران (۵۷) با استفاده از ریزوباکس، اجزاء مس در ریزوسفر گندم را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که در خاک ریزوسفری مس محلول، مس تبادل‌ی و مس پیوندشده با کربنات‌ها و مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز نسبت به خاک توده کاهش یافت، در حالی که مقدار مس پیوندشده با ماده آلی در خاک ریزوسفری افزایش یافت. آنها علت کاهش در مقدار مس محلول، مس تبادل‌ی و مس پیوندشده با کربنات‌ها را تغییر pH و ایجاد کمپلکس مس تبادل‌ی و محلول در آب با ترکیبات آلی خروجی از ریشه در ناحیه ریزوسفر بیان کردند. همچنین کاهش مقدار مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز را به دلیل احیاء اکسیدهای فلزی به وسیله اسیدهای آلی خروجی از ریشه گیاه و علت افزایش مس پیوندشده با ماده آلی را

روش اسپوزیتو و همکاران (۵۱) استفاده شد.

## خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری و

### توده

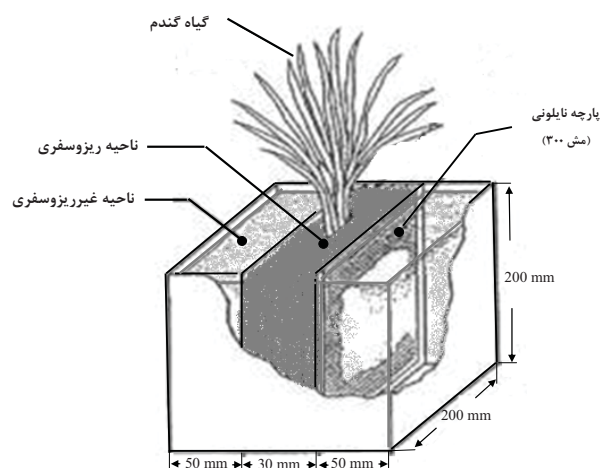
مقدار کل کربن آلی (TOC) خاک‌های ریزوسفری و توده با استفاده از روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (۴۱). برای اندازه‌گیری مقدار کربن آلی محلول (DOC) از عصاره ۱ به ۲ خاک تازه به آب مقطر استفاده شد (۱۳). سپس سوسپانسیون در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت تکان داده شد و سپس ۵ دقیقه سانتریفیوژ و محلول صاف رویی با استفاده از فیلتر پلاستیکی دارای قطر ۰/۴۵ میکرومتر جدا شد. سپس مقدار کربن آلی محلول با استفاده از روش اکسیداسیون تر برآورد شد (۴۱). کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری و توده با استفاده از روش تدخین با کلروفورم و خواباندن اندازه‌گیری شد (۲۵).

### تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت بین خصوصیات خاک‌های ریزوسفری و توده از آزمون t-test (نمونه‌های جفت‌شده) استفاده شد. ضرایب همبستگی پیرسون (r) بین اجزاء مس و مقدار مس عصاره‌گیری شده با استفاده از ۷ روش شیمیایی، بین مقدار مس عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های شیمیایی و شاخص‌های گندم و بین اجزاء مس و شاخص‌های گیاهی در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.0 تعیین شدند.

### نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که خصوصیات خاک‌ها از دامنه تغییرات وسیعی برخوردار هستند. دامنه تغییرات رس ۲۵ تا ۵۵ با متوسط ۴۴ درصد و سیلت دارای دامنه ۳۳ تا ۵۵ با متوسط ۴۳ درصد است. خاک‌های مورد مطالعه دارای pH قلیایی و قابلیت هدایت الکتریکی و مقدار کربن آلی پایین هستند. تغییرات pH ۷/۵ تا ۸/۱ و قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۱۲ تا ۰/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر است. دامنه تغییرات کربن آلی و کربنات کلسیم معادل خاک‌ها به ترتیب ۰/۳۰ تا ۱/۱۹ و ۱۱/۳ تا ۴۱/۰ درصد است. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی خاک‌ها ۱۱/۵ تا ۲۲/۵ سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک است. مقدار مس قابل استفاده در دامنه ۰/۵۴ تا ۱/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است. مقدار کل مس خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱۵ تا ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است.



شکل ۱- طرحی از ریزوباکس مورد استفاده در این تحقیق

همچنین مقدار کود فسفره پس از تعیین فسفر قابل استفاده خاک‌ها با روش اولسن به هر گلدان اضافه شد. قبل از کشت، بذره‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم بک‌گراس روشن با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم (۳٪) استریل شدند. سپس درون آب مقطر قرار داده و در کاغذ صافی جوانه زدند. ۳ بذر در هر گلدان کشت شد. در طول مدت رشد مراقبت‌های لازم انجام و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه‌ای ثابت بماند. دمای گلخانه در روز ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در شب ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. بخش هوایی گیاهان ۸ هفته پس از جوانه‌زدن برداشت شد. ریزوباکس‌ها باز شده و خاک بخش مرکزی (خاک ریزوسفری) با استفاده از الک کردن از ریشه‌ها جدا و در نهایت ریشه‌های باقیمانده در خاک ریزوسفری با استفاده از انبرک برداشته شدند. همچنین دو ناحیه غیر ریزوسفری با هم مخلوط شده و هر دو نمونه (خاک ریزوسفری و توده) برای آزمایش‌های بعدی آماده شدند. بخش‌های هوایی با آب مقطر شسته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون تهویه‌دار خشک و سپس وزن خشک اندام هوایی تعیین شد. غلظت مس در اندام‌های هوایی با روش خاکستر خشک عصاره‌گیری (۸) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی‌بی‌سی، ۹۳۲) تعیین شد.

### مس قابل استفاده و اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری و

#### توده

برای تعیین مس قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده از روش‌های DTPA-TEA (۳۲)، AB-DTPA (۴۹)، مهلیج ۱ (۳۸)، مهلیج ۲ (۳۹)، مهلیج ۳ (۴۰)، HCl ۰/۱ نرمال (۵۸) و  $CaCl_2$  ۰/۰۱ مولار (۲۳) استفاده شد. همچنین برای تعیین اجزاء تبدلی، پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوندشده با ماده آلی از روش تسیر و همکاران (۵۴) و برای تعیین جزء باقیمانده از

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی	pH	هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	گنجایش تبادل کاتیونی (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	مس قابل استفاده (mg kg <sup>-1</sup> )	مس کل (mg kg <sup>-1</sup> )
۲	۵۳	۴۴	۳۵/۶	۰/۳۰	۸/۱	۰/۱۳	۱۹/۳	۱/۵۰	۲۳
۳	۴۹	۳۹	۲۹/۴	۰/۵۱	۷/۹	۰/۱۲	۲۲/۵	۰/۸۶	۱۹
۴	۴۶	۴۲	۲۶/۴	۰/۷۱	۷/۸	۰/۱۴	۲۱/۶	۱/۱۲	۱۸
۵	۴۱	۴۲	۳۲/۲	۰/۵۴	۸/۱	۰/۱۳	۱۶/۰	۱/۰۷	۱۸
۶	۳۷	۴۴	۳۲/۵	۰/۸۰	۷/۶	۰/۱۶	۱۵/۶	۰/۸۵	۱۷
۷	۲۵	۳۳	۴۱/۰	۰/۴۷	۷/۷	۰/۲۱	۱۱/۵	۰/۵۴	۱۵
۸	۳۸	۵۵	۲۳/۱	۱/۱۹	۸/۱	۰/۲۴	۱۷/۹	۱/۳۰	۲۱
۹	۴۸	۴۶	۱۱/۳	۱/۱۶	۷/۸	۰/۲۵	۱۸/۵	۰/۸۹	۲۱
۱۰	۴۹	۴۶	۱۴/۸	۰/۹۷	۷/۹	۰/۲۳	۱۷/۹	۱/۴۱	۲۵

ریشه و موسیلاژ آزاد می‌کند. بسیاری از این ترکیبات به وسیله ریزجانداران به سرعت تجزیه می‌شوند، اما آزادسازی پیوسته ترکیبات آلی منجر به افزایش ماده آلی در ریزوسفر می‌شود (۳۴). لینچ و وپس (۳۵) گزارش کردند که کربن آلی در محیط ریزوسفر به دلیل ترشحات ریشه افزایش یافته و بر همین اساس کربن بیوماس میکروبی افزایش می‌یابد. کیم و همکاران (۲۸) همبستگی معنی‌داری بین کربن آلی محلول و جمعیت باکتری‌ها در خاک ریزوسفری گزارش کردند. همچنین مشاهده کردند که جمعیت باکتری‌ها در خاک ریزوسفری بیشتر از توده خاک بود. آنها نتیجه گرفتند که افزایش کربن آلی محلول در خاک ریزوسفر به دلیل ترشحات ریشه گیاه و جمعیت میکروبی بود.

#### مس قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده

مقادیر مس قابل استفاده در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که مس عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری به‌صورت معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) کمتر از خاک‌های توده است. دامنه مس عصاره‌گیری شده با روش‌های AB-DTPA، مهلیچ ۳، DTPA-TEA، HCl، مولا، مهلیچ ۱، کلرید کلسیم ۰/۰۱، مولا و مهلیچ ۲ به ترتیب ۴/۶۸-۸/۹۵، ۳/۳۹-۵/۸۱، ۲/۱۶-۱/۰۸، ۰/۷۴-۰/۲۴، ۰/۶۶-۰/۲۱، ۰/۴۶-۰/۲۱ و ۰/۵۲-۰/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک‌های ریزوسفری بود. در حالی که دامنه مس عصاره‌گیری شده با استفاده از این عصاره‌گیرها در خاک توده به ترتیب ۰/۴۹-۱۰/۰۴، ۵/۴۹-۶/۵۸، ۳/۴۹-۶/۵۸، ۱/۵۶-۳/۰۹، ۰/۳۶-۱/۰۹، ۰/۲۳-۰/۹۹، ۰/۲۳-۰/۵۷ و ۰/۳۰-۰/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

#### خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری و توده

مقادیر کربن آلی کل، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که میانگین کربن آلی کل، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری ( $p < 0.01$ ) نسبت به خاک‌های توده داشتند. در خاک‌های ریزوسفری کربن آلی کل دامنه ۰/۳۸ تا ۱/۳۰ با میانگین ۰/۸۰ درصد، کربن آلی محلول دامنه ۳۹ تا ۱۰۴ با میانگین ۶۷ میلی‌گرم کربن در لیتر و کربن بیوماس میکروبی دامنه ۱۳۹ تا ۴۳۶ با میانگین ۲۷۹ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم داشتند. درحالی که در خاک‌های توده کربن آلی کل دامنه ۰/۳۴ تا ۱/۲۳ با میانگین ۰/۷۶ درصد، کربن آلی محلول دامنه ۲۱ تا ۷۶ با میانگین ۴۸ میلی‌گرم کربن در لیتر و کربن بیوماس میکروبی دامنه ۱۱۹ تا ۲۷۸ با میانگین ۱۹۲ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم داشتند.

در خاک‌های توده، بین کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی ضریب همبستگی معنی‌داری بدست آمد ( $r = 0.77^{**}$ ). همبستگی کربن آلی کل و کربن بیوماس میکروبی معنی‌دار نبود. همچنین همبستگی معنی‌داری ( $r = 0.83^{**}$ ) بین کربن آلی محلول و کربن آلی کل بدست آمد. در خاک‌های ریزوسفری، کربن آلی محلول با کربن بیوماس میکروبی ضریب همبستگی معنی‌داری ( $r = 0.73^{**}$ ) داشت. همبستگی کربن آلی کل و کربن بیوماس میکروبی معنی‌دار نبود. همچنین همبستگی معنی‌داری ( $r = 0.90^{**}$ ) بین کربن آلی محلول و کربن آلی کل بدست آمد. ریشه گیاه مقادیر قابل توجهی ترکیبات آلی شامل ترکیبات محلول در آب (قندها، اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه) و ترکیبات غیرمحلول در آب (سلول‌های دیواره، ترکیبات پوسته

جدول ۲- برخی از خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های ریزوسفری و توده

شماره خاک	کربن آلی کل (%)		کربن آلی محلول (mg C L <sup>-1</sup> )		کربن بیوماس میکروبی (mg C kg <sup>-1</sup> )	
	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده	ریزوسفر	توده
۱	۰/۸۲	۰/۷۶	۶۲	۴۳	۴۳۶	۱۷۲
۲	۰/۳۸	۰/۳۴	۴۰	۲۰	۲۲۵	۱۵۲
۳	۰/۵۵	۰/۵۳	۳۹	۲۶	۱۶۷	۱۱۹
۴	۰/۷۵	۰/۷۱	۸۹	۷۳	۳۲۷	۲۲۸
۵	۰/۵۱	۰/۴۸	۴۷	۲۱	۲۴۵	۱۸۸
۶	۰/۸۷	۰/۸۵	۴۶	۳۶	۱۳۹	۱۲۹
۷	۰/۵۹	۰/۴۹	۴۷	۳۹	۲۰۸	۱۲۹
۸	۱/۳۰	۱/۲۳	۹۹	۷۱	۳۶۶	۱۷۸
۹	۱/۳۴	۱/۱۸	۱۰۴	۷۶	۳۹۶	۲۸۷
۱۰	۱/۰۴	۱/۰۱	۹۳	۷۴	۲۸۷	۲۳۸
میانگین*	۰/۸۰ a	۰/۷۶ b	۶۷ a	۴۸ b	۲۷۹ a	۱۹۲ b

\*: حروف متفاوت برای هر خصوصیت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۱٪ هستند.

جدول ۳- مقادیر مس عصاره‌گیری شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف

شماره خاک	خاک‌های ریزوسفری					
	CaCl <sub>2</sub>	HCl	M3	M2	M1	AB-DTPA
۱	۲/۱۶	۸/۹۵	۰/۳۲	۰/۱۲	۵/۸۱	۰/۲۶
۲	۱/۲۴	۶/۱۳	۰/۲۱	۰/۴۴	۴/۴۷	۰/۵۵
۳	۱/۰۸	۵/۰۲	۰/۳۱	۰/۲۳	۳/۶۳	۰/۲۴
۴	۱/۶۷	۶/۸۴	۰/۴۶	۰/۴۸	۵/۴۳	۰/۷۴
۵	۱/۴۸	۵/۶۰	۰/۶۶	۰/۵۲	۴/۴۲	۰/۷۲
۶	۱/۳۵	۵/۴۹	۰/۲۴	۰/۲۵	۳/۸۰	۰/۷۰
۷	۱/۲۷	۴/۶۸	۰/۵۸	۰/۱۹	۳/۳۹	۰/۴۶
۸	۲/۸۵	۸/۸۸	۰/۴۷	۰/۲۶	۵/۳۹	۰/۶۴
۹	۲/۰۰	۷/۲۴	۰/۵۲	۰/۲۹	۴/۶۴	۰/۵۰
۱۰	۲/۵۶	۸/۱۳	۰/۳۰	۰/۱۳	۵/۷۱	۰/۵۲
میانگین*	۱/۷۷ b	۶/۷۰ b	۰/۴۱ b	۰/۲۹ b	۴/۶۷ b	۰/۵۳ b

شماره خاک	خاک‌های توده					
	CaCl <sub>2</sub>	HCl	M3	M2	M1	AB-DTPA
۱	۲/۷۳	۱۰/۰۴	۰/۴۴	۰/۳۷	۶/۵۸	۰/۴۶
۲	۱/۹۰	۷/۱۰	۰/۲۳	۰/۶۱	۵/۲۱	۱/۰۳
۳	۱/۵۶	۶/۳۹	۰/۴۱	۰/۳۹	۳/۸۴	۰/۶۶
۴	۱/۷۴	۷/۸۴	۰/۸۶	۰/۶۱	۵/۸۱	۰/۸۹
۵	۱/۷۱	۵/۷۹	۰/۹۹	۰/۵۶	۴/۴۹	۱/۰۷
۶	۲/۱۵	۷/۱۹	۰/۲۷	۰/۴۳	۴/۷۵	۱/۳۰
۷	۱/۶۷	۵/۴۹	۰/۸۳	۰/۵۲	۳/۴۹	۰/۷۷
۸	۲/۹۹	۹/۵۴	۰/۶۲	۰/۳۱	۵/۶۷	۰/۷۱
۹	۲/۵۶	۸/۰۱	۰/۶۴	۰/۳۰	۵/۱۱	۱/۰۹
۱۰	۳/۰۹	۹/۲۳	۰/۴۳	۰/۳۱	۶/۴۷	۰/۹۷
میانگین*	۲/۲۱ a	۷/۶۶ a	۰/۵۷ a	۰/۴۴ a	۵/۱۴ a	۰/۸۸ a

\*: حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین هر عصاره‌گیر در خاک‌های ریزوسفری و توده در سطح احتمال ۱٪ هستند.



جلالی (۲۷) مشاهده کردند که بیشترین مقدار مس در خاک‌های آهکی غرب ایران در جزء باقیمانده قرار گرفته بود. جدول ۵ نشان می‌دهد که تفاوت میانگین اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری نسبت به خاک‌های توده معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بود. مس تبادلی و مس پیوندشده با کربنات‌ها و مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری کاهش یافته و در مقابل مس پیوندشده با ماده آلی و جزء باقیمانده افزایش یافته بود.

در خاک‌های ریزوسفری میانگین مس تبادلی و مس پیوندشده با کربنات‌ها و مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز  $0.24/1.16$  درصد از مس کل،  $0.37/1.75$  درصد از مس کل و  $2.19/10.35$  درصد از مس کل) میلی‌گرم بود. در حالی که میانگین این اجزاء در خاک‌های توده  $0.30/1.44$  درصد از مس کل،  $2.47/2.25$  درصد از مس کل و  $2.42/11.58$  درصد از مس کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین میانگین مس پیوندشده با ماده آلی و جزء باقیمانده در خاک‌های ریزوسفری  $0.76/3.59$  درصد از مس کل و  $17.6/83.18$  درصد از مس کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود در حالی که میانگین این اجزاء در خاک‌های توده  $0.60/2.87$  درصد از مس کل و  $17.1/81.86$  درصد از مس کل) میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۲).

کاهش مقدار مس تبادلی به وسیله یوسف و چاینو (۵۹) گزارش شده است. مس تبادلی در خاک در مقایسه با سایر اجزاء کمتر است و مس تبادلی به عنوان جزء قابل استفاده گیاهان گزارش شده است (۵۰). علاوه بر این اجزاء محلول و تبادلی می‌توانند با ترکیبات آلی ترشح شده از ریشه‌ها پیوند دهند (۳۷). بنابراین این اجزاء در خاک‌های ریزوسفری گندم کاهش پیدا کردند. تااو و همکاران (۵۳) انتقال مس پیوندشده با کربنات‌ها به مس تبادلی را علت کاهش این جزء در خاک ریزوسفری بیان کردند. وانگ و همکاران (۵۶) به بررسی روند تغییر اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری و توده پرداختند. آنها گزارش کردند که درصد مس تبادلی و مس پیوندشده با مواد آلی در خاک ریزوسفری با مقادیر به ترتیب  $9/81$  و  $10.42$  درصد افزایش یافتند. درحالی که درصد مس پیوندشده با کربنات‌ها و مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با مقادیر به ترتیب  $2/96$  و  $1/82$  درصد کاهش یافتند. ایشان علت را افزایش ترکیبات آلی و کاهش pH در ریزوسفر بیان کردند. گودو و ریسناور (۱۹) گزارش کردند که کاهش جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز می‌تواند به دلیل احیای اکسیدهای آهن به وسیله اسیدهای آلی آزاد شده از ریشه باشد. مس آزادشده از اکسیدهای آهن و منگنز می‌تواند در ریزوسفر در ساختار سیلیکات‌ها که به عنوان جزء باقیمانده شناخته می‌شود قرار گیرد.

در خاک‌های ریزوسفری میانگین مس عصاره‌گیری شده با روش‌های AB-DTPA، مهلیج ۳ و DTPA-TEA به ترتیب  $6/70$ ،  $4/67$  و  $1/77$  میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در حالی که میانگین مس عصاره‌گیری شده با استفاده از این عصاره‌گیرها در خاک‌های توده به ترتیب  $7/66$ ،  $5/14$  و  $2/21$  میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین میانگین مس عصاره‌گیری شده با HCl  $0.1$  مولار، مهلیج ۱، کلرید کلسیم  $0.1$  مولار و مهلیج ۲ به ترتیب  $0.53$ ،  $0.41$ ،  $0.33$  و  $0.29$  در خاک‌های ریزوسفری بود، در حالی که میانگین مقادیر عصاره‌گیری شده با استفاده از این عصاره‌گیرها در خاک‌های توده به ترتیب  $0.88$ ،  $0.57$  و  $0.39$  میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

چری و همکاران (۱۱) گزارش کردند که مس عصاره‌گیری شده با DTPA، EDTA و کلرید کلسیم در خاک ریزوسفری کاهش پیدا کرد. برنال و مک‌گراس (۵) گزارش کردند که کاهش مقدار مس قابل استفاده در ریزوسفر می‌تواند به دلیل کمپلکس مس با ترکیبات آلی باشد. برخی از ترکیبات DOC تمایل زیادی برای پیوند با مس دارند (۴۳). گروه‌های عامل و هیدروکسیل و کربوکسیل ترکیبات DOC با مس پیوند داده و منجر به تبدیل به شکل غیر قابل استفاده می‌شوند (۷). تااو و همکاران (۵۳) گزارش کردند که تغییر مقدار DOC در ریزوسفر ذرت در دوره رشد شبیه به تغییر جزء تبادلی مس بود. کاتانی و همکاران (۹) گزارش کردند که DOC در خاک ریزوسفر ذرت سه برابر توده خاک بود. آنها گزارش کردند DOC جابه‌جایی عناصر کم‌نیاز را در خاک‌ها از طریق تشکیل کمپلکس‌های آلی افزایش می‌دهد، اما مس با DOC تشکیل کمپلکس قوی می‌دهد. بنابراین، با ایجاد کمپلکس‌های آلی مس با ترکیبات کربن آلی محلول، قابلیت استفاده آن برای گیاه کاهش می‌یابد. همچنین، محققین زیادی (۶ و ۱۴ و ۵۳) شرایط بیولوژیکی و شیمیایی متفاوت ریزوسفر نسبت به توده خاک را باعث تغییر در اجزاء عناصر در خاک و در نتیجه کاهش در قابلیت استفاده عناصر برای گیاه گزارش کرده‌اند.

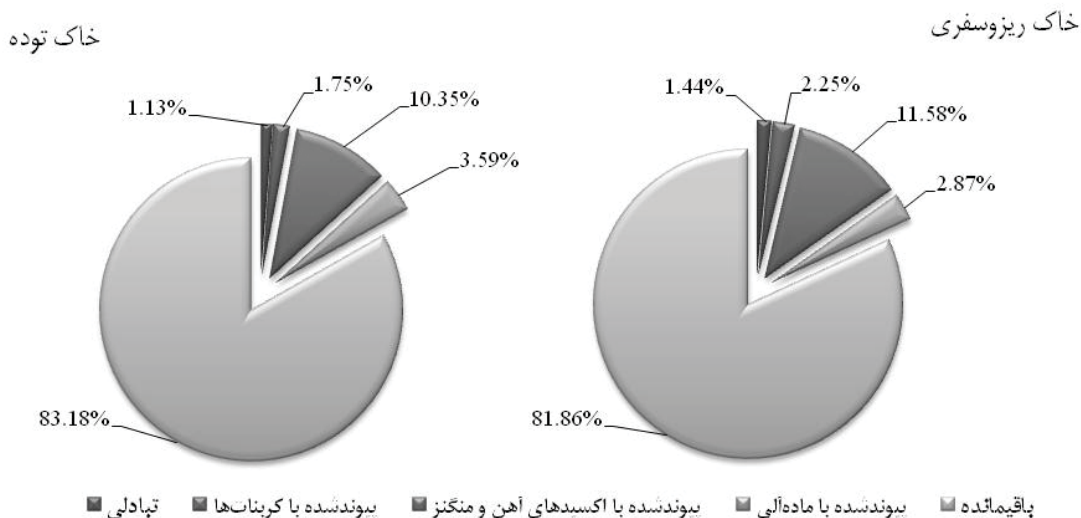
### اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری و توده

مقادیر اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که در خاک‌های ریزوسفری و توده، بیشترین مقادیر مس به ترتیب در اجزاء باقیمانده، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، پیوندشده با ماده آلی، پیوندشده با کربنات‌ها و مس تبادلی بود. بر اساس نتایج به دست آمده، مس قرار گرفته در ساختار سیلیکات‌ها که به عنوان جزء باقیمانده شناخته می‌شود (۳۱) بیشترین جزء مس در خاک‌های ریزوسفری و توده بود. نتایج مشابهی به وسیله لیانگ و همکاران (۳۱) گزارش شده است. باکرسی اوقلو و همکاران (۴) گزارش کردند که جزء باقیمانده و مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز بیشترین مقدار بود. خانلری و

جدول ۴- مقادیر اجزاء مختلف مس (میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های ریزوسفری و توده

شماره خاک	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده آلی	باقیمانده
<b>خاک‌های ریزوسفری</b>					
۲۱/۲	۰/۲۷	۰/۱۹	۲/۸۵	۰/۴۸	۲۱/۲
۲۰/۲	۰/۲۶	۰/۳۸	۲/۰۲	۰/۶۴	۲۰/۲
۱۷/۰	۰/۱۷	۰/۱۸	۱/۸۱	۰/۴۲	۱۷/۰
۱۶/۹	۰/۲۳	۰/۱۶	۲/۵۰	۰/۹۴	۱۶/۹
۱۵/۸	۰/۲۱	۰/۵۲	۲/۰۹	۰/۶۰	۱۵/۸
۱۴/۱	۰/۲۵	۰/۴۰	۱/۳۸	۰/۵۲	۱۴/۱
۱۲/۷	۰/۱۵	۰/۴۷	۱/۲۴	۰/۴۱	۱۲/۷
۱۸/۰	۰/۳۰	۰/۵۷	۲/۷۱	۱/۱۸	۱۸/۰
۱۸/۷	۰/۳۶	۰/۴۴	۲/۷۳	۱/۱۳	۱۸/۷
۲۱/۲	۰/۲۵	۰/۳۵	۲/۶۰	۱/۳۰	۲۱/۲
۱۷/۶ a	۰/۲۴ b	۰/۳۷ b	۲/۱۹ b	۰/۷۶ a	۱۷/۶ a
<b>خاک‌های توده</b>					
۲۱/۲	۰/۲۷	۰/۴۸	۳/۰۵	۰/۴۴	۲۱/۲
۱۹/۴	۰/۲۸	۰/۳۷	۲/۱۶	۰/۳۲	۱۹/۴
۱۵/۲	۰/۲۱	۰/۳۴	۲/۰۵	۰/۳۰	۱۵/۲
۱۵/۹	۰/۳۰	۰/۲۶	۲/۶۶	۰/۵۵	۱۵/۹
۱۵/۵	۰/۲۵	۰/۷۰	۲/۱۱	۰/۴۶	۱۵/۵
۱۴/۱	۰/۳۲	۰/۶۲	۱/۹۲	۰/۳۱	۱۴/۱
۱۲/۳	۰/۲۱	۰/۵۳	۱/۵۴	۰/۳۶	۱۲/۳
۱۷/۹	۰/۳۸	۰/۵۵	۲/۸۷	۱/۰۶	۱۷/۹
۱۸/۶	۰/۴۲	۰/۴۹	۲/۹۸	۱/۰۰	۱۸/۶
۲۰/۵	۰/۳۶	۰/۳۹	۲/۷۹	۱/۲۳	۲۰/۵
۱۷/۱ b	۰/۳۰ a	۰/۴۷ a	۲/۴۲ a	۰/۶۰ b	۱۷/۱ b

\*: حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین هر جزء در خاک‌های ریزوسفری و توده در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند.



شکل ۲- درصد اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری و توده

جدول ۵- ضریب همبستگی (r) بین مقادیر اجزاء مختلف مس و مس عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های شیمیایی						
عصاره‌گیر	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده آلی	باقیمانده	
<b>خاک‌های ریزوسفری</b>						
DTPA-TEA	۰/۷۶*	۰/۰۸ ns	۰/۷۶*	۰/۸۰**	۰/۷۱*	
AB-DTPA	۰/۶۲ ns	۰/۲۲ ns	۰/۸۹**	۰/۶۱*	۰/۸۰**	
M 1	۰/۱۲ ns	۰/۲۴ ns	۰/۰۶ ns	۰/۱۰ ns	۰/۴۰ ns	
M 2	۰/۵۷ ns	۰/۱۲ ns	۰/۵۴ ns	۰/۶۶*	۰/۴۰	
M 3	۰/۵۶ ns	۰/۲۸ ns	۰/۸۵**	۰/۵۴ ns	۰/۸۴**	
HCl	۰/۳۵ ns	۰/۲۸ ns	۰/۳۰ ns	۰/۰۶ ns	۰/۲۷ ns	
CaCl <sub>2</sub>	۰/۷۶*	۰/۰۲ ns	۰/۷۲*	۰/۸۰**	۰/۴۸ ns	
<b>خاک‌های توده</b>						
DTPA-TEA	۰/۶۰ ns	۰/۲۳ ns	۰/۷۸**	۰/۷۸**	۰/۵۴ ns	
AB-DTPA	۰/۶۸*	۰/۰۵ ns	۰/۹۰**	۰/۶۴*	۰/۷۵ *	
M1	۰/۱۲ ns	۰/۴۷ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۹ ns	۰/۴۴ ns	
M 2	۰/۰۴ ns	۰/۱۴ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۱ ns	۰/۱۸ ns	
M 3	۰/۵۳ ns	۰/۲۱ ns	۰/۹۰**	۰/۵۴ ns	۰/۷۶*	
HCl	۰/۱۶ ns	۰/۴۶ ns	۰/۰۶ ns	۰/۳۶ ns	۰/۳۲ ns	
CaCl <sub>2</sub>	۰/۸۱**	۰/۲۵ ns	۰/۸۵**	۰/۸۱**	۰/۶۲ ns	

\*\* معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد و ns: غیر معنی‌دار

### همبستگی بین اجزاء مس و مقدار مس عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی

همبستگی ساده (r) بین مقادیر اجزاء مس و مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که در خاک‌های ریزوسفری، مس تبادلی با مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۵) داشت.

همبستگی بین مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیج ۳ و CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود. مس پیوندشده با ماده آلی با مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA و CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود. جزء باقیمانده با مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیج ۳ معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود. در خاک‌های توده، مس تبادلی با مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۵) داشت. همبستگی بین مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز با مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیج ۳ و CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود. مس پیوندشده با ماده آلی با مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود. جزء باقیمانده با مس عصاره‌گیری شده با AB-DTPA و مهلیج ۳ معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود.

### همبستگی بین شاخص‌های گندم با مس عصاره‌گیری شده

#### با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی و اجزاء مس

شاخص‌های گیاه گندم در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است. همبستگی بین مقادیر مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی و شاخص‌های گندم در خاک‌های ریزوسفری و توده در جدول ۷ نشان داده شده است. همانطور که نتایج این جدول نشان می‌دهد در خاک‌های ریزوسفری و توده شاخص‌های غلظت با مس عصاره‌گیری شده با AB-DTPA و مهلیج ۳ همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۵) داشت. همچنین در خاک‌های ریزوسفری شاخص جذب با مس عصاره‌گیری شده با CaCl<sub>2</sub> ۰/۰۱ مولار همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۵) داشت. نتایج نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی و شاخص‌های گندم در خاک ریزوسفری بیشتر از خاک توده است.

نتایج جدول ۸ نشان داد که در خاک‌های ریزوسفری و توده در بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده، بیشترین همبستگی بین مس عصاره‌گیری شده با روش مهلیج ۳ و شاخص غلظت مس در گندم وجود داشت. در حالی که همبستگی بین مس عصاره‌گیری شده با روش مهلیج ۳ و مس تبادلی و مس پیوندشده با ماده آلی در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار نبود.



جدول ۶- شاخص‌های گیاه گندم در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)	عملکرد (گرم در ریزوباکس)	جذب (میلی‌گرم در ریزوباکس)
۱	۷/۳۳	۴/۱۹	۰/۰۳۱
۲	۵/۹۰	۶/۷۵	۰/۰۴۰
۳	۴/۹۵	۵/۷۷	۰/۰۲۹
۴	۶/۰۰	۶/۰۲	۰/۰۳۶
۵	۵/۷۳	۵/۸۲	۰/۰۳۳
۶	۴/۸۳	۴/۳۱	۰/۰۲۱
۷	۴/۲۷	۴/۳۴	۰/۰۱۹
۸	۵/۶۰	۶/۸۶	۰/۰۳۸
۹	۵/۵۵	۸/۷۲	۰/۰۴۸
۱۰	۶/۲۵	۶/۱۵	۰/۰۳۸

جدول ۷- ضریب همبستگی ساده (r) بین مقادیر مس عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی و شاخص‌های گیاه گندم

شاخص‌های گیاه	DTPA-TEA	AB-DTPA	M1	M2	M3	HCl	CaCl <sub>2</sub>
<b>خاک‌های ریزوسفری</b>							
غلظت	۰/۵۲ ns	۰/۷۷**	۰/۲۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۸۸**	۰/۱۵ ns	۰/۵۵ ns
عملکرد	۰/۳۰ ns	۰/۲۶ ns	۰/۱۷ ns	۰/۳۲ ns	۰/۲۱ ns	۰/۱۸ ns	۰/۵۷ ns
جذب	۰/۴۹ ns	۰/۵۵ ns	۰/۰۵ ns	۰/۲۸ ns	۰/۵۷ ns	۰/۱۳ ns	۰/۷۴*
<b>خاک‌های توده</b>							
غلظت	۰/۵۲ ns	۰/۷۴*	۰/۱۴ ns	۰/۱۴ ns	۰/۸۶**	۰/۴۰	۰/۳۷ ns
عملکرد	۰/۲۵ ns	۰/۱۶ ns	۰/۰۸ ns	۰/۲۵ ns	۰/۱۴ ns	۰/۲۹ ns	۰/۵۵ ns
جذب	۰/۴۴ ns	۰/۴۵ ns	۰/۰۱ ns	۰/۲۵ ns	۰/۵۱ ns	۰/۱۲ ns	۰/۶۵*

\*\* معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد و ns: غیرمعنی‌دار

پیوندشده با کربنات‌ها در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که مس تبادل، مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز، مس پیوندشده با ماده آلی و جزء باقیمانده در تأمین مس قابل استفاده گندم نقش دارند.

همانطور که نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد ضرایب همبستگی بین اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری با شاخص‌های گندم بیشتر از ضرایب همبستگی این اجزاء با شاخص‌های گندم در خاک‌های توده بود. در تحقیقات انجام شده جزءهای مختلفی به‌عنوان جزء یا اجزاء قابل استفاده گیاه گزارش شده‌اند. درحالی‌که در برخی تحقیقات انجام شده، مقدار کل و جزء باقیمانده قابل استفاده گیاه نیست، عناصر در محلول خاک و جزء تبادلی قابلیت استفاده زیادی برای گیاه دارند و همچنین اجزاء پیوندشده با کربنات‌ها، پیوندشده با اکسیدها و پیوندشده با ماده آلی نیز می‌توانند قابل استفاده گیاه باشند (۲۱). لیانگ و همکاران (۳۱) گزارش کردند که غلظت مس در لوبیا با مقدار مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مقدار کل مس همبستگی معنی‌داری (ضرایب همبستگی به ترتیب ۰/۸۸\* و ۰/۷۳\*) داشت و همچنین شاخص جذب مس با مقدار مس پیوندشده با اکسیدهای

همبستگی بین مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای شیمیایی با مس پیوندشده با کربنات‌ها در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار نبود. بنابراین اهمیت مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس باقیمانده در برآورد مقدار مس قابل استفاده گندم با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی از سایر اجزاء مس بیشتر بود.

جدول ۸ ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گندم و اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری و توده را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان داد که شاخص‌های عملکرد و جذب با مس تبادل در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۵) داشتند. همچنین همبستگی بین شاخص‌های غلظت و جذب با مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود. شاخص‌های غلظت و جذب با جزء باقیمانده در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار (p<۰/۰۵) بود. در خاک‌های ریزوسفری بین شاخص‌های عملکرد و جذب با مس پیوندشده با ماده آلی معنی‌داری (p<۰/۰۵) وجود داشت. در حالی‌که در خاک‌های توده بین شاخص جذب با مس پیوندشده با ماده آلی همبستگی معنی‌داری (p<۰/۰۵) وجود داشت. همبستگی بین شاخص‌های گیاه با مس

### نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان دادند که کربن آلی، کربن آلی محلول و کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های ریزوسفری افزایش معنی‌داری داشتند. نتایج نشان داد که مقدار مس عصاره‌گیری شده با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های ریزوسفری کمتر از خاک‌های توده بود. همچنین اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری با خاک‌های توده تفاوت معنی‌داری داشتند. مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس باقیمانده در خاک‌های ریزوسفری و توده با عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ ۳ همبستگی معنی‌داری داشتند. همبستگی بین شاخص غلظت و مس عصاره‌گیری شده با AB-DTPA و مهلیچ ۳ در خاک‌های ریزوسفری و توده معنی‌دار بود. همچنین شاخص جذب با مس عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی معنی‌داری داشت. نتایج نشان داد که شاخص‌های غلظت و جذب با مس پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس باقیمانده و در خاک‌های ریزوسفری و توده همبستگی معنی‌داری داشت. ضریب همبستگی بین شاخص‌های گندم و مس عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های شیمیایی و اجزاء مس در خاک‌های ریزوسفری بیشتر از خاک‌های توده بود. نتایج این مطالعه نشان داد مطالعه قابلیت استفاده مس ریزوسفر به دلیل اهمیت این ناحیه در مطالعات کشاورزی و زیست محیطی به دلیل مجاورت با ریشه‌ها بسیار ضروری است.

آهن و منگنز و مقدار کل مس همبستگی معنی‌داری (ضرایب همبستگی به ترتیب \* ۰/۹۲ و \* ۰/۸۳) داشت. باکتری اوقلو و همکاران (۴) مشاهده کردند که غلظت مس در دانه‌های گندم با مس تبادل و محلول همبستگی معنی‌داری نداشته و با جزء پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری (\* ۰/۳۳۶) داشت. اسید فولیک توانایی پیوند با عنصر مس را داشته و منجر به افزایش قابلیت استفاده مس می‌شود (۴۵). در حالی که اجزاء ماده آلی با وزن ملکولی زیاد، مقدار کمی از عناصر پیوندشده را با سرعت کم آزاد می‌کنند (۱۶). سیمس (۴۷) گزارش کرد که مقدار مس جذب‌شده با مقدار مس پیوندشده با ماده آلی، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مقدار کل مس همبستگی معنی‌داری داشت. وانگ و همکاران (۵۷) گزارش کردند که اجزاء مس با غلظت مس در بخش هوایی گندم همبستگی معنی‌داری نداشتند و مس محلول در آب، مس تبادل و مس پیوندشده با کربنات‌ها، مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس پیوندشده با ماده آلی و غلظت مس در ریشه گندم همبستگی معنی‌داری (ضرایب همبستگی به ترتیب \* ۰/۶۹، \* ۰/۵۲ و \* ۰/۴۹) داشتند. نتایج جدول ۹ نشان داد که شاخص غلظت مس با مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و جزء باقیمانده در خاک‌های ریزوسفری و توده، بیشترین ضریب همبستگی را داشت. بنابراین اهمیت مس پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز و مس باقیمانده در تأمین مس قابل استفاده گندم از سایر اجزاء مس بیشتر بود.

جدول ۸- ضریب همبستگی (r) بین مقادیر اجزاء مختلف مس و شاخص‌های گیاه گندم

شاخص‌های گیاه	تبادلی	پیوندشده با کربنات‌ها	پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوندشده با ماده آلی	باقیمانده
<b>خاک‌های ریزوسفری</b>					
غلظت	۰/۴۴ ns	-۰/۳۸ ns	۰/۸۱**	۰/۲۸ ns	۰/۸۴**
عملکرد	۰/۶۵*	-۰/۲۶ ns	۰/۵۱ ns	۰/۶۹*	۰/۳۹ ns
جذب	۰/۷۵*	-۰/۰۸ ns	۰/۷۹**	۰/۷۵*	۰/۷۰*
<b>خاک‌های توده</b>					
غلظت	۰/۲۵ ns	-۰/۲۳ ns	۰/۷۸**	۰/۲۷ ns	۰/۸۳**
عملکرد	۰/۶۵*	-۰/۲۱ ns	۰/۴۷ ns	۰/۵۹ ns	۰/۳۷ ns
جذب	۰/۶۹*	-۰/۲۹ ns	۰/۷۴*	۰/۶۵*	۰/۶۹*

\*\* معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

### منابع

- ۱- بلالی م.، ملکوئی م.ج.، مشایخی ح. و خادمی ز. ۱۳۷۸. اثر عناصر ریزومغذی بر افزایش عملکرد و تعیین حد بحرانی آنها در خاک‌های تحت کشت گندم آبی ایران. مجله خاک و آب ۱۱۲ (۶): ۱۱۱-۱۱۹.
- ۲- خوشگفتارمنش ا.ح. ۱۳۸۶. مبانی تغذیه گیاه. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۶۲ ص.
- 3- Ahumada I., Gudenschwager O., Carrasco M.A., Castillo G., Ascar L. and Richter P. 2009. Copper and zinc bioavailabilities to ryegrass (*Lolium perenne* L.) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) grown in biosolid treated Chilean soils. J. Environ. Manage., 90: 2665-2671.
- 4- Bakircioglu D., Bakircioglu Kurtulus Y. and Ibar H. 2011. Investigation of trace elements in agricultural soils by

- BCR sequential extraction method and its transfer to wheat plants. *Environ. Monit. Assess.*, 175:303-314.
- 5- Bernal M.P., and McGrath S.P. 1994. Effects of pH and heavy metal concentrations in solution culture on the proton release, growth and elemental composition of *Alyssum murale* and *Raphanus sativus* L. *Plant Soil*, 166: 83-92.
  - 6- Bernal M.P., McGrath S.P., Miller A.J. and Baker A.J.M. 1994. Comparison of the chemical changes in the rhizosphere of the nickel hyperaccumulator *Alyssum murale* with the non-accumulator *Raphanus sativus*. *Plant Soil*, 164: 251-259.
  - 7- Bhattacharyya P., Chakraborty A., Chakrabarti K., Tripathy S. and Powell M.A. 2006. Copper and zinc uptake by rice and accumulation in soil amended with municipal solid waste compost. *Environ. Geol.* 49: 1064-1070.
  - 8- Campbell C.R., and Plank C.O. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. p. 37-50. In Y.P. Kalra (ed) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
  - 9- Cattani I., Fragoulis G., Boccelli R. and Capri E. 2006. Copper bioavailability in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.) grown in two Italian soils. *Chemosphere*, 64:1972-1979.
  - 10- Chen Y.M., Wang M.K. and Huang P.M. 2006. Catechin transformation as influenced by aluminum. *J. Agric. Food Chem.*, 54: 212-218.
  - 11- Cherrey A., Chaignon V. and Hinsinger P. 1999. Bioavailability of copper in the rhizosphere of rape and ryegrass cropped in vineyard soils. p. 196-197. In W.W. Wenzel et al. (ed) *Proceedings of Extended Abstracts of 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Vienna, Austria.
  - 12- Chino M., Goto S., Youssef R. and Miah Y. 1999. Behaviour of micronutrients in the rhizosphere. p. 180-181. In W.W. Wenzel et al. (ed) *Proceedings of Extended Abstracts of 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Vienna, Austria.
  - 13- Corre M.D., Schnabel R.R. and Shaffer J.A. 1999. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. *Soil Biol. Biochem.*, 31:1531-1539.
  - 14- Dessureault-Rompere J., Nowack B., Schulin R., Tercier-Waeber M.L. and Luster J. 2008. Metal solubility and speciation in the rhizosphere of *Lupinus albus* cluster roots. *Environ. Sci. Technol.*, 42:7146-7151.
  - 15- Fenn L.B. and Assadian N. 1999. Can rhizosphere chemical changes enhance heavy metal absorption by plants growing in calcareous soil? p. 154-155. In W.W. Wenzel et al. (ed) *Proceedings of Extended Abstracts of 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Vienna, Austria.
  - 16- Filgueiras A.V., Lavilla I. and Bendicho C. 2002. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. *Journal of Environmental Monitoring*, 4: 823-857.
  - 17- Gee G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. p. 404-407. In Klute A. (ed) *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2<sup>nd</sup> edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
  - 18- Gobran G.R., Clegg S. and Courchesne F. 1998. Rhizospheric processes influencing the biogeochemistry of forest ecosystems. *Biogeochem*, 42: 107-120.
  - 19- Godo G.H. and Reisenauer H.M. 1980. Plant effect on soil manganese availability. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 993-995.
  - 20- Guan T.X., He H.B., Zhang X.D., and Bai Z. 2011. Cu fractions, mobility and bioavailability in soil-wheat system after Cu-enriched livestock manure applications. *Chemosphere*, 82: 215-222.
  - 21- He Z.L.L., Yang X.E. and Stoffella P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine & Biology*, 19: 125-140.
  - 22- Hinsinger P., Plassard C., Tang C. and Jaillard B. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant Soil*, 248: 43-59.
  - 23- Hoyt P.B. and Nyborg M. 1971. Toxic metals in acid soil: 2. Estimation of plant available manganese. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35:141-144.
  - 24- Jefferey J.J. and Uren N.C. 1983. Copper and zinc species in the soil solution and the effects of soil pH. *Aust. J. Soil Res.*, 21: 479-488.
  - 25- Jenkinson D.S. and Powlson D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.*, 8: 209-213.
  - 26- Kabala C. and Singh R.R. 2001. Fractionation and mobility of Copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. *J. Environ. Qual.*, 30: 485-492.
  - 27- Khanlari Z.V. and Jalali M. 2008. Concentrations and chemical speciation of five heavy metals (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in selected agricultural calcareous soils of Hamadan Province, western Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54: 19-32.
  - 28- Kim K-R., Owens G. and Kwon S-I. 2010. Influence of Indian mustard (*Brassica juncea*) on rhizosphere soil solution chemistry in long-term contaminated soils: A rhizobox study. *Journal of Environmental Sciences*, 22(1): 98-105.
  - 29- Kopsell D. and Kopsell D.A. 2007. Copper. p. 293-328. In A.V. Barker et al. (ed) *Handbook of Plant Nutrition*. CRC, Taylor & Francis group, LLC.
  - 30- Lehmann R.G., and Harter D.M. 1984. Assessment of copper soil bond strength by desorption kinetics. *Soil Sci.*

- Soc. Am. J., 48: 769-772.
- 31- Liang J., Stewart J.W.B. and Karamanos R.E. 1991. Distribution and plant availability of soil copper fractions in Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, 71: 89-99.
  - 32- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428.
  - 33- Loeppert R.H. and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p 437-474. In D.L. Sparks (ed) *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison.
  - 34- Lombi E., Wenzel W.W., Gobran G.R., and Adriano D.C. 2001. Dependency of phytoavailability of metals on indigenous and induced rhizosphere processes: a review. p. 3-24. In G.R Gobran et al. *Trace Elements in the Rhizosphere*. CRC Press LLC.
  - 35- Lynch J.M. and Whipps J.M. 1990. Substrate flow in the rhizosphere. *Plant Soil*, 129: 1-10.
  - 36- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, London.
  - 37- Marschner H. and Romheld V. 1996. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In Y. Waisel (ed) *Plant Roots, The Hidden Half*, 2<sup>th</sup> ed. Marcel Dekker, NY.
  - 38- Mehlich A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub>. North Carolina Soil Testing Div. Mimeo, Raleigh.
  - 39- Mehlich A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 9: 477-492.
  - 40- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 15: 1409-1416.
  - 41- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In D.L. Sparks, (ed) *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison.
  - 42- Obrador A., Rico M.I., Mingot J.I. and Alvarez J.M. 1997. Metal mobility and potential bioavailability in organic matter-rich soil-sludge mixtures: effect of soil type and contact time. *Sci. Total Environ.*, 206: 117-126.
  - 43- Philippe H. 1999. Bioavailability of trace elements as related to root induced chemical changes in the rhizosphere. p. 152-153. In W.W. Wenzel et al. (ed) *Proceedings of Extended Abstracts of 5<sup>th</sup> International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, Vienna, Austria.
  - 44- Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-435. In D.L. Sparks (ed) *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison.
  - 45- Sadovnikova L., Otabbong E., Iakimenko O., Nilsson I., Persson J. and Orlov D. 1996. Dynamic transformation of sewage sludge and farmyard manure components, 2-Copper, lead and cadmium forms in incubated soils. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 58:127-132.
  - 46- Schramel O., Michalke B. and Kettrup A. 2000. Study of the copper distribution in contaminated soils of hop fields by single and sequential extraction procedures. *Sci. Total Environ.*, 263:11- 22.
  - 47- Sims J.T. 1986. Soil pH effects on the distribution and plant availability of Mn, Cu, and Zn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 367-373.
  - 48- Singh S.P., Tack F.M. and Verloo M.G. 1998. Heavy metal fractionation and extractability in dredged sediment derived surface soils. *Water Air Soil Pollut.*, 102: 313-328.
  - 49- Soltanpour P.N. and Schwab A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils. *Commun. Soil, Sci. Plant Anal.*, 8(3):195-207.
  - 50- Sparks D.L. 1983. Ion activities: an historical and theoretical overview. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 514-518.
  - 51- Sposito G.L., Lund J. and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:260-265.
  - 52- Sumner M.E. and Miller P.M. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. p. 1201-1230. In D.L. Sparks (ed) *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison.
  - 53- Tao S., Chen Y.J., Xu F.L., Cao J. and Li B.G. 2003. Changes of copper speciation in maize rhizosphere soil. *Environ. Pollut.*, 122: 447-454.
  - 54- Tessier A., Campbell P.G.C. and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51: 844- 851.
  - 55- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In D.L. Sparks (ed) *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Madison.
  - 56- Wang J., Zhang C.B. and Jin Z.X. 2009. The distribution and phytoavailability of heavy metal fractions in rhizosphere soils of *Paulownia fortunei* (Seem) Hems near a Pb/Zn smelter in Guangdong, PR China. *Geoderma* 148: 299-306.
  - 57- Wang Z., Shan X.Q. and Zhang S. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. *Chemosphere*, 46(8): 1163-1171.
  - 58- Wollan E. and Beckett P.H.T. 1979. Changes in the extractability of heavy metals on the interaction of sewage sludge with soil. *Environ. Pollut.*, 20:215-30.
  - 59- Youssef R.A. and Chino M. 1989. Root-induced changes in the rhizosphere of plants. II. Distribution of heavy metals across the rhizosphere in soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 35: 609-621.

## Change in Bioavailability and Fractions of Copper in the Rhizosphere of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Some Calcareous Soils

H.R. Motaghian<sup>1\*</sup> - A. Hosseinpour<sup>2</sup>- J. Mohammadi<sup>3</sup>- F. Raeisi<sup>4</sup>

Received: 15-4-2012

Accepted: 4-11-2012

### Abstract

Rhizosphere is a small zone and has quite different chemical, physical and biological properties from bulk soil. This research was conducted to investigate the availability and fractionation of copper in the wheat rhizosphere and bulk soils by using rhizobox at greenhouse conditions. Three seeds of wheat were plant in the rhizobox. After 8 weeks, plants were harvested and rhizosphere and bulk soils were separated. Total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC) and available Cu (by using 7 chemical procedures) and Cu-fractions were determined in the rhizosphere and bulk soils. The results indicated that TOC, DOC and MBC in the rhizosphere were increased significantly ( $p < 0.01$ ). Cu extracted using several chemical extractants in the rhizosphere were significantly ( $p < 0.05$ ) lower than in the bulk soils. In the rhizosphere soils exchangeable Cu, Cu associated with carbonates and Cu associated with manganese-iron oxides were decreased and Cu associated with organic matter and residual Cu were increased. Moreover, results indicated that correlation between Cu associated with iron-manganese oxides and residual fraction with extracted Cu using DTPA-TEA, AB-DTPA and Mehlich 3 with were significant ( $p < 0.05$ ) in the rhizosphere and bulk soils. Correlation between concentration index and extracted Cu using AB-DTPA and Mehlich 3 were significantly ( $p < 0.05$ ) in the rhizosphere and bulk soils. In addition, correlation between uptake index and extracted Cu using 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  was significantly ( $p < 0.05$ ) in the rhizosphere and bulk soils. The result showed that significant correlation ( $p < 0.05$ ) between concentration and uptake indices and Cu associated with iron-manganese and residual fractions in the wheat rhizosphere and bulk soils were found. Result revealed that coefficients in the rhizosphere soils were higher than in the bulk soils.

**Keywords:** Rhizosphere, Copper, Fractionation, Wheat

1,2,3,4- PhD Student, Professor, Associate Professor and Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Respectively

(\*-Corresponding Author Email: hrm\_61@yahoo.com)