نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 2005-2018

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 2005-2018

تأثیر کاربرد کود گاوی و ورمی‌کمپوست بر جزءبندی و قابلیت استفاده روی و مس در کشت گندم

علیرضا حسین‌پور[1]- حمیدرضا متقیان[2*]

تاریخ دریافت: 1394/06/16
تاریخ پذیرش: 1395/02/06

چکیده

استفاده از کودهای آلی یکی از راه‌های افزودن عناصر به خاک‌های کشاورزی با ماده آلی کم است. کودهای آلی مختلف، تأثیرات متفاوتی بر قابلیت استفاده عناصر در خاک دارند. در این تحقیق، قابلیت استفاده (با روش‌های DTPA-TEA، AB-DTPA و مهلیچ 3) و جزءبندی روی و مس در یک خاک آهکی تیمار شده با سطوح 0، 0/5 و 1 درصد (وزنی-وزنی) کود گاوی و ورمی‌کمپوست در قالب طرح کاملاً تصادفی مقایسه شد. همچنین، در خاک‌های تیمار شده و شاهد در شرایط گلخانه‌ای، گیاه گندم کشت گردید. نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر مقدار روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف معنی‌دار (P<0/01) بود. در حالی‌که اثر تیمارها بر مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف معنی‌دار نبود (P>0/05). کمترین و بیشترین مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA به‌ترتیب در خاک شاهد (0/73 میلی‌گرم در کیلوگرم) و خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی (1/30 میلی‌گرم در کیلوگرم) و 1 درصد ورمی‌کمپوست (1/17 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوند شده با ماده آلی معنی‌دار (P<0/05) بود، در حالی‌که اثر تیمارها بر اجزاء مس معنی‌دار نبود (P<0/05). روی و مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و AB-DTPA همبستگی معنی‌داری (P<0/05) با جزء پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز داشتند. ضرایب همبستگی بدست آمده نشان دادند که بین ماده خشک و جذب روی با روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ 3 و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری (P<0/05) وجود داشت. در حالی‌که بین شاخص‌های گندم و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و اجزاء آن همبستگی معنی‌داری وجود نداشت (P>0/05). نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت بین استفاده از کود گاوی یا ورمی‌کمپوست بر اجزاء و قابلیت استفاده روی و مس معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: اجزاء روی، اجزاء مس، کود آلی، گندم، ورمی‌کمپوست

مقدمه

روی یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد طبیعی و تولید محصولات زراعی و همچنین عنصری مهم برای حیوانات و انسان به شمار می‌آید. روی نقش‌های زیادی در گیاهان از جمله شرکت در ساختمان آنزیم‌های گیاهی مانند الکل دی‌هیدروژناز، مس- روی سوپر اکسید دیسموتاز، آرآن‌آ پلیمراز، فعال‌کردن آنزیم‌های گیاهی، سوخت و ساز قندها و ساخت تریپتوفان و ایندول‌استیک‌اسید ایفا می‌کند (18 و 23). کمبود روی در بسیاری از اراضی کشاورزی دنیا گزارش شده که منجر به کاهش محصول شده است (3). بیش از 60 درصد خاک‌های قابل کشت در ایران دارای مقادیر کمی روی هستند که موجب کاهش 50 درصدی محصول شده است (24).

مس از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان و حیوانات است (19). عنصر مس در گیاه نقش‌های متعددی از جمله شرکت در ساختمان ترکیبات مختلف، چوبی‌شدن و تشکیل دانه گرده دارد. نقش اصلی این عنصر در گیاهان، فعال‌کردن آنزیم واکنش اکسایش-کاهش است (4). کمبود مس در خاک‌های آلی، خاک‌های شنی که به‌طور معمول مقدار مس کل کمی دارند و در خاک‌های آهکی که مس قابلیت استفاده کمی دارند، عمومیت بیشتری دارد. پژوهش انجام شده در تعدادی از مزارع گندم نشان داده است که حدود 24 درصد از خاک‌های مورد مطالعه زیر کشت گندم آبی در ایران از کمبود مس رنج می‌برند (5).

مصرف مواد آلی حاوی عناصر غذایی از جمله روش‌های افزایش

1 و 2– استاد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: (Email: hrm_61@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v30i6.47458

قابلیت استفاده عناصر غذایی برای گیاه است. بنابراین، استفاده از موادی مانند کود دامی، لجن فاضلاب، بقایای کشاورزی و صنعتی رو به گسترش است. امروزه برتری استفاده از کودهای آلی در کشاورزی به عنوان منبع با ارزشی از اصلاح‌کننده‌های آلی و عناصر تغذیه‌ای برای گیاه، بر هیچ کس پوشیده نیست به‌طوری که با کاربرد مواد آلی هم وضعیت مواد آلی خاک و هم مقدار عناصر غذایی آن بهبود می‌یابد (9). استفاده از کودهای آلی در زمین‌های کشاورزی در سرتاسر جهان در حال افزایش است. از جمله کودهای آلی مورد استفاده، ورمی کمپوست است. ورمی‌کمپوست در واقع کمپوست به‌دست آمده از عملیات تجزیه کرم‌های خاکی بر روی پسمانده‌ها و بقایا می‌باشد که نه تنها شامل لاشه و اجساد کرم‌ها است بلکه مواد بستری و نیز پسمانده‌های آلی در مراحل مختلف تجزیه را نیز در بر می‌گیرد. این کود دارای ذرات با سطح ویژه بالایی می‌باشد که این باعث بهبود وضعیت فضاهای ریز خاک از نظر فعالیت میکروبی و قابلیت نگهداری بالای عناصر غذایی می‌شود (2 و 30). برتری ورمی کمپوست نسبت به سایر کودهای آلی این است که به خوبی تغییر ساختار یافته و تعداد ریزجانداران بیماری‌زای گیاهی در آن به شدت کاهش یافته است. فرآیند هوموسی شدن در طی رسیدگی ورمی کمپوست صورت می‌گیرد که در نهایت کود تولیدی در این روش به علت بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن فاقد بوی نامطبوع و فعالیت حشرات مزاحم می‌باشد (8). فراهمی عناصر پرنیاز و کم‌نیاز برای گیاه از خاک تیمار شده با کودهای آلی معمولاً در طی معدنی شدن ماده آلی اتفاق می‌افتد که این فرآیند به‌وسیله کرم‌های خاکی تسهیل و تسریع می‌گردد (22). به‌علاوه کربن آلی محلول حاصل از تجزیه کودهای آلی دارای گروه‌های عامل متعدد بویژه کربوکسیل و هیدروکسیل توانایی تشکیل کمپلکس با عناصر روی و مس است (26، 27، 28 و 29).

معمولاً برای برآورد مقدار روی و مس قابل استفاده در خاک‌ها از کلات‌کننده‌ها استفاده می‌شود (20). این کلات‌کننده‌ها با کاتیون‌های روی و مس در محلول کمپلکس ایجاد کرده و غلظت عنصر در محلول خاک کاهش می‌یابد، بنابراین جذب عنصر به‌وسیله ریشه‌ها را شبیه‌سازی می‌کنند (10 و 20). با این‌حال، خاک از ترکیبات مختلف مانند کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز، کربنات‌ها، مواد آلی و دیگر شکل‌های جامد تشکیل شده است و با پیوند عناصر با این ترکیبات اجزاء مختلف عناصر تشکیل می‌شود (40). اجزاء مختلف عناصر قابلیت استفاده یکسانی برای گیاه ندارند و قابلیت استفاده عناصر اغلب ارتباط زیادی با نحوه و مقدار توزیع آن عنصر در ترکیبات مختلف خاک دارد (10، 26 و 28). همچنین، جابه‌جایی عناصر در خاک‌ها وابسته به جزءبندی آنها است (6). بر همین اساس جداسازی و تعیین اجزاء عناصر در برآورد مقدار قابل استفاده آنها حائز اهمیت است. به‌علاوه اطلاع از جزءبندی عناصر در خاک‌ها، امکان پیش‌بینی رفتار و اثرات عناصر را در محیط خاک در نتیجه تغییرات اتفاق افتاده می‌دهد. از طرف دیگر، بدلیل اینکه مقدار کل عناصر غذایی در خاک تیمار شده با کودها لزوماً نشان دهنده قابلیت استفاده عناصر برای گیاهان نیست (29)، جزءبندی عناصر کم‌نیاز برای برآورد مقدار قابل استفاده عناصر مورد توجه قرار گرفته است. گان و همکاران (14) در تحقیقی تغییر در اجزاء و قابلیت استفاده مس را در یک خاک مالی‌سول تیمار شده با 1 و 3 درصد وزنی- وزنی کود دامی تقویت شده با مس (0، 100، 200، 400، 600 و 800 میلی‌گرم در کیلوگرم) مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین مقدار مس در جزء پیوند شده با ماده‌آلی قرار داشت و در اثر تیمار خاک با کود دامی مس پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز بیشترین افزایش را یافت. ایشان گزارش کردند مقدار مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA با افزایش مصرف کود دامی افزایش یافت. همچنین، نتیجه‌گیری کردند که عصاره‌گیر DTPA-TEA مقدار مس زیادی را استخراج می‌کند زیرا از اجزاء دارای قابلیت استفاده کم نیز می‌تواند عصاره‌گیری کند. ابطحی و همکاران (1) به بررسی اثر کاربرد 25 و 50 تن کود گاوی در هکتار بر مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA در دو خاک آهکی با بافت‌های لومی‌رسی و لومی‌شنی پرداختند. ایشان توصیه کردند که مصرف 50 تن در هکتار کود گاوی می‌تواند نیاز گیاه به نیتروژن، پتاسیم و فسفر را تأمین کند و استفاده از کود گاوی منجر به افزایش معنی‌دار روی قابل استفاده گردید.

همان‌طور که بیان شد استفاده از کود ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک کود نسبتاً ارزان قیمت و غنی از عناصر غذایی در دنیا و به تدریج در کشور ما رواج یافته است. اما علیرغم افزایش استفاده از ورمی‌کمپوست در کشاورزی و تأثیر آن بر اجزاء و قابلیت استفاده روی و مس و همچنین اهمیت مقایسه اثر ورمی‌کمپوست و بستر مورد استفاده در تهیه آن (کود دامی) بر اجزاء و قابلیت استفاده روی و مس، اطلاع چندانی از سرنوشت و توزیع روی و مس در خاک‌های تیمار شده با این کود وجود ندارد. بنابراین در این تحقیق به بررسی اثر کود دامی و ورمی‌کمپوست و مقایسه اثر این دو کود بر اجزاء و قابلیت استفاده روی و مس پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

این پژوهش در یک خاک آهکی نمونه‌برداری شده از استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. بافت خاک به‌روش هیدرومتر (13)، pH خاک در سوسپانسیون دو به یک آب به خاک (41)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک (34)، کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون (22)، گنجایش تبادل کاتیونی با استفاده از استات‌سدیم با pH=7 (39) و ماده آلی به‌روش اکسیداسیون

تر (33) تعیین شد. مقدار کل و قابل استفاده روی و مس به‌ترتیب با استفاده از هضم با اسید نیتریک 4 مولار (37) و DTPA-TEA (21) اندازه‌گیری شد.

ورمی‌کمپوست با استفاده از 7 کیلوگرم کود گاوی عبور داده شده از الک 4 میلی‌متری تهیه شد. سپس به کود تهیه شده، 200 عدد کرم خاکی آیزنیافتیدا (*Eisenia foetida*) اضافه و در مدت 3 ماه در گلخانه به حالت مرطوب خوابانده شد. محیط قرارگیری کود دامی جهت تهیه ورمی‌کمپوست سبد بود و در طول دوره سعی شد که رطوبت کود ثابت باقی بماند و سطح کود همیشه مرطوب باشد. کود دامی و ورمی‌کمپوست از الک 1 میلی‌متری عبور داده شدند. خصوصیات کودها شامل pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره پنج به یک آب به کود، کربن آلی با اکسایش تر و مقادیر کل روی و مس تعیین شد. مقدار 0/5 گرم از کودهای آلی در دمای 550 درجه سانتی‌گراد درکوره خاکستر شده و به‌وسیله اسیدکلریدریک 2 نرمال عصاره‌گیری شد (7). از عصاره حاصل برای تعیین غلظت کل عناصر روی و مس استفاده گردید. همچنین، مقدار روی و مس محلول با استفاده از نسبت 1 به 5 (کود به آب مقطر) پس از 2 ساعت تکان دادن عصاره‌گیری شد. روی و مس موجود در محلول عصاره‌گیری شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی‌بی‌سی، 932) اندازه‌گیری شد.

برای تیمار خاک با ورمی‌کمپوست و کود دامی، 3 مقدار کود دامی و ورمی‌کمپوست شامل 0، 0/5 و 1 درصد وزنی- وزنی (تقریباً معادل 0، 10 و 20 تن کود در هکتار) به 4 کیلوگرم خاک اضافه شد و رطوبت خاک‌های تیمار شده و شاهد به حدود ظرفیت مزرعه رسانده و به‌مدت 30 روز در گلخانه خوابانده شدند. در طول دوره خوابانیدن رطوبت خاک‌ها در حدود ظرفیت مزرعه ثابت و پس از دوره خوابانیدن، خاک‌ها برای مطالعه جزءبندی (جدول 1) و قابلیت استفاده (جدول 2) روی و مس استفاده شدند.

جدول 1- روش عصاره‌گیری تسیر برای تعیین اجزاء روی و مس (40)

Table 1- Tessier extraction method for determine Zn and Cu Fractions (40)

جزء Fraction	مرحله Step	روش عصاره‌گیری Extraction method	زمان Time (h)	دما T (^{0}C)
تبادلی Exchangeable	1	1 g Soil +8ml $MgCl_2$ 1M (pH=7)	2	دمای اتاق Room temperature
پیوندشده با کربنات‌ها Associated with carbonates	2	8ml CH_3COONa1M(pH=5)	6	دمای اتاق Room temperature
پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with oxides	3	20 ml $NH_2OH.HCl$ 0.04 M	6	96±3
پیوندشده با ماده‌آلی Associated with OM	4	5mlHNO_3+ 8 ml H_2O_2 (pH=5) + 5mlNH_4OAC 3.2 M (in 20% HNO_3)	5 0.5	85±2 دمای اتاق Room temperature
باقیمانده Residual*	5	7 ml HNO_3 4N	16	80±2

* باقیمانده با استفاده از روش عصاره‌گیری اسپوزیتو و همکاران (1982) اندازه‌گیری خواهد شد

Residual will extracted by Sposito et al. (1982)

جدول 2- روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی مورد استفاده در تعیین روی و مس قابل استفاده

Table 2- Used chemical extractants methods in determining Zn and Cu available

نام Name	عصاره‌گیر Extractant	تکان‌دادن Shaking (min)	خاک:عصاره‌گیر Soil:extractant	منبع Reference
DTPA-TEA	0.005 M DTPA + 0.01 M $CaCl_2$ +0.1 M TEA (pH=7.3)	120	1:2	21
AB-DTPA	0.005 M DTPA + 1 M NH_4HCO_3 (pH=7.6)	15	1:2	36
Mehlich 3	0.015 M NH_4F+ 0.25 M NH4NO3 + 0.013 M HNO+ 0.2 M CH_3COOH + 0.001 M EDTA	5	1:10	25

کشت گلخانه‌ای

برای بررسی ارتباط بین شاخص‌های گندم (*Triticum aestivum*. L) با مقدار روی و مس قابل استفاده و اجزاء روی و مس از کشت گلدانی در گلخانه استفاده شد. گلدان‌ها با 3 کیلوگرم از خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده پس از دوره خواباندن (30 روز) پر شدند. جهت کشت گیاه، بذرهای گندم رقم بک‌کراس روشن با

استفاده از هیپوکلریت سدیم 3 درصد استریل و درون آب قرار داده و در کاغذ صافی جوانه زدند. سپس، به‌مدت 24 ساعت در دمای 20 درجه سلسیوس در تاریکی قرار داده شدند. در ادامه 3 بذر درون گلدان‌ها کشت شد. در طول مدت رشد مراقبت‌های لازم انجام و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه ثابت بماند. گیاهان 8 هفته پس از جوانه زدن برداشت شدند. بخش هوایی با آب مقطر شسته شده و به‌مدت 48 ساعت در دمای 70 درجه سانتی‌گراد در آون تهویه‌دار خشک شده و سپس وزن خشک بخش هوایی تعیین شد. غلظت روی و مس در بخش‌های هوایی با روش خاکستر خشک (7) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی‌بی‌سی، 932) تعیین و سپس روی و مس جذب شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

(1) ماده خشک (کیلوگرم در گلدان) × غلظت روی یا مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)= روی یا مس جذب شده (میلی‌گرم در گلدان)

آنالیز آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای بررسی اثر تیمارها بر اجزاء روی و مس، روی و مس قابل استفاده و شاخص‌های گندم (ماده خشک، غلظت و جذب) از روش‌های تک‌متغیره و مدل جامع خطی (GLM) به کمک تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. مقایسه میانگین‌های بین اجزاء روی و مس، روی و مس قابل استفاده و شاخص‌های گندم در خاک‌های تیمار شده بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5٪ و با استفاده از نرم‌افزار Statistica انجام شد. همچنین، ضرایب همبستگی بین اجزاء روی و مس، روی و مس قابل استفاده و شاخص‌های گندم با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و کودها

خاک مورد مطالعه دارای بافت رسی و مقدار شن، سیلت و رس آن به‌ترتیب 19، 34 و 47 درصد بود. خاک دارای pH قلیایی (7/3)، قابلیت هدایت الکتریکی 0/13 دسی‌زیمنس بر متر و کربن آلی 0/55 درصد بود. گنجایش تبادل کاتیونی آن 20 سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک بود. همچنین، مقدار نیتروژن این خاک 0/06 درصد، مقدار پتاسیم آن 260 میلی‌گرم در کیلوگرم و مقدار فسفر آن 16 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقدار روی و مس قابل استفاده در خاک مورد مطالعه به ترتیب 0/50 و 1/5 میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین مقدار کل روی و مس این خاک به‌ترتیب 39 و 29 میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

ویژگی‌های کود گاوی و ورمی‌کمپوست در جدول 3 نشان داده شده است. کود دامی مورد استفاده دارای به‌ترتیب 138 میلی‌گرم روی در کیلوگرم و 7/7 میلی‌گرم مس در کیلوگرم بود. در حالی‌که کود ورمی‌کمپوست دارای 121 میلی‌گرم روی در کیلوگرم و 3/7 میلی‌گرم مس در کیلوگرم بود.

جدول 3- نتایج تجزیه شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

Table 3- Result of chemical analysis of used cow manure

ویژگی Properties	ورمی‌کمپوست Vermicompost	کود گاوی Cow manure
OC (%)	22	25
N (%)	3.0	3.1
EC (dS/m)	23	24
Ph	8.0	8.3
Total Zn (mg/kg)	121	138
Total Cu (mg/kg)	3.7	7.7
Soluble Zn (mg/kg)	0.24	0.82
Soluble Cu (mg/kg)	0.10	0.34

کرم خاکی آیزنیافتیدا به سطح اکولوژیکی اپی‌ژئیک متعلق است و اغلب از مواد آلی و بقایای گیاهی تغذیه می‌کند (11). این جاندار باعث کاهش ماده‌آلی ذره‌ای و در نتیجه سبب افزایش تجزیه ماده آلی و رهاسازی عناصر غذایی می‌گردد. پانگ و همکاران (33) گزارش کردند که غلظت نیتروژن معدنی با افزایش کرم خاکی آیزنیافتیدا افزایش یافت. نتایج نشان داد که در طی فرآیند تهیه ورمی‌کمپوست، مقدار کل عناصر روی و مس کاهش یافت که می‌تواند به دلیل معدنی شدن کود دامی و آزاد شدن عناصر موجود در آن باشد. در تهیه ورمی‌کمپوست با استفاده از سبد، امکان خروج ترکیبات معدنی از طریق زه‌آب آبیاری نیز وجود دارد. سودایی مشاعی و همکاران (35) گزارش کردند که درصد نیتروژن معدنی شده از کود دامی بیش از ورمی‌کمپوست تهیه شده از همان کود دامی بود. بنابراین پس از تهیه ورمی‌کمپوست از کود دامی سرعت تجزیه ماده آلی کاهش می‌یابد.

روی و مس قابل استفاده

نتایج تجزیه واریانس مقادیر روی و مس عصاره‌گیری شده با استفاده از روش‌های مختلف در جدول 4 نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر تیمارها بر مقدار روی استخراج شده با

روش‌های مختلف عصاره‌گیری در سطح 1 درصد معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر تیمارها بر مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف معنی‌دار نبود (P>0/05).

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس مقادیر روی و مس عصاره‌گیری شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف

Table 4- Result of ANOVA of extracted Zn and Cu (mg/kg) using different extractants

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	Mehlich 3			AB-DTPA			DTPA-TEA		
		میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV	میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV	میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV
					روی Zn					
تیمار Treatment	4	0.57**	0.82	8	0.268**	0.84	12	0.150**	0.89	8
خطا Error	10	0.05			0.0206			0.0097		
					مس Cu					
تیمار Treatment	4	ns0.027	0.66	4	0.057ns	0.46	5	0.007ns	0.66	3
خطا Error	10	0.031			0.027			0.005		

** معنی‌دار در سطح 1 درصدو ns غیرمعنی‌دار در سطح 5 درصد.

**significant at P<0.01 and ns no significant at P<0.05

مقایسه میانگین روی و مس عصاره‌گیری‌شده با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلف در جدول 5 نشان داده شده است. بر اساس نتایج، روی و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف تغییرات زیادی داشت که نشان دهنده مکانیسم متفاوت عصاره‌گیرها در استخراج این عناصر است. روی عصاره‌گیری شده با استفاده از DTPA-TEA، AB-DTPA و مهلیچ 3 در خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک‌های تیمارشده با 0/5 درصد کود دامی و ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری (P<0/05) یافت. همچنین، روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و AB-DTPA در خاک‌های تیمار شده با سطوح مختلف کودهای آلی نسبت به خاک شاهد افزایش معنی‌داری (P<0/05) یافت. کمترین مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA در خاک شاهد (0/73 میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیشترین آن در خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی (1/30 میلی‌گرم در کیلوگرم) و 1 درصد ورمی‌کمپوست (1/17 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. کمترین مقدار روی عصاره‌گیری شده با AB-DTPA در خاک شاهد (0/84 میلی‌گرم در کیلوگرم) و بیشترین آن در خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی (1/56 میلی‌گرم در کیلوگرم) و 1 درصد ورمی‌کمپوست (1/49 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. بیشترین مقدار روی عصاره‌گیری شده با استفاده از روش مهلیچ 3 در خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی (3/31 میلی‌گرم در کیلوگرم) و 1 درصد ورمی‌کمپوست (3/30 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود.

نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری (P<0/01) بین روی عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف وجود داشت. ضریب همبستگی بین روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA با روی عصاره‌گیری شده با AB-DTPA 0/85 بود. بین روی عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ 3 و روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و AB-DTPA ضریب همبستگی به‌ترتیب 0/85 و 0/76 بدست آمد.

نتایج بررسی همبستگی نشان داد که رابطه معنی‌داری (P<0/01) بین مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف وجود داشت. بین مس عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ 3 و روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و AB-DTPA ضرایب همبستگی به‌ترتیب 0/75 و 0/62 بدست آمد. ضریب همبستگی بین مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA با مس عصاره‌گیری شده با AB-DTPA، 0/74 بود. ابطحی و همکاران (1) اثر کاربرد 25 و 50 تن در هکتار کود گاوی حاوی به‌ترتیب 245 و 354 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و مس بر مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA در دو خاک آهکی با بافت‌های لومی رسی و لومی شنی را مطالعه کردند. ایشان گزارش کردند که استفاده از کود گاوی منجر به افزایش معنی‌دار روی قابل استفاده از 3/9 به 5/1 میلی‌گرم در کیلوگرم گردید. وان‌ارپ و وان‌لون (43) گزارش کردند که روی بر خلاف مس پیوند قوی با ماده آلی برقرار نکرده و بنابراین هنگام کاربرد کود آلی قابلیت استفاده آن افزایش می‌یابد.

جدول 5- مقایسه میانگین روی و مس عصاره‌گیری شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) با استفاده از روش‌های مختلف
Table 5- Comparison mean of extracted-Zn and –Cu (mg/kg)

خاک Soil	روی Zn			مس Cu		
	Mehlich 3	AB-DTPA	DTPA-TEA	Mehlich 3	AB-DTPA	DTPA-TEA
شاهد Control	bc2.27	c0.84	0.73 d	a4.72	a3.45	a1.69
0/5% کود دامی Cow manure 0.5%	b2.61	b1.10	bc1.06	a4.60	a3.31	a1.71
1% کود دامی Cow manure 1%	a3.58	a1.56	a1.30	a4.54	a3.24	a1.64
0/5% ورمی‌کمپوست Vermicompost 0.5%	c2.22	b1.10	c0.91	a4.56	a3.15	a1.60
1% ورمی‌کمپوست Vermicompost 1%	bc2.28	a1.49	ab1.17	a4.51	a3.10	a1.61

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح 5 درصد است
Different letters in each column have significant difference at p<0.05

اجزاء روی و مس

نتایج تجزیه واریانس مقادیر اجزاء مختلف روی و مس در جدول 6 نشان داده شده است. مقدار روی و مس تبادلی و پیوند شده با کربنات‌ها کمتر از حد تشخیص دستگاه بود. بر اساس نتایج این جدول، اثر تیمارهای استفاده شده بر روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوند شده با ماده آلی معنی‌دار (P<0/05) بود. در حالی‌که اثر تیمارها بر اجزاء مس معنی‌دار نبود (P>0/05).

جدول 6– نتایج تجزیه واریانس مقادیر اجزاء مختلف روی و مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)
Table 6- Result of ANOVA of different fractions of Zn and Cu (mg/kg)

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	پیوند شده با ماده آلی Associated with OM			پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with oxides			باقیمانده Residual		
		میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV	میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV	میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV
					روی (Zn)					
تیمار Treatment	4	0.03*	0.76	5	0.66*	0.62	6	12.63ns	0.85	8
خطا Error	10	0.013			0.17			5.1		
					مس (Cu)					
تیمار Treatment	4	0.071ns	0.56	17	0.044ns	0.77	10	0.29ns	0.69	7
خطا Error	10	0.048			0.055			2.65		

** معنی‌دار در سطح 1 درصد، ** معنی‌دار در سطح 5 درصد و ns غیرمعنی‌دار در سطح 5 درصد
مقدار روی و مس تبادلی و پیوندشده با کربنات‌ها کمتر از حد تشخیص دستگاه بود
**significant at P<0.01, **significant at P<0.05, and ns no significant at P<0.05
Zn and Cu exchangeable and Zn and Cu associated with carbonates wasnot detectable

مقایسه میانگین اجزاء مختلف روی و مس در جدول 7 نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که با کاربرد 1 درصد کود دامی یا ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری (P<0/05) در روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز نسبت به خاک شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی (7/77 میلی‌گرم در کیلوگرم) و ورمی‌کمپوست (7/59 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. بین روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های تیمار شده با سطوح مختلف هر کود تفاوت معنی‌داری (P<0/05) نبود. روی پیوند شده با ماده‌آلی در خاک‌های تیمار شده با 0/5 و 1 درصد کود دامی و ورمی‌کمپوست با خاک شاهد تفاوت معنی‌داری (P<0/05) داشت. در حالی‌که تفاوت روی پیوند شده با ماده آلی در خاک‌های تیمار شده با سطوح مختلف کودها معنی‌دار نبود (P>0/05). بیشترین مقدار روی پیوند شده با ماده‌آلی در خاک تیمار شده با کود دامی و پس از آن در خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست مشاهده شد.

همانطور که قبلاً بیان شد، در اثر تیمار خاک‌ها با کودهای آلی، افزایش معنی‌داری (P<0/05) در اجزاء مختلف مس مشاهده نشد که می‌تواند به‌دلیل مقدار کم مس در تیمارها باشد (جدول 3). مقدار مس

اضافه‌شده به خاک‌های تیمار شده با 0/5 و 1 درصد کود دامی به‌ترتیب 0/038 و 0/077 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک بود. همچنین، مقدار مس اضافه شده به خاک‌های تیمار شده با 0/5 و 1 درصد ورمی‌کمپوست به‌ترتیب 0/018 و 0/037 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک بود. در حالی‌که مقدار روی اضافه شده به خاک‌های تیمار شده به‌ترتیب با 0/5 و 1 درصد کود دامی، 0/60 و 1/21 میلی‌گرم روی در کیلوگرم و مقدار روی اضافه شده به خاک‌های تیمار شده با 0/5 و 1 درصد ورمی‌کمپوست به‌ترتیب 0/69 و 1/38 میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک بود.

جدول 7- مقایسه میانگین اجزاء مختلف روی و مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)

Table 7- Comparison of mean Zn- and Cu-fractions (mg/kg)

خاک Soil	روی Zn			مس Cu		
	پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with oxides	پیوند شده با ماده آلی Associated with OM	باقیمانده Residual	پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with oxides	پیوند شده با ماده آلی Associated with OM	باقیمانده Residual
شاهد Control	c6.62	b2.44	a28.9	a5.63	a0.99	a22.6
کود دامی 0/5% Cow manure 0.5%	abc7.10	a2.59	a28.6	a5.47	a1.24	a21.9
کود دامی 1% Cow manure 1%	a7.77	a2.64	a28.3	a5.38	a1.34	a22.4
ورمی‌کمپوست Vermicompost 0.5%	bc6.94	a2.67	a28.4	a5.36	a1.30	a22.2
ورمی‌کمپوست Vermicompost 1%	ab7.59	a2.69	a28.7	a5.33	a1.33	a22.2

مقدار روی و مس تبادلی و پیوند شده با کربنات‌ها کمتر از حد تشخیص دستگاه بود

حروف متفاوت برای در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح 5 درصد است

Zn and Cu exchangeable and Zn and Cu associated with carbonates wasnot detectable

Different letters in each column have significant difference at $p<0.05$

در اغلب تحقیقات مقدار کل روی و مس در خاک‌های تیمار شده با کود آلی حاوی این عناصر نسبت به خاک‌های تیمار نشده افزایش یافته است (26 و 28). برخی از محققان گزارش کردند که بر اثر افزودن کود آلی، بیشترین غلظت عنصر روی در جزءهای باقیمانده و پیوند شده با ماده‌آلی قرار می‌گیرد (16) و در مقابل برخی محققین گزارش کردند که در این شرایط بیشترین غلظت روی در بخش‌های پیوند شده با اکسیدها و کربنات‌ها قرار داشت (6، 26 و 28). تحقیقات نشان داده است که اکسیدهای آهن تمایل زیادی برای جذب روی دارند (38). نتایج متفاوت بدلیل این است که جزءبندی عناصر در خاک‌های تیمار شده وابسته به طبیعت شیمیایی عناصر در خاک و کود مصرفی، خصوصیات خاک، نوع روش عصاره‌گیری و مکانیسم‌های جذب و رسوب است (42). هی و همکاران (16) به بررسی اثر کاربرد کمپوست (با مقادیر 0، 20، 40، 60 و 80 درصد وزنی-وزنی) بر جزءبندی روی و مس پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که افزودن کود آلی، باعث افزایش همه اجزاء روی و مس در خاک‌های تیمار شده شد. در بین اجزاء عنصر روی، جزء تبادلی و پیوند شده با ماده‌آلی و برای عنصر مس جزء پیوند شده با ماده‌آلی جزءهای غالب را شامل شدند. اوبرادور و همکاران (32) مشاهده کردند که در خاک‌های آهکی بیشترین مقدار روی به‌صورت جزء باقیمانده بود. نتایج آنها نشان داد که بعد از جزء باقیمانده، جزءهای پیوند شده با اکسیدهای آهن، پیوند شده با کربنات‌ها، پیوند شده با ماده‌آلی و پیوند شده با اکسیدهای منگنز قرار داشتند. همچنین آنها گزارش کردند که مقدار روی در محلول خاک و جزء تبادلی قابل تشخیص برای دستگاه جذب اتمی نبود. متقیان و همکاران (28) گزارش کردند که روی آزاد شده از لجن فاضلاب (1 درصد وزنی) با کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و منگنز در خاک پیوند داده و بنابراین مقدار این اجزاء در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب افزایش می‌یابد. برازاوسکین و همکاران (6) مشاهده کردند که با کاربرد کود آلی در خاک‌ها مقدار روی تبادلی افزایش یافت. نتایج آنها نشان داد که در طی انکوباسیون روی از جزءهای تبادلی و پیوند شده با کربنات‌ها به جزءهای پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوند شده با ماده آلی انتقال می‌یابد.

همبستگی بین روی و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های

مختلف و اجزاء روی و مس در جدول 8 نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA و مهلیچ 3 همبستگی معنی‌داری (P<0/01) با روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوند شده با ماده آلی داشت. همچنین، بین مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و AB-DTPA همبستگی معنی‌داری (P<0/05) با مس پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز مشاهده شد.

جدول 8- همبستگی روی و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و اجزاء آنها (n=15)

Table 8- Correlation between extracted-Zn and –Cu by different methods and their fractions

جزء	روی Zn			مس Cu		
	DTPA-TEA	AB-DTPA	Mehlich 3	DTPA-TEA	AB-DTPA	Mehlich 3
پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with oxides	0.80**	0.61*	0.80**	0.63*	0.75**	ns0.46
پیوند شده با ماده‌آلی Associated with OM	0.52*	0.54*	0.52*	ns-0.13	-0.29ns	ns-0.07
باقیمانده Residual	ns-0.44	-0.50ns	ns-0.19	ns-0.10	ns-0.17	ns-0.10

** معنی‌دار در سطح 1 درصد، * معنی‌دار در سطح 5 درصد و ns غیرمعنی‌دار در سطح 5 درصد

**significant at P<0.01, **significant at P<0.05, and ns no significant at P<0.05

شاخص‌های گندم در خاک‌های مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های گندم در جدول 9 نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، اثر تیمارهای استفاده شده بر ماده خشک گندم معنی‌دار (P<0/01) بود. جذب روی نیز تحت تأثیر تیمارها قرار گرفته بود. در حالی‌که اثر تیمارها بر غلظت روی و مس و جذب مس معنی‌دار نبود (P>0/05).

جدول 9- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های گندم در خاک‌های مورد مطالعه

Table 9- Result of ANOVA of wheat indices in studied soils

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	جذب (میلی‌گرم در گلدان) Uptake (mg/pot)			غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) Concentration (mg/kg)			ماده خشک (گرم در گلدان) Dry matter (g/pot)		
		میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV	میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV	میانگین مربعات MS	R^2	ضریب تغییرات CV
					روی Zn					
تیمار Treatment	4	4.7×10^{-4}**	0.78	10	ns3.35	0.67	10	0.878**	0.93	3
خطا Error	10	0.5×10^{-4}			1.79			0.028		
					مس Cu					
تیمار Treatment	4	0.46×10^{-4}ns	0.60	10	0.107ns	0.70	8			
خطا Error	10	0.26×10^{-4}			0.571					

** معنی‌دار در سطح 1 درصد، * معنی‌دار در سطح 5 درصد و ns غیرمعنی‌دار در سطح 5 درصد

**significant at P<0.01, **significant at P<0.05, and ns no significant at P<0.05

مقایسه میانگین شاخص‌های گندم در خاک‌های تیمار شده با سطوح مختلف کود دامی و ورمی‌کمپوست و خاک شاهد در جدول 10 نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، حداقل و حداکثر مقدار ماده خشک گندم به‌ترتیب در خاک شاهد (4/71 گرم در گلدان) و خاک تیمار شده با 1 درصد کود دامی (6/15 گرم در گلدان) مشاهده شد. پس از آن، خاک تیمار شده با 1 درصد ورمی‌کمپوست با مقدار 5/82 گرم در گلدان قرار داشت. تفاوت بین خاک‌های تیمار شده با 0/5 درصد کود دامی و 0/5 درصد ورمی‌کمپوست معنی‌دار نبود (P>0/05). ماده خشک گندم در اثر تیمار خاک با 1 درصد کود دامی 27 درصد نسبت به شاهد افزایش و در اثر تیمار خاک با 1 درصد ورمی‌کمپوست، ماده خشک گندم 21 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. ماده خشک گندم در اثر تیمار خاک با 0/5 درصد کود دامی و ورمی‌کمپوست نسبت به به‌ترتیب 14 و 11 درصد افزایش یافت. همچنین، ماده خشک گندم در اثر افزایش مقدار مصرف کود دامی و ورمی‌کمپوست از 0/5 به 1 درصد به‌ترتیب، 14 و 8 درصد افزایش یافت. در برخی مطالعات افزایش مقدار کاربرد کود آلی اثری بر عملکرد گیاه نداشت. ابطحی و همکاران (1) گزارش کردند که افزایش کود گاوی از 25 به 50 تن در هکتار اثر معنی‌داری بر عملکرد

ذرت نداشت (P>0/05). نتایج نشان می‌دهد که با وجود افزایش ماده خشک گندم؛ غلظت مس، غلظت روی و جذب مس در اثر کاربرد کود آلی افزایش نیافته است که می‌تواند به دلیل کافی بودن مقدار مس در خاک مورد مطالعه باشد (1/5 میلی‌گرم در کیلوگرم). به علاوه عدم افزایش غلظت روی در گندم می‌تواند به دلیل افزایش وزن ماده خشک گندم در اثر مصرف تیمارهای کود آلی باشد.

نتایج جدول 10 نشان داد که تیمار خاک‌ها با سطوح مختلف کود اثر معنی‌داری بر غلظت روی و مس در گندم نداشت (P>0/05). حیدریان‌پور و همکاران (17) گزارش کردند که کاربرد 2/5 درصد ورمی‌کمپوست حاوی 27/7 و 111/3 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و مس منجر به کاهش غلظت روی و مس در گیاه آفتابگردان شد. بیشترین مقدار جذب روی در خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی (0/09 میلی‌گرم در گلدان) بود زیرا بیشترین غلظت روی و ماده خشک گندم در این خاک بدست آمد. نتایج نشان داد که جذب روی در اثر افزایش مصرف کود دامی از 0/5 به 1 درصد، افزایش معنی‌داری (P<0/05) یافت. در حالی‌که در اثر افزایش مقدار ورمی‌کمپوست از 0/5 به 1 درصد، تفاوت معنی‌داری (P<0/05) در جذب روی مشاهده نشد.

جدول 10- مقایسه میانگین شاخص‌های گندم در خاک‌های مورد مطالعه

Table 10- Comparison of mean of wheat indices in studied soils

خاک Soil	ماده خشک (گرم در گلدان) Dry matter (g/pot)	روی Zn		مس Cu	
		غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) Concentration (mg/kg)	جذب (میلی‌گرم در گلدان) Uptake (mg/pot)	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) Concentration (mg/kg)	جذب (میلی‌گرم در گلدان) Uptake (mg/pot)
شاهد Control	d4.71	a11.7	c0.06	a9.36	a0.044
0/5% کود دامی Cow manure 0.5%	c5.39	a12.8	bc0.07	a9.11	a0.049
1% کود دامی Cow manure 1%	a6.15	a14.3	a0.07	a8.93	a0.055
ورمی‌کمپوست Vermicompost 0.5%	c5.40	a12.7	bc0.07	a9.05	a0.050
1% ورمی‌کمپوست Vermicompost 1%	ab5.82	a14.0	ab0.08	a8.88	a0.051

حروف متفاوت برای در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح 5 درصد است

Different letters in each column have significant difference at p<0.05

همبستگی روی و مس قابل استفاده و اجزاء آنها با شاخص‌های گندم

همبستگی بین روی و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و اجزاء آنها با شاخص‌های گندم در جدول 11 نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که بین ماده خشک با روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA، AB-DTPA و مهلیچ 3، روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز (P<0/01) و روی پیوند شده با ماده‌آلی همبستگی معنی‌داری (P<0/05) وجود داشت. بین غلظت روی و روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA و مهلیچ 3 همبستگی معنی‌داری (P<0/05) وجود داشت. همچنین، بین جذب روی و روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ 3 و روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی معنی‌داری (P<0/05) وجود داشت. نتایج نشان داد که بین شاخص‌های گندم و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و اجزاء آن همبستگی معنی‌داری وجود نداشت (P>0/05). عدم وجود رابطه معنی‌دار مس قابل استفاده و اجزاء آن با شاخص‌های گندم را می‌توان به‌دلیل مقدار کافی مس قابل استفاده اولیه در خاک بیان کرد. متقیان و همکاران (27) به بررسی توانایی 7 روش عصاره‌گیری شیمیایی در برآورد روی قابل استفاده گندم در 10 نمونه خاک آهکی در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. نتایج آنان نشان داد که روی عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای AB-DTPA، DTPA-TEA و مهلیچ 3 با غلظت روی، ماده خشک و جذب روی در گندم همبستگی معنی‌داری (r=0/65* - 0/91**) داشتند. فنگ و همکاران (12) گزارش کردند که DTPA-TEA، عصاره‌گیر مناسب روی در خاک‌های آهکی و EDTA عصاره‌گیر مناسب روی در خاک‌های اسیدی برای تعیین مقدار قابل استفاده این عنصر در گیاه گندم بود.

جدول 11- همبستگی روی و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و اجزاء آنها با شاخص‌های گندم (n=15)

Table 11- Correlation between extracted Zn and Cu by different methods and their fractions with wheat indices (n=15)

عصاره‌گیر یا جزء (Extractant or fraction)	روی(Zn)			مس (Cu)		
	ماده خشک (گرم در گلدان) Dry matter (g/pot)	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) Concentration (mg/kg)	جذب (میلی‌گرم در گلدان) Uptake (mg/pot)	ماده خشک (گرم در گلدان) Dry matter (g/pot)	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم) Concentration (mg/kg)	جذب (میلی‌گرم در گلدان) Uptake (mg/pot)
DTPA-TEA	0.91**	0.55*	0.79**	-ns0.31	-ns0.10	-ns0.36
AB-DTPA	0.90**	ns0.43	0.71**	-ns0.36	ns0.20	-ns0.19
Mehlich 3	0.86**	0.66**	0.83**	-ns0.32	-ns0.22	-ns0.46
پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز Associated with oxides	0.76**	ns0.37	0.55*	-ns0.28	ns0.02	-ns0.26
پیوندشده با ماده‌آلی Associated with OM	0.62*	ns0.10	ns0.34	ns0.50	-ns0.49	ns0.06
باقیمانده Residual	-0.50ns	ns0.44	-ns0.38	-ns0.08	ns0.07	-ns0.03

** معنی‌دار در سطح 1 درصد، * معنی‌دار در سطح 5 درصد و ns غیرمعنی‌دار در سطح 5 درصد

**significant at P<0.01, **significant at P<0.05, and ns no significant at P<0.05

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر سطوح مختلف کود دامی و ورمی‌کمپوست بر مقدار روی عصاره‌گیری شده با 3 روش عصاره‌گیری معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر تیمارها بر مس عصاره‌گیری شده با این عصاره‌گیرها معنی‌دار نبود. نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس اجزاء مختلف روی و مس نشان داد که اثر تیمارها بر روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوند شده با ماده آلی معنی‌دار بود. روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک‌های تیمار شده با 1 درصد کود دامی یا ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری نسبت به خاک شاهد یافت. در اثر تیمار خاک‌ها با کودهای آلی، افزایش معنی‌داری در اجزاء مختلف مس مشاهده نشد که می‌تواند به‌دلیل مقدار کم مس در کودها باشد. اثر تیمارهای بر ماده خشک گندم، جذب روی معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر تیمارها بر غلظت روی و مس و جذب مس معنی‌دار نبود. بین ماده خشک و جذب روی با روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA، AB-DTPA و مهلیچ 3، روی پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و روی پیوند شده با ماده آلی همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همچنین، بین غلظت روی و روی عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA و مهلیچ 3 همبستگی معنی‌داری بدست آمد. بر اساس نتایج این پژوهش، اثر ورمی‌کمپوست بر اجزاء و قابلیت استفاده روی و مس با کود دامی تفاوت معنی‌داری نداشت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهرکرد که هزینه‌های اجرای این پژوهش را فراهم نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Abtahi M., Hoodaji M., and Afyuni M. 2013. The effect of biosolids (sewage sludge, urban compost, manure) on soil chemical properties and bioavailability of micronutrients (zinc, iron) by corn in two calcareous soils. Journal of Water and Soil, 27(1):14-23.(in Persian with English abstract)

2- Ahmad Abadi Z., Ghajar Sepanlou M., Rahimi Alashti S. 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15(58):125-137. (in Persian with English abstract)

3- Alloway B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemical Health. 31: 537–548.

4- Alvarez J.M., Lopez-Valdivia L.M., Novillo J., Obrador A., and Rico M.I. 2006. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phytoavailability prediction of manganese and zinc in agricultural alkaline soils.

Geoderma, 132: 450- 463.
5- Balali M., Malakouti M.J., Mashayekhi H., and Khademi Z. 1999. Effect of micronutrients on increase of yield and determination their critical level in soils of Iran under wheat planting, Journal of Soil and Water, 12 (6): 111-119 (in Persian with English abstract).
6- Brazauskiene D.M., Paulauskas V., and Sabiene N. 2008. Speciation of Zn, Cu, and Pb in the soil depending on soil texture and fertilization with sewage sludge compost. Journal of Soils Sediments, 8:184-192.
7- Campbell C.R., and Plank C.O. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. p. 37-50In Y.P. Kalra (ed.) Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.
8- Claudio P.J., Raphael F., Alves L.R., Brunade S.N., and Priscila M.B. 2009. Zn (II) adsorption fromsyntheyic solution and kaolin wastewater on vermicompost. Journal of Hazardous Material, 162: 804-811.
9- Courtney R.G., and Mullen G.J. 2007. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology, 99: 2913-2918.
10- Dang Y.P., Edwards D.G., and Tiller K.G. 1994. Kinetics of zinc desorption from Vertisols. Soil Science Society of America Journal, 58:1392-1399.
11- Edwards C.A., and Bohlen P.J. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and hall publishers, London, UK.
12- Feng M.H., Shan X.Q., Zhang S.Z., and Wen B. 2005. Comparison of a rhizosphere-based method with other one-step extraction methods for assessing the bioavailability of soil metals to wheat. Chemosphere 59:939-949.
13- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 404-407. In Klute A (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
14- 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.
15- Han F.X., Hu A.T., and Qi Y.H. 1995. Transformation and distribution of forms of zinc in acid, neutral and calcareous soils of China. Geoderma, 66: 121- 135.
16- He M.M., Tian G.M., Liang X.Q., Yu Y.T., Wu J.Y., and Zhou G.D. 2007. Effects of two sludge application on fractionation and phytotoxicity of zinc and copper in soil. Journal of Environmental Science 19: 1482-1490.
17- Heydarianpur M.B., Sameni A., Sheikhi J., Karimian N., and Zarei M. 2014. The effect of vermicompost and nitrogen on growth, concentration, and uptake of nutrient sunflower. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 67:221-227.
18- Khosgoftarmanesh A.H. 2007. Principles of Plant Nutrition. Isfahan University of Technology.
19- Liang J., Karamanos R.E., and Stewart J.W.B. 1991. Plant availability of Zn fractions in Saskatchewan soils. Canadian Journal Soil Science, 71: 507-517.
20- Lindsay W.L., and Cox. F.R. 1985. Micronutrient soil testing for the tropics. Fertilizer Research, 7:169-200.
21- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42:421-428.
22- 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.
23- Malakouti M., Keshavarz P., and Karimian N. 2008. A Comprehensive Approach towards Identification of Nutrients Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture. Tarbiat Modares University Press.
24- Malakouti M.J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology, 1: 1-12.
25- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Communications Soil Science and Plant Analysis 15:1409-1416.
26- Motaghian H.R., Hosseinpur A.R., Mohammadi J., and Raiesi F. 2012. The relation Cu fractions and wheat (*Triticum aestivum* L.) indices in some calcareous soils amended and unamended with sewage sludge. Journal of soil researches (Water and Soil Science), 26(4):37-346. (in Persian with English abstract)
27- Motaghian H.R., Hosseinpur A.R., Mohammadi J., and Raiesi F. 2012. Assessment of several extractants for the determination of zinc bioavailability to wheat (*Triticum aestivum* L.) in calcareous soils amended and unamended with sewage sludge Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, (accepted).
28- Motaghian H.R., Hosseinpur A.R., Raiesi F., and Mohammadi J. 2013. Evaluation of sequential method in determination available zinc to wheat (*Triticum aestivum* L.) in some calcareous soils amended and unamended with sewage sludge. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15(58) :125-137. (in Persian with English abstract)
29- Motaghian H.R., and Hosseinpur A.R. 2014. Impact of sewage sludge application on zinc desorption kinetics in some calcareous soils. Environmental Earth Science, 71:4647-4655.
30- Mousavi S.M., Bahmanyar M.A., and Pirdashti H. 2011. Nickel and chromium status in soil and rice under vermicompost treatment. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 1(1):43-62. (in Persian with English abstract)

31- 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.
32- Obrador A., Novillo J., and Alvarez J.M. 2003. Mobility and Availability to Plants of Two Zinc Sources Applied to a Calcareous Soil. Soil Science Society of America Journal 67:564-572.
33- Pang J.Z., Qiao Y.H., Sun Z.J., Zhang S.X., Li Y.L., and Zhang R.Q. 2012. Effects of epigeic earthworms on decomposition of wheat straw and nutrient cycling in agricultural soils in a reclaimed salinity area: a microcosm study. Pedosphere, 22: 726-735.
34- 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.
35- Sodaeimashaei S., Aliasgharzadeh N., and Ostan Sh. 2007. Kinetics of mineralization of nitrogen in a soil treated with compost, vermicompost, and cow manure. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 42: 405-414.
36- Soltanpour P.N., and Schwab A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils. Communications Soil Science and Plant Analysis 8(3): 195-207.
37- 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 Science Society of America Journal 46:260-265.
38- Stanton D.A., and Burger R.T. 1967. Availability to plants of zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides. Geoderma, 1:13-17.
39- 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.
40- Tessier A., Campbell P.G.C., and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry, 51: 844- 851.
41- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
42- Torri S.I., and Lavado R. 2008. Zinc distribution in soils amended with different kinds of sewage sludge. J. Environ. Manag., 88:1571-1579.
43- Van Erp P.J., and Van Lune P. 1991. Long-term heavy metal leaching from soils-sewage sludge and soil/sewage mixtures. Environmental Science Technology, 25:706-711.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 2005-2018

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 2005-2018

The Effect of Cow Manure and Vermicompost Application on Fractionation and Availability of Zinc and Copper in Wheat Planting

A. R. Hosseinpur[1]- H. R. Motaghian[2*]

Received: 07-09-2015
Accepted: 25-04-2016

Introduction: Application of organic fertilizers in agricultural soils with low organic matter content is one of the best ways of nutrientsaddition to these soils. Different organic fertilizers have different effects on nutrient availability in soil. Moreover study of the distribution of nutrients in the soil allows investigating their mobility and bioavailability. The nutrients availability and kinetics of nutrients desorption into the soil solution is often closely related to the distribution of nutrients to different fractions in the soil. It has been assumed that the factors influencing metal fractionation and availability in soil include rate of amendment application, amount of nutrients in amendment, root-induced pH changes, metal binding by root exudates, root-induced changes of microbial activities, and metal depletion because of plant uptake.

Materials and Methods: In this study, availability and fractionation of Zinc (Zn) and Copper (Cu) were compared in one calcareous soil amended with 0, 0.5, and 1% (w/w) of cow manure and vermicompost in a completely randomized design. Also, wheat was planted in treated and untreated soils in greenhouse condition.Available Zn and Cu were determined using different methods (DTPA-TEA, AB-DTPA, and Mehlich 3). For Zn and Cu fractionation, the soil samples were sequentially extracted using an operationally defined sequential fractionation procedure, based on that employed by Tessier et al. (1979) in which increasingly strong extractants were used to release Zn and Cu associated with different soil fractions. Five Zn and Cu -fractions were extracted in the following sequence: Step 1: exchangeable fraction (a 8 ml volume of 1.0 MNaOAc (pH= 8.2) for 120 min. at room temperature)., Step 2: carbonate-associated fraction (a 8 ml volume of 1.0 MNaOAc adjusted to pH 5.0 with acetic acid for 6 h at room temperature, Step 3: iron-manganese oxides-associated fraction (20 ml of 0.04 M $NH_2OH.HCl$ in 25% (v/v) HOAc for 6 h at 96 ^{0}C)., Step 4: organic matter-associated fraction (3 ml of 0.02 N HNO_3 adjusted to pH 2 and 5 ml 30% H_2O_2 (adjusted to pH 2.0 with HNO_3) and at 85 ^{0}C for 2 h in sequence, followed by 3 ml of 30% H_2O_2 (adjusted to pH 2.0 with HNO_3) the sample was heated to 85 ^{0}C for 3 h with intermittent agitation. After cooling, 5 ml of 3.2 M NH_4OAc in 20% (v/v) HNO_3 was added and agitated continuously for 30 min. Finally step 5: residual fraction was determined using 4 M HNO_3 (a 12.5 ml volume of 4 M HNO_3, for 16 h at 80 ^{0}C). Concentrations of Zn and Cu in all extractants were determined by AAS.

Results and Discussion: The results showed that the effect of treatments on amount of extracted Zn by different methods were significant ($P<0.01$), while, the effect of treatments on amount of extracted Cu by different methods wasn't significant ($P>0.05$). The minimum and maximum of extracted Zn by DTPA-TEA were in untreated soil (0.73 mg/kg) and treated soils with 1% manure (1.30 mg/kg) and treated soils with 1% manure (1.17 mg/kg), respectively. The results showed that the effect of treatments on Zn associated with Fe-Mn oxides and Zn associated with organic matter was significant ($P<0.05$), while the effect of treatments on Cu fractions weren't significant ($P>0.05$). The correlation between extracted Zn and Cu by DTPA-TEA and AB-DTPA with Fe-Mn oxides fraction were significant ($P<0.05$).The obtained correlation coefficients showed that correlation between dry matter, concentration, and uptake of Zn with extracted Zn by DTPA-TEA, AB-DTPA, and Mehlich 3, and Zn associated with Fe-Mn oxides were significant ($P<0.05$). Moreover, correlation between extracted Zn by DTPA-TEA, AB-DTPA, and Mehlich with Zn concentration in wheat was significant ($P<0.05$), while correlation between wheat indices and Cu extracted by different methods and fractions weren't significant ($P>0.05$). Minimum and maximum dry matter was found in control soil (4.71 g/pot) and treated soil with 1% cow manure (6.15 g/pot), respectively. The treated soil with 1% vermicompost had maximum dry matter (5.82 g/pot) after soil amended with 1 % cow manure. The results showed that difference between treated soil with 0.5 % cow manure and 0.5 % vermicompost wasnot significant ($P>0.05$).

Conclusion: The results of this study revealed that difference between application of cow manure or

1 and 2- Professor and Assistant Professor of Soil Science and Engineering of Agriculture Faculty,Shahrekord University, Iran
(*- Corresponding Author Email: hrm_61@yahoo.com)

vermicompost which is produced from cow manure on Zn- and Cu-availability and their fractions weren't significant.

Keywords: Copper fractions, Organic manure, Vermicompost, Wheat, Zinc fractions