

## اثر ماده آلی و رژیم‌های رطوبتی بر شکل‌های شیمیایی مس بومی در خاک‌های آهکی

رضا قاسمی فسائی<sup>1\*</sup>، عبدالمجید رونقی و منوچهر مفتون

استادیار خاکشناسی دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب؛ ghasemif@gmail.com

دانشیار خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ mronaghi@lycos.com

استاد خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز؛ mmaftoon@hotmail.com

### چکیده

کمبود مس در برخی خاک‌های آهکی استان فارس رایج است. ماده آلی و رژیم رطوبتی از مهمترین عوامل موثر بر رفتار شیمیایی مس در خاکها می باشند. به منظور بررسی این عوامل بر شکل‌های شیمیایی مس، آزمایشی به صورت فاکتوریل  $2 \times 2 \times 2$  و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح کاه گندم (0 و 2 درصد) و دو رژیم رطوبتی (20% رطوبت وزنی و غرقاب) بر روی 20 خاک آهکی انجام شد. نمونه‌های تیمار شده به مدت 60 روز در شرایط آزمایشگاهی خوابانیده شدند و سپس شکل‌های شیمیایی مس در آنها اندازه گیری شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که به طور کلی مقدار مس محلول در آب و تبادلناپذیر و غیر قابل اندازه گیری بود. مقدار مس جذب ویژه در شرایط غرقاب کمتر از شرایط 20% رطوبت وزنی بود. کاربرد ماده آلی در شرایط غرقاب تأثیر معنی داری بر میانگین مس کربناتی، مس متصل به اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی شکل و کریستالی نداشت. تیمار غرقاب سبب افزایش مس کربناتی و متصل به اکسیدهای آهن بی شکل و کاهش مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی شد. مقدار مس آلی در تیمار غرقاب بیشتر از تیمار 20% رطوبت وزنی بود. افزودن ماده آلی سبب افزایش مس آلی و کاهش مس متمه در شرایط غرقاب گردید. ضرایب همبستگی نیز رابطه منفی بین این دو شکل مس را در شرایط غرقاب نشان دادند. با توجه به اینکه در شرایط غرقاب کاربرد ماده آلی سبب افزایش شکل قابل استفاده مس جذب ویژه و کاهش مس متمه غیر قابل استفاده گردید، به نظر می رسد کاربرد ماده آلی قبل از کاشت ممکن است به عنوان یک عملیات زراعی مناسب در خاک‌های آهکی تحت کشت برنج مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه افزودن چنین سطحی از کاه به خاک در شرایط مزرعه اقتصادی نمی باشد، بنابراین ارزیابی کاربرد سطوح کمتر ماده آلی قویاً توصیه می گردد.

واژه های کلیدی: مس، شکل‌های شیمیایی، رژیم رطوبتی و ماده آلی

### مقدمه

تبادلی، جذب ویژه، متصل به کربناتها، متصل به مواد آلی، متصل به اکسیدهای منگنز و آهن و متمه مشاهده شود (McLaren و Crawford، 1973؛ Singh و همکاران، 1988؛ Lu و همکاران، 2005؛ Sims و

مس عنصری ضروری و کم مصرف است که از دو جنبه کشاورزی و زیست محیطی مورد توجه محققان می باشد (Lehman و Harter، 1984). مس ممکن است در خاک به شکل‌های محلول در آب

1- نویسنده مسئول، آدرس: فارس، داراب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی (کیلومتر 8 جاده قدیم داراب، فسا)، صندوق پستی 335، بخش آبیاری.

\* دریافت: 84/7/9 و پذیرش: 85/6/28

عصاره گیری دنباله ای عناصر کم مصرف ارائه کردند. آنان سعی کردند که برخی از مشکلات موجود در برخی از روش‌های قبلی نظیر محلول شدن اکسیدهای منگنز و عناصر متصل به آن را با ایجاد تغییراتی اصلاح کنند. آنان بیان کردند این روش مناسب برای خاک‌های آهکی می باشد.

در بیشتر خاک‌های آهکی استان فارس مقدار ماده آلی کم است. گزارش‌های موجود نیز نشان می دهد که این خاک‌ها توانایی زیادی در جذب و نگهداری مس دارند (Maftoun و همکاران، 2002) و در بیشتر این خاک‌ها مس قابل استفاده ناچیز می باشد (Maftoun و همکاران، 2003). از طرفی کشت برنج و محصولات غیر غرقاب در این خاک‌ها رایج است. نظر به اینکه ماده آلی و رژیم رطوبتی نقش قابل توجهی در تغییر شکل‌های شیمیایی مس دارا می باشد و تحقیقی در خصوص تأثیر این عوامل بر شکل‌های شیمیایی این عنصر در خاک‌های آهکی استان فارس انجام نشده است، لذا آزمایش حاضر به منظور بررسی تأثیر ماده آلی بر شکل‌های شیمیایی مس در دو رژیم رطوبتی غرقاب و 20% رطوبت وزنی در 20 خاک آهکی استان فارس انجام گرفت.

#### مواد و روشها

چهل نمونه خاک از عمق صفر تا 30 سانتی متری از مزارع استان فارس جمع آوری گردید. این خاک‌ها هوا خشک شده و پس از عبور از الک 2 میلی متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی آنها نظیر پ هاش، قابلیت هدایت الکتریکی، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و بافت توسط روش‌های استاندارد تعیین گردید (Bouyoucos, 1962؛ Page و همکاران، 1982) سپس 20 خاک که دارای دامنه وسیعی از نظر ویژگی‌های مورد نظر بودند انتخاب گردید. نام علمی و برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی این خاک‌ها در جدول 1 ارائه شده است. آزمایش حاضر بر روی این 20 خاک آهکی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح کاه گندم (0 و 2 درصد) و تحت دو رژیم رطوبتی (20 درصد رطوبت وزنی و غرقاب) و با دو تکرار انجام شد. کاه گندم قبل از افزودن به خاک‌ها توسط آسیاب برقی کاملاً پودر گردید. مقدار نیتروژن کل و کربن آلی در کاه گندم به ترتیب 0/55 و 50/8 درصد (دارای نسبت کربن به ازت 1:90) می باشد. مقادیر مس، آهن، منگنز و روی کل در کاه اندازه گیری شد که به ترتیب برابر 5، 65، 36 و 15 میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک می باشد. مقدار 50 گرم از هر خاک به ظروف پلاستیکی 200 گرمی افزوده شد و سپس از اعمال تیمارهای

Patrick (1978) معتقدند که اطلاع از شکل‌های شیمیایی، مقادیر و واکنش‌های عناصر کم مصرف در خاک‌ها، مواد رسوبی و آب‌ها در جهت کمک به افزایش عملکرد محصولات و حفظ محیط زیست از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. مواد آلی و رژیم رطوبتی از مهمترین فاکتورهای موثر بر رفتار شیمیایی مس در خاک‌ها می باشند. Poonia و Deka (1998) گزارش کردند که ماده آلی اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر شکل‌های شیمیایی مس دارد. اثر مستقیم ماده آلی شامل جذب سطحی مس بر روی سطوح این مواد و تشکیل کمپلکس‌های مس-ماده آلی محلول در آب می باشد. اثر غیر مستقیم ماده آلی بر مس از طریق تأثیر تجزیه این مواد بر پ هاش می باشد. آنان معتقدند که در خاک‌های قلیایی، تأثیر ماده آلی عمدتاً از طریق کاهش پ هاش خاک و افزایش تشکیل کمپلکس‌های مس-ماده آلی محلول در آب می باشد. Mandal و Saha (2000a) گزارش کردند که افزودن مواد آلی سبب تغییر در توزیع شکل‌های شیمیایی مس شده و در نتیجه قابلیت استفاده این عنصر را تحت تأثیر قرار می دهد. Singh و همکاران (1992) مشاهده کردند که افزودن مواد آلی در شرایط غرقاب سبب افزایش مس قابل عصاره گیری با دی تی پی شده است. اما افزودن این مواد در شرایط ظرفیت مزرعه تأثیری بر مس قابل عصاره گیری با این عصاره گیر نداشته است. Saha و همکاران (1992) نشان دادند که ایجاد شرایط غرقاب سبب کاهش در مقدار مس قابل عصاره گیری با دی تی پی ا در سه خاک الفی سول شده است. Bjerre و Schierup (1985) بیان کردند که جذب مس توسط جو دو سر در خاک اشباع کاهش می یابد. Halder و Mandal (1979) غیر متحرک شدن زیستی مس و همچنین تضاد عناصری نظیر آهن، منگنز و فسفر که غلظت آنها در شرایط غرقاب افزایش می یابد را از دلایل کاهش قابلیت استفاده مس در این شرایط می دانند. Singh و Kashem (2004) بیان کردند که در شرایط غرقاب، تنفس زیستی سبب ایجاد شرایط احیاء می شود که منجر به شکسته شدن اکسیدهای آهن و منگنز می شود. این فرایند سبب به وجود آمدن سطوح با ظرفیت جذب بالا برای مس و کاهش قابلیت استفاده این عنصر می شود. جذب سطحی شدید مس در شرایط غرقاب توسط Iu و همکاران (1981) نیز گزارش شده است. Singh و Kashem (2004) گزارش کردند که در شرایط غرقاب مس از شکل‌های شیمیایی قابل استفاده به شکل‌های با قابلیت استفاده کمتر تبدیل می شود. Ma و Uren (1995؛ 1997؛ 1998) روشی مناسب برای

با افزودن ماده آلی 10 درصد افزایش یافت (جدول 3). Singh و همکاران (1992) مشاهده کردند که افزایش مواد آلی در شرایط غرقاب سبب افزایش مس قابل استفاده شد. اما افزودن مواد آلی در شرایط ظرفیت مزرعه تأثیری بر آن نداشته است. با توجه به اینکه Ma و Uren (1995؛ 1998) دو جزء تبادلی و جذب ویژه را به عنوان شکل‌های فعال و به اصطلاح قابل استفاده معرفی کردند، نتایج Singh و همکاران (1992) در تایید با نتایج آزمایش حاضر می باشد.

#### مس متصل به اکسیدهای منگنز

نتایج جدول 4 نشان می دهد مقدار مس متصل به اکسیدهای منگنز برای بعضی از خاکها کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی می باشد. و همکاران (1988) نیز مقدار مس بومی متصل به این شکل را در تعدادی از خاکهای هندوستان ناچیز گزارش کردند. نتایج جدول 4 نشان می دهد که ماده آلی تأثیر ناچیزی بر این شکل مس در هر دو رژیم رطوبتی داشته است و رژیم رطوبتی نیز تأثیر معنی داری بر مس متصل به اکسیدهای منگنز نداشته است. Shuman (1988) نیز گزارش کرد که افزودن کاه گندم تأثیری بر مس متصل به اکسیدهای منگنز نداشته است. Saha و Mandal (1996) ملاحظه کردند که افزودن یک درصد ماده آلی تأثیر ناچیزی بر تغییر شکل‌های شیمیایی مس بومی خاک داشته است.

#### مس کربناتی

بررسی جدول 5 نشان می دهد که در هیچ یک از دو رژیم رطوبتی، افزودن ماده آلی تأثیر معنی داری بر میانگین مس کربناتی نداشته است اما میانگین این شکل مس در شرایط غرقاب به طور معنی داری بیش از رژیم 20% رطوبت وزنی می باشد (جدول 5). میانگین این شکل مس در تیمار بدون ماده آلی و با ماده آلی در شرایط غرقاب به ترتیب 10 و 7 درصد بیشتر از تیمارهای مشابه در رژیم 20% رطوبت وزنی است (جدول 5). Han و Banin (2000) افزایش در مس کربناتی با افزایش زمان غرقاب کردن نمونه‌ها را گزارش کردند. آنان دلیل این افزایش را تبدیل سایر شکل‌های مس به شکل کربناتی می دانند.

#### مس آلی

تقریباً در تمامی خاکها مس موجود در شکل آلی، در اثر افزودن ماده آلی بر هر دو رژیم رطوبتی افزایش یافت (جدول 6). میانگین مس متصل به شکل آلی بر اثر افزودن ماده آلی در تیمار 20% رطوبت وزنی و غرقاب به ترتیب 14 و 13 درصد افزایش یافت. هم در حضور ماده آلی و هم در

مورد نظر به خوبی مخلوط گردید و برای مدت 2 ماه در شرایط آزمایشگاه در دمای  $25 \pm 2$  درجه سانتیگراد خوابانیده شد. در طول مدت خوابانیدن، رطوبت به روش توزین به دقت کنترل گردید. پس از پایان دوره، 2 گرم از هر نمونه در لوله های سانتریفیوژ ریخته شد و با استفاده از روش عصاره گیری دنباله ای Ma و Uren (1995؛ 1997؛ 1998) عصاره گیری شد. خلاصه ای از مراحل مختلف این روش در جدول 2 آورده شده است. پس از هر مرحله عصاره گیری نمونه ها به مدت 15 دقیقه سانتریفیوژ شدند (2000 دور در دقیقه) و محلول زلال رویی از کاغذ صافی عبور داده شده و غلظت مس توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. محاسبات به روش شرح داده شده توسط Ma و Uren (1995) انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزارهای کامپیوتری MSTATC و Excel استفاده گردید.

#### نتایج و بحث

با توجه به سه فاکتوری بودن طرح آزمایش حاضر و با توجه به اینکه توضیح مقایسه اثرات مستقیم و متقابل بین تیمارها برای 20 خاک نیاز به شرح بسیاری دارد، مقایسه میانگین فقط برای اثرات اصلی آورده شده است. البته مقادیر  $S_x$  اعداد متن جدول در زیر هر جدول جهت مقایسه های مورد نظر احتمالی ذکر شده است.

#### مس محلول در آب و تبادلی

مقدار مس محلول در آب و تبادلی در همه خاکها و تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی مورد استفاده در این آزمایش بود (کمتر از 0/1 میلی گرم در لیتر). Ma و Uren (1998) نیز مشاهده کردند که 60 روز پس از افزودن 50 میلی گرم مس در کیلوگرم خاک، مقدار مس وارد شده به شکل‌های محلول و تبادلی غیر قابل اندازه گیری بوده است.

#### مس جذب ویژه

نتایج جدول 3 حاکی از آن است که مقدار مس جذب ویژه در اکثر خاکهای تیمار 20% رطوبت وزنی بیش از خاکهای تیمار غرقاب است. به طور کلی، میانگین مس موجود در این شکل در تیمار بدون ماده آلی و با ماده آلی در شرایط غرقاب به ترتیب 14 و 7 درصد کمتر از تیمارهای مشابه در رژیم 20% رطوبت وزنی است (جدول 3). در شرایط هوای افزودن ماده آلی تأثیر معنی داری بر مس موجود در این شکل نداشت اما در شرایط غرقاب سبب افزایش آن شد. در شرایط غرقاب میانگین مس در این شکل

ضرایب همبستگی بین شکل‌های مس در تیمارهای مختلف در جدول 10 ارائه شده است. از موارد قابل توجه در این جدول همبستگی منفی و معنی دار بین مس کربناتی با شکل‌های مس جذب ویژه و متصل به اکسیدهای آهن بی شکل در تمامی تیمارها می باشد. به نظر می رسد با افزایش مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل و افزایش توان و ظرفیت خاکها در جذب ویژه مس، مقدار مس بومی کمتری در شکل کربناتی قرار می گیرد. همبستگی منفی و معنی داری نیز بین مس آلی و تنمه در دو تیمار اشباع مشاهده می شود که نشان دهنده حدود 8 درصد بیشتر از شرایط غرقاب بود (جدول 8). Saha و همکاران (2000a؛ 2000b) مشاهده کردند که 75 روز غرقاب کردن، مقادیر مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی را به شدت کاهش داده است. آنان گزارش کردند که در شرایط غرقاب، میزان حلالیت اکسیدهای آهن کریستالی افزایش می یابد که پیامد آن آزاد شدن مس محبوس در این اکسیدها و در نتیجه کاهش مس موجود در این شکل می باشد.

#### مس تنمه

مقدار مس تنمه در هیچ یک از تیمارهای ماده آلی، تحت تأثیر رژیم رطوبتی قرار نگرفت (جدول 9). افزودن ماده آلی سبب کاهش معنی دار میانگین مس تنمه به میزان حدود 4 درصد نسبت به تیمار بدون ماده آلی گردید (جدول 9). Taylor و همکاران (1995) گزارش کردند که کاربرد لجن سبب کاهش شکل تنمه مس گردید. Saha و Mandal (2000a) نیز کاهش در مس بومی تنمه را کاهش در میزان مس تنمه با افزایش در مس آلی است. این نتایج تایید کننده جداول 6 و 9 می باشد. نتایج این دو جدول نشان می دهد که با کاربرد ماده آلی در شرایط غرقاب، میزان مس آلی افزایش (جدول 6) و مس تنمه، کاهش (جدول 9) یافته است. Taylor و همکاران (1995) گزارش کردند که کاربرد لجن سبب کاهش شکل تنمه و افزایش شکل آلی عناصری نظیر مس گردید. Saha و Mandal (2000a) نیز افزایش در مس آلی و کاهش در مس تنمه را به واسطه کاربرد مواد آلی در شرایط غرقاب گزارش نمودند.

در بین شکل‌های شیمیایی مس، شکل‌های محلول در آب، تبادل و جذب ویژه جزء شکل‌های قابل استفاده مس هستند (Ma و Uren، 1995؛ 1998). حال آنکه مس متصل به اکسیدهای آهن و منگنز و شکل‌های کربناتی و آلی این عنصر به سهولت قابل استفاده گیاه نمی باشند (Yu و همکاران، 2004؛ Han و Banin، 2000). مس تنمه نیز اگر چه بیشترین

تیمار بدون ماده آلی مقدار مس آلی در شرایط رژیم رطوبتی غرقاب به طور معنی داری بیش از شرایط غیر غرقاب بود. میانگین مس آلی در تیمار بدون ماده آلی و با ماده آلی در شرایط غرقاب به ترتیب 20 و 19 درصد بیشتر از تیمارهای مشابه رژیم 20% رطوبت وزنی بود (جدول 6). Taylor و همکاران (1995) گزارش کردند که کاربرد ماده آلی سبب افزایش شکل آلی مس شده است. Sims و Patrick (1978) مشاهده کردند که مقادیر مس موجود در جزء آلی در مقادیر پتانسیل اکسایش-کاهش کم به مراتب بیشتر از مقادیر بالای پتانسیل اکسایش-کاهش بالا می باشد.

#### مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل

در بیشتر خاکها، افزودن ماده آلی مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل را تحت تأثیر قرار نداد اما مقادیر مس در این شکل هم در حضور ماده آلی و هم بدون کاربرد آن در تیمار غرقاب بیشتر از رژیم 20% رطوبت وزنی بود (جدول 7). به طوری که میانگین این شکل مس در تیمار بدون ماده آلی و با ماده آلی در شرایط غرقاب به ترتیب 20 و 24 درصد بیشتر از تیمارهای مشابه رژیم 20% رطوبت وزنی بود (جدول 7). Shuman (1988) گزارش کرد که افزودن کاه گندم تأثیری بر مس متصل به این شکل نداشته است. Saha و Mandal (2000b؛ 2000a) افزایش تدریجی در مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل با افزایش زمان غرقاب را گزارش کردند. Iu و همکاران (1981) نیز مشاهده کردند که با افزایش دوره های غرقاب مقدار مس قابل عصاره گیری با اگزالات (مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل) افزایش یافته است.

#### مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی

در بیشتر خاکها، کاربرد ماده آلی تأثیر قابل توجهی بر مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی در هیچ یک از رژیم های رطوبتی نداشت اما در حضور یا عدم حضور ماده آلی مقدار مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی در شرایط رژیم رطوبتی غرقاب کاهش معنی داری را نسبت به رژیم 20% رطوبت وزنی نشان داد (جدول 8). میانگین مس متصل به این شکل هم در تیمار بدون ماده آلی و هم در حضور ماده آلی در شرایط رطوبتی 20% رطوبت وزنی به واسطه کاربرد مواد آلی در شرایط غرقاب گزارش نمودند. به عقیده آنان در این شرایط مس از طریق تشکیل کمپلکس هایی که از تبدیل آن به شکل تنمه جلوگیری می کند، به شکل‌های آلی و متصل به اکسیدهای آهن بی شکل تبدیل می شود.

قابل استفاده مس جذب ویژه و کاهش شکل تئمه این عنصر همراه بوده است، می توان نتیجه گرفت که مصرف ماده آلی قبل از کاشت می تواند به عنوان یک عملیات زراعی مناسب در خاکهای آهکی تحت کشت برنج توصیه شود. بدیهی است که شایسته است همبستگی میان شکل‌های شیمیایی مس با پاسخهای برنج تحت شرایط مزرعه مورد ارزیابی قرار گیرد.

مقدار را در بین شکل‌های مس در خاکهای غیر آلوده به خود اختصاص می دهد، اما کاملاً پایدار و غیر قابل استفاده است (Ma و Uren، 1995؛ 1998؛ Yu و همکاران، 2004). Saha و Mandal (2000b) نتیجه گرفتند که تیماری که سبب تغییر شکل‌های شیمیایی مس در جهت افزایش راندمان مصرف و قابلیت استفاده این عنصر می شود را بایستی به عنوان عملیات مناسب معرفی نمود. با توجه به اینکه در آزمایش حاضر در شرایط غرقاب، کاربرد ماده آلی با افزایش شکل

جدول 1- نام علمی و برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاکهای مورد مطالعه

شماره خاک	نام علمی	پ هاش (خمیر اشباع)	قابلیت هدایت الکتریکی (dSm <sup>-1</sup> )	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol. kg <sup>-1</sup> )	ماده آلی (g kg <sup>-1</sup> )	مس محلول در دی تی پی (mgkg <sup>-1</sup> )	رس (g kg <sup>-1</sup> )	کربنات کلسیم معادل (g kg <sup>-1</sup> )
1	Typic Calcixerepts	7/90	0/52	14/44	17/0	1/49	424	446
2	Calcic Haploxeralfs	7/82	0/73	8/23	3/60	1/58	224	518
3	Typic Haplustepts	7/62	1/10	7/84	16/3	0/92	224	708
4	Aquic Calcixerepts	8/25	0/93	15/96	47/6	1/74	524	387
5	Typic Haploxerepts	7/52	1/39	18/66	21/8	2/09	464	415
6	Typic Haplustepts	7/61	2/92	9/80	15/0	1/39	244	501
7	Typic Haplustepts	7/88	0/92	9/85	10/9	1/33	284	525
8	Typic Calcixerepts	7/78	1/43	10/71	15/0	1/22	304	513
9	Aquic Calcixerepts	8/11	0/53	12/51	3/70	1/31	384	469
10	Typic Calcixerepts	7/82	2/01	17/02	18/7	2/89	644	417
11	Typic Calcixerepts	8/07	1/14	14/44	18/7	1/84	504	408
12	Aquic Calcixerepts	7/84	0/60	15/45	19/7	2/47	426	570
13	Typic Haplustepts	7/61	1/89	9/03	3/40	1/30	284	541
14	Calcic Haploxeralfs	7/58	0/75	30/62	27/9	2/96	544	372
15	Typic Haploxerepts	7/77	0/61	17/02	20/4	2/34	474	453
16	Typic Calcixerepts	7/73	1/33	17/56	26/5	2/00	584	411
17	Typic Haploxerepts	7/63	0/56	13/95	15/7	1/95	404	554
18	Typic Haplustepts	7/57	1/86	11/60	30/0	2/10	300	517
19	Typic Haploxerepts	8/08	0/59	16/49	12/2	1/66	614	454
20	Typic Calcixerepts	8/03	0/56	25/25	31/0	2/33	500	257

جدول 2- مراحل مختلف روش عصاره گیری دنباله ای، شکل‌های شیمیایی قابل جداسازی و عصاره گیرهای مورد استفاده در آزمایش

مرحله	شکل شیمیایی	عصاره گیر	روش عصاره گیری
1	محلول در آب و تبادل	کلرید منیزیم (1 مولار)، پ هاش 7، نسبت 1:10 خاک به عصاره گیر	1 ساعت تکان دادن
2	جذب ویژه	NaCaHEDTA (1درصد) در استات آمونیوم (1 مولار)، پ هاش 8/3، نسبت 1:10 خاک به عصاره گیر	2 ساعت تکان دادن
3	متصل به اکسیدهای منگنز	کوئینول دو دهم درصد در یک مولار NH <sub>4</sub> OAc، پ هاش 7، نسبت 1:10 خاک به عصاره گیر	2 ساعت تکان دادن
4	کربناتی	استات سدیم (0/5 مولار) در اسید استیک (0/5 مولار)، پ هاش 4/74، نسبت 1:10 خاک به عصاره گیر	15 ساعت خیساندن توسط عصاره گیر و سپس 3 ساعت تکان دادن
5	متصل به مواد آلی (آلی)	آب اکسیژنه (30%) - استات سدیم (0/5 مولار) در اسید استیک (0/5 مولار)، پ هاش 4/74، نسبت 1:10 خاک به عصاره گیر	هضم با آب اکسیژنه و سپس 1 ساعت تکان دادن با عصاره گیر
6	متصل به اکسیدهای آهن بی شکل	مخلوط اگزالات آمونیوم (0/175 مولار) - اسید اگزالیک (0/1 مولار)، پ هاش 3/25، نسبت 1:10 خاک به عصاره گیر	4 ساعت تکان دادن در تاریکی
7	متصل به اکسیدهای آهن کریستالی	مخلوط اگزالات آمونیوم (0/175 مولار) - اسید اگزالیک (0/1 مولار) - اسید آسکوربیک (0/1 مولار)، نسبت 1:10 خاک به عصاره گیر	نیم ساعت قرار دادن روی حمام بخار - تکان دادن گاه گاهی
8	تئمه	مخلوط اسید کلریدریک - اسید پرکلریک - اسید نیتریک - اسید فلوریدریک	تعیین مقدار کل (هضم نمونه های اصلی با اسیدهای غلیظ در حمام بخار) و سپس کم کردن مجموع شکل ها از مقدار کل

جدول 3- تأثیر ماده آلی و رژیم رطوبتی بر مس بومی جذب ویژه (میلی گرم در کیلوگرم)

رژیم رطوبتی				شماره خاک
غرقاب		20% رطوبت وزنی		
2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	
2/53	2/26	2/36	2/19*	1
1/60	1/37	2/25	2/03	2
1/66	1/33	1/50	1/31	3
2/10	1/67	2/03	2/27	4
2/86	2/66	3/09	3/01	5
1/93	1/49	2/26	2/02	6
2/02	1/75	2/09	2/15	7
2/05	1/85	2/06	2/17	8
2/07	1/80	2/30	2/21	9
3/34	3/33	3/93	3/93	10
3/20	2/81	3/50	3/38	11
3/42	3/17	4/25	4/03	12
2/23	1/84	2/14	2/21	13
3/58	3/44	4/19	4/00	14
3/35	3/49	3/86	4/07	15
3/34	3/17	3/33	3/78	16
2/73	2/55	2/53	2/62	17
2/52	2/52	2/80	2/95	18
2/88	2/31	3/20	2/89	19
3/65	3/16	3/11	2/88	20
<b>2/65B</b>	<b>2/40C</b>	<b>2/84A</b>	<b>2/80A**</b>	<b>میانگین</b>

\*: مقدار  $S_x$  برای اعداد متن جدول برابر 0/2225 می باشد

\*\*: میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح 5 درصد

می باشند.

جدول 4- تأثیر ماده آلی و رژیم رطوبتی بر مس بومی متصل به اکسیدهای منگنز (میلی گرم در کیلوگرم)

رژیم رطوبتی				شماره خاک
غرقاب		20% رطوبت وزنی		
2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ*	1
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ	2
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ	3
0/609	0/613	0/578	0/587	4
0/752	0/762	0/749	0/756	5
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ	6
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ	7
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ	8
0/518	0/530	0/519	0/531	9
0/759	0/761	0/587	0/588	10
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ	11

0/713	0/727	0/778	0/793	12
ن چ	ن چ	ن چ	ن چ	13
0/817	0/826	0/682	0/662	14
0/722	0/778	0/718	0/708	15
0/676	0/630	0/507	0/513	16
0/570	0/580	0/471	0/459	17
0/600	0/583	0/476	0/478	18
0/468	0/473	0/485	0/477	19
0/590	0/579	0/554	0/532	20
<b>0/390A</b>	<b>0/392A</b>	<b>0/355A</b>	<b>0/354A**</b>	<b>میانگین</b>

ن چ: نا چیز

\*: مقدار  $S_x$  برای اعداد متن جدول برابر 0/0707 می باشد

\*\* : میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح 5 درصد

می باشند.

Singh

جدول 5- تأثیر ماده آلی و رژیم رطوبتی بر مس بومی کربناتی (میلی گرم در کیلوگرم)

رژیم رطوبتی				
غرقاب		20% رطوبت وزنی		شماره خاک
بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	
1/45	1/52	1/39	1/40*	1
2/36	2/40	2/01.	1/79	2
1/47	1/45	1/14	1/09.	3
1/45	1/47	1/49	1/45	4
1/16	1/09	1/11	1/06.	5
1/01	1/01	1/03.	1/03.	6
1/12	1/12	0/970	0/874	7
1/24	1/28	1/31	1/28	8
1/21	1/27	1/39	1/27	9
1/28	1/38	1/10	1/20	10
1/36	1/34	1/34	1/35	11
0/912	0/873	0/833	0/791	12
1/19	1/26	1/10	1/04	13
0/876	0/892	0/810	0/800	14
1/19	1/13	0/923	0/885	15
1/15	1/12	1/00	0/974	16
1/36	1/33	1/25	1/19	17
0/945	1/01	0/949	0/968	18
0/915	0/877	0/860	0/819	19
0/990	1/03	0/918	0/900	20
<b>1/23A</b>	<b>1/23A</b>	<b>1/15B</b>	<b>1/11B**</b>	<b>میانگین</b>

\*: مقدار  $S_x$  برای اعداد متن جدول برابر 0/1095 می باشد

\*\* : میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح 5 درصد

می باشند.

جدول 6- تاثیر ماده آلی و رژیم رطوبتی بر مس بومی آلی (میلی گرم در کیلوگرم)

رژیم رطوبتی				
غرقاب		20% رطوبت وزنی		شماره خاک
بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	
2/09	1/78	1/35	1/23*	1
2/01	1/96	2/05	1/62	2
2/75	2/31	1/84	1/63	3
2/61	2/37	1/90	1/78	4
2/40	2/07	2/08	1/73	5
2/61	2/18	2/21	1/95	6
2/51	2/16	1/83	1/57	7
1/67	1/61	1/21	1/07	8
1/66	1/46	1/69	1/20	9
1/85	1/69	1/98	1/69	10
1/68	1/53	1/86	1/76	11
2/69	2/29	1/80	1/41	12
2/34	2/12	1/99	1/61	13
1/73	1/71	1/22	1/17	14
1/69	1/49	1/49	1/30	15
1/46	1/33	1/26	1/29	16
1/89	1/67	1/89	1/61	17
1/90	1/82	1/67	1/83	18
1/47	1/11	1/31	1/26	19
2/01	1/80	1/72	1/57	20
<b>2/05A</b>	<b>1/82B</b>	<b>1/72C</b>	<b>1/51D**</b>	<b>میانگین</b>

\*: مقدار  $S_x$  برای اعداد متن جدول برابر 0/1643 می باشد

\*\*: میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح 5 درصد می باشند.

جدول 7- تأثیر ماده آلی و رژیم رطوبتی بر مس بومی متصل به اکسیدهای آهن بی شکل (میلی گرم در کیلوگرم)

رژیم رطوبتی				
غرقاب		20% رطوبت وزنی		شماره خاک
بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	
2/91	2/79	1/83	1/82*	1
1/60	1/52	1/40	1/31	2
1/78	1/45	1/44	1/45	3
3/21	3/20	2/72	2/74	4
3/10	3/13	2/50	2/51	5
2/42	2/21	2/09	2/15	6
3/41	3/28	2/27	2/36	7
2/67	2/59	2/11	2/12	8
2/65	2/37	2/03	2/18	9



3/21	3/09	2/83	2/92	10
3/24	3/14	2/75	2/73	11
2/68	2/69	2/17	2/14	12
2/48	2/45	2/04	2/08	13
3/53	3/46	2/94	2/74	14
3/97	4/00	3/57	3/63	15
3/85	3/67	3/09	3/06	16
3/15	2/67	2/15	2/02	17
2/64	2/70	2/18	2/21	18
2/96	3/07	2/58	2/63	19
3/55	3/60	2/77	2/83	20
<b>2/95A</b>	<b>2/85A</b>	<b>2/37B</b>	<b>2/38B**</b>	<b>میانگین</b>

\*: مقدار  $S_x$  برای اعداد متن جدول برابر 0/2280 می باشد

\*\* : میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح 5 درصد می باشند.

جدول 8- تأثیر ماده آلی و رژیم رطوبتی بر مس بومی متصل به اکسیدهای آهن کریستالی (میلی گرم در کیلوگرم)

رژیم رطوبتی				
غرقاب		20% رطوبت وزنی		شماره خاک
2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	2 % ماده آلی	بدون ماده آلی	
5/53	5/63	6/26	6/33*	1
4/14	4/39	5/08	5/04	2
2/78	2/82	3/08	2/99	3
5/70	5/60	5/78	5/88	4
4/50	4/32	4/78	4/77	5
2/67	2/75	3/63	3/64	6
3/38	3/50	3/71	3/69	7
2/23	3/38	3/91	3/78	8
5/18	5/23	5/53	5/57	9
3/25	3/02	3/22	3/46	10
5/80	5/86	6/25	6/33	11
2/08	2/08	2/25	2/15	12
2/77	2/96	3/09	3/12	13
2/56	2/65	2/96	2/94	14
4/28	4/21	4/39	4/35	15
4/89	4/92	5/04	5/07	16
3/91	3/90	4/38	4/35	17
1/88	1/92	2/43	2/48	18
4/65	4/63	4/85	4/85	19
7/65	7/55	7/65	7/78	20
<b>4/04B</b>	<b>4/07B</b>	<b>4/41A</b>	<b>4/43A**</b>	<b>میانگین</b>

\*: مقدار  $S_x$  برای اعداد متن جدول برابر 0/4231 می باشد

\*\* : میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح 5 درصد می باشند.

جدول 9- تأثیر ماده آلی و رژیم رطوبتی بر مس بومی تتمه (میلی گرم در کیلوگرم)

رژیم رطوبتی				
شماره خاک	20% رطوبت وزنی		غرقاب	
	بدون ماده آلی	2% ماده آلی	بدون ماده آلی	2% ماده آلی
1	15/3*	15/0	14/3	13/7
2	14/8	13/8	15/0	14/9
3	9/98	9/47	9/09	8/04
4	15/3	15/5	15/2	14/4
5	13/0	12/5	12/8	12/0
6	7/78	7/44	9/05	8/04
7	7/68	9/45	8/54	7/89
8	8/36	8/17	8/09	7/92
9	12/4	11/8	12/7	12/0
10	21/4	21/5	21/9	21/5
11	20/7	20/6	21/6	21/1
12	9/71	8/92	9/20	8/51
13	10/9	10/6	10/4	9/95
14	22/4	21/9	21/8	21/6
15	17/7	17/7	17/6	17/5
16	18/6	19/0	18/4	17/9
17	14/4	13/9	14/0	13/0
18	11/1	11/7	11/5	11/8
19	15/6	15/2	16/1	15/2
20	17/4	17/1	16/2	15/5
<b>میانگین</b>	<b>14/3A**</b>	<b>14/1AB</b>	<b>14/2A</b>	<b>13/6B</b>

\* مقدار  $S_x$  برای اعداد متن جدول برابر 0/7991 می باشد

\*\* میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی دار در سطح 5 درصد می باشند.

جدول 10- ضرایب همبستگی بین شکل‌های شیمیایی مس در تیمارهای مختلف

شکل‌های شیمیایی	مس جذب ویژه	مس متصل به اکسیدهای منگنز	مس کربناتی	مس آلی	مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل	مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی
مس تتمه	0/532**	0/484*	0/052 <sup>NS</sup>	-0/032 <sup>NS</sup>	0/717**	0/747**
مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی	-0/117 <sup>NS</sup>	-0/042 <sup>NS</sup>	0/388 <sup>NS</sup>	-0/052 <sup>NS</sup>	0/208 <sup>NS</sup>	
مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل	0/735**	0/588**	-0/458*	-0/130 <sup>NS</sup>		
مس آلی	-0/206 <sup>NS</sup>	-0/145 <sup>NS</sup>	0/168 <sup>NS</sup>			
مس کربناتی	-0/454*	-0/434 <sup>NS</sup>				
مس متصل به اکسیدهای منگنز	0/706**					

20% رطوبت وزنی - 2% ماده آلی

0/359 <sup>NS</sup>	0/676**	-0/302 <sup>NS</sup>	-0/054 <sup>NS</sup>	0/392 <sup>NS</sup>	0/624**	مس تتمه
	0/173 <sup>NS</sup>	-0/084 <sup>NS</sup>	0/382 <sup>NS</sup>	-0/046 <sup>NS</sup>	-0/116 <sup>NS</sup>	مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی
		-0/341 <sup>NS</sup>	-0/506*	0/614**	0/692**	مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل
			0/289 <sup>NS</sup>	-0/165 <sup>NS</sup>	-0/262 <sup>NS</sup>	مس آلی
				-0/445*	-0/508*	مس کربناتی
					0/684**	مس متصل به اکسیدهای منگنز

غرقاب - بدون ماده آلی

0/798**	0/749**	-0/337 <sup>NS</sup>	-0/079 <sup>NS</sup>	0/483*	0/603**	مس تتمه
	0/343 <sup>NS</sup>	-0/317 <sup>NS</sup>	0/205 <sup>NS</sup>	-0/007 <sup>NS</sup>	0/073 <sup>NS</sup>	مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی
		-0/405 <sup>NS</sup>	-0/544*	0/583**	0/755**	مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل
			0/168 <sup>NS</sup>	-0/238 <sup>NS</sup>	-0/428 <sup>NS</sup>	مس آلی
				-0/443 <sup>NS</sup>	-0/482*	مس کربناتی
					0/733**	مس متصل به اکسیدهای منگنز

غرقاب - 2% ماده آلی

0/374 <sup>NS</sup>	0/534*	-0/621**	0/054 <sup>NS</sup>	0/455*	0/653**	مس تتمه
	0/379 <sup>NS</sup>	-0/282 <sup>NS</sup>	0/180 <sup>NS</sup>	0/057 <sup>NS</sup>	0/226 <sup>NS</sup>	مس متصل به اکسیدهای آهن کریستالی
		-0/406 <sup>NS</sup>	-0/505*	0/571**	0/742**	مس متصل به اکسیدهای آهن بی شکل
			0/070 <sup>NS</sup>	-0/260 <sup>NS</sup>	-0/416 <sup>NS</sup>	مس آلی
				-0/429 <sup>NS</sup>	-0/520*	مس کربناتی
					0/694**	مس متصل به اکسیدهای منگنز

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح 5 و 1 درصد.  
NS: معنی دار نیست.

**فهرست منابع:**

1. Bjerre, G. K., and H. H. Schierup. 1985. Influence of waterlogging on availability and uptake of heavy metals by oat grown in different soils. *Plant Soil* 88: 45-56.
2. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
3. Deka, A. K., and S. R. Poonia. 1998. Effect of pH on Cu sorption in untreated and farmyard manure treated soil from semi-arid region. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 46: 484-488.
4. Halder, A., and L. N. Mandal. 1979. Influence of soil moisture regimes and organic matter application on the extractable Zn and Cu content in rice soils. *Plant Soil* 53: 203-213.
5. Han, F. X., and A. Banin. 2000. Long-term transformations of cadmium, cobalt, copper, nickel, zinc, vanadium, manganese, and iron in arid-zone soils under saturated conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 943-957.
6. Iu, K. L., I. D. Pulford, and H. J. Duncan. 1981. Influence of waterlogging and lime or organic matter additions on the distribution of trace metals in acid soil II. Zinc and copper. *Plant Soil* 59: 327-333.
7. Kashem, M. A., and B. R. Singh. 2004. Transformation in solid phase species of metals as affected by flooding and organic matter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35: 1435-1456.
8. Lehman, R. G., and R. D. Harter. 1984. Assessment of copper-soil bond strength by desorption kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 769-772.

9. Lu, A., S. Zhang, and X. Shan. 2005. Time effect on the fractionation of heavy metals in soils. *Geoderma* 125: 225-234.
10. Ma, Y. B., and N. C. Uren. 1995. Application of a new fractionation scheme for heavy metals in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 3291-3305.
11. Ma, Y. B., and N. C. Uren. 1997. The fate and transformation of zinc added to soils. *Aust. J. Soil Res.* 35: 727-738.
12. Ma, Y. B., and N. C. Uren. 1998. Transformation of heavy metals added to soil – Application of a new sequential extraction procedure. *Geoderma* 84: 157-168.
13. Maftoun, M., N. Karimian, and F. Moshiri. 2002. Sorption characteristics of copper (II) in selected calcareous soils of Iran in relation to soil properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 2279-2289.
14. Maftoun, M., V. Mohasseli, N. Karimian, and A. Ronaghi. 2003. Laboratory and greenhouse evaluation of five chemical extractants for estimating available copper in selected calcareous soils of Iran. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34: 1451-1463.
15. McLaren, R. G., and D. V. Crawford, Jr. 1973. Studies on soil copper. I. The fractionation of copper in soils. *J. Soil Sci.* 24: 172-181.
16. Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2nd ed., Am. Soc. Agron. Madison, WI.
17. Saha, J. K., and B. Mandal. 2000a. Redistribution of copper in Alfisols under submergence. I. Native copper. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 1111-1119.
18. Saha, J. K., and B. Mandal. 2000b. Redistribution of copper in Alfisols under submergence. II. Applied copper. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 1121-1127.
19. Saha, J. K., G. C. Hazra, and B. Mandal. 1992. Changes in DTPA extractable Fe, Mn, Zn, and Cu in Alfisols on submergence. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 40: 187-189.
20. Saha, P. K., and L. N. Mandal. 1996. Effect of sludge, zinc and copper on the transformation of zinc and copper in sewage-fed fish pond soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 44: 673-677.
21. Shuman, L. M. 1988. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. *Soil Sci.* 146: 192-198.
22. Sims, J. L., and W. H. Patrick. 1978. The distribution of micronutrient cations in soil under condition of varying redox potential and pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 258-262.
23. Singh, B., Y. Singh, U. S. Sanda, and O. P. Meellu. 1992. Effect of green manure, wheat straw, and organic matter on DTPA extractable Fe, Mn, Zn, and Cu in a calcareous sandy loam soil at field capacity and under waterlogged condition. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 40: 114-118.
24. Singh, J. P., S. P. S. Karwasar, and M. Singh. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils of India. *Soil Sci.* 146: 359-365.
25. Taylor, R. W., H. Xiu, A. A. Mehadi, J. W. Shuford, and W. Tadesse. 1995. Fractionation of residual cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge-amended soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 2193-2204.
26. Yu, S., Z. L. He, C. Y. Huang, G. C. Chen, and D. V. Calvert. 2004. Copper fractionation and extractability in two contaminated variable charge soils. *Geoderma* 123: 163-175.