

ارزیابی چند روش عصاره‌گیری مس قابل جذب برای ذرت در برخی خاک‌های آهکی ایران

عادل ریحانی تبار^{۱*}، الهام عبدالملکی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۴)

چکیده

در این پژوهش ارزیابی برخی روش‌های تعیین مس قابل جذب خاک برای محصول ذرت در ۲۱ خاک آهکی با استفاده از نمونه‌های مرکب خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) انجام گرفت. طی آزمایش گلخانه‌ای گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ در سه تکرار کشت شد. پس از ۶۰ روز (پایان دوره رشد رویشی) شاخص سبزینه برگ قبل از برداشت و وزن تر و خشک بخش هوایی و مقدار مس جذب‌شده بخش هوایی گیاه بعد از برداشت اندازه‌گیری شد. اکسالات آمونیوم، هیدروکسیل آمونیوم هیدروکلراید، DTPA-TEA، AB-DTPA، AC-EDTA، عصاره‌گیرهای مورد بررسی در این پژوهش بودند. بر طبق نتایج حاصله مس عصاره‌گیری شده توسط هیچ‌یک از عصاره‌گیرهای مورد استفاده در این پژوهش با شاخص‌های رشد ذرت همبستگی معنادار نداشت. لگاریتم مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA با لگاریتم مس جذب‌شده توسط ریشه ذرت ضریب همبستگی معنادار ($p < 0.05$) نشان داد. عصاره‌گیرهای DTPA-TEA و اکسالات آمونیوم سریع به ترتیب کمترین برابر با ۱/۵۷ و بیشترین مقدار مس برابر با ۲۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم را عصاره‌گیری کردند. بیشترین ضریب همبستگی معنادار بین روش‌های عصاره‌گیری AB-DTPA و AC-EDTA ($r = 0.93^{**}$) مشاهده شد. ضرایب همبستگی مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA و شاخص‌های رشد ذرت در ۴۸ ساعات اولیه عصاره‌گیری مس روند افزایشی داشت و در این میان بیشترین ضریب همبستگی مثبت معنادار بین شاخص سبزینه برگ و مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA ($r = 0.53^{**}$) مشاهده شد. در نهایت عصاره‌گیر DTPA-TEA به‌عنوان عصاره‌گیر مناسب در این پژوهش انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: عصاره‌گیر، سینکل کراس، دی تی پی ا و ضریب همبستگی

ریحانی تبار ع.، عبدالملکی ا. ۱۳۹۸. ارزیابی چند روش عصاره‌گیری مس قابل جذب برای ذرت در برخی خاک‌های آهکی ایران. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷ شماره ۲. ص: ۱-۱۳.

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

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

*پست الکترونیک: areyhani@tabrizu.ac.ir

مقدمه

ذرت گیاهی یک‌ساله و از خانواده‌ی گندمیان و به لحاظ تنفسی گیاهی C_4 است که نسبت به گیاهان C_3 تحمل بیشتری در برابر شرایط نامساعد محیطی، همچون دمای بالا و کمبود آب نشان می‌دهد (Kamkar *et al*, 2012). این گیاه حدود ۱/۸۸ درصد از زمین‌های تحت کشت و ۲/۷۹ درصد از تولیدات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است (Agricultural Statistics, 2013).

مس از عناصر ضروری کم‌مصرف است که به صورت کاتیونی (Cu^{2+}) و یا کمپلکس‌های آلی توسط گیاه جذب می‌شود. مس در گیاه دارای نقش‌های متعددی همچون فعال‌کنندگی آنزیم‌های تیروزیناز، آسکوربیک اسید اکسیداز، بوتریل کوآ دهیدروژناز، سلولاز، دهیدروژناز، اکسیداز، سیتوکروم اکسیداز و لاکاز، شرکت در تشکیل دانه میوه، عمل لیگنینی شدن، فتوسنتز و تشکیل سبزینه، تولید دانه گرده و متابولیسم پروتئین در کر بو هیدرات‌ها می‌باشد (Marschner, 1985; Sandermann & Boger, 1983). غلظت کافی مس در گیاه ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه است (Kamkar *et al*, 2012). برگ‌های دچار کمبود مس سبز-آبی‌اند و در نزدیکی به رأس زرد رنگ‌اند و به دلیل غیرمتحرک بودن آن علائم کمبود مس در برگ‌های جوان مشاهده می‌شود (Fageria & Barbosa Filho, 2006). کمبود مس با تأخیر در گلدهی، خواب‌یدگی (به خصوص در غلات)، کاهش توسعه خوشه‌های غلات و حتی خالی بودن خوشه‌ها از دانه، کاهش تحمل به بیماری‌ها و پژمردگی گیاه به دلیل آسیب در سیستم انتقال آب همراه است (Sims & Johnson, 1991; Sharma, 1992). کمبود مس باعث کاهش تولید پلاستوسیانین، کاهش کارایی فتوسنتز انتقال الکترون و کاهش فعالیت فتوسیستم II بر اثر کمبود مس در سبزدیسه می‌شود (Shikanai *et al*, 2003). کمبود مس زمانی اتفاق می‌افتد که خاک توانایی عرضه مقدار لازم از عنصر مورد نظر برای گیاه را نداشته باشد که دلایل این عدم توانایی خاک عبارت‌اند از: کشت فشرده، نیاز بیشتر ارقام جدید با راندمان بالا به مس، تلفات و فرسایش خاک سطحی، آهک‌دهی خاک‌های اسیدی، استفاده از کودهایی با درجه خلوص بالا، مصرف کم مواد آلی و بافت سبک خاک با ماده آلی کم

(Fageria & Barbosa Filho, 2006). کمبود مس در خاک‌های آهکی با pH بالا به دلیل رسوب به شکل هیدروکسید مس و در خاک‌های آلی به دلیل تمایل مس به تشکیل کمپلکس‌های آلی پایدار بیشتر مشاهده می‌شود (Williams *et al*, 2007). شهبازی و بشارتی (۲۰۱۴) با استفاده از اطلاعات موسسه تحقیقات خاک و آب کشور گزارش کردند که اگر سطح بحرانی مس به روش DTPA یک میلی‌گرم بر کیلوگرم فرض شود ۳۰ درصد خاک‌های زراعی استان آذربایجان شرقی از کمبود مس قابل جذب رنج می‌برند.

انتخاب یک عصاره‌گیر مناسب برای پیش‌بینی مس قابل دسترس گیاه بستگی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارد، بنابراین انتخاب عصاره‌گیر مناسبی که بتواند نتایج مطلوبی برای طیف وسیعی از خاک‌ها به ما بدهد امر مهمی است (Mafton *et al*, 2003). در عمل طیف وسیعی از عصاره‌گیرها برای اندازه‌گیری شکل قابل جذب عناصر کم‌مصرف کاتیونی معرفی شده‌اند که رایج‌ترین آن‌ها EDTA، DTPA-TEA، HCl، EDTA، HCl، EDTA، DTPA-TEA هستند (Mehlich 1,2,3) و محلول $CaCl_2$ هستند (Menzies *et al*, 2007). عوا مل کی‌لایت‌کننده برای خاک‌های مختلف باید به دقت انتخاب شوند تا بتوانند جذب عناصر را توسط ریشه گیاه پیش‌بینی کنند (Lindsay & Cox, 1985). مقدار مسی که توسط عصاره‌گیر، عصاره‌گیری می‌شود به غلظت اجزا تشکیل‌دهنده عصاره‌گیر، مدت زمان عصاره‌گیری، نسبت خاک به عصاره‌گیر، دما و سرعت عصاره‌گیری وابسته و ممکن است تغییر در هر یک از این ویژگی‌ها تأثیر بسزایی در مقدار مس عصاره‌گیری شده داشته باشد (Kocialkowski *et al*, 1999). بر طبق اطلاعات موجود عصاره‌گیر DTPA-TEA، عصاره‌گیر مناسب خاک‌های قلیایی ($pH > 6.7$) و EDTA عصاره‌گیر مناسب خاک‌های اسیدی ($pH < 6$) برای تعیین مقدار مس قابل جذب گیاه گندم گزارش شده است (Feng *et al*, 2005). کی‌لایت‌کننده DTPA-TEA عناصر را از بخش‌های مختلف از جمله محلول، تبادل و پیوند یافته با مواد آلی در خاک استخراج می‌کند (Lindsay & Norvell, 1978). عصاره‌گیر AB-DTPA می‌تواند همزمان علاوه بر عناصر کم‌مصرف، برخی عناصر پرمصرف همچون فسفر، پتاسیم و نیترات را نیز استخراج

در مورد عصاره‌گیر برتر مس برای این گیاه منتشر نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش انتخاب عصاره‌گیر برتر مس و به‌ویژه آزمون کارایی روش DTPA در خاک‌های مورد مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

برای پژوهش حاضر ۴۱ نمونه مرکب خاک از مناطق ذرت‌کاری استان آذربایجان شرقی و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. پس از خشک شدن خاک‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها با استفاده از روش‌های متداول اندازه‌گیری شدند. برای این منظور بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه (Gee & Or, 2002)، pH در عصاره گل‌اشباع (Richards, 1954)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره‌اشباع (Rhoades, 1996)، کربن آلی به روش اکسایش تر (Nelson & Sommers, 1966)، درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک و تیتراژ کردن با سود (Allison & Moodie, 1965)، کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) توسط اکسالات آمونیوم ۰/۱ مولار در pH برابر با ۹ (Loeppert & Suarez, 1996) و تیتراژ کردن با پتاسیم پرمنگنات ۰/۱ مولار (Drouineau, 1942)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش سه مرحله‌ای باور و همکاران (Bawer et al, 1952) انجام گرفت. حضور یا عدم حضور گچ در خاک با روش استاندارد استون بررسی شد (Richards, 1954). مس، آهن، روی و منگنز قابل دسترس نیز به روش DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) اندازه‌گیری شدند.

برای بررسی همبستگی مس قابل دسترس اندازه‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مورد استفاده و شاخص‌های رشد گیاه ذرت، رقم سینگل کراس ۷۰۴ در گلدان‌های حاوی ۳ کیلوگرم خاک هوا خشک و در سه تکرار کشت شد. رطوبت خاک در طول ۲ ماه رشد رویشی در دامنه ۸۰ تا ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به روش وزنی نگه‌داشته شد. به‌جز مس سایر عناصر غذایی بر طبق آزمون خاک و توصیه رایج کودی مصرف شدند. برای این منظور نیتروژن به مقدار ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع اوره $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ در ۳ نوبت قبل از کشت، مرحله پنجه‌زنی و ساقه‌دهی، فسفر ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از

کند که به‌لحاظ اقتصادی به‌صرفه است (Havlin & Soltanpour, 1981). در عصاره‌گیر AB-DTPA آمونیوم می‌تواند با برخی کاتیون‌های قابل تبادل همچون Na^+ ، Ca^{2+} ، K^+ و Mg^{2+} جایگزین شود و DTPA نیز با آهن، روی، منگنز، مس، سرب، نیکل و کادمیم تشکیل‌دهنده دهد (Lindsay, 1979). مقدار زیاد کربنات در عصاره‌گیر AC-EDTA باعث کاهش غلظت Ca^{2+} در خاک شده و یون آمونیوم در این عصاره‌گیر وارد محلول خاک شده و با مس پیوند یافته به ذرات خاک تبادل می‌شود، به‌همین دلیل مس استخراج شده به وسیله AC-EDTA بیشتر از EDTA می‌باشد (Trier Weiler & Lindsay, 1969). هینز و سویفت (Haynes & Swift, 1983) گزارش کردند که در خاک‌های اسیدی نیوزیلند عصاره‌گیر AC-EDTA ۰/۰۴ مولار تنظیم شده در $\text{pH} = 8/6$ در مقایسه با سایر عصاره‌گیرهای EDTA ۰/۰۴ مولار EDTA غیر بافر در $\text{pH} = 4/6$ ، EDTA ۰/۰۴ مولار و EDTA ۰/۰۴ مولار استات آمونیوم یک مولار بافر شده در $\text{pH} = 7$ برای استخراج مس و آهن مناسب‌تر هستند. سدبری و همکاران (Sedberry et al, 1988) گزارش کردند که AC-EDTA نسبت به DTPA-TEA در خاک اسیدی، مقدار بیشتری از مس متصل به خاک را عصاره‌گیری می‌کند. عصاره‌گیرهای اکسالات آمونیوم مرجع و سریع در خاک‌های آهکی به دلیل pH اسیدی و انحلال کربنات کلسیم خاک و خارج شدن عناصر محبوس در آن، معمولاً مس بیشتری را استخراج می‌کند (De Santiago & Delgado, 2006). اسلاوک و همکاران (Slavek et al, 1982) گزارش کردند که این دو عصاره‌گیر معمولاً عناصر متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم را استخراج می‌کنند و استخراج باید در شرایط تاریکی رخ دهد تا از احیای نوری اکسیدهای بلورین آهن جلوگیری شود. در جدول شماره ۱ برخی از عصاره‌گیرهای برتر ارائه شده است. به‌دلیل مقادیر بالای کربنات کلسیم خاک‌ها و pH بالا در خاک‌های استان آذربایجان شرقی امکان کمبود عناصر کم‌مصرف وجود دارد، بنابراین انتخاب عصاره‌گیر برتر مس در میان طیف وسیعی از عصاره‌گیرهای رایج امری ضروری است. با وجود اینکه ذرت به‌عنوان سومین غله پرمصرف دنیا اعلام شده است و استان آذربایجان شرقی نیز ۳۴۵۴ تن تولید عملکرد آبی سالانه ذرت را در کشور به خود اختصاص داده است، اما تا به حال گزارشی

شدند. سپس بر روی الک ۰/۵ میلی‌متر شسته و در نهایت در آب مقطر غوطه‌ور و روی پارچه‌ای تمیز قرار داده شدند تا خشک شوند. سپس به پاکت‌های کاغذی منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس درون آن قرار گرفتند و بعد از این مدت وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. هضم نمونه‌های گیاهی در این پژوهش با روش خشک سوزانی انجام گرفت (Jones, 2001). غلظت مس در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی (شیمادزو مدل AA-6300) اندازه‌گیری شد. برای تعیین عصاره‌گیر برتر مس، مقدار مس قابل دسترس خاک با استفاده از ۶ روش عصاره‌گیری اندازه‌گیری شد (جدول ۲). مقدار مس جذب‌شده توسط گیاه ذرت از حاصل ضرب غلظت مس در مقدار ماده خشک محاسبه شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel و ضرایب همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. قبل از تجزیه آماری آزمون نرمال بودن داده‌ها به رسم چولگی و کشیدگی انجام شد.

منبع سوپر فسفات تریپل $[Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O]$ ، پتاسیم ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم (K_2SO_4)، روی ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)، منگنز ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات منگنز ($MnSO_4 \cdot H_2O$) و آهن ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سکوسترین آهن (Fe-) EDDHA به صورت محلول در آب مصرف شدند. بعد از پایان دوره رویشی (پایان دو ماه) شاخص سبزینه برگ ذرت با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech، مدل CL-01) قبل از برداشت گیاه اندازه گرفته شد. سپس ساقه گیاه ذرت از محل طوقه از ریشه جدا شد. بخش هوایی ذرت با آب شهری و سپس آب مقطر شسته و روی پارچه‌های تمیز پخش شدند تا آب اضافی سطح آن‌ها گرفته شد. سپس در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن خشک ثابت در آن قرار داده و پس از خشک شدن ابتدا توزین سپس با آسیاب پودر شدند. ریشه گیاهان نیز همراه با خاک اطراف ابتدا در آب غوطه‌ور شدند تا کاملاً از خاک جدا

جدول ۱- ویژگی‌های شش عصاره‌گیر مورد استفاده در این پژوهش
Table 1. Characteristics of 6 extractants used in this study

| Extraction method | Chemical nature | pH | Soil: Solution ratio | Time (min.) | Reference |
|----------------------------|--|-----|----------------------|-------------|---|
| DTPA-TEA | 0.005 M DTPA+0.01 M CaCl ₂ +0.1 M TEA | 7.3 | 1:2 | 120 | Lindsay & Norvell, (1978) |
| AB-DTPA | 0.005 M DTPA+1M NH ₄ HCO ₃ | 7.6 | 1:2 | 15 | Soltanpour & Schwab, (1977) |
| AC-EDTA | 1 M (NH ₄) ₂ CO ₃ + 0.04 EDTA | 8.2 | 1:2 | 30 | Trier Weiler & Lindsay, (1969) |
| Ammonium oxalate (1) | 0.2 M (NH ₄) ₂ H ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O | - | 1:60 | 120 | Del Campillo & Torrent, (1992) |
| Ammonium oxalate (2) | 0.2 M (NH ₄) ₂ H ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O | 3 | 1:200 | 120 | Benitez et al, Del (2002); Campillo & Torrent, (1992) |
| Hydroxylamin hydrochloride | 0.5 M [NH ₃ OH].Cl | - | 1:20 | 1020 | De Santiago & Delgado, (2006) |

1- Reference Ammonium oxalate 2- Rapid Ammonium oxalate

(جدول ۳). مس استخراج شده خاک‌ها از ۰/۴۵ تا ۳/۸۱ با میانگین ۱/۵۷ و ضریب تغییرات ۵۵/۵۱ درصد به‌دست آمد. دامنه EC خاک‌های انتخاب‌شده ۰/۸۴ تا ۳/۶۰ دسی‌زیمنس بر متر بود، بنابراین اثر شوری در این پژوهش به‌عنوان متغیر ثانویه مطرح نبود. همچنین این خاک‌ها فاقد گچ بودند. در میان شش عصاره‌گیر مورد

نتایج و بحث

بر اساس درصد کربنات کل سیم معادل، کربنات کل سیم معادل فعال، کربن آلی، بافت خاک و مس قابل دسترس ۲۱ خاک مورد استفاده در این پژوهش طوری انتخاب شدند که دارای بیشترین ضریب تغییرات $[100 \times (\text{میانگین} / \text{انحراف معیار}) = \text{ضریب تغییرات} \%$] باشند

نیز مطابقت داشت (Sedberry *et al*, 1988; Singh & Prasad, 1986; Tabandeh *et al*, 2008).

استفاده در این پژوهش، عصاره‌گیرهای اکسالات آمونیوم سریع و DTPA-TEA به ترتیب بیشترین و کمترین مس را استخراج کردند (جدول ۴) که با نتایج سایر محققان

جدول ۲ - ویژگی‌های ۲۱ خاک آهکی مورد استفاده در این پژوهش
Table 2. Characteristics of 21 calcareous soils used in this study

| Parameter | Unit | Minimum | Maximum | Average | Standard deviation | Coefficient of variation percentage |
|-----------|---------------------|---------|---------|---------|--------------------|-------------------------------------|
| Sand | | 13 | 86 | 49 | 20.28 | 41.04 |
| Clay | | 5 | 39 | 20 | 9.60 | 47.26 |
| Silt | | 9 | 54 | 30 | 12.51 | 41.35 |
| CCE | Percent | 1.62 | 26.41 | 11.91 | 8.30 | 69.69 |
| ACCE | | 0.86 | 10.24 | 4.81 | 3.24 | 67.43 |
| OC | | 0.14 | 2.30 | 0.77 | 0.44 | 57.87 |
| SP | | 22 | 50 | 36 | 9.81 | 27.14 |
| pH | | 7.93 | 8.28 | 8.10 | 0.10 | 1.20 |
| EC | dSm ⁻¹ | 0.84 | 3.60 | 1.78 | 0.86 | 48.22 |
| Fe* | | 0.76 | 12.73 | 3.42 | 2.72 | 79.47 |
| Mn* | | 0.67 | 15.37 | 6.04 | 3.32 | 55 |
| Cu* | mg kg ⁻¹ | 0.45 | 3.81 | 1.57 | 0.87 | 55.51 |
| Zn* | | 0.07 | 1.24 | 0.48 | 0.39 | 82.57 |
| K | | 143 | 475 | 290 | 107.55 | 37.03 |
| P* | | 1.50 | 12.60 | 7.28 | 3.58 | 49.19 |

*Available nutrient

قرائت با استاندارد های حاوی محلول زمينه DTPA-TEA، AB-DTPA و AC-EDTA بود؛ به طوری که مقدار مس استخراج شده با DTPA-TEA در قرائت با آب مقطر دو برابر مس قرائت شده با استاندارد حاوی محلول زمينه DTPA-TEA بود (جدول ۴). احتمالاً محلول زمينه DTPA باعث افزایش دمای شعله دستگاه جذب اتمی شده و مقدار جذب استاندارد ها بالا می رود و در نتیجه مقدار جذب نمونه های خاک کمتر قرائت می شود و برای قرائت با استاندارد آب مقطر برعکس این عمل رخ می دهد (Bernhard & Sperling, 2008). در ادامه پژوهش از داده های حاصله با محلول زمينه حاوی DTPA-TEA، AB-DTPA و AC-EDTA استفاده شد. برای بررسی امکان استفاده از عصاره گیرهای مورد مطالعه به جای یکدیگر، برای انتخاب عصاره گیری که به لحاظ اقتصادی و زمان عصاره گیری به صرفه باشد و توانایی پیش بینی شاخص های رشد گیاه ذرت را داشته باشد، همبستگی آماری مس استخراج شده به وسیله عصاره گیرهای مورد استفاده محاسبه شد (جدول ۵).

دلیل استخراج زیاد مس به وسیله عصاره گیرهای اکسالات آمونیوم سریع، اکسالات آمونیوم مرجع و هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ممکن است pH اسیدی این عصاره گیرها باشد که باعث انحلال فاز جامد خاک به ویژه کربنات کلسیم و آزاد شدن مس پیوند یافته با کربنات باشد. تریویلر و لیندزی (Trier Weiler & Lindsay, 1969) pH ۸/۶ عصاره گیر AC-EDTA را دلیل عصاره گیری بیشتر مس نسبت به عصاره گیر DTPA دانستند و اعلام کردند که در این pH، از رقابت Fe^{3+} و Cu^{2+} برای کمپلکس شدن با AC-EDTA جلوگیری می شود. در پژوهش حاضر مقدار مس عصاره گیری شده با AC-EDTA ۲/۴۲ برابر DTPA-TEA به دست آمد که با نتایج تابنده و همکاران (Tabandeh *et al*, 2008) مطابقت داشت. ترتیب مقدار مس استخراج شده نیز به وسیله عصاره گیرهای مورد بررسی به شرح زیر بود:

DTPA-TEA < AB-DTP < AC-EDTA < Hydroxyl Amin. HCl < Ammonium Oxalat Refrence < Ammonium Oxalat Rapid

میانگین غلظت مس قرائت شده با دستگاه جذب اتمی با استانداردهای حاوی محلول زمينه آب مقطر بیشتر از

جدول ۳ - توصیف آماری مس استخراج شده (میلی گرم بر کیلوگرم) به وسیله عصاره‌گیرهای مورد استفاده در این پژوهش

Table 3. Statistical descriptions of extracted Cu (mgkg⁻¹) by extractants used in this study

| Extractant | Minimum | Maximum | Average | Standard deviation | Coefficient of variation percentage |
|------------------------------|---------|---------|---------|--------------------|-------------------------------------|
| DTPA-TEA 1 | 0.99 | 7.59 | 3.02 | 1.49 | 49.21 |
| DTPA-TEA 2 | 0.45 | 3.81 | 1.57 | 0.87 | 55.51 |
| AB-DTPA 1 | 1.02 | 6.19 | 2.71 | 1.12 | 41.25 |
| AB-DTPA 2 | 0.96 | 4.68 | 2.43 | 0.96 | 39/74 |
| AC-EDTA 1 | 1.18 | 12.42 | 4.99 | 2.60 | 52.17 |
| AC-EDTA 2 | 1.42 | 6.01 | 3.65 | 1.26 | 34.53 |
| (Reference ammonium oxalate) | 6.79 | 17.67 | 11.01 | 2.20 | 19.96 |
| (Rapid ammonium oxalate) | 21.06 | 32.28 | 25.69 | 3.41 | 13.28 |
| (Hydroxylamin hydrochloride) | 2.49 | 7.84 | 5.29 | 1.60 | 30.35 |

1 and 2 are the amount of copper measured with distilled water as a background standard solution and extractant background solution, respectively.

AC-EDTA در این پژوهش با عصاره‌گیر اکسالات آمونیوم مرجع ضریب همبستگی معنادار ($r=0.52^{**}$) نشان داد، این در حالی است که سینگ و پراساد (Singh & Prasad, 1986) برخلاف نتیجه پژوهش حاضر ضریب مذکور معنی‌دار نبود. اگرچه روابط آماری علی و معلولی نیستند ولی دلیل این اختلاف می‌تواند به متفاوت بودن ویژگی شیمیایی و به‌ویژه کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه برگردد.

بالاترین ضریب همبستگی بین عصاره‌گیرهای AB-DTPA و AC-EDTA و سپس DTPA-TEA و AB-DTPA به دلیل سازوکار مشابه در عصاره‌گیری دیده شد. کمترین همبستگی مشاهده شده مربوط به عصاره‌گیر هیدروکسیل آمونیوم هیدروکلراید با سایر عصاره‌گیرها بود. مفتون و همکاران (Mafton *et al*, 2003)، بیشترین ضریب همبستگی را بین AC-EDTA و AB-DTPA گزارش کردند. مس استخراج شده به وسیله عصاره‌گیر

جدول ۴ - ضرایب همبستگی (r) بین مقادیر مس استخراج شده به وسیله عصاره‌گیرهای مورد استفاده در این پژوهش

Table 4. Correlation coefficients (r) for linear relationships between extracted Cu by used extractants in this study

| Extractant | DTPA-TEA | AB-DTPA | AC-EDTA | Ammonium oxalate 1 | Ammonium oxalate 2 | Hydroxyl amin |
|--------------------|----------|---------|---------|--------------------|---------------------|---------------------|
| DTPA-TEA | 1 | 0.83** | 0.80** | 0.43 ^{ns} | 0.36 ^{ns} | -0.07 ^{ns} |
| AB-DTPA | | 1 | 0.93** | 0.46* | 0.36 ^{ns} | -0.05 ^{ns} |
| AC-EDTA | | | 1 | 0.52** | 0.35 ^{ns} | -0.08 ^{ns} |
| Ammonium oxalate 1 | | | | 1 | -0.09 ^{ns} | 0.13 ^{ns} |
| Ammonium oxalate 2 | | | | | 1 | -0.30 ^{ns} |
| Hydroxyl amin | | | | | | 1 |

^{ns}, *, ** non-significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively. 1 and 2, reference and rapid ammonium oxalate, respectively.

DTPA و اگزالات آمونیوم اعلام کردند. ضرایب همبستگی بین مس استخراج شده به وسیله AB-DTPA با CEC بعد از حذف خاک شماره ۶ افزایش معنادار یافت (شکل ۱) ولی با OC با حذف خاک شماره ۱۲ افزایش یافت اما معنادار نشد. ساکال و همکاران (Sakal *et al*, 1988) اعلام کردند که زمانی همبستگی منفی بین مس قابل استخراج و ماده آلی مشاهده می‌شود که مقدار ماده آلی خاک بسیار

در پژوهش حاضر تنها بین مس استخراج شده با عصاره‌گیر AB-DTPA و درصد سیلت خاک‌ها ($r=0.44^{**}$) و عصاره-گیر اگزالات آمونیوم مرجع با CCE ($r=0.51^{**}$) ضرایب همبستگی معنادار مشاهده شد (جدول ۴). برخلاف پژوهش حاضر سینگ و پراساد (Singh & Prasad, 1986) بیشترین همبستگی مثبت معنادار را بین درصد رس و مس استخراج شده با عصاره‌گیرهای DTPA-TEA، AB-

باشد. بین مس استخراج شده با عصاره‌گیرهای DTPA-TEA، AB-DTPA و AC-EDTA با pH و درصد کربنات کلسیم ضرایب همبستگی پائینی مشاهده شد (جدول ۶) که دلیل آن را می‌توان رسوب مس با هیدروکسیل و کربنات خاک دانست که با نتایج تابنده و همکاران (Tabandeh *et al*, 2008) و مفتون و همکاران (Mafton *et al*, 2003) مطابقت داشت. pH خاک می‌تواند از راه‌های مختلف بر جذب مس به‌وسیله گیاه مؤثر باشد؛ به‌طوری‌که شرایط اسیدی می‌تواند میزان جذب مس را با وجود مقدار کم کمپلکس‌های آلی افزایش دهد، اما از طرفی شرایط اسیدی شدید خود می‌تواند باعث آسیب به ریشه شده و جذب مس را کاهش دهد (Shorrocks & Alloway, 1988). در این پژوهش ضریب همبستگی معنادار بین مس استخراج شده به‌وسیله هیچ‌یک از عصاره‌گیرها با شاخص‌های رشد ذرت دیده نشد، به همین دلیل لگاریتم و جذر مس استخراج شده با عصاره‌گیرهای AB-DTPA-TEA و DTPA-AC-EDTA و همچنین شاخص‌های رشد ذرت محاسبه و مشاهده شد که به‌جز لگاریتم مس استخراج شده با عصاره‌گیر DTPA-TEA و لگاریتم غلظت مس ریشه ($r=0/44^*$) در سایر موارد همبستگی معنادار وجود ندارد (شکل ۲).

بالا باشد. بین مس استخراج شده با عصاره‌گیرهای DTPA-TEA، AB-DTPA و AC-EDTA با pH و درصد کربنات کلسیم ضرایب همبستگی پائینی مشاهده شد (جدول ۶) که دلیل آن را می‌توان رسوب مس با هیدروکسیل و کربنات خاک دانست که با نتایج تابنده و همکاران (Tabandeh *et al*, 2008) و مفتون و همکاران (Mafton *et al*, 2003) مطابقت داشت.

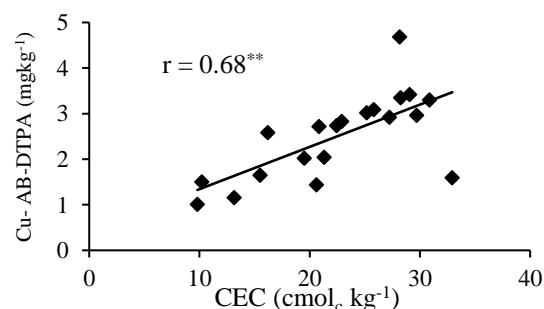
در پژوهش حاضر تنها بین مس استخراج شده با عصاره‌گیر AB-DTPA و درصد سیلت خاک‌ها ($r=0/44^*$) و عصاره‌گیر اگزالات آمونیوم مرجع با CCE ($r=0/51^*$) ضرایب همبستگی معنادار مشاهده شد (جدول ۶). برخلاف پژوهش حاضر سینگ و پراساد (Singh & Prasad, 1986) بیشترین همبستگی مثبت معنادار را بین درصد رس و مس استخراج شده با عصاره‌گیرهای DTPA-TEA، AB-DTPA و اگزالات آمونیوم اعلام کردند. ضرایب همبستگی بین مس استخراج شده به‌وسیله AB-DTPA با CEC بعد از حذف خاک شماره ۶ افزایش معنادار یافت (شکل ۱) ولی با OC با حذف خاک شماره ۱۲ افزایش یافت اما معنادار نشد. ساکال و همکاران (Sakal *et al*, 1988) اعلام کردند که زمانی همبستگی منفی بین مس قابل استخراج و ماده آلی مشاهده می‌شود که مقدار ماده آلی خاک بسیار بالا

جدول ۵ - ضرایب همبستگی (r) بین مس استخراج شده با روش‌های مختلف با ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

Table 5. Correlation coefficients (r) between soil properties with extracted Cu by different methods

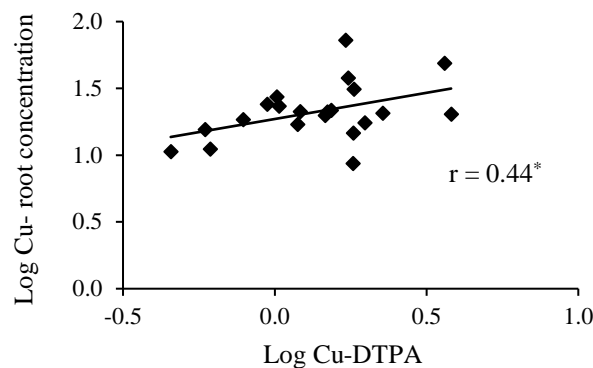
| Extractant | Soil properties | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Sand | Clay | Silt | OC | ACCE | CCE | SP | CEC | pH |
| DTPA-TEA | -0.19 ^{ns} | 0.15 ^{ns} | 0.20 ^{ns} | 0.18 ^{ns} | 0.03 ^{ns} | 0.04 ^{ns} | 0.20 ^{ns} | 0.31 ^{ns} | -0.08 ^{ns} |
| AB-DTPA | -0.38 ^{ns} | 0.24 ^{ns} | 0.44 [*] | 0.36 ^{ns} | 0.23 ^{ns} | 0.22 ^{ns} | 0.25 ^{ns} | 0.41 ^{ns} | -0.11 ^{ns} |
| AC-EDTA | -0.37 ^{ns} | 0.23 ^{ns} | 0.43 ^{ns} | 0.36 ^{ns} | 0.30 ^{ns} | 0.30 ^{ns} | 0.19 ^{ns} | 0.29 ^{ns} | -0.15 ^{ns} |
| Ammonium oxalate1 | -0.12 ^{ns} | 0.01 ^{ns} | 0.19 ^{ns} | 0.22 ^{ns} | 0.41 ^{ns} | 0.51 ^{ns} | -0.17 ^{ns} | -0.02 ^{ns} | 0.02 ^{ns} |
| Ammonium oxalate2 | 0.07 ^{ns} | 0.10 ^{ns} | -0.20 ^{ns} | 0.28 ^{ns} | -0.15 ^{ns} | -0.25 ^{ns} | 0.16 ^{ns} | 0.20 ^{ns} | 0.07 ^{ns} |
| Hydroxyl amin | 0.10 ^{ns} | -0.16 ^{ns} | -0.03 ^{ns} | -0.43 ^{ns} | 0.20 ^{ns} | -0.22 ^{ns} | -0.31 ^{ns} | -0.22 ^{ns} | -0.21 ^{ns} |

^{ns} and ^{*} non-significant, significant at 0.05 probability level, respectively. 1 and 2 refers to the reference oxalate ammonium rapid oxalate ammonium methods, respectively.



شکل ۱- رابطه بین مس استخراج شده با عصاره‌گیر AB-DTPA و CEC خاک با حذف خاک شماره ۶

Figure 1. Relationships between Cu extracted by AB-DTPA and CEC after removal of soil no 6



شکل ۲- رابطه لگاریتم مس استخراجی با عصاره گیر DTPA-TEA و لگاریتم غلظت مس ریشه.

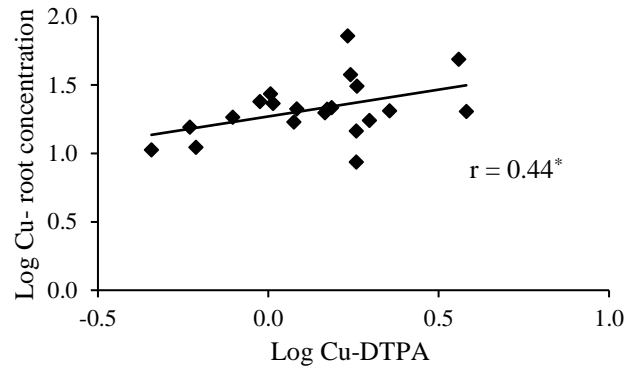
Figure 2. Relationships between Log Cu-DTPA-TEA and Log Cu-root

همبستگی مس استخراجی با شاخص سبزینه برگ نسبتاً نزدیک بود که می‌تواند به دلیل نقش مس در تشکیل سبزینه برگ باشد. تنفس و فتوسنتز با کمبود مس متوقف می‌شود که به دلیل نقش مس در تشکیل سبزینه و تیلاکوئید است و این امر به خوبی به وسیله زردی قابل تشخیص است (Marschner, 1985). در این پژوهش عصاره گیر DTPA-TEA به عنوان عصاره‌گیری که نسبت به سایر عصاره‌گیرهای مورد بررسی بهتر عمل کرده بود، مناسب تشخیص داده شد. در خاک‌های کلرادوی آمریکا گزارش کردند که ضریب همبستگی معنادار بین مس استخراج شده با DTPA-TEA و مس گیاه زمانی دیده خواهد شد که دامنه گسترده‌ای از مس قابل استخراج با عصاره گیر DTPA-TEA استفاده شود (Motaghian & Marchi *et al*, 2006). متقیان و همکاران (et al, 2013) در خاک‌های آهکی زیر کشت گندم استان چهارمحال و بختیاری ضریب همبستگی $r=0/95^{**}$ را بین مس استخراج شده با عصاره‌گیر AB-DTPA و غلظت مس بخش هوایی گزارش کردند. تابنده و همکاران (Tabandeh *et al*, 2008) نیز در خاک‌های آهکی استان فارس با توجه به مشاهده ضریب همبستگی $r=0/58^{**}$ بین مس استخراج شده با عصاره‌گیر DTPA-TEA و غلظت مس شاخسار برنج، DTPA-TEA را به عنوان عصاره‌گیر مناسب گزارش کردند

بران و همکاران (Brun *et al*, 2001) در خاک‌های اسیدی تا قلیایی شمال برزیل گزارش کردند که غلظت مس ریشه ذرت با مس قابل استخراج با عصاره‌گیرهای DTPA-TEA و EDTA به ترتیب ضرایب همبستگی $r=0/93^{**}$ و $r=0/90^{**}$ را نشان داد در حالی که با مس بخش هوایی همبستگی معنادار نداشت. آنان همچنین گزارش کردند که مس استخراج شده به وسیله DTPA-TEA شاخص مناسبی برای پیش‌بینی مقدار مس جذب شده به وسیله ریشه است تا بخش هوایی (Brun *et al*, 2001). بلک و همکاران (Black *et al*, 2011) ضریب همبستگی بین مس استخراجی با EDTA و محلول نیترات کلسیم را با غلظت مس بخش هوایی گندم و چاودار غیرمعنادار گزارش کردند (De Santiago & Delgado, 2006).

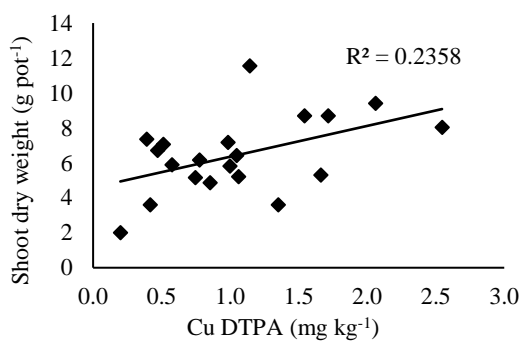
در ادامه این پژوهش، مس قابل عصاره‌گیری با عصاره‌گیر DTPA-TEA در زمان‌های ۰/۱۶ تا ۲۰۰ ساعت عصاره‌گیری و ضرایب همبستگی مس استخراجی در زمان‌های مختلف با شاخص‌های رشد ذرت محاسبه شد که وزن خشک بخش هوایی ذرت با مس استخراج شده به وسیله DTPA-TEA در زمان‌های ۰/۱۶ و ۰/۳۳ ساعت (۱۰ و ۲۰ دقیقه) با حذف خاک شماره ۱۴ (به ترتیب با مقادیر کوکس ۱/۹۷ و ۱/۷۹)، به ترتیب ضرایب همبستگی $r=0/49^{*}$ و $r=0/48^{*}$ را نشان دادند (شکل شماره ۳ و ۴). ضرایب همبستگی بین مس استخراجی با عصاره‌گیر DTPA-TEA و برخی شاخص‌های رشد ذرت با افزایش زمان عصاره‌گیری افزایش و سپس ثابت شدند (شکل ۵). همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب

1. Cooks values



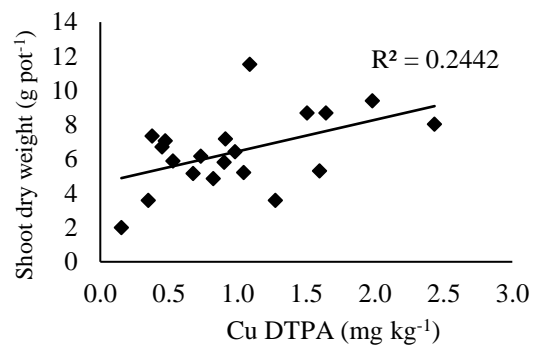
شکل ۲- رابطه لگاریتم مس استخراجی با عصاره گیر DTPA-TEA و لگاریتم غلظت مس ریشه

Figure 2. Relationships between Log Cu-DTPA-TEA and Log Cu-root



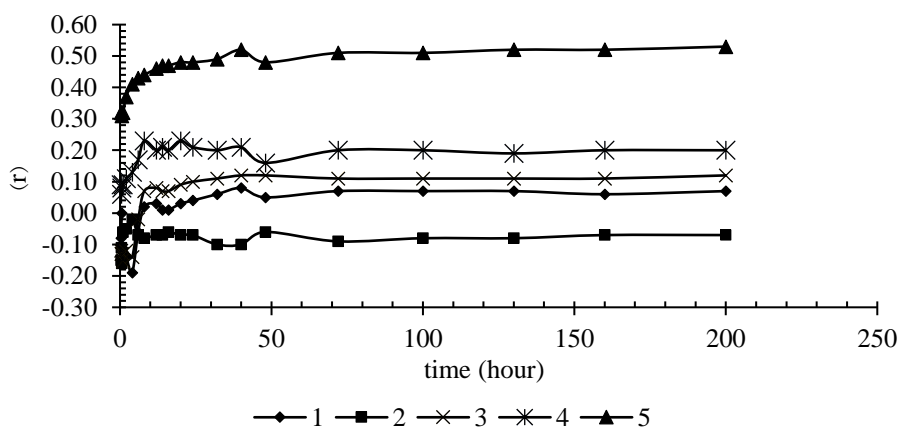
شکل ۴- رابطه بین مس استخراجی با DTPA-TEA در ۲۰ دقیقه و وزن خشک بخش هوایی با حذف خاک ۱۴

Figure 4. Relationships between Cu-DTPA-TEA (20 min) and dry weight of shoot after removal of soil no 14.



شکل ۳- رابطه بین مس استخراجی با DTPA-TEA در ۱۰ دقیقه و وزن خشک بخش هوایی با حذف خاک ۱۴

Figure 3. Relationships between Cu-DTPA-TEA (10 min) and dry weight of shoot after removal soil no 14



شکل ۵- ضرایب همبستگی برخی شاخص های رشدی گیاه ذرت با مس استخراج شده به وسیله DTPA-TEA در زمان های مختلف

Figure 5. Correlation of coefficients (r) some characteristics of corn plant with Cu-DTPA-TEA in different time

1, 2 and 3 data number are dry weight, Cu concentration and shoot Cu content, respectively, 4 and 5 root Cu content and leaf chlorophyll index, respectively

نتیجه‌گیری کلی

داد که همبستگی مس استخراجی با عصاره‌گیر DTPA-TEA و شاخص‌های رشد ذرت در ساعات اولیه (۴۸ ساعت) روند افزایشی داشتند و در این میان بیشترین ضریب همبستگی بین مس استخراجی با DTPA-TEA و شاخص سبزینه برگ بود که می‌تواند به دلیل نقش مس در ساختار تیلاکوئیدهای موجود در برگ گیاه باشد.

سیاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تأمین هزینه تحقیق تشکر می‌شود. همچنین از کلیه داوران محترم این مقاله به دلیل ارائه نکته نظرات ارزشمند سپاسگزاریم.

در این پژوهش در ۲۱ خاک آهکی مورد مطالعه هیچ‌یک از عصاره‌گیرهای مورد بررسی همبستگی بالایی با شاخص‌های رشد ذرت نشان ندادند اما در نهایت عصاره‌گیر DTPA-TEA (Lindsay & Norvell, 1978) به عنوان عصاره‌گیری که بهتر از سایر عصاره‌گیرها عمل کرد، شناخته شد. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که مقدار مس استخراجی با عصاره‌گیر DTPA-TEA قرائت شده توسط دستگاه جذب اتمی با استاندارد حاوی محلول زمینه آب مقطر تقریباً دو برابر قرائت با استاندارد حاوی محلول زمینه DTPA-TEA بود و این امر اهمیت محلول زمینه DTPA-TEA را نشان می‌دهد. نتایج نشان

Reference

- Agricultural Statistics. 2013. The first volume of agricultural crops, 2012. Ministry of Agricultural Jihad, Vice Chancellor for of Planning and Economic, Center of Information and Communication Technology. 164p. (In Persian)
- Alva A.K., Hung B., and Paramasivam S. 2000. Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity. *Soil Science Society America Journal*, 64: 955-962.
- Allison L.E., and Moodie C.D. 1965. In: Black C.A. (Ed), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Carbonate*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 1379-1396.
- Bawer C.A., Reitemeier R.F., and Fireman M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soil. *Soil Science*, 73: 251-261.
- Benitez M.L., Pedraja V.M., Del Campillo M.C., and Torrent J. 2002. Iron chlorosis in olive in relation to soil properties. *Nutrient Cycling Agroecosystem*, 62: 47-52.
- Bernhard W., and Sperling M. 2008. Atomic Absorption Spectrometry. *John Wiley and Sons*.
- Black A., McLaren R.G., Reichman S.M., Speir T.W., and Condron M.L. 2011. Evaluation of soil metal bioavailability estimates using two plant species (*perenne* T. and *aestivum* L.) grown in a range of agricultural soils treated with biosolids and metal salts. *Environmental Pollution*, 159: 1523-1535.
- Brun L.A., Maillet J., Hinsinger P., and Pepin M. 2001. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils. *Environmental Pollution*, 111: 293-302.
- Correa R.N., Wanderley J.M., and Ferraciu Alleoni L.R. 2013. Testing extractants for Cu, Fe, Mn and Zn in tropical soil treated with sewage sludge for 13 consecutive years. *Water, Air, Soil Pollution*, 5: 224-1557.
- Del Campillo M.C., and Torrent J. 1992. A rapid acid-oxalate extraction procedure for the determination of active Fe-oxide forms in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 155: 437-440.
- De Santiago A., and Delgado A. 2006. Predicting iron chlorosis of lupin in calcareous Spanish soils from iron extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 70(6): 1945-1950.
- Drouineau G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol: Nouvelles donne es sur la se parathion et la nature des fractions calcaires. *Analysis of Agronomy*, 12: 441-450.
- Fageria N.K., and Barbosa Filho V.C. 2006. Identification and correction nutrient deficiencies in rice. Embrapa Arroz Feijao Circular number, 7 p.
- Feng M.H., Shan X.Q., Zhang S.Z., and Wen B. 2005. Comparison of a rhizosphere-based method with other onestep extraction methods for assessing the bioavailability of soil metals to wheat. *Chemosphere*, 59: 939-949.

- Fonseca A.F., Cairess E.F., and Barth G. 2010. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime. *Science Agriculture*, 67: 60-70.
- Gee G.W., and Or, D. 2002. Particle size analysis. Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. *Soil Science Society of America*, pp. 201-214.
- Havlin J.L., and Soltanpour P.N. 1981. Evaluation of NH_4HCO_3 -DTPA soil test for iron and zinc. *Soil Science Society of America Journal*, 45(1): 70-75.
- Haynes R.J., and Swift R.S. 1983. An evaluation of the use of DTPA and EDTA as extractants for micronutrients in moderately acid soils. *Plant and Soil*, 74(1): 111-122.
- Jones J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Cereals Research of Community Press, 384p.
- Kamkar B., Langerodi V., and Mohammadi R. 2012. Application of minerals in feeding of crops. Mashhad Jihad University press. (In Persian)
- Kocalkowski W.Z., Diatta J.B., and Grzebisz W. 1999. Evaluation of chelating agents as heavy metals extractants in agricultural soils under threat of contamination. *Polish Journal of Environmental Studies*, 3: 149-154.
- Lindsay W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons, New York. pp.449
- Lindsay W.L., and Cox F. 1985. Micronutrient soil testing for the tropic. In: Paul L., and Velk G. (Ed). Micronutrients In Tropical Food Crop Production. Spring Netherland, pp. 169-200.
- 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.
- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and Gypsum. Publications from USDA-Agricultural Research Service. University of Nebraska-Lincoln, 504p.
- Mafton M.V., Mohasseli N., Karimian and Ronaghi A.M. 2003. Laboratory and greenhouse evaluation of five chemical extractants for estimating available copper in selected calcareous soils of Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 1451-1463.
- Marchi G., Guilherme L.R.G., Lima J.M., Change A.C., and Fontes R.L. 2006. Adsorption/desorption of organic anions in Brazilian Oxisols. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 1367-1379.
- Marschner H. 1985. Mineral nutrition of higher plants. (2nd Ed). Academic Press. New York, NY, pp. 70-82.
- Menzies N.W., Donn M.J and Kopittke P.M. 2007. Evaluation of extractants for estimation of the phytoavailable trace metals in soils. *Environmental Pollution*, 145: 121-130.
- Motaghian H.R., Hossainpour A.R., Raeisi F., and Mohammadi J. 2013. Assessment of several extractants for determination of copper bioavailability to whet (*Triticum aestivum* L.) in sewage sludge-treated calcareous soils. *Ejgcst*, 4(15): 51-65. (In Persian)
- Motaghian H.R., and Hosain pour A.R. 2014. Assessment of several extractants for determination of copper bioavailability to bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sewage sludge-treated and non-sewage sludge-treated. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 17: 113-124. (In Persian)
- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1966. Total carbon, organic Chemical methods. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johanson G.T., and Summer M.E. (Ed). American Society of Agronomy. Madison, WI, pp. 961-1010.
- Ponnamperuma F.N., Cayton M.T., and Latin R.S. 1981. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soil. *Plant and Soil*, 61: 297-310.
- Richards L.K. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Agriculture Hand Book, Salinity laboratory Staffs. Department of Agriculture, pp. 69-72.
- Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L. Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 417-436.
- Sakal R., Singh A.P., and Singh S.P. 1988. Distribution of available zinc, copper, iron and manganese in old alluvial soils as related to certain soil characteristics. *Journal of Indian Society Soil Science*, 36: 59-63.

- Sandermann G., and Boger P. 1983. The enzymatological function of heavy metals and their role in the electron transfer processes of plants. *In: Lauchi A., and Bicleski R.L. (Ed). Encyclopedia of Plant Physiology, New Serve Vol 15. Berlin, pp. 563-596.*
- Sedberry J.E., Bligh D.P., and Eun M.Y. 1988 .An evaluation of chemical methods for extracting copper from rice soils. *Community of Soil Science and Plant Analysis*, 19: 1841–1857.
- Singh R.R and Prasad B. 1986. Selection of suitable extractant for predicting the response of barley (*Hordeum Vulgar L.*) to copper application in calcareous soils. *Plant and Soil*, 93: 211-222.
- Sims J.T., and Johnson G.V. 1991. Micronutrient soil tests. *In: Mortvedt J.J. (Ed). Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society America. Madison, WI, pp. 427- 476.*
- Sharma C.P. 1992. 25 years of micro- and secondary nutrients research in soils and plants. *Teach Bull. AICRP. Lucknow University. 184p.*
- Shahbazi K, and Besharati H. 2014. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. *Journal of Land Management*, 1 (1):1-17. (In Persian)
- Shikanai T., Muller-Moule P., Munekage Y., Niyogi K.K., and Pilon M. 2003. PPA1, a P-type ATPase of Arabidopsis, functions in copper transport in chloroplasts. *The Plant Cell*, 15: 1333-1346.
- Shorrocks V.M and Alloway B.J. 1988. Copper in plant, animal and human nutrition. *Copper Development Association Publication*, pp. 98-104.
- Slavek J., Wold J., and Pickering W.F. 1982. Selective extraction of metal ions associated with humic acids. *Talanta*, 29(9): 743–749.
- Soltanpour P.N., and Schwab A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micro-nutrients in alkaline soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8(3): 195-207.
- Tabandeh L., Mafton M., and Karimian N. 2008. Comparison of different chemical extractants to determination the available copper of rice in calcareous soils of Fars province. *Soil Research Journal of (soil and water science)*, 22(2): 189-201. (In Persian)
- Trier Weiler J.F and Lindsay W.L. 1969. EDTA-Ammonium carbonate soil test for zinc. *Soil Science of America*, 33: 49-53.
- Wang J.J., Harrell D.L., Henderson and Bell P.F. 2004. Comparison of soil-test extractants for phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, zinc, copper, manganese, and Iron in Louisiana soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 35(1 and 2): 145–160.
- Williams C., Nascimento A., Eduardo E., Severina R., and Leite P .2007. Effect of liming on the plant availability and distribution of zinc and copper among soil fractions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 545–560.

Evaluation of some Extraction Methods for Determination of Corn Available Copper in some Calcareous Soils of Iran

Adel Reyhanitabar¹, Elham Abdolmaleki²

(Received: May 2017 Accepted: March 2018)

Abstract

The effectiveness of different extraction methods for the prediction of available Cu concentration was studied in 21 calcareous surface soils (0-30 cm) in western Iran. The greenhouse experiment was conducted with single cross 704 (SC-704) cultivar of corn plant (*Zea mays* L.) with three replications. The leaf chlorophyll index, shoot dry weight and shoot Cu concentration were measured at the end of the growing period (after 60 days). Various extractants were applied for extraction of soil available Cu, including DTPA, AB-DTPA, AC-EDTA, Hydroxylamine Hydrochloride, and Ammonium Oxalate. According to results, extracted Cu by various extractants was insignificantly correlated with plant growth indices. However, significantly correlation was found between The Log DTPA-TEA-Cu and Log Root-Cu content. The highest (25.9 mg kg⁻¹) and the lowest (1.57 mg kg⁻¹) concentrations of extractable Cu was extracted with ammonium oxalate and DTPA-TEA respectively. The most significant correlation coefficient ($r=0.93^{**}$) was obtained between AB-DTPA and AC-EDTA extraction methods. Results revealed that the DTPA-TEA was the most effective Cu extractant in this study.

Keyword: Correlation coefficient, DTPA, Extractant, Single cross

Reyhanitabar A. and Abdolmaleki E. 2019. Evaluation of Some Extraction Methods for Determination of Corn Available copper in Some Calcareous Soils of Iran. *Applied Soil Research*, 7(2): 1-13.

1- Associate Prof., Department of Soil Science, University of Tabriz.

2- MSc. Graduate, Department of Soil Science, University of Tabriz.

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