توزیع شکل‌های مختلف روی و ارتباط آنها با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی استان تهران

عادل ریحانی تبار[۱]، نجفعلی کریمیان[۲]، محمد معزاردلان[۱]، غلامرضا ثواقبی[۱] و محمدرضا قنادها[۱]

چکیده

شناخت شکل‌های مختلف روی در خاک، اطلاعات مفیدی برای ارزیابی وضعیت روی و نیز حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در اختیار می‌گذارد. به منظور کسب چنین اطلاعاتی، روی کل و توزیع آن در شکل‌های مختلف در ۲۰ نمونه خاک استان تهران به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای تعیین و رابطه این شکل‌ها با یکدیگر و با ویژگی‌های خاک مطالعه شد. میزان روی کل ۷۰ تا ۱۶۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. به طور متوسط روی متصل به مواد آلی کمتر از ۰/۱، محلول + تبادلی ۰/۱، متصل به اکسیدهای منگنز ۰/۹، متصل به کربنات‌ها ۱/۶، متصل به اکسیدهای آهن متبلور ۳/۸، متصل به اکسیدهای آهن بی شکل ۴/۲، و روی تتمه ۸۹/۳ درصد مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده را تشکیل می‌داد. ضریب هم‌بستگی pH با تمام شکل‌های روی (به استثنای شکل متصل به مواد آلی) منفی و معنی‌دار بود. درصد رس و سیلت با روی کل، تتمه، و متصل به اکسیدهای آهن متبلور هم‌بستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. رابطه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک فقط با روی کل معنی‌دار بود. هم‌بستگی درصد کربنات کلسیم معادل تنها با شکل‌های محلول+ تبادلی، متصل به اکسیدهای منگنز و اکسیدهای آهن بی شکل معنی‌دار به‌دست آمد. روی عصاره‌گیری شده با DTPA با شکل‌های محلول+ تبادلی، کربناتی و متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و متبلور هم‌بستگی معنی‌دار نشان داد. شکل‌های مختلف روی بین خود دارای هم‌بستگی معنی‌داری بودند که احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین آنها در خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شکل‌های روی، خاک‌های آهکی، عصاره‌گیری دنباله‌ای، خاک‌های استان تهران

مقدمه

روی از عناصر ضروری گیاه است که نقش‌های متابولیکی زیادی را در گیاه ایفا می‌کند. از مهم‌ترین آنها حضور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها مانند هیدروژنازها، پروتئینازها، پپتیدازها و فسفوهیدرولازها می‌باشد (۱۳). کمبود روی یکی از شایع‌ترین کمبودهای عناصر غذایی کم مصرف در خاک‌های آهکی و قلیایی به حساب می‌آید. علت اصلی آن اغلب نه کمی مقدار کل، بلکه کمی قابلیت استفاده شکل‌های عنصر در این

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استادیار و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

خاک‌هاست. هنگامی که کودهای شیمیایی یا آلی حاوی روی برای رفع کمبود به خاک افزوده می‌شود بازیابی ظاهری آن غالباً کمتر از ۵ درصد است که این موضوع نشان‌دهنده ظرفیت زیاد خاک‌های آهکی برای ابقای روی است (۱ و ۲).

در مطالعات مربوط به خاک - گیاه، اطلاع از توزیع عناصر کم مصرف بین اجزای خاک، برای درک شیمی آنها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در شناخت بر همکنش آنها با ریشه‌های گیاه در ریزوسفر کمک زیادی می‌کند. لذا آگاهی از شکل‌های شیمیایی روی نیز در فهم شیمی آن در خاک و هم‌چنین در درک جنبه‌های حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه از نظر این عنصر اهمیت دارد.

روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای (Sequential extraction) گوناگونی برای جداسازی شکل‌های عناصر کم‌مصرف و از جمله روی در خاک‌ها و رسوب‌ها ابداع شده است (۵، ۶، ۱۳، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵، ۲۹، ۳۰). اما این روش‌ها استاندارد شده نیستند و هر محقق از روش خاص خود یا از اصلاح شده یا توسعه یافته روش‌های دیگران استفاده می‌کند. استوور و همکاران (۲۹) شکل‌های مختلف عناصر کم مصرف در رسوبات را به‌صورت تبادلی، متصل به مواد آلی، متصل به کربنات‌ها و متصل به سولفیدها نام‌گذاری کردند. تسیر و همکاران (۳۰) شکل‌های عناصر کم مصرف خاک را تبادلی، متصل به مواد آلی، متصل به کربنات‌ها، متصل به اکسیدهای آهن و یا منگنز و تتمه فرض کردند.

شومن (۲۲) در خاک‌های اسیدی برای عصاره‌گیری دنباله‌ای روشی را ارائه داد که در آن جزء متصل به کربنات‌ها وجود نداشت. علت این امر اسیدی بودن خاک‌های مورد مطالعه ایشان و کم اهمیت بودن جزء کربناتی بود. علاوه بر در نظر نگرفتن جزء عناصر کم مصرف متصل به کربنات‌ها، دو ایراد مهم دیگر هم به روش شومن توسط محققان وارد شد. نخست آن‌که در روش شومن برای عصاره‌گیری جزء متصل به مواد آلی، آب اکسیژنه (H_2O_2) پیشنهاد شده بود که علاوه بر جزء یاد شده باعث انحلال اکسیدهای منگنز هم می‌شود. این مشکل باعث می‌شد که در صورت استفاده از روش شومن در خاک‌های با اکسیدهای منگنز فراوان جزء متصل به مواد آلی بیش از مقدار واقعی به‌دست آید. شومن (۲۴) برای رفع این ایراد یک اکسید کننده دیگر یعنی هیپوکلریت سدیم (NaOCl) را جانشین آب اکسیژنه کرد. دومین ایراد به روش شومن این بود که اکسیدهای آهن متبلور با استفاده از دی‌تیونایت‌سدیم ($Na_2S_2O_4$)حل نشده و عناصر کم مصرف به‌صورت سولفید رسوب می‌کردند. شومن (۲۳) برای حل این مشکل اسیدآسکوربیک ($C_6H_8O_6$) و اسیداگزالیک ($C_2H_2O_4$) را برای اکسیدهای آهن متبلور پیشنهاد نمود. البته چائو (۵) یک عصاره‌گیر بسیار اختصاصی برای اکسیدهای منگنز یعنی هیدروکسیلامین هیدروکلرید ($NH_2OH.HCl$)در pH= ۲ را پیشنهاد کرده بود.

به طور کلی همان‌گونه که ملاحظه شد، محققان مختلف برای جداسازی شکل‌های مختلف عناصر کم مصرف و از جمله عنصر روی از مواد گوناگونی استفاده کرده‌اند و تاکنون هم یک روش استاندارد و برتر برای همه خاک‌ها ابداع نشده است. ولی برای عصاره‌گیری عناصر کم مصرف در شکل‌های مختلف معمولاً از عصاره‌گیرهای زیر استفاده می شود: برای شکل محلول+ تبادلی از استات آمونیوم (CH_3COONH_4) یک مولار (۹) کلریدمنیزیم ($MgCl_2$)یک مولار (۲۲)، نیترات منیزیم $\{Mg(NO_3)_2\}$ یک مولار (۲۵) و نیترات سرب $\{Pb(NO_3)_2\}$ ۰/۰۵ مولار (۱۵). برای فلزات متصل به کربنات‌ها، استات سدیم (CH_3COONa) عموماً توصیه شده است (۳۰). برای شکل آلی عناصر کم مصرف تاکنون از مواد گوناگونی از جمله آب اکسیژنه (H_2O_2) (۹ و ۲۲)، پیروفسفات پتاسیم ($K_4P_2O_7$) (۱۴) و هیپوکلریت سدیم (NaOCl) (۲۵) استفاده شده است. چائو (۵) برای انحلال فلزات متصل به اکسیدهای منگنز، محلول $NH_2OH.HCl$ در pH= ۲ را پیشنهاد کرد.

برای استخراج شکل‌های متصل به اکسیدهای بی شکل آهن و آلومینیوم، محلول اسیدی اگزالات آمونیوم و محلول ۰/۲۵ MHCl + ۰/۲۵ M $NH_2OH.HCl$ پیشنهاد گردید (۲۴و ۲۵). برای استخراج فلزات متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

میلر (۱۵) اگزالات آمونیوم و شومن (۲۵) محلول اگزالات آمونیوم در محلول ۰/۱ مولار اسید آسکوربیک را پیشنهاد دادند. برای شکل‌های تتمه و کل هم اسیدهای فلوریدریک (HF)، و پرکلریک ($HClO_4$) پیشنهاد شد (۹).

باید توجه داشت که انتخاب یک عصاره‌گیر برای استخراج یک شکل ویژه از یک فلز از خاک نه تنها نسبت به‌دست آمده برای آن فلز در بین شکل‌های گوناگون بلکه مقدار کل به‌دست آمده آن عنصر در آن شکل را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا تا حد ممکن باید دقت شود از عصاره‌گیرهایی استفاده گردد که فقط شکل ویژه یک عنصر را تحت تأثیر قرار دهند. به‌عنوان مثال در استخراج شکل تبادلی، کلرید منیزیم یا نیترات منیزیم بر استات آمونیوم ترجیح داده می‌شود. زیرا استات آمونیوم ممکن است سبب انحلال شکل‌های کربناته نیز بشود.

توزیع شکل‌های روی در خاک‌های مختلف به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت است و تأثیر خواص خاک بر توزیع عناصر کم مصرف از جمله روی به‌وسیله محققان بسیاری گزارش شده است (۲، ۱۱ ،۱۵ و ۱۶). اینگر و همکاران (۱۱) گزارش کردند که در ۱۹ خاک مورد مطالعه آنان، شکل‌های مختلف روی از نظر مقدار از تغییرات زیادی برخوردار بودند و اکثر روی کل را روی تتمه و روی متصل به اکسیدهای آهن تشکیل می‌دادند، روی محلول + تبادلی، روی متصل به مواد آلی و روی متصل به اکسیدهای منگنز نیز به‌ترتیب ۰/۴، ۲/۵ و ۲ درصد روی کل را تشکیل می‌دادند (۱۱). آنان هم‌چنین گزارش کردند که روی محلول + تبادلی در تمام خاک‌ها با کاهش pH خاک‌ها، افزایش می‌یافت و روی متصل به مواد آلی با افزایش کربن آلی و pH خاک افزایش می یافت. روی متصل به اکسیدهای منگنز با افزایش pH و منگنز آزاد افزایش می‌یافت و روی متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم هم بیشتر با آلومینیوم آزاد هم‌بستگی نشان می‌داد تا با آهن آزاد. روی تتمه هم با میزان رس خاک هم‌بستگی داشت.

سینگ و همکاران (۲۶) گزارش کردند که ۸۲ درصد روی کل را روی تتمه و ۷ درصد روی آن را روی متصل به اکسیدهای آهن بی شکل (آمورف) تشکیل می‌دهد. هم‌چنین روی متصل به اکسیدهای آهن بی شکل نیز ۵ درصد بوده و میزان روی متصل به مواد آلی هم کمتر از یک درصد می‌باشد. آنان روی متصل به کربنات‌ها و روی محلول + تبادلی را به ترتیب ۲ درصد و ۲ درصد گزارش کردند. ایشان علت پایین بودن روی متصل به مواد آلی را به پایین بودن میزان ماده آلی در خاک‌های مورد مطالعه نسبت داده و گزارش کردند که روی تبادلی فقط با آهن آزاد، روی متصل به ماده آلی فقط با میزان شن و رس، روی متصل به اکسیدهای منگنز به‌طور منفی با pH و به‌طور مثبت با منگنز و آهن آزاد و روی تتمه با میزان سیلت و رس و مواد آلی هم‌بستگی مثبت و با شن هم‌بستگی منفی نشان داد ولی با pH هم‌بستگی معنی‌داری نداشت.

نیلسن و همکاران (۱۷) توزیع شکل‌های مختلف روی را در خاک‌های ایالت بریتیش کلمبیا در کانادا بررسی کرده و گزارش کردند که میزان روی کل از ۵۱/۵ تا۲۲۶/۳ با میانگین ۸۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند. عصاره‌گیری دنباله‌ای نشان داد که ۰/۳ تا ۲۳/۲ درصد روی کل به صورت محلول+ تبادلی بوده، ۰/۵ تا ۲۹/۷ درصد به مواد آلی ، ۱/۳ تا ۱۵ درصد به اکسیدهای آهن و آلومینیوم متصل بوده و ۴۵/۶ تا ۹۲ درصد به صورت تتمه بود. آنان هم‌چنین گزاش کردند که ۶/۴ تا ۲۴ درصد روی خاک به اکسیدهای منگنز متصل بود و به استثنای روی متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مقادیر روی در تمام شکل‌ها با روی کل هم‌بستگی مثبت معنی‌دار نشان می‌دهد. روی تبادلی و متصل به مواد آلی با pH و روی تتمه هم‌بستگی منفی نشان می‌داد. بنابراین چنین نتیجه‌گیری کردند که با اسیدی شدن خاک، روی از شکل تتمه به شکل تبادلی و متصل به مواد آلی تبدیل می‌شود.

در ایران گزارش‌های منتشر شده زیادی از توزیع شکل‌های روی در دسترس نیست. قانع و کریمیان (۲) توزیع شکل‌های مختلف روی در خاک‌های آهکی استان فارس و رابطه آنها را با ویژگی‌های خاک بررسی نموده و گزارش کردند که میزان شکل‌های مختلف روی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشته و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

میانگین آنها از ترتیب زیر برخوردار است:

تبادلی < آلی < متصل به اکسیدهای آهن بی شکل < متصل به آهن متبلور< کربناتی << تتمه

یثربی و همکاران (۳۲) نیز در خاک‌های آهکی استان فارس ترتیب زیر را گزارش کردند:

آلی < تبادلی < جذبی < کربناتی <<< تتمه

هم‌چنین قانع و کریمیان (۲) گزارش کردند که روی قابل استخراج با دی تی پی اِ (DTPA) فقط با شکل تبادلی روی، هم‌بستگی معنی‌داری دارد و نتیجه گرفتند که در خاک‌های استان فارس روی قابل استفاده برای گیاه عمدتاً از شکل تبادلی تشکیل یافته است. آنان هم‌چنین اعلام کردند که شکل تبادلی روی با ظرفیت تبادل کاتیونی، شکل آلی روی با مقدار رس و مقدار ماده آلی موجود در خاک و روی متصل به اکسیدهای منگنز با مقدار منگنز موجود در خاک هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری نشان می‌دهد. یثربی و همکاران (۳۲) هم گزارش کردند که مجموع غلظت روی در شکل‌های تبادلی، آلی و جذب ویژه کمتر از ۵ درصد روی کل می‌باشد.

اهداف پژوهش حاضر عبارت بودند از:

۱. ارزیابی توزیع شکل‌های روی در شماری از خاک‌های تحت کشت استان تهران.

۲. برآورد هم‌بستگی بین این شکل‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها.

۳. به‌دست آوردن معادله‌هایی برای پیش‌بینی شکل‌های مختلف روی با بهره‌گیری از ویژگی‌های خاک.

مواد و روش‌ها

بیست نمونه خاک از افق سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) نقاط مختلف استان تهران که دارای دامنه نسبتاً وسیعی از نظر ویژگی‌های خاکی بودند، انتخاب و پس از خشک کردن در هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری، رس و سیلت (۸)، pH (۲۱)، ماده آلی (۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۷)، کربنات کلسیم معادل (۴)، و روی قابل استخراج با DTPA (۱۲) آنها اندازه‌گیری شد. نام سری، رده‌بندی و سایر ویژگی‌های این خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق گفته کشاورزان مربوط در این خاک‌ها هیچ‌گاه از کود روی استفاده نشده است.

برای جداسازی و تعیین شکل‌های شیمیایی روی در خاک از روش سینگ و همکاران (۲۶) استفاده شد که خود تلفیقی از روش‌های پیشنهادی تسیر و همکاران (۳۰)، شومن (۲۵)، و چائو (۵) می‌باشد. این روش روی را به شکل‌های تبادلی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی‌شکل، اکسیدهای آهن متبلور و تتمه جدا می‌کند. علاوه بر آن روی کل خاک‌ها نیز با هضم نمونه جداگانه در HF و $HClO_4$ به روش تسیر (۳۰) اندازه‌گیری شد. خلاصه مراحل عصاره‌گیری به روشی که در پژوهش حاضر به‌کار رفته در جدول ۲ نشان داده شده است. در هر مرحله، غلظت روی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل شیمادزو AA-670 اندازه‌گیری شد. استانداردهای روی در محلول‌هایی که از نظر ترکیب و غلظت تقریباً مشابه عصاره‌گیرهای هر مرحله بود تهیه گردید.

مطالعات آماری شامل ضرایب هم‌بستگی خطی و رگرسیون چند متغیره گام به گام (Stepwise) با استفاده از نرم افزار SPSS (۲۷) صورت گرفت.

نتایج و بحث

بر پایه جدول ۱ در خاک‌های مورد مطالعه pH بین ۶/۹۰ تا ۷/۹، سیلت بین ۱۰ تا ۴۰/۶ درصد، رس بین ۱۰/۶ تا ۴۱ درصد، کربنات کلسیم معادل بین ۴/۶ تا ۲۲/۸ درصد بوده و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)آنها از ۸/۳ تا ۳۲ سانتی مول بار بر کیلوگرم می‌باشد.

توزیع شکل‌های روی در جدول ۳ نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که چون روی کل خاک‌ها از هضم نمونه‌های جداگانه در اسیدهای مربوط اندازه‌گیری می‌شود، جمع شکل‌های اندازه‌گیری شده لزوماً با مقدار کل روی مساوی نیست. به‌طور میانگین روی متصل به ماده آلی کمتر از ۰/۱،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	نام سری	رده بندی	سیلت ٪	رس ٪	pH	٪ OC	٪ CCE	CEC $cmol_{(+)}kg^{-1}$
۱	کوشکک	Entisols	۳۲/۵	۳۲/۵	۷/۴	۰/۸۲	۸/۰	۱۶/۴
۲	سعیدآباد	Entisols	۲۳/۸	۱۰/۶	۷/۶	۰/۹۲	۴/۶	۱۲/۴
۳	احمدآباد مستوفی	Aridisols	۱۸/۵	۲۲/۶	۷/۶	۰/۸۲	۷/۲	۱۹/۲
۴	کرد امیر	Aridisols	۳۰/۹	۳۰/۸	۷/۶	۱/۱۲	۱۳/۶	۱۶/۳
۵	مزرعه دانشکده کشاورزی	Entisols	۲۱/۱	۲۵/۳	۷/۹	۱/۹۹	۶/۲	۱۷/۷
۶	دماوند ۱ آبسرد	Entisols	۲۲/۵	۲۱/۵	۷/۶	۱/۲۳	۸/۸	۱۵/۳
۷	چیتگر	Entisols	۲۷/۲	۱۸/۸	۷/۱	۰/۹۲	۹/۸	۲۴/۶
۸	بومهن	Entisols	۲۸/۸	۱۳/۴	۷/۸	۱/۳۱	۱۲/۵	۳۰/۰
۹	دماوند ۲ سربندان	Entisols	۳۰/۱	۲۰/۰	۷/۵	۰/۴۴	۱۰/۸	۱۴/۲
۱۰	فیروزکوه ۱	Entisols	۳۳/۰	۳۰/۷	۷/۴	۱/۵۰	۲۲/۸	۲۰/۲
۱۱	بابا سلمان	Aridisols	۳۷/۵	۳۰/۵	۷/۵	۱/۸۹	۹/۵	۲۵/۹
۱۲	وردآورد	Entisols	۳۸/۶	۲۰/۳	۷/۷	۲/۴۷	۸/۲	۱۹/۸
۱۳	یافت‌آباد	Aridisols	۳۷/۱	۱۶/۵	۷/۵	۰/۷۳	۳/۸	۱۴/۸
۱۴	دماوند ۳	Entisols	۳۴/۰	۴۱/۰	۷/۶	۰/۹۲	۹/۴	۱۹/۲
۱۵	رودهن ۲	Entisols	۲۸/۳	۱۳/۴	۷/۴	۰/۶۳	۱۹/۴	۳۲/۰
۱۶	آبیک	Aridisols	۱۰/۰	۲۰/۰	۷/۵	۱/۲۱	۱۷/۰	۸/۳
۱۷	فیروزکوه ۲	Entisols	۴۰/۶	۳۶/۳	۷/۳	۰/۷۳	۹/۰	۱۹/۶
۱۸	کرج ۱	Entisols	۳۲/۳	۴۰/۳	۶/۹	۳/۲۰	۴/۸	۳۰/۰
۱۹	کرج ۲	Entisols	۲۶/۵	۱۴/۲	۷/۷	۰/۶۳	۱۰/۸	۱۷/۰
۲۰	آبیک ۲	Aridisols	۱۵/۶	۱۶/۰	۷/۹	۰/۵۰	۱۴/۰	۱۶/۱
	میانگین	–	۲۸/۴	۲۳/۶	۷/۵	۱/۲۵	۱۰/۵	۱۹/۵

OC = کربن آلی CCE = کربنات کلسیم معادل، CEC = ظرفیت تبادل کاتیونی

جدول ۲. خلاصه روش عصاره‌گیری دنباله‌ای و مشخصات شکل روی استخراج شده در روش سینگ و همکاران (۲۶)

شکل شیمیایی روی	علامت	مدت تکان دادن (ساعت)	عصاره‌گیر	میلی‌لیتر عصاره‌گیر برای ۲/۵ گرم خاک
محلول + تبادلی	ZnEx	۲	1M $Mg(NO_3)_2$	۱۰
کربناتی	ZnCar	۵	1M NaOAc+ CH_3COOH (pH=5)	۱۰
آلی	ZnOM	۰/۵	0.7M NaOCl (pH=8.5)	۵*
متصل به اکسیدهای منگنز	ZnMnox	۰/۵	1M $NH_2OH.HCl$ +HNO_3 (pH=2)	۲۵
متصل به اکسیدهای آهن بی شکل	ZnAFeox	۰/۵	0.25M $NH_2OH.HCl$ +0.25M HCl	۲۵
متصل به اکسیدهای آهن متبلور	ZnCFeox	۰/۵	0.2M$(NH_4)_2C_2O_4$ +0.2M $H_2C_2O_4$ +0.1M $C_5H_8O_5$ (pH=3)	۲۵
تتمه	ZnRes	××	HF+HClO4+ HNO_3	۱۰۰**

*: دو مرتبه عصاره‌گیری می‌شود.

** : دو بار در مخلوط $HClO_4$:HF ۱:۵ غلیظ تا خشک شدن حرارت داده شده و سپس در HNO_3 غلیظ حل و به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود. برای تفصیل به تسیر و همکاران (۲۳) مراجعه شود. علاوه بر شکل‌های یاد شده در جدول، روی کل نمونه‌ها نیز به‌طور جداگانه به روش تسیر و همکاران (۲۳) اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

جدول ۳. توزیع شکل‌های روی ($mg\ kg^{-1}$) در خاک‌های مورد مطالعه*

شماره خاک	ZnEx	ZnCar	ZnOM	ZnMnox	ZnAFeox	ZnCFeox	ZnRes	روی کل
۱	۰/۲۰	۱/۱۱	۰/۰۴	۰/۶۵	۴/۳۸	۴/۷۶	۱۰۳/۷	۱۰۸/۵
۲	۰/۱۸	۱/۶۹	۰/۰۳	۱/۰۰	۳/۳۰	۳/۶۱	۹۳/۲	۹۴/۸
۳	۰/۱۸	۱/۷۵	۰/۰۵	۰/۹۵	۴/۵۰	۳/۴۰	۱۰۳/۳	۱۰۴/۷
۴	۰/۰۸	۰/۹۰	۰/۱۴	۰/۴۴	۶/۷۰	۴/۶۱	۹۱/۱	۹۵/۰
۵	۰/۱۰	۱/۲۰	۰/۰۶	۰/۷۵	۳/۶۱	۳/۴۰	۹۱/۴	۹۸/۰
۶	۰/۱۳	۲/۲۸	۰/۱۰	۱/۷۰	۴/۹۰	۶/۳۳	۹۸/۳	۹۹/۳
۷	۰/۳۰	۵/۵۰	۰/۰۶	۱/۹۵	۱۰/۱۶	۴/۹۸	۱۱۲/۳	۱۲۹/۶
۸	۰/۰۵	۱/۱۰	۰/۱۷	۰/۵۵	۳/۵۰	۲/۲۶	۹۳/۲	۹۶/۷
۹	۰/۰۵	۱/۱	۰/۰۸	۰/۸۶	۲/۸۶	۳/۷۵	۱۰۳/۰	۱۰۴/۰
۱۰	۰/۰۴	۰/۹۲	۰/۰۷	۰/۵۰	۱/۵۰	۶/۱۲	۱۳۳/۶	۱۲۸/۸
۱۱	۰/۱	۰/۸۰	۰/۰۵	۰/۷۱	۳/۲۱	۵/۷۵	۹۳/۲	۹۸/۰
۱۲	۰/۰۷	۳/۸۰	۰/۱۲	۱/۳۰	۹/۵۵	۷/۳۰	۱۲۹/۶	۱۲۹/۳
۱۳	۰/۱۰	۲/۲۰	۰/۰۵	۱/۲۰	۴/۷۵	۳/۵۶	۱۰۶/۶	۱۰۹/۷
۱۴	۰/۱۲	۰/۸۵	۰/۰۳	۰/۷۵	۵/۰۷	۵/۰۸	۱۴۵/۴	۱۵۰/۷
۱۵	۰/۰۵	۰/۷۰	۰/۱۰	۰/۶۰	۱/۸۴	۳/۳۶	۹۵/۸	۹۹/۳
۱۶	۰/۰۷	۰/۷۶	۰/۰۷	۰/۴۲	۱/۱۰	۳/۶۰	۶۶/۶	۷۰/۰
۱۷	۰/۱۰	۱/۹۱	۰/۱۰	۱/۲۰	۵/۱۰	۵/۱۵	۹۲/۹	۱۱۱/۸
۱۸	۰/۲۴	۷/۴۰	۰/۰۶	۴/۷۵	۱۸/۱۰	۷/۷۰	۱۷۴/۳	۱۶۹/۹
۱۹	۰/۲۰	۰/۸۰	۰/۰۷	۰/۶۰	۲/۱۴	۳/۱۵	۱۰۵/۱	۱۰۷/۶
۲۰	۰/۰۴	۰/۷۰	/۰۷	۰/۳۶	۲/۷۱	۲/۲۰	۷۳/۴	۸۰/۰
میانگین ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۱۲	۱/۸۷	۰/۰۸	۱/۰۶	۴/۹۵	۴/۵۰	۱۰۵/۳	۱۰۹/۳
نسبی# (٪)	۰/۱۰	۱/۵۹	۰/۰۷	۰/۹۰	۴/۲۰	۳/۸۲	۸۹/۳	–

* : برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۲ مراجعه شود.

: نسبت به مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

محلول + تبادلی حدود ۰/۱، متصل به اکسیدهای منگنز حدود ۱، متصل به کربنات‌ها ۱/۶ ، متصل به اکسیدهای آهن متبلور ۳/۸ ، متصل به اکسیدهای آهن بی شکل ۴/۲ ، و تتمه حدود ۸۹/۳ درصد مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده را تشکیل می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت در خاک‌های مورد مطالعه میانگین شکل‌های مختلف روی دارای ترتیب زیر است:

متصل به مواد آلی < محلول + تبادلی < متصل به اکسیدهای منگنز < متصل به کربنات ها < متصل به اکسیدهای آهن متبلور < متصل به اکسیدهای آهن بی شکل << تتمه.

این یافته که بیشترین میزان شکل روی در خاک‌های استان تهران به صورت روی تتمه وجود دارد با گزارش قانع و کریمیان (۲) و یثربی و همکاران (۳۲) از استان فارس مطابقت می‌کند. هرچند که آنان گزارش کردند که شکل کربناتی روی بعد از شکل تتمه، شکل غالب می‌باشد. در حالی که در تحقیق حاضر شکل کربناتی از نظر مقدار بعد از تتمه، متصل به اکسیدهای آهن بی شکل و متصل به اکسیدهای آهن متبلور یعنی در رتبه چهارم قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد دلیل احتمالی این امر تفاوت در میزان کربنات کلسیم معادل در خاک‌های این دو استان است. در خاک‌های آهکی استان فارس کربنات کلسیم معادل به مراتب بیشتر از استان تهران است (۳۲). شکل آلی روی در تحقیق حاضر کمترین مقدار را به خود اختصاص داد که علت این امر پایین بودن مواد آلی در خاک‌های مورد بررسی و احتمالاً متفاوت بودن اجزا و ترکیبات مواد آلی در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد. این یافته با نتایج سینگ و همکاران (۲۶) از هندوستان مطابقت می‌کند که اعلام کردند روی متصل به مواد آلی کمتر از همه شکل‌های روی بوده و کمتر از ۱ درصد روی کل را تشکیل می‌دهد. البته درباره اثر مواد آلی بر نگه‌داری (ابقا) روی به‌وسیله خاک، گزارش‌های متناقضی ارائه شده است و توافق قطعی در این باره وجود ندارد. هارتر (۱۰) عقیده دارد که علت گزارش‌های ضد و نقیض درباره اثر مواد آلی بر جذب روی به‌وسیله خاک، عدم توجه به اندازه‌گیری اجزای مواد آلی یعنی هومین، اسید هومیک و اسید فولویک می‌باشد، زیرا درصد این اجزا در مواد آلی خاک‌های مختلف متفاوت است. بنابراین بر حسب این‌که ماده آلی خاک دارای جزء محلول یا نامحلول بیشتری باشد می‌تواند نقش متفاوتی در مقدار نگه‌داری روی به‌وسیله خاک‌ها بازی کند. ناگونوما و همکاران (۱۶) گزارش دادند که با افزایش pH ، بر اثر حل شدن مواد آلی، روی وارد فاز محلول خاک می‌شود. بنابراین روی متصل به مواد آلی می‌تواند تحت تأثیر pH خاک قرار گیرد. به نظر می‌رسد که اهمیت مواد آلی خاک در نگه‌داری روی نسبت به کاتیون‌های فلزی دیگر مثلاً مس و کادمیم کمتر است، زیرا میل ترکیبی روی با مواد آلی نسبت به کاتیون‌های فلزی دیگر پایین‌تر می‌باشد (۱۰).

همان‌طور که از میانگین شکل‌های مختلف روی دیده می‌شود (جدول ۳)، روی متصل به اکسیدهای آهن بی شکل از روی متصل به اکسیدهای آهن متبلور بیشتر است. اوکازاکی و همکاران (۱۸) نیز گزارش کرده‌اند که درجه تبلور هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم در مقدار جذب کاتیون‌های فلزی مؤثر است و با کاهش درجه تبلور ظرفیت آنها برای نگه‌داری کاتیون‌های فلزی از جمله روی افزایش می‌یابد.

در جدول‌های ۴ و ۵ هم‌بستگی شکل‌های مختلف روی با ویژگی‌های خاک‌ها، و با یکدیگر ارائه گردیده است. از میان این خواص pH خاک‌ها با همه شکل‌های روی به استثنای روی آلی هم‌بستگی منفی معنی‌دار نشان می‌دهد. این موضوع نشانگر آنست که با تغییر pH همگی این شکل‌ها محتملاً تحت تأثیر قرار گرفته و به یکدیگر تبدیل می‌شوند. به‌ویژه شکل تتمه ممکن است براثر تغییر pH و اسیدی شدن خاک‌ها به شکل‌های دیگر تبدیل شود. در معادلات رگرسیون خطی و چند متغیره (جدول ۶) هم pH با ضریب منفی در تمام معادلات مربوط به شکل‌های مختلف روی به استثنای روی کل و تتمه وارد شده است. این‌که pH خاک‌ها علی‌رغم داشتن ضریب هم‌بستگی معنی‌دار با روی کل و تتمه در معادلات رگرسیون خطی این دو شکل روی وارد نشده است احتمالاً بیانگر این نکته است که این هم‌بستگی تحت تأثیر هم‌بستگی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

جدول ۴. ضریب‌های هم‌بستگی (r) ساده بین شکل‌های مختلف روی و ویژگی‌های خاک[۱]

ویژگی‌های خاک	ZnEx	ZnCar	ZnOM	ZnMnox	ZnAFeox	ZnCFeox	ZnRes	روی کل
PH	−۰/۴۹*	−۰/۶۶**	−۰/۱۳	−۰/۶۸**	−۰/۵۹**	−۰/۵۵*	−۰/۵۵*	−۰/۶۰**
رس	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۶۴**	۰/۵۴*	۰/۵۸**
سیلت	−۰/۰۲	۰/۲۰۷	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۴۷*	۰/۵۱**	۰/۵۷**
کربن آلی	۰/۱۷	۰/۵۸**	۰/۲۲	۰/۶۴**	۰/۶۲**	۰/۷۷**	۰/۵۱*	۰/۴۳
کربنات کلسیم معادل	−۰/۵۱*	۰/۴۳	−۰/۰۱	−۰/۴۶*	−۰/۴۷*	−۰/۲۰	−۰/۲۱	−۰/۲۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰/۳۵	۰/۳۶	−۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۲۰	۰/۴۱	۰/۴۴*
روی قابل استخراج با DTPA	۰/۵۲*	۰/۶۱**	−۰/۱۴	۰/۳۶	۰/۴۷*	۰/۴۴*	۰/۲۶	۰/۳۴

۱ : برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۲ مراجعه شود.

* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵. ضریب های هم‌بستگی (r) ساده بین شکل‌های مختلف روی در خاک‌های مورد مطالعه[۱]

شکل‌های روی	ZnEx	ZnCar	ZnOM	ZnMnox	ZnAFeox	ZnCFeox	ZnRes	روی کل
ZnEx	۱	۰/۶۲**	−۰/۲۰	۰/۵۶*	۰/۵۵*	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۴۳
ZnCar		۱	۰/۱۲	۰/۹۲**	۰/۹۳**	۰/۶۱**	۰/۶۴**	۰/۶۸**
ZnOM			۱	۰/۱۳	۰/۱۵	−۰/۰۲	−۰/۰۳	−۰/۰۳
ZnMnox				۱	۰/۹۰*	۰/۶۲**	۰/۶۹**	۰/۶۹**
ZnAFeox					۱	۰/۶۵**	۰/۷۰**	۰/۷۴**
ZnCFeox						۱	۰/۶۹**	۰/۶۸**
ZnRes							۱	۰/۹۷**
روی کل								۱

۱ : برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۲ مراجعه شود.

* و ** : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

سایر شکل‌های روی به‌وجود آمده و pH خاک‌ها تأثیر مستقیمی بر این دو شکل روی ندارد.

درصد سیلت و رس با روی کل، روی تتمه، و روی متصل به اکسیدهای آهن متبلور هم‌بستگی معنی‌دار نشان داده‌اند (جدول ۴) ولی در معادلات رگرسیون خطی آنها تنها رس با ضریب مثبت وارد شده است و سیلت در هیچ‌یک از معادلات وارد نشده است (جدول ۵). این موضوع نشان می‌دهد که محتملاً روی تتمه و متصل به اکسیدهای آهن متبلور عمدتاً در کانی‌های هم اندازه رس موجود می‌باشد. دقت در داده‌های جدول ۳ نیز نشان می‌دهد که به طور کلی خاک‌های با رس بیشتر دارای روی کل و تتمه بیشتری می‌باشند. بنابراین می‌توان احتمال داد که این امر به علت وجود روی در ساختمان کانی‌های رسی این خاک‌ها باشد. این یافته با یافته‌های محققان مختلف (۱۱، ۱۷، ۲۵ و۲۶) مطابقت دارد. البته اثبات این موضوع به انجام آزمایش‌های بیشتر همراه با تشخیص نوع کانی‌ها نیاز دارد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

جدول ۶. معادلات رگرسیون ساده و چند متغیره بین شکل‌های روی و برخی ویژگی‌های خاک[1]

DTPAZn=۱/۸۹۵+۱/۷۶۷ZnCar-۲/۳۷۵ZnMnox	R^2=۰/۶۶۰**
ZnTotal=۴۹/۸۳۶+۱/۳۴Clay+۱/۴۳۴CEC	R^2=۰/۵۰۰**
ZnRes=۴۶/۶۵۸+۱/۳۱۳Clay	R^2=۰/۴۱۸**
ZnAFeox=۱۵/۰۱۹+۱/۱۹۶OC+۰/۴۷۸۶Clay-۱/۷۳۷pH	R^2=۰/۸۰۰**
ZnAFeox=۶۲/۵۲۲+۲/۲۴۱OC-۷/۶pH-۰/۲۸۵CCE	R^2=۰/۷۱۵**
ZnMnox=۱۸/۰۷-۲/۲۶۴pH+۰/۵OC-۰/۶۷CCE	R^2=۰/۸۱۶**
ZnCar=۳۲/۸۸۶-۲/۴pH+۰/۸۸OC+۰/۱۱۹CCE	R^2=۰/۷۳۳**
ZnEx=۱/۳۲۱-۰/۱۴۹pH-۰/۰۷۷CCE	R^2=۰/۴۹۰**

۱ : برای شرح علامت‌های اختصاری شکل‌ها به جدول ۲ مراجعه شود.

**: معنی‌دار در سطح یک درصد

CCE = کربنات کلسیم معادل(٪) Clay = رس (٪) O.C = کربن آلی (٪) ZnTotal = روی کل ($mg\ kg^{-1}$).

هیچ‌یک از ویژگی‌های خاک (از جمله کربن آلی) با روی متصل به مواد آلی هم‌بستگی معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴) و معادله رگرسیون معنی‌داری هم بین روی متصل به مواد آلی و خواص خاک به دست نیامد (جدول ۶). برای عدم مشاهده هم‌بستگی روی متصل به مواد آلی دو احتمال را می‌توان ذکر کرد. یکی ماهیت مواد آلی و متفاوت بودن اجزای آن در خاک‌های مختلف است (۱۰). دیگر این‌که میزان روی استخراجی متصل به مواد آلی، در اکثر خاک‌های مورد مطالعه، کم بوده و اعداد به‌دست آمده از دامنه تغییرات کافی برای مطالعات آماری برخوردار نبوده است.

نکته مهم دیگر معنی‌دار نشدن ضریب هم‌بستگی خطی بین درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) و روی کربناتی می‌باشد (جدول ۴)، اگر چه در معادله رگرسیون مربوط به روی کربناتی، CCE هم وارد مدل شده است (جدول ۶) و بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش کربنات کلسیم معادل روی کربناتی هم مختصری افزایش یابد. واکنش کربنات کلسیم با روی در خاک‌ها به سطح ویژه کربنات کلسیم که نشانه توزیع اندازه ذرات کربنات کلسیم خاک است، بستگی بیشتری دارد تا با مقدار کل کربنات کلسیم. رایان و همکاران (۲۰) و پنا و تورنت (۱۹) گزارش کرده‌اند که مقدار کل کربنات کلسیم تأثیر کمی بر میزان فسفر متصل به مواد آهکی دارد و اندازه ذرات کربنات کلسیم در این مورد از اهمیت بیشتری برخوردار است. این موضوع می‌تواند درباره روی نیز صادق باشد. از طرف دیگر جذب روی توسط کانی‌های کربناتی دولومیت و مگنزیت را به تبادل آن با کاتیون‌های منیزیم موجود در این کانی‌ها نسبت داده‌اند (۳۱). از آنجا که روی و منیزیم شعاع یونی نزدیک به همی دارند (منیزیم ۰/۰۶۶ و روی ۰/۰۷۴ نانومتر)روی می‌تواند به داخل شبکه تبلور این کانی‌ها نفوذ کرده و جایگزین منیزیم آنها شود و برعکس این امکان وجود دارد که در مرحله اندازه‌گیری روی محلول + تبادلی به‌وسیله نیترات منیزیم این بار منیزیم به داخل شبکه این کانی‌ها نفوذ کرده و جایگزین روی آنها شود و لذا عملاً بخشی از روی محلول + تبادلی اندازه‌گیری شده مربوط به روی کربناتی باشد و بنابراین از ضریب هم‌بستگی روی کربناتی با کربنات کلسیم معادل کم کرده و آن را غیر معنی‌دار کند.

از دیگر نتایج تحقیق حاضر، بالا بودن ضریب هم‌بستگی بین روی قابل استخراج با DTPA (اصطلاحاً روی قابل استفاده برای گیاه) با روی کربناتی (جدول ۴) و وارد شدن روی کربناتی در مدل رگرسیونی مربوطه می‌باشد. (جدول ۶). این امر را می‌توان نشان از آن دانست که روی متصل به کربنات‌ها نه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

تنها تأثیر منفی بر قابلیت استفاده روی ندارند، بلکه احتمالاً می‌توانند منبع بالقوه‌ای برای روی قابل استفاده در خاک‌های آهکی استان تهران باشند. اگرچه کمبود روی در خاک‌های آهکی یا خاک‌های با pH های بالا دیده می‌شود ولی در مطالعه حاضر بیشترین اثر منفی بر مقدار روی قابل استخراج با DTPA را اکسیدهای منگنز می‌گذارند(جدول ۶). گزارش شده است که اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی از جمله منگنز می‌توانند روی را به طریقه جذب شیمیایی (جذب ویژه) از محلول خارج نموده و آن را به صورت غیرقابل تبادل نگه دارند. استانتون و برگر (۲۸) گزارش کردند که افزودن اکسیدهای آهن و آلومینیوم به محلول کشت منجر به کاهش جذب روی توسط گیاهان می‌شود. آنان چنین استدلال کردند که این اکسیدها روی را به‌طریقه جذب ویژه نگه‌داری می‌کنند که منجر به غیرقابل استفاده شدن آن توسط گیاهان می‌شود. اگر روی استخراجی به‌وسیله DTPA را معیاری از قابلیت استفاده روی در خاک‌های آهکی استان تهران بدانیم به نظر می‌رسد که در این خاک‌ها نقش غیر قابل استفاده کردن روی عمدتاً به عهده اکسیدهای منگنز است.

در ارتباط با ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) همان‌طور که در جدول‌های ۴ و ۶ مشاهده می‌شود بین CEC و هیچ‌کدام از شکل‌های مختلف روی (به استثنای روی کل) هم‌بستگی ساده معنی‌داری دیده نشده و CEC در مدل رگرسیونی هیچ‌کدام از شکل‌های روی (به استثنای روی کل) وارد نشده است. به نظر می‌رسد که در خاک‌های مورد مطالعه جذب روی به‌صورت ساده فیزیکی (تبادلی) انجام نشده و این عمل توسط کانی‌ها و اکسیدهای آهن، منگنز و کربنات‌ها به‌صورت جذب ویژه بوده و بخش رس این خاک‌ها بیش از CEC خود روی را جذب می‌کنند. بنابراین نباید انتظار داشت که بین CEC و مثلاً شکل تبادلی روی هم‌بستگی مشاهده شود.

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود بین شکل‌های مختلف روی در خاک هم‌بستگی معنی‌داری مشاهده گردید. وجود چنین هم‌بستگی‌های معنی دار احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین شکل‌های مختلف روی در خاک می‌باشد.

سپاسگزاری

هزینه انجام این پژوهش از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. مفتون، م.، ح. حقیقت نیا، و ن. کریمیان. ۱۳۷۹. ویژگی‌های جذب سطحی روی در برخی از خاک‌های زیر کشت برنج استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴(۲): ۷۱-۸۵.

۲. قانع، ه. و ن. کریمیان. ۱۳۸۲. توزیع شکل‌های مختلف روی در خاک‌های آهکی استان فارس و رابطه آنها با ویژگی‌های خاک. هشتمین کنگره علوم خاک ایران، صفحه ۶۴۲-۶۴۱، رشت.

3. Allison, L. E. 1965. Organic carbon. PP. 1372-1376. *In.* C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. part 2, Americam Society of Agronomy. Madison, WI.
4. Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1965. Carbonate. PP. 1379-1396. In: C. A. Black (Ed.). Methods of Soil analysis. part 2, Americam Society of Agronomy, Madison, WI.
5. Chao, T. T. 1972. Selective dissolution of managanese oxides from soils and sediments with acidified hydroxylamine hydrochloride. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36:764-768.
6. Chao, T. T. and L. Zhou. 1983. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. Soil Sci. Soc. Amer. J. 47:225-239.
7. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 899-900. *In*: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. part 2, Americam Society of Agronomy. Madison, WI.
8. Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. PP. 562-566. *In*: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. part 2, Americam Society of Agronomy. Madison, WI.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]

9. Gupta, S. K. and K. Y. Chen. 1975. Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of nearshore sediments. Environ. Lett. 10:128-158.
10. Harter, R. D. 1991. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. PP.59-87. *In*: J. J. Mortvedt et al. (Ed), Micronutrients in Agriculture. 2nd ed., SSSA, Madison, WI.
11. Iyengar, S. S., D. C. Martens and W. P. Miller. 1981. Distribution and plant availabiliy of soil zinc fractions. Soil. Sci. Soc. Ame. J. 45:735-739.
12. Lindsay, W. L. and W. L. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42:421-428.
13. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed., Academic Press, San Diego, CA.
14. McLaren, R. G. and D. V. Crawford. 1973. Studies on soil copper: 1. The fractionation of copper in soils. J. Soil Sci. 24:172-181.
15. Miller, W. P., D. C. Martens and L. W. Zelazny. 1986. Effect of sequence in extraction of trace metals from soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50:598-601.
16. Naganuma, K. M. Okazaki, K. Yonebayshi and Z. AbuBakar. 1993. Surface charge and adsorption characteristics of copper and zinc on tropical soils. Soil Sci. Plant Nutr. 39:455-462.
17. Neilsen, D., P. B. Horty and A. F. MacKenzie. 1986. Distribution of soil Zn fractions in British Columbia Interior orchard soils. Can. J. Soil Sci. 66:445-454.
18. Okazaki, M., K. Takamidoh and I. Yaman. 1986. Adsorption of heavy metal cations on hydrated oxides of iron and aluminum with different crystallinities. Soil Sci. Plant Nutr. 39:523-533.
19. Pena, F. and J. Torrent. 1990. Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. Ferti. Res. 23:173-179.
20. Rayan, J., D. Curtin and M. A. Cheema. 1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48:74-76.
21. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook 60 USDA, US Gov. Print. Office, Washington, DC.
22. Shuman, L. M. 1979. Zinc, managanese, and copper in soil fractions. Soil Sci. 127:10-17.
23. Shuman, L. M. 1982. Separating soil-iron and manganese oxide fractions for microelement analyses. Soil Sci. Soc. Amer. J. 45:1099-1102.
24. Shuman, L. M. 1983. Sodium hypochlorite methods for extracting microelements associated with organic matter. Soil Sci. Soc. Amer. J. 47:656-660.
25. Shuman, L. M. 1985. Fractionation method for soil microelements. Soil Sci. 140:11-12.
26. Singh, J. P., S. P. S. Karwasra and M. Singh. 1988. Distribution and forms of copper, iron, managanese, and zinc in calcareous soils of India. Soil Sci. 146:359-367.
27. SPSS, Inc. 2002. SPSS for Windows, Release 11.5. SPSS, Inc., Chicago, IL.
28. Stanton, D. A. and R. D. T. Burger. 1967. Availability to plants of zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides. Geoderma 1:13-17.
29. Stover, R. C., L. E. Sommers and D. J. Silviera. 1976. Evaluation of metals in waste-water sludge. J. Water Pollut. Control Fed. 48:2165-2175.
30. Tessier, A., P. G. C. Campbell and M. Bisson. 1979. Squential extraction procedure for the speciation of particulate trace metal. Anal. Chem. 51:844-851.
31. Trehan, S. P. and G. S. Sekhon. 1977. Effect of clay, organic matter and $CaCO_3$ content of zinc adsorption by soils. Plant Soil 46:329-336.
32. Yasrebi, J., N. Karimian, M. Maftoun, A. Abtahi and A. M. Sameni. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulfate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25 (11&12): 2133-2145.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2024-07-17]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.3.10.4]