

بررسی توزیع شکل‌های مختلف روی و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های خاک در شماری از خاک‌های آهکی استان لرستان

هانیه سپهوند^۱ - اکبر فرقانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۸

چکیده

روی یک عنصر غذایی ضروری گیاه است. اطلاع از توزیع روی بین شکل‌های شیمیایی مختلف برای درک واکنش‌های شیمیایی این عنصر در خاک و توسعه روش‌های آزمون خاک آن اهمیت دارد. مطالعه حاضر به منظور به دست آوردن اطلاعاتی در زمینه توزیع روی در ۲۰ نمونه از خاک‌های آهکی استان لرستان، با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای در استخراج شکل‌های مختلف روی در این خاک‌ها انجام شد و رابطه شکل‌ها با یکدیگر و با ویژگی‌های خاک به دست آمد. میزان کل روی ۴۵/۲۵ تا ۱۱۵/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد. به طور متوسط روی متصل به کربنات‌ها ۰/۳۵، محلول + تبدلی ۰/۴۱، متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل ۰/۷۹، متصل به مواد آلی ۳/۰۳، متصل به اکسیدهای آهن متبلور ۳/۹۷ و تمه ۹۱/۴۳ درصد مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده را تشکیل می‌داد. ضریب هم‌بستگی درصد کربنات کلسیم با تمام شکل‌های روی (به استثنای روی متصل به مواد آلی) منفی بود و با شکل‌های محلول + تبدلی، متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و کریستالی منفی دار بود. رابطه مقدار فسفر قابل جذب با شکل‌های متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و کریستالی و تمه معنی‌دار به دست آمد. هم‌بستگی درصد مواد آلی با شکل متصل به مواد آلی، منفی و معنی‌دار بود. روی عصاره‌گیری شده با DTPA با شکل‌های روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و کریستالی و تمه هم‌بستگی معنی‌دار نشان داد. برخی شکل‌های روی بین خود دارای هم‌بستگی معنی‌داری بودند که احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین آن شکل‌ها در خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جداسازی روی، خاک‌های آهکی، خاک‌های استان لرستان، شکل‌های روی، عصاره‌گیری دنباله‌ای

مقدمه

گلایی و هلو) تحت تأثیر کمبود روی قرار دارند. دلایل اصلی کمبود روی در خاک‌های ایران شامل موارد زیر می‌باشند:
خاک‌های آهکی با مقادیر بالای pH (اغلب بیشتر از ۳۰ درصد کربنات کلسیم در دامنه ۸۵-۱۶ درصد)
کاربرد بالای کودهای فسفوری
غلظت‌های بالای بی‌کربنات (HCO_3^-) در آب آبیاری و عدم کاربرد کود روی
میزان کاربرد متوسط کود سولفات روی برای محصولات گندم ۱ کیلوگرم بر هکتار است که همین مقدار باعث افزایش محصولی به میزان ۴۳ کیلوگرم دانه گندم در هکتار شده است (۳۶).
در بیشتر از ۸۰ درصد از خاک‌های زیر کشت ایران مقدار روی عصاره‌گیری شده با DTPA کمتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و مقدار بحرانی روی قابل عصاره‌گیری با DTPA ۰/۷-۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۳۶).
در مطالعات مربوط به خاک-گیاه، اطلاع از توزیع عناصر کم‌نیاز بین اجزای خاک، برای درک شیمی آن‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار

روی از عناصر ضروری گیاه است که نقش‌های متابولیکی زیادی را در گیاه ایفا می‌کند. کمبود روی یکی از شایع‌ترین کمبودهای عناصر غذایی کم‌نیاز در خاک‌های آهکی و قلیایی به حساب می‌آید. علت اصلی آن اغلب نه کمی مقدار کل، بلکه کمی شکل‌های قابل استفاده عنصر در خاک‌هاست. هنگامی که کودهای شیمیایی یا آلی حاوی روی برای رفع کمبود به خاک افزوده می‌شود بازبازی ظاهری آن غالباً کمتر از ۵ درصد است که این موضوع نشان‌دهنده ظرفیت زیاد خاک‌های آهکی برای ابقای روی است (۳ و ۴).
بیشتر از ۶۰ درصد از خاک‌های زیر کشت ایران دارای مشکل کمبود روی با متوسط کاهش محصولی در حدود ۵۰ درصد می‌باشند (۳۶). اغلب مناطق زیر کشت غلات و درختان میوه (مرکبات، سیب،

۲۰۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان
* - نویسنده مسئول: (forghani@guilan.ac.ir>Email:)

به کربنات‌ها و روی محلول +تبادلی را ۲ درصد گزارش کردند. 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 تا ۲۲۶/۳ با میانگین ۸۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند. عصاره‌گیری دنباله‌ای نشان داد که ۰/۳ تا ۲۳/۲ درصد روی 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 تنمه بود. آنان هم‌چنین گزارش 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 و معنی‌دار نشان می‌دهد. روی تبادلی و متصل به مواد آلی با pH و روی تنمه همبستگی منفی نشان می‌داد. بنابراین چنین نتیجه‌گیری کردند که با اسیدی شدن خاک، روی از شکل تنمه به شکل تبادلی و متصل به مواد آلی تبدیل می‌شود.

ریکو و همکاران (۲۲) خاک‌های اسپانیا را با مقایسه روش اصلاح شده تسیر و BCR مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که روش اصلاح شده تسیر شکل کاهشی بیشتری را در مقایسه با روش BCR استخراج کرد. در روش اصلاح شده تسیر برای جداسازی شکل کاهشی از محلول اگزالات آمونیوم و اسید آسکوربیک استفاده شده است.

قانع و کریمیان (۳) 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 میانگین آن‌ها از ترتیب زیر برخوردار است:

آهن متبلور > کربناتی >> تنمه

ریحانی تبار و همکاران (۲) توزیع شکل‌های روی را در خاک‌های آهکی استان تهران بررسی و اعلام کردند که میانگین شکل متصل به ماده آلی کمتر از ۰/۱، محلول +تبادلی ۰/۱، متصل به اکسیدهای منگنز حدوداً ۱، متصل به اکسیدهای آهن متبلور ۳/۸، متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل ۴/۲ و تنمه حدود ۸۹/۳ درصد مجموع شکل‌های روی را تشکیل می‌دهند.

هم‌چنین قانع و کریمیان (۳) گزارش کردند که روی قابل استخراج با دی تی پی (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. یثربی و همکاران (۳۵) 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:

ارزیابی وضعیت روی و توزیع شکل‌های آن در شماری از خاک‌های زیر کشت استان لرستان
برآورد همبستگی بین این شکل‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و

بوده و در شناخت برهمکنش 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 (۶، ۷، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۳۱ و ۳۲). 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 (۳۱) شکل‌های مختلف عناصر کم‌نیاز در رسوبات را به صورت تبادلی، متصل به مواد آلی، متصل به کربنات‌ها و متصل به سولفیدها نام‌گذاری کردند. تسیر و همکاران (۳۲) شکل‌های عناصر کم‌نیاز خاک را تبادلی، متصل به مواد آلی، متصل به کربنات‌ها، متصل به اکسیدهای آهن و یا منگنز و تنمه فرض کردند. به طور کلی همان‌گونه که ملاحظه شد، محققان مختلف برای جداسازی شکل‌های مختلف عناصر کم‌نیاز و از جمله عنصر روی از مواد گوناگونی استفاده کرده‌اند و تا کنون هم یک روش استاندارد و برتر برای همه خاک‌ها ابداع نشده است. ولی برای عصاره‌گیری عناصر کم‌نیاز در شکل‌های مختلف معمولاً از عصاره‌گیرهای زیر استفاده می‌شود: برای شکل محلول +تبادلی از استات آمونیوم ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) یک مولار (۸) کلرید منیزیم (MgCl_2) یک مولار (۲۳)، نترات منیزیم $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ یک مولار (۲۶) و نترات سرب $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ۰/۰۵ مولار (۱۵). برای فلزات متصل به کربنات‌ها، استات سدیم (CH_3COONa) عموماً توصیه شده است (۳۲). برای شکل آلی عناصر کم‌مصرف تا کنون از مواد گوناگونی از جمله آب-اکسیژنه (H_2O_2) (۸ و ۲۳)، پیروفسفات پتاسیم ($\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$) (۱۲) و هیپوکلریت سدیم (NaOCl) (۲۶) استفاده شده است. چائو (۶) برای انحلال فلزات متصل به اکسیدهای منگنز، محلول $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ در $\text{pH}=2$ را پیشنهاد کرد. برای استخراج شکل‌های متصل به اکسیدهای بی‌شکل آهن و آلومینیوم، محلول اسیدی اگزالات آمونیوم و محلول $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ ۰/۲۵M + ۰/۲۵ M HCl پیشنهاد گردید (۲۵ و ۲۶). برای استخراج فلزات متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم میلی (۱۵) اگزالات آمونیوم و شومن (۲۶) محلول اگزالات آمونیوم در محلول ۰/۱ مولار اسید آسکوربیک را پیشنهاد دادند. برای شکل‌های تنمه و کل هم اسیدهای فلوریدریک (HF)، و پرکلریک (HClO_4) پیشنهاد شد (۸).

سینگ و همکاران (۲۸) گزارش کردند که در خاک‌های آهکی، ۸۲ درصد روی کل را روی تنمه و ۷ درصد روی آن را روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل (آمورف) تشکیل می‌دهد. هم‌چنین روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل نیز ۵ درصد بوده و میزان روی متصل به مواد آلی هم کمتر از یک درصد می‌باشد. آنان روی متصل

شیمیایی خاکها

به دست آوردن معادله‌هایی برای پیش‌بینی شکل‌های مختلف روی با بهره‌گیری از ویژگی‌های خاک.

مواد و روش‌ها

بسیار نمونه خاک از افق سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) نقاط مختلف استان لرستان که دارای دامنه نسبتاً وسیعی از نظر ویژگی‌های خاکی بودند، انتخاب و پس از خشک کردن در هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری، pH (۱۴)، EC (۱۳)، ماده آلی (۳۴)، فسفر قابل جذب (۱۹)، کربنات کلسیم معادل (۵) و روی قابل استخراج با DTPA (۱۰) اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های این خاک‌ها در جدول ۲ 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 (۲۸) استفاده شد که خود تلفیقی از روش‌های پیشنهادی تسیر و همکاران (۳۲)، شومن (۲۶) و چائو (۶) می‌باشد. این روش روی را به شکل‌های تبادل، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن بی‌شکل، اکسیدهای آهن متبلور و تنمه جدا می‌کند. علاوه بر آن روی کل خاک‌ها نیز مانند شکل تنمه، با هضم نمونه جداگانه در HF و HClO₄ به روش تسیر (۳۲) اندازه‌گیری شد. خلاصه مراحل عصاره‌گیری به روشی که در پژوهش حاضر به کار رفته در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار یک گرم خاک از

نمونه‌هایی که هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده اند برداشته و در لوله سانتریفیوژ پلی اتیلنی ریخته و طبق روش ارائه شده در جدول ۱، در هر مرحله، عصاره‌گیرهای مربوطه اضافه شد. پس از پایان هر مرحله ۸ میلی لیتر آب دیونیزه برای شست و شو به نمونه خاک درون لوله‌ها اضافه و مدت ۲۰ دقیقه تکان داده شد. سپس نمونه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ و آب روی خاک‌ها با پی پت به دقت بیرون ریخته و عصاره‌گیر بعدی اضافه شد. غلظت روی در عصاره‌های به دست آمده به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل واربان ۲۲۰ اندازه‌گیری شد. استانداردهای روی در محلول‌هایی که از نظر غلظت تقریباً مشابه عصاره‌گیرهای هر مرحله بودند تهیه گردید. عصاره‌گیری هفت شکل روی و همچنین روی کل از خاک‌ها، در دو تکرار برای هر نمونه انجام گرفت. مطالعات آماری شامل ضرایب هم-بستگی خطی و رگرسیون چند متغیره گام به گام (Stepwise) با استفاده از نرم‌افزار SPSS (۲۹) صورت گرفت.

نتایج و بحث

بر پایه جدول ۲ در خاک‌های مورد مطالعه، pH بین ۷/۴۸ تا ۸ EC بین ۰/۵۶۲ تا ۱/۷۷۴ دسی زیمنس بر متر، مواد آلی بین ۱/۱۱ تا ۳/۱۶ درصد و کربنات کلسیم معادل بین ۵ تا ۴۵/۵ درصد متغیر می‌باشد. با توجه به مقدار روی قابل جذب در خاک‌ها (جدول ۲) مشاهده می‌شود که مقدار آن در دامنه ۰/۰۱ تا ۱/۰۱ در خاک‌های مختلف متغیر است.

جدول ۱- خلاصه روش عصاره‌گیری دنباله‌ای و مشخصات شکل روی استخراج شده در روش سینگ و همکاران (۲۷)

شکل شیمیایی روی	علامت	عصاره گیر	مدت تکان دادن (ساعت)	میلی لیتر عصاره برای یک گرم خاک
محلول + تبادل	ZnEx	1M Mg(NO ₃) ₂	۲	۴
کربناتی	ZnCar	1M NaOAc+ CH ₃ COOH (pH=5)	۵	۴
آلی	ZnOM	0.7M NaOCl (pH=8.5)	۰/۵	۲*
متصل به اکسیدهای منگنز	ZnMnox	1M NH ₂ OH.HCl +HNO ₃ (pH=2)	۰/۵	۱۰
متصل به اکسیدهای آهن بی شکل	ZnAFeox	0.25M NH ₂ OH.HCl +0.25M HCl	۰/۵	۱۰
متصل به اکسیدهای آهن متبلور	ZnCFeox	0.2M(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ +0.2M H ₂ C ₂ O ₄	۰/۵	۱۰
تنمه	ZnRes	HF+HClO ₄ + HNO ₃	-	۱۰۰**

** دو مرتبه عصاره‌گیری می‌شود

** دو بار در مخلوط ۱:۵ HClO₄:HF غلیظ تا خشک شدن حرارت داده شده و سپس در 10ml HNO₃ غلیظ حل و به حجم 100 ml رسانده می‌شود. علاوه بر فرم‌های یاد شده در جدول، روی کل نمونه‌ها نیز به‌طور جداگانه به همین روش اندازه‌گیری شد.

شده شکل متصل به اکسیدهای منگنز، سهمی را به خود اختصاص نداد و مقدار عصاره‌گیری شده بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن بود. به طور میانگین روی محلول + تبدلی ۰/۴۱، متصل به کربنات‌ها ۰/۳۵، متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل ۰/۷۹، متصل به ماده آلی ۳/۰۳، متصل به اکسیدهای آهن متبلور ۳/۹۷ و تتمه حدود ۹۱/۴۳ درصد مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین می‌توان گفت در خاک‌های مورد مطالعه میانگین شکل‌های مختلف روی با صرفنظر از شکل متصل به اکسیدهای منگنز دارای ترتیب زیر است:

متصل به کربنات‌ها > محلول + تبدلی > متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل > متصل به ماده آلی > متصل به اکسیدهای آهن متبلور >> تتمه

بر اساس نتایج به‌دست آمده همه خاک‌ها دارای میزان روی قابل جذب کمتر از حد بحرانی پیشنهاد شده به وسیله لو (۱۱) می‌باشند. لو (۱۱) ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی را حد بحرانی این عنصر برای خاک‌ها به صورت کلی بیان کرد. ضیائیان و ملکوتی (۳۶) حد بحرانی روی قابل استخراج با DTPA را در خاک‌های زیر کشت ایران در دامنه ۰/۷-۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان کردند. بر طبق آن همه خاک‌ها به جز خاک شماره ۱ و ۲ در محدوده خاک‌های دارای کمبود روی محسوب می‌شوند.

توزیع شکل‌های روی در جدول ۳ نشان داده شده است (در این جدول مقدار میانگین از دو تکرار برای هر نمونه ارائه شده است). لازم به یادآوری است که چون روی کل خاک‌ها از هضم نمونه‌های جداگانه در اسیدهای مربوطه اندازه‌گیری می‌شود، جمع شکل‌های اندازه‌گیری شده لزوماً با مقدار کل روی مساوی نیست و این موضوع در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در میان شکل‌های روی استخراج

جدول ۲- برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	نام سری	pH (۱:۲/۵)	EC (ds m ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	CCE%	OM%	Zn-DTPA (mg kg ⁻¹)
۱	الشتر	۷/۵۸	۱/۲۷۶	۷۷/۷	۲۴/۵۰	۳/۱۶	۱/۰۱
۲	منصورآباد	۷/۸۴	۰/۷۷۴	۶۲/۰	۱۹/۵۰	۱/۷۲	۰/۸۱
۳	الشتر	۷/۸۴	۱/۱۰۲	۵۴/۶	۳۲/۵۰	۲/۵۶	۰/۲۹
۴	آب باریک	۷/۷۲	۰/۷۷۲	۳۱/۳	۲۰/۰۰	۱/۶۹	۰/۱۲
۵	کوهدشت	۷/۷۴	۰/۶۵۱	۲۴/۴	۴۹/۰۰	۱/۵۷	۰/۰۸
۶	دم سرخ	۷/۷۲	۰/۶۳۲	۱۹/۷	۳۰/۵۰	۲/۳۷	۰/۰۲
۷	کوهدشت	۷/۴۸	۱/۳۵۵	۲۸/۳	۲۹/۰۰	۱/۸۱	۰/۱۳
۸	دم سرخ	۷/۵۷	۱/۷۷۴	۲۶/۳	۴۱/۵۰	۱/۳۹	۰/۰۶
۹	چپاسوره	۷/۸۴	۰/۷۸۴	۳۰/۵	۳۶/۵۰	۱/۶۵	۰/۰۵
۱۰	چپاسوره	۷/۷۸	۰/۵۷۵	۳۶/۲	۴۵/۵۰	۱/۱۱	۰/۰۱
۱۱	دایی چی	۷/۶۲	۰/۸۰۴	۳۷/۴	۵/۰۰۰	۱/۴۳	۰/۱۵
۱۲	زاهدشیر	۷/۸۹	۰/۸۵۰	۳۵/۹	۳۴/۰۰	۲/۰۳	۰/۲۹
۱۳	سیف آباد	۷/۸۱	۰/۱۰۱	۳۹/۴	۱۹/۵۰	۱/۹۴	۰/۲۳
۱۴	زاغه	۷/۹	۰/۷۸۱	۴۰/۸	۳۹/۰۰	۱/۳۱	۰/۰۷
۱۵	سراپرده	۷/۸۱	۱/۷۷۴	۵۳/۷	۲۹/۰۰	۲/۱۱	۰/۶۶
۱۶	خرم آباد	۷/۸۶	۰/۸۲۲	۲۹/۸	۴۱/۵۰	۱/۷۰	۰/۱۰
۱۷	ماسور	۸/۰۰	۰/۷۷۲	۳۶/۹	۳۱/۵۰	۲/۱۹	۰/۴۸
۱۸	تیربازار	۷/۹	۰/۸۵۷	۳۱/۸	۳۶/۵۰	۲/۴۰	۰/۲۱
۱۹	میرآباد	۷/۹۸	۰/۵۶۲	۳۰/۵	۲۹/۰۰	۱/۶۹	۰/۰۸
۲۰	ده پیر	۷/۹	۰/۷۷۵	۳۳/۸	۳۰/۰۰	۲/۵۲	۰/۱۴
	میانگین	۷/۷۹	۰/۹۲۵	۳۸/۱۲	۳۲/۱۴	۱/۷۴	۰/۲۴

P = فسفر قابل عصاره‌گیری ، Zn-DTPA = روی قابل استخراج به وسیله DTPA

جدول ۳- توزیع شکل‌های روی (mg kg^{-1}) در خاک‌های مورد مطالعه^۱

شماره خاک	ZnEX	ZnCar	ZnOM	ZnAFex	ZnCFex	ZnRes	روی کل
۱	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۳۶	۳/۲۲	۹/۷۷	۱۰۵/۵	۱۱۵/۳۵
۲	۰/۰۴	nd	۰/۵۸	۳/۵۳	۵/۳۴	۸۷/۳۵	۱۰۴/۳۵
۳	۰/۳۲	۰/۰۱	۱/۳۱	۰/۵۱	۵/۳۴	۱۰۲/۶۹	۸۶/۳۰
۴	۰/۳۳	۰/۱۷	۱/۸۷	۲/۱۹	۵/۱۵	۹۷/۴۰	۱۰۴/۷۵
۵	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۶۱	۰/۱۳	۱/۶۹	۶۷/۱۶	۶۷/۸۰
۶	۰/۰۹	nd	۲/۳۸	nd	۱/۲۷	۶۴/۸۳	۶۱/۲۵
۷	۰/۱۹	nd	۲/۶۵	nd	۱/۲۳	۷۲/۹۳	۶۱/۲۵
۸	۰/۲۹	nd	۳/۴۰	۰/۴۰	nd	۴۳/۶۵	۴۵/۲۵
۹	۰/۱۸	۰/۲۱	۳/۲۶	nd	۱/۴۲	۶۳/۷۷	۶۸/۴۰
۱۰	۰/۱۷	۰/۳۲	۴/۶۵	۰/۰۹	۰/۶۶	۶۶/۱۷	۷۷/۰۰
۱۱	۲/۲۲	۱/۰۸	۳/۶۰	۲/۱۶	۳/۹۵	۶۵/۲۰	۷۵/۱۰
۱۲	۰/۴۸	۰/۱۹	۳/۲۷	nd	۴/۸۳	۶۸/۹۱	۷۳/۸۰
۱۳	۰/۰۸	۰/۳۰	۲/۹۷	۲/۱۱	۵/۱۵	۸۵/۵۵	۷۸/۷۰
۱۴	۰/۳۴	۰/۲۲	۳/۰۵	nd	۲/۲۱	۶۹/۲۸	۷۷/۰۰
۱۵	۰/۴۸	۰/۸۳	۳/۱۱	۰/۱۰	۸/۹۲	۸۵/۰۰	۸۷/۶۰
۱۶	۰/۲۷	۰/۵۹	۳/۱۵	۰/۰۲	۰/۸۲	۷۴/۷۴	۱۰۳/۵۰
۱۷	۰/۳۷	۰/۲۵	۳/۰۱	nd	۲/۰۹	۸۸/۰۰	۸۸/۱۰
۱۸	nd	۰/۲۵	۰/۶۹	nd	۱/۵۰	۶۲/۱۷	۷۲/۲۵
۱۹	۰/۱۱	۰/۳۷	۲/۳۲	۰/۵۶	۴/۶۱	۷۷/۲۰	۷۳/۷۰
۲۰	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۰۲	۴/۵۴	۵۴/۷۱	۸۳/۸۰
میانگین	۰/۳۲	۰/۲۷	۲/۴۷	۰/۷۵	۳/۵۲	۷۵/۱۵	۸۰/۲۶
نسبتی # (%)	۰/۴۱	۰/۳۵	۳/۰۳	۰/۷۹	۳/۹۷	۹۱/۴۳	-

۱- برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۱ مراجعه شود.

نسبت به مجموع شکل‌های اندازه‌گیری شده

nd (not detected): در حد تشخیص دستگاه نبود.

مورد استفاده در روش سینگ و همکاران (۲۸) باید با توالی موجود در سایر روش‌های مورد استفاده مقایسه شود. همچنین بررسی شود که کدامیک می‌تواند نتایج منطقی‌تری را ارائه دهد.

رایان و همکاران (۲۱) و پنا و تورنت (۲۰) گزارش کردند 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 در مورد روی نیز صادق باشد. از طرف دیگر جذب روی توسط کانی‌های کربناتی دولومیت و مگنیزیت را به تبادل آن با کاتیون‌های منیزیم موجود در این کانی‌ها نسبت داده‌اند (۳۳). شکل روی استخراج شده به وسیله هیپوکلریت سدیم در این مطالعه در رتبه سوم قرار دارد که این یافته با توجه به مقدار کم مواد آلی در این خاک‌ها بر خلاف انتظار است. احتمالاً متفاوت بودن اجزاء و ترکیبات مواد آلی در خاک‌های مورد مطالعه علت آن می‌باشد. درباره اثر مواد آلی بر نگهداری روی به وسیله خاک، گزارش‌های متناقضی ارائه شده است و توافق قطعی در این باره وجود ندارد. هارتر (۹) عقیده دارد که علت گزارش‌های ضد و نقیض درباره

این یافته که بیشترین میزان شکل روی در خاک‌های استان لرستان به صورت روی تتمه وجود دارد با گزارش ریحانی‌تبار و همکاران (۲) از خاک‌های آهکی استان تهران، قانع و کریمیان (۳) و یثربی و همکاران (۳۵) از استان فارس و رسولی و همکاران (۱) از استان گیلان مطابقت می‌کند. ریحانی‌تبار و همکاران (۲) گزارش کردند که شکل متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل بعد از تتمه شکل غالب می‌باشد. در حالی که رسولی و همکاران (۱)، شکل متصل به اکسیدهای آهن متبلور را شکل غالب روی بعد از تتمه بیان کردند که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت می‌کند. هر چند قانع و کریمیان (۳) و یثربی و همکاران (۳۵) شکل کربناتی را شکل غالب معرفی کردند. ولی در مطالعه حاضر شکل کربناتی بر خلاف آنچه انتظار می‌رود مقداری کمتر از سایر شکل‌ها را به خود اختصاص داده است. به نظر می‌رسد دلیل این امر تفاوت در اندازه ذرات کربنات کلسیم در خاک‌های این دو استان است و البته تفاوت در روش‌های مورد استفاده برای استخراج شکل‌های روی از خاک نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد. در نتیجه اثر محلول عصاره‌گیر شکل کربناتی و توالی

روی برای گیاهان بازی می‌کنند. این موضوع می‌تواند دلیل ثبات بالای اکسیدهای آهن در خاک باشد. مقدار کل روی با مجموع شکل‌های روی عصاره‌گیری شده بر طبق رابطه زیر مورد مقایسه قرار گرفت و درصد بازیافت روی در خاک‌های مختلف محاسبه شد که از ۷۶ تا ۱۲۷ درصد با میانگین ۱۰۴ درصد متغیر بود.

$100 \times (\text{مقدار کل روی} / \text{مجموع شکل‌های عصاره‌گیری شده روی}) =$

درصد بازیافت روی

در جدول‌های ۴ و ۵ هم‌بستگی شکل‌های مختلف روی با

ویژگی‌های خاک‌ها و با یکدیگر ارائه گردیده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، شکل‌های مختلف روی با یکدیگر و با ویژگی‌های خاک هم‌بستگی نشان می‌دهند (جدول‌های ۴ و ۵). از میان این خواص کربنات کلسیم معادل خاک‌ها با شکل محلول + تبدلی و شکل متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و متبلور هم‌بستگی معنی‌دار منفی نشان می‌دهد. نتایج مشابهی توسط ریحانی تبار و همکاران (۲) از خاک‌های آهکی استان تهران گزارش شده است.

اثر مواد آلی بر جذب روی به وسیله خاک، عدم توجه به اندازه‌گیری اجزای مواد آلی یعنی هومین، اسید هومیک و اسید فولویک می‌باشد. زیرا درصد این اجزاء در مواد آلی خاک‌های مختلف متفاوت است.

بنابراین بر حسب این که ماده آلی خاک دارای شکل محلول یا نامحلول بیشتری باشد می‌تواند نقش متفاوتی در مقدار نگهداری روی به وسیله 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 پائین‌تر می‌باشد (۹). همان‌طور که از میانگین شکل‌های روی دیده می‌شود (جدول ۳) روی متصل به اکسیدهای آهن متبلور پس از تئمه شکل غالب می‌باشد. بر طبق گزارش استانتون و برگر (۳۰) اکسیدهای آهن در خاک نقش مهمی را در محدود کردن دسترسی

جدول ۴- ضریب‌های هم‌بستگی (r) ساده بین شکل‌های مختلف روی و ویژگی‌های خاک^۱

ویژگی‌های خاک	ZnEx	ZnCar	ZnOM	ZnAFeox	ZnCFeox	ZnRes	روی کل
pH	۰/۲۶۳ ^{ns}	۰/۱۲۴ ^{ns}	-۰/۰۳۴ ^{ns}	-۰/۲۹۶ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۶۶ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}
EC	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۸۷ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۲۹۲ ^{ns}	-۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۰۹۰ ^{ns}
کربنات کلسیم معادل	-۰/۵۲۱*	-۰/۳۳۶ ^{ns}	۰/۰۹۵ ^{ns}	-۰/۷۰۳**	-۰/۵۴۱*	۰/۲۹۹ ^{ns}	-۰/۴۷۵*
مواد آلی	-۰/۲۶۰ ^{ns}	-۰/۱۸۳ ^{ns}	-۰/۶۱۵**	۰/۱۵۲ ^{ns}	۰/۵۵۰*	۰/۴۴۳ ^{ns}	۰/۴۲۸ ^{ns}
فسفر قابل جذب	-۰/۰۱۳ ^{ns}	-۰/۰۳۶ ^{ns}	-۰/۳۰۳ ^{ns}	۰/۶۳۳**	۰/۷۵۴**	۰/۶۲۹**	۰/۶۱۴**
روی قابل استخراج با DTPA	-۰/۰۸۷ ^{ns}	-۰/۰۳۲ ^{ns}	-۰/۶۱۵**	۰/۵۹۹**	۰/۷۵۸**	۰/۶۳۹**	۰/۶۵۴**

۱- برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۱ مراجعه شود.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵- ضریب‌های هم‌بستگی (r) ساده بین شکل‌های مختلف روی در خاک‌های مورد مطالعه^۱

شکل‌های روی	ZnEx	ZnCar	ZnOM	ZnAFeox	ZnCFeox	ZnRes	روی کل
ZnEx	۱	۰/۷۰۵**	-۰/۳۲۱ ^{ns}	-۰/۱۷۸ ^{ns}	-۰/۰۸۷ ^{ns}	-۰/۱۲۴ ^{ns}	-۰/۰۵۳ ^{ns}
ZnCar	۱	۰/۳۲۷ ^{ns}	-۰/۰۱۸ ^{ns}	-۰/۲۱۱ ^{ns}	-۰/۱۲۱ ^{ns}	-۰/۱۳۳ ^{ns}	۰/۱۳۳ ^{ns}
ZnOM	۱	۰/۳۴۷ ^{ns}	-۰/۳۴۷ ^{ns}	-۰/۳۷۱ ^{ns}	-۰/۳۰۵ ^{ns}	-۰/۳۴۶ ^{ns}	-۰/۳۴۶ ^{ns}
ZnAFeox	۱	۰/۵۷۴**	۱	۰/۵۳۹*	۰/۵۶۳**	۰/۶۴۴**	۰/۵۶۳**
ZnCFeox	۱	۰/۶۸۲**	۱	۰/۶۸۲**	۰/۶۸۲**	۰/۶۴۴**	۰/۶۴۴**
ZnRes	۱	۰/۷۵۳**	۱	۰/۷۵۳**	۰/۷۵۳**	۰/۷۵۳**	۰/۷۵۳**
روی کل	۱	۰/۷۵۳**	۱	۰/۷۵۳**	۰/۷۵۳**	۰/۷۵۳**	۰/۷۵۳**

۱- برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۱ مراجعه شود.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

CaCO₃ که باعث به کندی آزاد شدن آن می‌شود باشد. فسفر قابل جذب نیز هم‌بستگی معنی‌داری با شکل‌های متصل به اکسیدهای آهن (بی‌شکل و کریستالی)، شکل تئمه و هم‌چنین روی قابل استخراج با DTPA نشان می‌دهد و در معادله مربوط به روی متصل

ارابی و همکاران (۱۸) خاک‌های آهکی و غیر آهکی را در یک آزمایش گلخانه‌ای مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که در گیاه برنج غلظت و جذب روی به صورت Zn(OH)₂ کاهش باید که این موضوع می‌تواند به دلیل افزایش pH خاک و یا جذب آن روی

گیاه) با روی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و متبلور و هم‌چنین روی تنمه می‌باشد (جدول ۴). این امر را می‌توان نشان از آن دانست که این شکل‌ها احتمالاً منبع بالقوه‌ای برای روی قابل استفاده در خاک‌های آهکی استان لرستان هستند. گزارش شده است که اکسیدهای و هیدروکسیدهای فلزی می‌توانند روی را به طریقه جذب شیمیایی (جذب ویژه) از محلول خارج نموده و آن را به صورت غیر قابل تبادل نگه دارند. استانتون و برگر (۳۰) 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 به طریقه جذب ویژه نگه‌داری می‌کنند و منجر به غیر قابل استفاده شدن آن توسط گیاهان می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان روی قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک‌های آهکی استان لرستان اندک و کمتر از حدی است که برای گیاهان به طور کامل قابل استفاده باشد. با اعمال روش عصاره‌گیری دنباله‌ای سینگ و همکاران (۲۸) مشخص شد که ۹۱/۴۳ درصد مجموع شکل‌های روی اندازه‌گیری شده را تنها شکل تنمه به خود اختصاص داده است. این موضوع می‌تواند توجیه مناسبی برای اندک بودن روی قابل عصاره‌گیری با DTPA و قابلیت استفاده اندک عنصر روی برای گیاهان در این خاک‌ها باشد. اگر روی استخراجی به وسیله DTPA را معیاری از قابلیت استفاده روی در خاک‌های آهکی استان لرستان بدانیم، به نظر می‌رسد که در این خاک‌ها نقش غیر قابل استفاده کردن روی عمدتاً به عهده اکسیدهای آهن متبلور است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، بین شکل‌های روی متصل به اکسیدهای آهن، تنمه و روی کل نیز هم-بستگی‌های معنی‌داری مشاهده گردید. وجود چنین هم‌بستگی‌های معنی‌دار احتمالاً بیانگر وجود یک رابطه پویا بین این شکل‌های روی در خاک‌های استان لرستان می‌باشد.

سپاسگزاری

هزینه انجام این پژوهش از اعتبارات پژوهشی دانشگاه گیلان تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

به آهن کریستالی (معادله ۵) در جدول ۶ وارد شده است. عنصر روی در خاک به عنوان عنصری که با فسفر خاک واکنش می‌دهد شناخته شده است (۲۷). ارابی و همکاران (۱۸) در نمونه‌های جمع‌آوری شده از خاک‌های آهکی گزارش کردند که روی و فسفر قابل جذب دارای همبستگی مثبت می‌باشند. نکته مهم دیگر معنی‌دار نشدن ضریب همبستگی خطی بین درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) و روی کربناتی می‌باشد (جدول ۴). هیچ یک از ویژگی‌های خاک با روی کربناتی هم‌بستگی معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴) و معادله رگرسیون معنی‌داری هم بین روی کربناتی و خواص خاک به‌دست نیامد (جدول ۶).

جدول ۶- معادلات رگرسیون ساده و چند متغیره بین شکل‌های روی

و برخی ویژگی‌های خاک ^۱	
(1): DTPA Zn = $-0.025 + 0.078 \text{ ZnCFeox}$	$R^2 = 0.57^{**}$
(2): ZnEx = $10.59 - 0.24 \text{ CCE}$	$R^2 = 0.27^{**}$
(3): ZnOM = $5.24 - 2.21 \text{ OM}$	$R^2 = 0.37^{**}$
(4): ZnAFeox = $12.25 - 0.064 \text{ CCE} + 0.39 \text{ P}$	$R^2 = 0.68^{**}$
(5): ZnCFeox = $1.682 + 7.354 \text{ DTPA Zn}$	$R^2 = 0.57^{**}$
(6): ZnRes = $65.92 + 36.67 \text{ DTPA Zn}$	$R^2 = 0.41^{**}$
(7): ZnTotal = $47.468 + 0.907 \text{ P}$	$R^2 = 0.46^{**}$

۱- برای شرح علامت‌های اختصاری به جدول ۱ مراجعه شود.

** معنی‌دار در سطح یک درصد

CCE = کربنات کلسیم معادل (%), OM = مواد آلی (%), P = فسفر قابل جذب،

ZnTotal = روی کل

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 خاک. از آنجا که روی و منیزیم شعاع یونی نزدیک همی دارند (منیزیم ۰/۰۶۶ و روی ۰/۰۷۴ نانومتر) روی می‌تواند به داخل شبکه متبلور این کانی‌ها نفوذ کرده و جایگزین منیزیم آن‌ها شود و برعکس این امکان وجود دارد که در مرحله اندازه‌گیری روی محلول + تبدلی به وسیله نیترات منیزیم این-بار منیزیم به داخل شبکه این کانی‌ها نفوذ کرده و جایگزین روی آن-ها شود و لذا عملاً بخشی از روی محلول + تبدلی اندازه‌گیری شده مربوط به روی کربناتی می‌باشد و بنابراین از ضریب هم‌بستگی روی کربناتی با کربنات کلسیم معادل کاسته 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

منابع

- ۱- رسولی س،، فرقانی ا، و رضانیپور ح. ۱۳۸۶. بررسی توزیع شکل‌های مختلف روی در خاک‌های اسیدی استان گیلان و رابطه آن‌ها با برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، ۱۳۷۹-۱۳۸۰.

- ۲- ریحانی‌تبار ع.، کریمیان ن.، اردلان م.، ثواقبی غ.، و قنادها م. ۱۳۸۵. توزیع شکل‌های مختلف روی و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی استان تهران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۳): ۱۳۵-۱۲۵.
- ۳- قانع ه.، و کریمیان ن. ۱۳۸۲. توزیع شکل‌های مختلف روی در خاک‌های آهکی استان فارس و رابطه آن‌ها با ویژگی‌های خاک. هشتمین کنگره علوم خاک ایران، رشت، ۶۴۲-۶۴۱.
- ۴- مفتون م.، حقیقت نیا ح.، و کریمیان ن. 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.
- 5- Allison L.E., and Moodie C.D. 1965. Carbonate. In: Black, C. A., et al., (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Agronomy no. 9, Part 2, 2nd ed. ASA, Madison, WI, USA, pp: 1379-1400.
- 6- Chao T.T. 1972. Selective dissolution of manganese oxides from soils and sediments with acidified hydroxylamine hydrochloride. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 764-768.
- 7- Chao T.T., and Zhou L. 1983. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 47: 225-232.
- 8- Gupta S.K., and Chen K.Y. 1975. Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of near shore sediments. *Environ.*, 10: 129-158.
- 9- 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.
- 10- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428.
- 11- Loue A. 1988. *Los Microelementos en Agricultura*. *Mundi-Prensa*, Madrid Spain.
- 12- Mc Laren R.G., and Crawford D.V. 1973. Studies on soil copper: I. The fractionation of copper in soils. *J. Soil Sci.*, 24: 172-181.
- 13- Miller R.H., and Keeney D.R. 1989. *Methods of soil analysis*. Part 2: Chemical and microbial properties. Chief ASA Publication. 3th edit. Pp: 167-178.
- 14- Miller R.H., and Keeney D.R. 1989. *Methods of soil analysis*. Part 2: Chemical and microbial properties. Chief ASA Publication. 3th edit. Pp: 199-223.
- 15- Miller W.P., Martenes D.C., and Zelazny L.W. 1986. Effect of sequential of trace metals from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 598-601.
- 16- Naganuma K.M., Okazaki K., Yonebayshi and AbuBakar Z. 1993. Surface charge and adsorption characteristics of copper and zinc on tropical soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 39: 455-462.
- 17- Neilson D., Hoyt P.B., and Mackenzie A.F. 1986. Distribution of soil Zn fractions in British Columbia interior orchard soils. *Can. J. Soil Sci.*, 66: 445-454.
- 18- Orabi A.A., Mashdi H., Abdallah A., and Morsy M. 1981. Effect of zinc and phosphorus on the grain yield of corn (*Zea Mays L.*) grown on calcareous soil. *Plant and Soil*, 63: 291-294.
- 19- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDACirc.*, vol. 939. U. S. Gov. Print Office Washington, DC.
- 20- Pena F., and Torrent J. 1990. Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. *Ferti. Res.*, 23: 173-179.
- 21- Rayan J., Curtin D., and Cheema M.A. 1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48: 74-76.
- 22- Rico M.I., Alvarez J.M., Lopez-Valdivia L.M., Novillo J., and Obrador A. 2009. Manganese and Zinc in acidic agricultural soils from central Spain: Distribution and phytoavailability prediction with chemical extraction tests. *Soil Sci.* 174: 94-104.
- 23- Shuman L.M. 1979. Zinc, manganese and copper in soil fractions. *Soil Sci.*, 127: 10-17.
- 24- Shuman L.M. 1982. Separating soil iron and manganese oxide fractions for micronutrient analysis. *Soil Sci. Am. J.*, 46: 1099-1102.
- 25- Shuman L.M. 1983. Sodium hypochlorite methods for extracting microelements associated with soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 656-660.
- 26- Shuman L.M. 1985. Fractionation method for soil microelements. *Soil Sci.*, 140: 11-22.
- 27- Shuman L.M. 1998. Micronutrient fertilizers. *J. Crop Prod.*, 1: 165-195.
- 28- Singh J.P., Karwasra S.P.S., and Singh M. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. *Soil Sci.*, 146: 359-366.

- 29- SPSS, Inc. 2002. SPSS for windows, Release 11.5. SPSS, Inc., Chicago, IL.
- 30- Stanton D.A., and Burger R.T. 1967. Availability to plants of zinc Sorbed by soil and hydrous iron oxides. *Geoderma*, 1: 13-17.
- 31- Stover R.C., Sommers L.E., and Silviera D.J. 1976. Evaluation of metals in waste-water sludge. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 48: 2165-2175.
- 32- Tessier A., Campbell P.G.C., Auvlaur J.C., and Bisson M. 1984. Relationships between the partitioning of trace metals in sediments and their accumulation in the tissue of the fresh water mollus *Ellipto complanata* in a mining area. *Can. J. Fish. Aqual. Sci.*, 41: 1463-1472.
- 33- Trehan S.P., and Sekhon G.S. 1997. Effect of clay, organic matter and CaCO₃ content of zinc adsorption by soils. *Plant Soil*, 46: 329-336.
- 34- Walkey A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis.1. *Experimental. Soil Sci.*, 79: 456- 465.
- 35- Yasrebi J., Karimian N., Maftoun M., Abtahi A., and Sameni M. 1994. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soils physical and chemical properties and application of zinc sulfate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(11&12): 2133-2145.
- 36- Ziaieian A.H., and Malakouti M.J. 2001. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization of wheat in the calcareous soils of Iran. In W. J. Horst et al. (eds) *Plant Nutrition – Food Security and sustainability of Agro-Ecosystems*, 840-841.



Evaluation the Distribution of Different Zinc Forms and their Relations with Soil Properties in some Calcareous Soils of Lorestan Province

H. Sepahvand¹- A. Forghani^{2*}

Received:4-12-2010

Accepted:29-6-2011

Abstract

Zinc (Zn) is an essential plant nutrient. Knowledge about distribution of Zn between its different chemical forms is useful in understanding the chemistry of this element in soil and also in development of soil testing procedures. The present study was conducted to obtain such information about distribution of zinc forms in 20 soil samples of Lorestan province by the use of a sequential extraction procedure to extract different zinc forms in these soils and determination of relations between those and some of soil properties. The percentages of distribution of Zn forms with respect to sum of obtained forms were 0.35 for carbonated bound, 0.41 for exchangeable + water soluble, 0.79 for amorphous Fe-oxide bound, 3.03 for organic bound, 3.97 for crystalline Fe-oxide bound and 91.43 for residual (Mnox bound form was not detected and ignored). Correlation coefficient of equivalent carbonate calcium percent was negative with all the Zn forms (with the exception of organic bound) but with exchangeable + water soluble and Fe-oxides bound was significant. The relation between the available P with Fe-oxides bound and residual form obtained significant. The correlation of organic matter percent of soils with organic bound form was negative and significant. The extractable Zn with DTPA also showed significant correlations with Fe-oxides bound and residual Zn forms. There were significant correlations between some of Zn forms and this result probably showed the existence of a dynamic relationship between them in the soils.

Keywords: Zinc fractionation, Calcareous soil, The soils of Lorestan province, Zinc forms, Sequential extraction methods

1,2- Former MSc Student and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan

(* - Corresponding Author Email: forghani@guilan.ac.ir)