

## شکل های شیمیایی روی باقی مانده ناشی از کاربرد کود سولفات روی در تعدادی از خاکهای مازندران

علی چراتی آرابی<sup>۱\*</sup> و محمد جعفر ملکوتی

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران؛ [acherati@yahoo.com](mailto:acherati@yahoo.com)

استاد دانشگاه تربیت مدرس؛ [mjmalakouti@hotmail.com](mailto:mjmalakouti@hotmail.com)

### چکیده

به منظور بررسی شکلهای مختلف شیمیایی روی (Zn) باقیمانده ناشی از کاربرد کود سولفات روی، ۴۰ نمونه خاک از عمق ۳۰ - ۰۰ سانتی متری از اراضی شرق مازندران تهیه و از بین آنها تعداد ۲۰ نمونه خاک که از نظر خصوصیات فیزیکی شیمیایی، بخصوص از نظر روی و فسفر قابل استفاده متفاوت بوده اند، انتخاب گردید. در یک آزمایش، اثر روی بر شکل های مختلف شیمیایی به صورت فاکتوریل (۲×۲) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با سه تکرار شامل دو سطح روی (۰ و ۱۰ میکروگرم در گرم به صورت ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) و در ۲۰ خاک مورد بررسی قرار گرفت. برای جداسازی شکل های مختلف شیمیایی روی در بخش های تبادل، جذب سطحی شده، آلی، کربناتی و سولفید یا تتمه به ترتیب از عصاره گیرهای 0.5M KNO<sub>3</sub>، XH<sub>2</sub>O، 0.5M NaOH، 0.05M Na<sub>2</sub>EDTA و 4M HNO<sub>3</sub> استفاده شد. غلظت روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی و ICP-AES اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده نشان داد که غلظت روی عصاره گیری شده با عصاره گیر KNO<sub>3</sub> (تبادلی)، بسیار ناچیز بود. مقدار روی کل خاک (روی بومی) از ۴۹/۳ تا ۸۴ میکروگرم در گرم خاک (با میانگین ۶۳/۴ میکروگرم در گرم) متغییر بود. شکلهای مختلف شیمیایی روی بومی در خاک های مورد مطالعه به ترتیب زیر تعیین گردید: >تبادلی> >جذبی> آلی > کربناتی >>>تتمه بخش عمده روی کاربردی به شکلهای شیمیائی تتمه و کربناتی تبدیل گردیده به نحوی که ۴۰/۴ و ۳۰/۹ درصد از روی کاربردی به ترتیب وارد بخش تتمه و کربناتی گردید. مقدار تبدیل روی اضافه شده به شکلهای شیمیائی در خاک های مختلف در سطح ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک به صورت زیر بوده است: >تبادلی > >جذبی > آلی > کربناتی > تتمه

واژه های کلیدی: روی، تبادل، آلی، جذبی، کربناتی، مازندران

### مقدمه

در قسمت های هوایی، باعث بروز سمیت فسفر در گیاهان می شود (Romheld و Marschner، ۱۹۹۱). مقدار متوسط روی در پوسته زمین کمتر از ۸۰ میکروگرم در گرم می باشد که در مقایسه با سایر عناصر کم مصرف نظیر آهن (۵۰۰۰۰ میکروگرم در گرم) و منگنز (۱۰۰۰ میکروگرم در گرم) بسیار کم می باشد (Hodgson، ۱۹۶۳). روی بر خلاف بعضی از عناصر

روی از جمله عناصر کم مصرفی است که کمبود آن در خاک های آهنکی گزارش شده است. در گیاهان مبتلا به کمبود روی، غلظت هورمون های گیاهی بخصوص جیبرلین کاهش می یابد (Clark و Paul، ۱۹۸۹). روی نقش مهمی در تحکیم ساختمان پروتئین های مخصوص غشاء سلولی عهده دار بوده و کاهش پایداری غشاء سلولی در گیاهان دچار کمبود روی، سبب حساسیت به بیماری قارچی شده و همچنین با افزایش جذب فسفر و تجمع آن

۱- نویسنده مسئول، آدرس: ساری، صندوق پستی ۵۵۶، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

\* دریافت: ۸۵/۱۲/۹ و پذیرش: ۸۶/۱۲/۲۲

روش عصاره‌گیری دنباله‌ای، ابتدا توسط Yasrebi و همکاران (۱۹۹۴) جهت استخراج روی برای تعدادی از خاک‌های استان فارس به کار گرفته شد.

در راستای بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای شیمیایی محتوی روی امری اجتناب‌ناپذیر است. نتایج تحقیقات در کشور حاکی از عکس‌العمل مثبت گیاهان به کاربرد کود روی است. از طرفی تحرک روی در خاک بسیار کم است، به طوری که قسمت عمده از مقادیر کاربردی این عنصر در لایه سطحی خاک‌های زراعی باقی می‌ماند. از آنجا که گیاه مقدار کمی از روی کاربردی را در سال اول کوددهی مورد استفاده قرار می‌دهد، اثرات مصرف این کودها چندین سال در خاک باقی می‌ماند. با توجه به اینکه بین مقدار مفید و مضر عناصر کم مصرف فاصله چندانی نیست، لازم است اطلاعات کافی از واکنش شیمیایی این کودها با خاک در دست باشد تا بتوان ضمن افزایش بازده کودهای مصرفی از بروز مشکلات احتمالی جلوگیری کرد. از آنجائی که چنین اطلاعاتی در مورد خاک‌های منطقه موجود نیست لذا این تحقیق به این پرسش پاسخ می‌دهد که سولفات روی مصرفی در خاک به چه شکل شیمیایی در آمده و به چه صورتی نگهداری می‌شود. پس از مشخص شدن شکلی که روی بدان صورت نگهداری می‌شود، می‌توان اقداماتی را در جهت افزایش درجه بازیابی کودهای شیمیایی محتوی روی در خاک‌های منطقه به عمل آورد و بدین ترتیب بازده این کودها را در سال‌های بعد و شاید حتی در سال اول افزایش داد.

### مواد و روشها

با استفاده از نقشه‌های خاکشناسی استان مازندران حدود ۴۰ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی متری از اراضی شرق مازندران تهیه و پس از خشک شدن نمونه خاک‌ها در هوا و گذراندن از الک دو میلیمتری، مقداری از نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و بعضی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل بافت به روش هیدرومتر (Boyucos, ۱۹۶۲)، pH در خمیر اشباع، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی سازی با اسید کلریدریک (Allison و همکاران، ۱۹۶۵)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (Chapman, ۱۹۶۵)، کربن آلی به روش واکلی بلاک (Jackson, ۱۹۵۸)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen و همکاران، ۱۹۵۴)، روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay و Norvel, ۱۹۷۸) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). از میان ۴۰ نمونه خاک، تعداد ۲۰ خاک که از نظر ویژگی‌های اشاره شده، بخصوص فسفر و روی عصاره‌گیری شد متفاوت بودند، انتخاب شد.

گروه d جدول تناوبی که دارای بیش از یک ظرفیت هستند، فقط به صورت دو ظرفیتی ( $Zn^{2+}$ ) وجود داشته، بنابراین شیمی محلول آن از پیچیدگی کمتری برخوردار است. روی در محیط‌های قلیائی که حاوی  $CO_3$  می‌باشد، رسوب نموده و در شرایط احیاء که حاوی گوگرد باشد نیز بصورت  $ZnS$  رسوب می‌نماید (Zachara و همکاران، ۱۹۸۹). اکثر محققان بر این باورند که روی قابل استفاده خاک عمدتاً در لایه‌های بالای خاک بخصوص در افق سطحی متمرکز می‌باشد (Follett و Lindsay, ۱۹۷۰; Grunes و همکاران، ۱۹۷۰)، بنابراین با کنار رفتن خاک لایه‌های سطحی و یا فرسایش خاک احتمال کمبود روی در محصولات تشدید می‌شود.

مقدار روی قابل استفاده گیاه با افزایش pH خاک کاهش می‌یابد. این کاهش عمدتاً مربوط به افزایش جذب سطحی روی توسط اجزاء تشکیل دهنده خاک می‌باشد (Bar-Yosef و همکاران، ۱۹۸۹). با افزایش pH ممکن است بعضی از ترکیبات روی تشکیل شده و رسوب نمایند. این مواد عمدتاً ناشناخته بوده ولی در شرایط غرقابی فرانکلینیت ۱، از مهمترین آنها به شمار می‌رود (Lindsay, ۱۹۷۸).

مواد آلی ممکن است تأثیرهای مختلفی بر قابلیت استفاده روی داشته باشد. در بعضی از حالات با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول روی که در نتیجه تولید اسیدهای آلی، آمینواسیدها و اسیدفولیک حاصل می‌شود، قابلیت استفاده روی بخصوص در خاک آهکی افزایش می‌یابد (Sillanapa, ۱۹۸۲) و یا اینکه در بعضی از حالت‌های نادر با تشکیل کمپلکس‌های آلی غیر محلول روی، قابلیت استفاده روی کاهش می‌یابد (John, ۱۹۷۱).

روش کاملاً مشخص و واحدی برای تعیین شکل‌های شیمیایی روی خاک در منابع علمی موجود نیست. نوع عصاره‌گیر انتخابی بایستی به نحوی باشد که بتواند حداکثر روی موجود در بخش مورد نظر را استخراج کرده و همچنین قادر به استخراج روی سایر بخش‌ها نبوده و یا اینکه مقدار کمی از روی سایر بخش‌ها را حل کند. در این خصوص محققان مختلف با به کار بردن ترکیبات شیمیایی متفاوت بسته به نوع خاک و شرایط خاص حاکم در خاک‌های مختلف، نسبت به تعیین شکل‌های شیمیایی روی اقدام نموده‌اند. روش پیشنهادی Shuman (۱۹۸۸) برای خاک‌های اسیدی مطرح شد، درحالی که Sposito و همکاران (۱۹۸۲) روشی را برای عصاره‌گیری دنباله‌ای در خاک نواحی خشک کالیفرنیا بکار بردند که بعداً توسط دیگران نیز مورد استفاده و تأیید قرار گرفت. در ایران

گیری، سانتیفریوژ و صاف کردن، خاک درون ظرف همراه با باقی مانده محلول عصاره گیر وزن شده و بعد از کسر نمودن وزن خاک، وزن محلول باقی مانده (M) مشخص و با اندازه گیری وزن مخصوص محلول های عصاره گیر (d)، حجم باقی مانده (V) مطابق معادله زیر مشخص شد.

$$V = \frac{M}{d} = \frac{\text{گرم}}{\text{گرم بر میلی لیتر}}$$

این معادله حاوی یک فاکتور تصحیح ( $C' \times V$ ) برای میزان روی باقی مانده هر مرحله بعد از سانتیفریوژ و صاف کردن در نمونه خاک می باشد. این فاکتور تصحیح بجای شستشوی خاک با آب بعد از سانتیفریوژ و صاف کردن هر مرحله که توسط Sposito و همکاران (۱۹۸۲) ذکر شده، بکار می رود، زیرا شستشوی خاک با آب می تواند سبب هدررفت مقداری از عنصر روی شود. با استفاده از معادله زیر درصد روی مصرفی (۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک) که به هر یک از شکل های شیمیایی (جذبی، آلی، کربناتی و تتمه) تبدیل شده، محاسبه شده است. در این معادله مقدار تبدیل بر حسب درصد و سایر اجزاء بر حسب میکروگرم در گرم خاک می باشد.

$$\times 100 = \frac{\text{غلظت روی در خاک تیمار نشده - غلظت روی در خاک تیمار شده}}{\text{مقدار مصرفی روی}} \times 100 = \text{مقدار تبدیل}$$

در پایان، کلیه داده ها با استفاده از برنامه کامپیوتری MSTATC تجزیه و تحلیل آماری شده و اثرهای مربوط به روی (Zn) بر شکل های مختلف آن بوسیله آزمون معنی دار بودن F مقایسه شد.

### نتایج و بحث

در جداسازی شکلهای مختلف شیمیایی، روی تبدیلی بسیار ناچیز بود، بطوریکه در عصاره حاصله از تمامی نمونه ها (خاک) میزان جذب قرائت شده بوسیله دستگاه جذب اتمی در محدوده خطای دستگاه بوده و لذا نتایج آن بصورت غیر قابل تعیین (ND) گزارش شده است. Sposito و همکاران (۱۹۸۲) نیز در مطالعاتشان پس از کاربرد ۴۵ تن لجن در هکتار ملاحظه کردند که غلظت روی در مجموع بخش های تبدیلی و جذب سطحی کمتر از ۳ درصد مجموع تمامی شکلهای روی بوده است و لذا از استفاده آن در نتایج شان صرف نظر کردند.

آزمایش در گلخانه داخل سطل های پلاستیکی اجرا شد و اثرات روی به صورت فاکتوریل (۲×۲) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با سه تکرار شامل دو سطح روی (۰ و ۱۰ میکروگرم در گرم به صورت 7H2O ZnSO4) و در ۲۰ خاک بررسی شد. این آزمایش جهت بررسی اثر روی بر محصول برنج طراحی گردیده بود و گیاه طی یک دوره پنج ماهه و در مراحل مختلف رویشی و زایشی برداشت گردید. بعد از برداشت، خاک هر سطل پلاستیکی الک و ریشه ها از آن جدا شد. بعد از مخلوط کردن، مقدار کافی از خاک الک شده هر سطل پلاستیکی جهت انجام آزمایش های جداسازی شکل های مختلف روی به آزمایشگاه منتقل شد. برای جداسازی شکل های مختلف شیمیایی روی تلفیقی از روشهای پیشنهادی Sposito و همکاران (۱۹۸۲)، Emmerich و همکاران (۱۹۸۲) و Chang و همکاران (۱۹۸۴) که در حقیقت تغییر شکل یافته روش Stover و همکاران (۱۹۷۶) می باشد، استفاده شد. این روش ابتدا توسط Yasrebi و همکاران (۱۹۹۴) جهت استخراج روی برای تعدادی از خاکهای استان فارس بکار گرفته شد. در این روش روی به صورت قابل تبادل<sup>۱</sup>، جذب سطحی شده<sup>۲</sup>، آلی<sup>۳</sup>، کربناتی<sup>۴</sup> و سولفید یا تتمه<sup>۵</sup> دسته بندی شدند. بعد از عصاره گیری، مقدار روی در هر مرحله به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer اندازه گیری شد. در تعدادی از نمونه ها که غلظت از حد دقت دستگاه جذب اتمی خارج بود، روی بوسیله دستگاه ICP-AES اندازه گیری شد. لازم به ذکر است که استانداردهای روی در محلولها که از نظر ترکیب و غلظت حتی الامکان مشابه عصاره گیر هر مرحله بود، تهیه گردید. مقدار روی خارج شده بوسیله هر ماده عصاره گیر از معادله زیر محاسبه گردید.

$$\frac{\text{میلی لیتر } C' \times V - \text{میلی لیتر } C \times 25}{2} = \text{میکروگرم روی استخراج شده در گرم خاک}$$

که در آن C غلظت بر حسب میکروگرم در میلی لیتر در محلول عصاره گیری شده، C' غلظت بر حسب میکروگرم در میلی لیتر در محلولی که از مرحله قبلی باقیمانده، ۲۵ حجم محلول عصاره گیر بکار رفته (در مورد H2O، ۷۵ میلی لیتر) و V حجم باقی مانده (میلی لیتر) از عصاره قبلی است که به مرحله بعدی منتقل شده و به طریق زیر تعیین گردیده است. بعد از هر مرحله عصاره

- 1- Exchangeable
- 2- Sorbed
- 3- Organic
- 4- Carbonate
- 5- Residual

ماده آلی (جدول ۱)، مقدار روی موجود در بخش آلی این خاکها نیز نسبتاً قابل توجه بوده است. Neilson (۱۹۸۶) با مطالعه تعدادی از خاک‌های اسیدی کانادا ارتباط مستقیمی بین میزان ماده آلی این خاکها و روی بخش آلی گزارش کرد. Leclaire و همکاران (۱۹۸۴) با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای اسپوزیتو، درصد روی موجود در بخش آلی خاک (عصاره‌گیری شده با NaOH) را در خاک‌های مورد مطالعه کمتر از یک درصد تعیین کردند.

مقدار شکل کربناتی روی در خاک‌های تیمار نشده از ۴/۸ تا ۲۱ با میانگین ۹/۴ میکروگرم در گرم خاک متغییر بود (جدول ۲ و ۳) که میانگین مقدار نسبی آن ۱۵ درصد می‌باشد (جدول ۳). میانگین مقدار و درصد نسبی روی در بخش کربناتی به ترتیب از ۹/۴ میکروگرم در گرم و ۱۵ درصد در تیمار شاهد به ۱۲/۹ میکروگرم در گرم و ۱۸/۱ درصد در اثر کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک افزایش یافت که از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

مقدار روی تیمه یا سولفید روی از ۴۰/۱ تا ۷۷/۱ میکروگرم در گرم در نمونه خاک‌های که تیمار روی اعمال نشده است (روی بومی خاک) متغییر بود (جدول ۲) که میانگین مقدار و درصد نسبی آن به ترتیب ۵۳/۲ میکروگرم روی در گرم خاک و ۸۳ درصد شد (جدول ۳). کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک موجب افزایش سطح روی تیمه گردید، به طوری که میانگین مقدار آن به ۵۷/۲ میکروگرم در گرم افزایش ولی میانگین درصد نسبی آن به ۷۹ درصد کاهش یافت (جدول ۳).

Abdel و همکاران (۱۹۸۸) نشان دادند که کاربرد روی و آهک سبب افزایش روی آلی و کربناتی در خاک شده ولی تأثیری بر مقدار روی تبادل، جذبی و تیمه نداشته است. Sposito و همکاران (۱۹۸۲) و Chang و همکاران (۱۹۸۴) با کاربرد لجن فاضلاب مشاهده کردند که مقدار نسبی روی تبدلی و جذبی اندکی افزایش یافته در حالی که افزایش مقدار نسبی روی آلی و کربناتی بسیار بوده است. Sposito و همکاران (۱۹۸۲) و Emmerich و همکاران (۱۹۸۲) مقدار نسبی روی تیمه را بیشتر از ۹۰ درصد گزارش نموده و Chang و همکاران (۱۹۸۴) این مقدار را بیش از ۸۰ درصد گزارش نمودند.

مجموع شکل‌های روی که بیانگر مقدار روی کل خاک می‌باشد از ۴۹/۳ تا ۸۴ میکروگرم در گرم خاک متغییر بود (جدول ۲) که به طور میانگین مقدار آن در ۲۰ خاک مورد مطالعه ۶۳/۴ میکروگرم در گرم خاک می‌باشد (جدول ۳). Iyenger و همکاران (۱۹۸۱) مقدار روی کل در ۱۶ خاک مورد مطالعه خود در ویرجینیای آمریکا را بین

مقدار شکل‌های مختلف روی در بیست نمونه خاک در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مربوط به اثر روی بر میانگین و مقدار نسبی روی در بخش‌های جذبی، آلی، کربناتی و تیمه و همچنین مجموع شکل‌های روی استخراج شده در جدول ۳ نشان داده شد. سطوح روی، خاک و برهمکنش خاک-روی بر هر یک از شکل‌های شیمیایی و مجموع شکل‌های روی در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

مقدار روی جذبی در نمونه خاک‌های که تیمار روی اعمال نشده است (روی بومی خاک) از ۰/۰۶ تا ۰/۸۲ میکروگرم در گرم خاک متغییر بود که میانگین و مقدار نسبی (مقدار نسبی هر شکل روی برابر است با مقدار هر شکل تقسیم بر مجموع شکل‌های روی ضرب در ۱۰۰) آن به ترتیب ۰/۳۴ میکروگرم روی در گرم خاک و ۰/۵ درصد بود (جدول ۳). با افزایش سطح روی به میزان ۱۰ میکروگرم در گرم خاک، میزان روی جذبی در تعدادی از خاک‌ها نظیر خاک‌های ۱، ۲، ۴ و ۲۰ تغییر محسوس پیدا نکرده است (جدول ۲) ولی تغییر آن در بعضی از خاک‌ها به ترتیب از ۰/۳۴ میکروگرم در گرم و ۰/۵ درصد در شاهد به ۰/۴۹ میکروگرم در گرم و ۰/۷ درصد در تیمار ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک افزایش یافت که تفاوت آن از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد.

مقدار روی جذبی اندازه‌گیری شده توسط محققان، متفاوت گزارش شده است. Emmerich و همکاران (۱۹۸۲) در خاک‌های اریدی سول و آلفی سول مقدار روی جذبی را کمتر از یک درصد گزارش کردند. Sposito و همکاران (۱۹۸۲) در خاک‌های آلفی سول و اریدی سول مجموع شکل‌های تبدلی و جذبی روی را کمتر از ۲ درصد تعیین کردند، در حالیکه Chang و همکاران (۱۹۸۴) در خاک‌های اریدی سول و آلفی سول، مقدار روی جذبی را ۲ درصد گزارش نمودند.

مقدار شکل آلی روی بومی خاک، از مقدار غیر قابل تعیین (ND) تا ۱/۷ (میانگین ۰/۵۱) میکروگرم در گرم متغییر بود (جدول ۲). با کاربرد ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک، میانگین مقدار روی در بخش آلی و میانگین مقدار نسبی آن از ۰/۵ میکروگرم و ۰/۸ درصد در خاک‌های تیمار نشده به ۰/۹۶ میکروگرم در گرم و ۱/۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳) که نسبتاً قابل توجه بوده است. حضور روی در بخش آلی ارتباط زیادی با میزان ماده آلی خاک دارد. در خاک‌های ۱، ۲، ۸ و ۱۰ میزان ماده آلی در مقایسه با سایر خاکها نسبتاً کمتر بوده (جدول ۱) لذا تعیین و اندازه‌گیری روی آلی در این بخش‌ها میسر نگردید. در خاک‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۹ و ۲۰ به دلیل بالا بودن مقدار

Sposito و همکاران (۱۹۸۲) نشان دادند که در خاکهای تیمار نشده، شکل‌های تبدلی، جذبی و آلی درصد ناچیزی از روی کل خاک را تشکیل می دهند. Chang و همکاران (۱۹۸۴) ترتیب شکل‌های روی بومی خاک را بصورت زیر گزارش کردند.

تبدلی > آلی > جذبی > کربناتی >>> تتمه در حالی که Emmerich و همکاران (۱۹۸۲) ترتیب آنرا به صورت زیر ارائه دادند.

جذبی و آلی > تبدلی > کربناتی >>> تتمه به طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که سولفات روی مصرفی در تعدادی از خاکهای مازندران به چه شکل شیمیایی در آمده و به چه صورتی در خاک نگهداری می شود.

۱۹ الی ۱۶۰ با میانگین ۷۶ میکروگرم روی در گرم خاک تعیین کردند. مقدار روی در بعضی از خاک ها مانند خاک های اسیدی زیمبابوه بسیار کم بوده به طوری که Tagwira و همکاران (۱۹۹۳) مقدار روی کل در این خاکها را ۳/۷ الی ۱۶/۲ با میانگین ۷/۹۴ میکروگرم در گرم تعیین نمودند. در مجموع از نتایج بدست آمده می توان دریافت که مقدار شکل‌های روی بومی در خاک های مورد مطالعه به ترتیب زیر می باشد:

تبدلی > جذبی > آلی > کربناتی >>> تتمه مقدار تبدیل روی اضافه شده به خاک به شکل‌های مختلف در خاک های مختلف در سطح ۱۰ میکروگرم روی در گرم خاک به صورت زیر بوده است.

تبدلی > جذبی > آلی > کربناتی > تتمه Yasrebi و همکاران (۱۹۹۴) در مطالعه خاک های اراضی زیر سد درودزن فارس شکل های شیمیائی روی را به صورت زیر گزارش نمودند.

آلی > تبدلی > جذبی > کربناتی >>> تتمه

جدول ۱- برخی از ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	سری خاک	pH	EC	ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	فسفر <sup>a</sup>	روی <sup>b</sup>	رس	سیلت	شن
			دسی زیمنس بر متر	درصد	درصد	میکروگرم در گرم	درصد	درصد	درصد	درصد
۱	Mollic Fluvaquents	۷/۸	۱/۳	۰/۷	۱۸	۷	۰/۸	۱۲	۳۶	۵۲
۲	Typic Xerofluvents	۷/۹	۰/۸	۰/۷	۱۹	۵	۰/۷	۱۴	۲۳	۶۳
۳	Typic Udipsamments	۸/۲	۱/۳	۱/۳	۲۵	۳	۰/۸	۸	۹	۸۳
۴	Typic Xerofluvents	۷/۶	۱/۲	۱/۶	۸	۳۴	۲/۵	۲۲	۳۱	۴۷
۵	Aquic Natriferalfs	۷/۸	۱/۴	۱/۷	۱۷	۳۸	۴/۴	۳۶	۱۹	۴۵
۶	Calcic Agrixerolls	۷/۸	۰/۸	۲/۳	۲۲	۱۳	۱/۸	۲۶	۲۷	۴۷
۷	Typic Haplaquepts	۷/۸	۰/۸	۰/۹	۸	۱۱	۱/۵	۲۲	۲۹	۴۹
۸	Typic Calcixerolls	۸	۰/۹	۱/۶	۱۲	۱۹	۲/۵	۳۰	۲۵	۴۵
۹	Typic Xerofluvents	۷/۸	۰/۳	۰/۹	۱۱	۱۲	۲/۱	۱۸	۲۹	۵۳
۱۰	Typic Xerorthents	۷/۷	۰/۹	۱/۳	۴	۲۴	۱/۰	۲۴	۲۹	۴۷
۱۱	Aquic Agrixerolls	۷/۹	۰/۷	۱/۲	۲۴	۲۱	۰/۹	۳۴	۲۳	۴۳
۱۲	Typic Haploxeralfs	۷/۶	۰/۶	۱/۲	۲۴	۲۴	۰/۸	۲۵	۲۸	۴۷
۱۳	Aric Fluvaquents	۷/۹	۱/۰	۱/۶	۳	۴۶	۱/۹	۲۶	۲۷	۴۷
۱۴	Typic Eutrochrepts	۷/۸	۰/۸	۱/۸	۶	۲۱	۳/۶	۲۴	۲۹	۴۷
۱۵	Mollic Fluvaquents	۷/۹	۰/۷	۱/۶	۵/۶	۳۰	۱/۸	۲۸	۲۵	۴۷
۱۶	Mollic Fluvaquents	۷/۷	۰/۹	۲/۱	۴/۶	۳۰	۱/۸	۲۶	۲۹	۴۵
۱۷	Aquic Natriferalfs	۷/۵	۰/۹	۲/۲	۱۷	۱۹	۲/۴	۳۲	۲۳	۴۵
۱۸	Mollic Fluvaquents	۷/۹	۰/۶	۱/۷	۶	۳۰	۱/۳	۲۶	۲۷	۴۷
۱۹	Mollic Xerofluvents	۷/۷	۱/۶	۱/۷	۴	۳۳	۲/۷	۲۲	۲۷	۵۱
۲۰	Typic Calcixerolls	۷/۷	۱/۲	۲/۴	۹	۳۰	۲/۷	۳۰	۲۱	۴۹

a: فسفر قابل استفاده، عصاره‌گیری شده به روش اولسن b: روی قابل استفاده، عصاره‌گیری شده با DTPA

جدول ۲- مقدار شکل‌های مختلف روی (میکروگرم در گرم خاک) توسط روش عصاره گیری دنباله ای در نمونه خاک ها بعد از کشت برنج (هر عدد میانگین سه تکرار است)

شماره خاک	تبادلی		جذبی		آلی		کربناتی		تتمه		جمع شکلها	
	Zn=10	Zn=0	Zn=10	Zn=0	Zn=10	Zn=0	Zn=10	Zn=0	Zn=10	Zn=0	Zn=10	Zn=0
۱	ND	ND	-/۱۱	-/۱۲	ND	۰/۲۵	۴/۸	۵/۷	۵۱/۷	۵۲/۳	۵۶/۶۱	۵۸/۴۴
۲	ND	ND	-/۱۲	-/۱۵	ND	۰/۳۷	۴/۸	۷/۶	۴۸/۰	۵۵/۳۵	۵۲/۹۲	۶۳/۴۷
۳	ND	ND	-/۲۶	-/۳۵	۰/۲۵	۰/۸۷	۴/۶	۱۰/۲	۴۴/۲	۴۹/۳	۴۹/۳۳	۶۰/۷۳
۴	ND	ND	-/۴۵	-/۴۹	ND	۰/۵۱	۶/۹	۹/۸	۶۸/۶	۷۲/۲	۷۵/۹۵	۸۳/۰
۵	ND	ND	-/۱۷	-/۲۵	ND	۰/۲۵	۵/۷	۱۰/۹	۷۰/۴	۷۵/۳	۷۶/۲۷	۸۶/۷۰
۶	ND	ND	-/۳۶	-/۴۶	۰/۲۵	۰/۸۷	۵/۸۵	۸/۷	۶۰/۵	۶۳/۷	۶۶/۹۶	۷۳/۷۳
۷	ND	ND	-/۶۲	-/۸۱	۰/۱۲	۰/۴۳	۵/۲	۸/۷	۵۶/۱	۶۴/۰۰	۶۲/۰۹	۷۳/۹۴
۸	ND	ND	-/۲۸	-/۵۰	ND	۰/۲۵	۶/۸	۱۱/۲	۷۷/۱	۷۷/۴	۸۴/۱۸	۸۹/۳۵
۹	ND	ND	-/۴۱	-/۶۲	۰/۱۲	۰/۵۱	۵/۳	۷/۲	۶۹/۳	۷۲/۵	۷۵/۱۳	۸۰/۸۳
۱۰	ND	ND	-/۲۳	-/۲۰	ND	۰/۵۲	۱۷/۲	۲۰/۵	۵۸/۶	۶۷/۵	۷۶/۰۳	۸۸/۷۲
۱۱	ND	ND	-/۰۶	۱/۰۰	۰/۶۸	۱/۵۰	۷/۱	۱۱/۸	۴۶/۱	۵۳/۰	۵۳/۹۴	۶۷/۳۰
۱۲	ND	ND	-/۲۷	-/۳۸	۰/۶۸	۱/۰۰	۷/۱	۹/۶	۴۵/۱	۴۹/۳	۵۳/۱۵	۶۰/۲۸
۱۳	ND	ND	-/۲۱	-/۳۵	۰/۹۳	۱/۱۹	۱۵/۵	۱۷/۷	۴۹/۲	۵۳/۱	۶۵/۸۴	۷۲/۳۴
۱۴	ND	ND	-/۸۲	-/۹۵	۰/۹۳	۱/۰۹	۸/۷	۱۲/۶	۵۰/۷	۵۲/۸	۶۱/۱۵	۶۷/۴۴
۱۵	ND	ND	-/۶۵	-/۷۱	۰/۸۷	۱/۵	۱۳/۶	۱۷/۳	۴۴/۳	۴۹/۲	۵۹/۴۲	۶۸/۷۱
۱۶	ND	ND	-/۳۴	-/۲۵	۰/۸۷	۱/۲۵	۱۲/۶	۱۸/۱	۵۱/۵	۵۲/۵	۶۵/۳۱	۷۲/۱۰
۱۷	ND	ND	-/۵۳	-/۵۰	۱/۰	۱/۲	۱۱/۶	۱۲/۰	۴۵/۰	۴۹/۱	۵۸/۱۳	۶۲/۸۰
۱۸	ND	ND	-/۱۲	۱/۰۰	۰/۵۶	۰/۹۱	۱۱/۱	۱۲/۸۰	۴۰/۲	۴۵/۳	۵۱/۹۸	۶۰/۰۱
۱۹	ND	ND	-/۴۷	-/۵	۱/۳	۲/۵	۲۱/۰	۲۹/۸	۴۰/۰۵	۳۹/۰	۶۲/۸۲	۷۱/۸۰
۲۰	ND	ND	-/۳۳	-/۳۴	۱/۷	۲/۳	۱۳/۰	۱۶/۰۰	۴۶/۷	۵۱/۴	۶۱/۸۳	۷۰/۰۴

جدول ۳- میانگین (میکروگرم در گرم خاک)، مقدار نسبی و تبدیل (درصد) شکلهای مختلف روی در خاک توسط عصاره گیر دنباله ای بعد از کشت برنج (هر عدد میانگین ۴۰ گلدان است †)

شکلهای روی									
جمع شکلهای میانگین	تتمه		کربناتی		آلی		جذبی		سطوح روی (میکروگرم در گرم خاک)
	نسبی	میانگین	نسبی	میانگین	نسبی	میانگین	نسبی	میانگین	
۶۳/۴۵b	۸۳/۵۷	۵۳/۱۷ b	۱۵/۰۲	۹/۴۲ b	۰/۸۵۴	۰/۵۱۳b	۰/۵۴۲	۰/۳۴۲* b	۰
۷۱/۵۸b	۷۹/۷۶	۵۷/۲۱ a	۱۸/۱۳	۱۲/۹۱ a	۱/۳۹	۰/۹۶۴a	۰/۷۱۰	۰/۴۹۸ a	۱۰
۸۱/۳	-	۴۰/۴	-	۳۴/۹	-	۴/۵۱	-	۱/۵۴	مقدار تبدیل (درصد)

† : به دلیل اینکه مقدار روی تبدیلی در تمام نمونه ها کمتر از حد دقت دستگاه جذب اتمی بود، لذا در جدول آورده نشد.

\* : اعدادی که در هر ستون در یک حرف مشترک هستند طبق آزمون F در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری ندارد.

جدول ۴- تجزیه واریانس مربوط به شکلهای مختلف روی در تعدادی از نمونه خاک ها بعد از کشت برنج

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	جذبی	آلی	کربنات	تتمه	مجموع شکلهای
تکرار	۱	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۷۳ <sup>ns</sup>	۳/۱۶ <sup>ns</sup>	۳/۵۴۳ <sup>ns</sup>	۱۴/۶۱۸ <sup>ns</sup>
خاک	۱۹	۰/۱۵۸ <sup>**</sup>	۱/۳۷۲ <sup>**</sup>	۱۰۵/۵۷ <sup>**</sup>	۴۶۵/۷۴ <sup>**</sup>	۳۷۱/۷۰ <sup>**</sup>
سطوح روی	۱	۰/۴۸۴ <sup>**</sup>	۴/۰۶۳ <sup>**</sup>	۲۴۳/۳۵ <sup>**</sup>	۳۲۶/۴۳ <sup>**</sup>	۱۳۲۳/۳۹ <sup>**</sup>
برهمکنش خاک و روی	۱۹	۰/۰۷۳ <sup>**</sup>	۰/۰۶۱ <sup>**</sup>	۳/۵۷۵ <sup>**</sup>	۶/۷۴۱ <sup>ns</sup>	۸/۶۴ <sup>ns</sup>
خطا	۳۹	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۸۰۱	۶/۸۵۲	۱۱/۷۲۳

\*\* و \* به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد طبق آزمون F معنی دار است .

ns بر طبق آزمون F معنی دار نیست .

## فهرست منابع:

1. Abdel, M. F., J. J. Mortvredt, and J. J. Kelsoe. 1988. Cadmium-zinc interaction in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil. *Soil Sci.* 145:424- 431.
2. Allison, L. E., and C. D. Moodie. 1965. Carbonate. P.1379-1396. *In* C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part II.* Am. Soc. Agron., Madison, WI.
3. Bar-Yosef, B., S. Fishman, and H. Alpaz. 1980. A model of zinc movement to single roots in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:1272-1279.
4. Boyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465.
5. Chang, A. C., A. L. Page, J. E. Warneke, and E. Grgurevic. 1984. Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application. *J. Environ. Qual.* 13:33-38.
6. Chapman, H. D. 1965. Cation-exchange capacity. P.811-903. *In* C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part II.* Am. Soc. Agron., Madison, WI.
7. Emmerich, W. E., L. J. Lund, A. L. Page, and A. C. Chang. 1982. Solid phase forms of heavy metals in sewage sludge-treated soils. *J. Environ. Qual.* 11:178-181.
8. Follett, R. H., and W. L. Lindsay. 1970. Profile distribution of zinc, iron, manganese and copper in Colorado soils. *Colorado Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.* 110-120.
9. Grunes, D. L., L. C. Boawn, C. W. Carlson, and R. G. Viets. 1961. Land leveling may cause zinc deficiency. *Farm Res.* 21(11):4-7.
10. Hodgson, J. F. 1963. Chemistry of micronutrients in soil. *Adv. Agron.* 15:119-159.
11. Iyenger, S. S., D. C. Martens, and W. P. Miller. 1981. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:735-739.
12. Jackson, M. L. 1958. *Soil chemical analysis.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
13. John, M. K. 1972. Effect of lime on soil extraction and on the availability of soil applied cadmium to radish and leaf lettuce plants. *Sci. Total Environ.* 12:303-308.
14. Leclair, J. P., A. C. Chang, C. S. Levesque, and G. Sposito. 1984. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: IV. Correlation between zinc uptake and extracted soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:509-513.
15. Lindsay, W. L. 1978. *Chemical equilibrium in soils.* John Wiley and Sons, New York.
16. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
17. Neilson, D., P. B. Hoyt, and F. Mackenzie. 1986. Distribution of soil Zn fractions in British Columbia interior orchard soils. *Can. J. Soil Sci.* 66:445-454.
18. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U.S. Govern. Prin. Office, Washington DC.
19. Paul, E. A., and F. E. Clark. 1989. Transformation of nitrogen between the organic and inorganic phase and to nitrate. p.131-146. *In* E. A. Paul and F. E. Clark (ed.) *Soil microbiology and biochemistry.* Academic Press, San Diego, CA.
20. Romheld, V., and H. Marschner. 1991. Function of micronutrients in plants p.297-328. *In* J. J. Mortvedt et al. (ed.) *Micronutrients in Agriculture.* Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, WI.
21. Shuman, L. M. 1988. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. *Soil Sci.* 146:192-198.



22. Sillanapa, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soil: a global study. United Nation Food and Agriculture Organization (Rome) Bull. 48.
23. Sposito, G., L. J. Lund, and A. C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soil, amended with sewage sludge. I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:260-264.
24. Stover, R. C., L. E. Sommers, and D. J. Silivera. 1976. Evaluation of metals in waste water sludge. J. Water Pollut. Control Fed. 48: 2165-2175.
25. Tagwira, F., M. Piha, and L. Mugwira. 1993. Zinc distribution in Zimbabwean soils and its relationship with other soil factors. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24:841-861.
26. Zachara, J. M., J. A. Kittrick, L. S. Dake, and J. B. Harsh. 1989. Solubility and surface spectroscopy of zinc precipitates on calcite. Geochim. Cosmochim. Acta 53:9-19.
27. 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. 25:2133-5145.