



دانشگاه گوارا

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

## بررسی جذب روی در خاک‌های غرقاب و غیر غرقاب: تأکید بر کانی‌شناسی اجزاء خاک

مریم ترکمن<sup>۱</sup> و \*سهیلاسادات هاشمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ملایر، آستادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ملایر

تاریخ دریافت: ۹۶۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** روی یکی از عناصر کم‌مصرف است که برای رشد بهینه انسان، حیوانات و گیاهان در غلظت‌های کم ضروری است. غلظت بالای عناصر سنگین در خاک‌ها، برای سلامتی اکوسیستم و بشر خطراتی را دارد. کانی‌های رسی نقش مهمی در تجمع، جذب و واجذب و به همان اندازه در فرآیندهای تبادل یون‌های فلزی دارد. قابلیت دسترسی این عناصر کمیاب به وسیله گیاهان به وسیله محتوی کانی رسی در خاک‌ها کاهش می‌یابد. هدف از این مطالعه بررسی جذب روی به وسیله اجزاء خاک در شرایط غرقاب و غیر غرقاب، در ارتباط با کانی‌شناسی آن‌ها است.

**مواد و روش‌ها:** براساس مطالعات قبلی، ۸ خاک‌رخ (۴ تا در شرایط غرقاب و ۴ تا در شرایط غیر غرقاب) نمونه‌برداری و تشریح شدند و تمام خاک‌رخ‌ها در راسته اینسیتی سول طبقه‌بندی شدند. برای این منظور، ۸ نمونه خاک سطحی (تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری شد. نمونه‌ها هواخشک شدند و از الک ۲ میلی‌متری رد شدند و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها انجام شد. سه جزء شن، سیلت و رس در خاک‌های مورد مطالعه تفکیک شدند و مقدار کانی‌ها در جزء شن، سیلت و رس تعیین شد. مطالعات جذب روی به وسیله اضافه کردن ۸ میزان روی از ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ میکرومول در محلول زمینه‌ای ۰/۰۱ مولار  $\text{NaNO}_3$  در جزء‌های شن، سیلت و رس انجام شد و تا ۲۴ ساعت شیک شدند. داده‌های به‌دست آمده برای جذب روی در نمونه‌های متفاوت به معادلات فروندلیچ، لانگ‌مویر و تمکین برازش داده شدند.

**یافته‌ها:** نتایج مطالعه نشان داد که مقدار جذب روی با افزایش در غلظت روی در محلول افزایش یافته است. جذب روی در جزء رس و سیلت نسبت به جزء شن خیلی بیش‌تر بوده است. نتایج نشان داد که معادله فروندلیچ ( $F^2=0/95$ ) برازش بیش‌تری نسبت به دیگر معادلات در شرایط غرقاب و غیر غرقاب داشته است.  $K_F$  فروندلیچ، نشان‌دهنده میزان جذب در غلظت تعادلی روی بوده است و در جزء رس خاک غرقاب، میانگین آن (۹۶۶۸/۵) از جزء سیلت (۴۶۸۲/۷) و شن (۲۶۶۶) بیش‌تر است. میزان  $K_F$  فروندلیچ در جزء رس در خاک‌های غیر غرقاب به‌طور میانگین برابر ۸۳۱۳ در جزء شن ۵۹۸۲/۵ و در جزء سیلت برابر ۲۹۹۱/۷ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که بین میزان روی جذب‌شده و محتوی

\* مسئول مکاتبه: [s.hashemi@malayeru.ac.ir](mailto:s.hashemi@malayeru.ac.ir)

رس در تمامی نمونه‌ها در سطح ۰.۵٪، همبستگی معنی‌دار است ( $n=8, r=0.73^*$ ). حضور کانی ورمی‌کولیت در خاک‌های غرقاب دلیل جذب بالای روی است ( $n=8, r=0.768^*$ ), در حالی که کانی‌های اسمکتیت و پالی‌گورسکیت ( $n=8, r=0.85^*$ ) در خاک‌های غیرغرقاب بر جذب روی اثرگذارند. در جزء سیلت کانی‌های حدواسط مانند ایلیت-ورمی‌کولیت، ایلیت-اسمکتیت ( $n=8, r=0.77^*$ ) و مقدار کمی از کلسیت، فاکتورهای اصلی در جذب روی هستند. وجود کوارتز و فلدسپار در جزء شن جذب روی را کاهش دادند. اما وجود کلسیت و دولومیت ( $n=8, r=0.96^*$ ) به مقدار ناچیز در این جزء جذب روی را افزایش داد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی، نتیجه‌گیری می‌شود که نوع و مقدار نسبی کانی‌ها در اجزاء خاک یکی از فاکتورهای مؤثر در جذب عنصر روی می‌باشند. حضور کانی ورمی‌کولیت در خاک غرقاب و رس اسمکتیت و پالی‌گورسکیت در خاک غیرغرقاب از کانی‌های مهم در جذب روی هستند.

**واژه‌های کلیدی:** اسمکتیت، اینسپتی‌سول، جذب، ورمی‌کولیت

#### مقدمه

از حد بحرانی (۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) بوده است. تحت این شرایط ۱۰۰ درصد خاک‌های زراعی کشور نیاز به سولفات روی خواهند داشت (۱۶).  
بر خلاف آلاینده‌های آلی، فعالیت‌های صنعتی و معادن سبب گسترش آلودگی فلزات سنگین به‌وسیله تولیدات فلزات سنگین به‌طور مستقیم به داخل محیط زیست هستند (۳۰). زیست‌فراهمی یون‌های فلزات سنگین در خاک توسط پدیده جذب کنترل می‌گردد که در سطح مشترک محلول خاک و کلئیدهای خاک رخ می‌دهد (۶). جذب سطحی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای شیمیایی در خاک‌ها و کانی‌ها است. جذب فلزات سنگین بیش‌تر با دو فرآیند عمده توصیف می‌شود:  
۱- جذب اختصاصی، که واکنش با گزینش‌پذیری بالا و برگشت‌پذیری کم است و در برگرنده کمپلکس شیمیایی درونی می‌باشد و ۲- جذب غیراختصاصی یا تبادل یونی که در سطح بیرونی کمپلکس ایجاد می‌شود، نسبتاً ضعیف است و گزینش‌پذیری اندک دارد (۲).

کانی‌های رسی نقش مهمی بر تجمع، جذب، دفع و فرآیندهای تبادل یون‌های فلزی دارند. بسته به نوع

فلز روی، یکی از فلزات سنگین کم‌مصرف می‌باشد، که برای رشد بهینه انسان، حیوان و گیاهان در غلظت کم ضروری است. کمبود این عنصر اختلالاتی در عملکرد آن‌ها ایجاد می‌کند و از طرفی غلظت‌های بالای آن ایجاد مسمومیت می‌نماید (۱۱). مقدار متوسط روی در لیتوسفر حدود ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است و منبع اصلی آن کانی اسفالریت ( $ZnS$ ) است. بیش‌تر خاک‌های زراعی معمولی حاوی ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی هستند (۱۷). مقدار متوسط روی در گیاه حدود ۴۰-۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، ماده خشک گیاهی می‌باشد. بنابراین مقدار روی مورد نیاز گیاهان کم است. تحت‌تأثیر شرایط اسیدی، روی معمولاً دو ظرفیتی بوده و کاملاً متحرک است. روی در پ‌هاش ۷-۷/۵ هیدرولیز می‌شود و در pH ۸ به بالا به شکل  $Zn(OH)_2$  در می‌آید و تحت شرایط غیرهوازی  $ZnS$ ، می‌تواند رسوب نماید (۱۱).  
به دلایل زیادی از جمله آهکی بودن، فقر مواد آلی و فراوانی کربنات کلسیم، در بیش از ۸۵ درصد خاک‌های زراعی کشور مقدار روی قابل استفاده کم‌تر

با توجه به مطالب گفته شده، بررسی جذب روی در اجزاء خاک‌های آهکی دارای اهمیت است و به دلیل تغییر پهاش خاک، تغییر کانی‌شناسی و تغییر بافت خاک (۹) تحت شرایط غرقاب در دشت سیلاخور منطقه درود در استان لرستان، جذب روی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان جذب روی توسط اجزاء رس، شن و سیلت و تأثیر کانی‌های بخش‌های متفاوت ذرات خاک در جذب این عنصر تحت شرایط غرقاب و غیرغرقاب در برخی خاک‌های آهکی در غرب کشور است.

### مواد و روش‌ها

**مطالعات صحرائی:** بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در دشت سیلاخور شهرستان درود (واقع در شرق استان لرستان و دارای مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریای آزاد)، ۸ خاک‌رخ (۴ تا در شرایط غرقاب و ۴ تا در شرایط غیرغرقاب) تشریح و نمونه‌برداری شدند و تمام خاک‌رخ‌ها در راسته اینسپتی‌سول‌ها طبقه‌بندی شدند. رژیم رطوبتی و حرارتی در کل منطقه نمونه‌برداری به ترتیب زیریک و مزیک است. تحت شرایط غرقاب ۵۰ ساله، رژیم رطوبتی در شالیزارها به‌طور مصنوعی به آکوئیک تبدیل شده است. تعداد ۸ نمونه خاک از افق سطحی خاک‌رخ‌ها (در عمق‌های ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری)، ۴ نمونه از خاک‌های غرقاب و ۴ نمونه از خاک‌های غیرغرقاب تهیه شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند.

**آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی:** برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکی از جمله، بافت خاک به روش هیدرومتر (۷)، مقدار کربنات کلسیم معادل (۱)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (۴)، pH خاک در

یون فلزی، نوع کانی و تغییرات pH میزان جذب متغیر است. برخی از کانی‌های رسی مانند زئولیت‌ها و بنتونیت‌ها به علت سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، به عنوان موادی مؤثر جهت جذب فلزات سنگین در خاک‌های آلوده، شناسایی شده‌اند (۲۰). توران و همکاران (۲۰۱۱) توانایی کانی ایلیت را در حذف آلاینده‌های عناصر مس و روی، مثبت ارزیابی نمودند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش pH از ۲ به ۷ مقدار جذب عناصر مس و روی از محلول‌های آبی افزایش می‌یابد. نوع خاک یا نوع جاذب، گونه و غلظت فلز، پهاش خاک، نسبت جرمی جامد به محلول و زمان تماس پارامترهای مهم کنترل‌کننده جذب و توزیع عناصر سنگین بین آب و خاک هستند (۲۸). خاک‌های درشت بافت تمایل کم‌تری برای جذب فلزات سنگین نسبت به خاک‌های ریز بافت نشان می‌دهند. کانی‌های رسی، هیدرواکسیدهای آهن و منگنز، اسید هومیک و سایر اجزا که از ویژگی جذب بسیار بالایی برخوردارند، تمایل جذب بیش‌تری دارند. در مطالعه انجام شده توسط نجفی‌قیری و همکاران (۲۰۱۱) در ذرات درشت خاک جذب روی کم‌تر و واجذب آن بیش‌تر بوده است و این خطر آبتوی روی را به داخل آب‌های زیرزمینی یا جذب به‌وسیله گیاهان در خاک‌های آلوده، به‌همراه دارد (۱۸).

هاشمی و باقرنژاد (۲۰۱۱) نشان دادند که بیش‌ترین جذب روی در حضور سدیم اتفاق می‌افتد. نتایج به‌دست آمده توسط این پژوهشگران نشان داده است که داده‌های جذب روی دارای سطح معنی‌دار بالایی در منحنی‌های جذب لانگ‌مویر است (۱۰). ریحانی‌تبار و همکاران (۲۰۱۰) ویژگی‌های جذبی روی را در تعدادی از خاک‌های آهکی ایران بررسی کردند و مقدار روی جذب شده را با ۶ هم‌دمای جذبی برازش دادند و نتایج نشان داد که برازش معادله فروندلیچ بالاترین همبستگی را داشته است (۲۱).

آزمایش‌های جذب: جهت انجام آزمایش جذب، ۸ غلظت متفاوت از محلول نیترات روی، با غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۱۰۰، ۱۶۰۰، ۲۲۰۰ و ۳۰۰۰ میکرومول بر لیتر در محلول زمینه‌ای نیترات سدیم ۰/۱ مولار با pH=۵ تهیه شد. سپس ۰/۵ گرم از جزءهای رس، سیلت و شن، وزن شده و در لوله‌های سانتریفوژ درب‌دار پلی‌اتیلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. به هر کدام از نمونه‌ها ۲۰ میلی‌لیتر از محلول با غلظت یاد شده از عنصر روی افزوده شد. نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در ابتدا تکان داده شد و سپس به مدت ۲۰ ساعت درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند و مجدداً به مدت ۲ ساعت با استفاده از دستگاه شیکر رفت و برگشت، مخلوط شدند. سپس لوله‌ها را به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و محلول رویی با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گردید. سپس غلظت عنصر روی با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. آزمایش در سه تکرار انجام گرفت. جهت محاسبه میزان روی جذب‌شده، غلظت روی قرائت شده از اتمیک را از میزان کل روی اضافه شده کسر نموده، تا میزان روی جذب شده به دست آید. داده‌های جذب روی توسط مدل‌های فروندلیچ، لانگ‌مویر و تمکین مورد بررسی قرار گرفتند. معادلات به ترتیب در زیر آورده شده است:

$$q_e = K_f C_e^n \quad (1)$$

$$\frac{C}{X} = \frac{1}{K_b} + \frac{1}{b} C \quad (2)$$

$$X = K_1 + K_2 \ln C \quad (3)$$

سوسپانسیون ۱:۵ خاک و آب مقطر (۲۶)، میزان مواد آلی با روش والکلی- بلک اصلاح‌شده توسط نلسون و سامرز (۱۹)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره سوسپانسیون ۱:۵ خاک و آب مقطر (۲۲)، اندازه‌گیری شدند.

**مطالعات کانی‌شناسی:** مراحل جداسازی و آماده‌سازی رس به روش معمول کنز و دیکسون انجام شد (۱۳). پس از حذف املاح محلول و گچ با آب مقطر، حذف کربنات‌ها تا حد امکان با کمک محلول استات سدیم یک نرمال با pH=۵ انجام شد. حذف مواد آلی نمونه‌ها توسط آب اکسیژنه (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) صورت گرفت. حذف اکسیدهای آهن با سیترات سدیم و بی‌کربنات سدیم و سپس اضافه نمودن دی‌تیونات سدیم انجام شد. پس از جداسازی ذرات رس با سانتریفوژ با دور ۷۵۰ در دقیقه، به مدت ۵ دقیقه براساس قانون استوکز (۱۲)، چهار اسلاید رس اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم، تیمار حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و تیمار با اتیلن‌گلیکول تهیه شد. برای جداسازی ذرات سیلت بعد از جداسازی ذرات رس، به نمونه خاک‌های درون لوله آب مقطر اضافه کرده و با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه و زمان ۵ دقیقه بر اساس قانون استوکز، سانتریفوژ نموده، تا ذرات سیلت جدا شوند (۱۲). ذرات باقی‌مانده در ته لوله ذرات شن هستند. تیمار ذرات سیلت شبیه رس انجام شد. در نهایت، جهت شناسایی کانی‌های رسی نمونه‌ها از دستگاه پراش پرتو ایکس، نمونه Zimens D5000 با توقف ۰/۵ ثانیه و زاویه ۲ تا ۳۵ تنه با کاتد مسی استفاده گردید. نمونه‌های شن و سیلت نیز با دستگاه پراش پرتو ایکس مدل ۳۰۰ Unisantix xmd با توقف ۰/۵ ثانیه و زاویه ۷ تا ۷۰ تنه، با کاتد مسی مورد شناسایی قرار گرفتند. برای بررسی میزان درصد نیمه‌کمی رس‌ها از نرم‌افزار Xp powder Version 2004.04 استفاده شد.

مربوط به خاک شماره ۳ (۳۷/۶) و کمترین میزان آن مربوط به خاک شماره ۶ (۱۴/۵) بوده است. خاک‌های غرقاب به‌طور میانگین دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتری نسبت به خاک‌های غیرغرقاب می‌باشند.

**کانی‌شناسی اجزاء خاک:** بررسی کانی‌شناسی اجزاء خاک نشان داد که در ۴ خاک غرقاب، در جزء رس، کانی ورمی‌کولیت بیش‌ترین میزان و سپس ایلیت و کلریت و به مقدار کم‌تر کوارتز و پالی‌گورسکیت، مشاهده می‌شود (جدول ۲ و شکل ۱ به‌عنوان نمونه). شرایط آکوئیک موجود در منطقه منجر به افزایش درصد نسبی کانی‌های رسی ۲:۱ از جمله ورمی‌کولیت شده است (۹). روی عمدتاً به‌وسیله تبادل یونی بر روی کانی‌ها جذب می‌شود و چون تبادل یونی در رس ورمی‌کولیت، به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، بالا است، بنابراین رس ورمی‌کولیت در جذب روی قوی عمل می‌کند. میزان جذب روی را می‌توان به تبادل با کاتیون منیزیم موجود در رس ورمی‌کولیت نیز نسبت داد. توران و همکاران (۲۰۱۱) نیز توانایی کانی ایلیت را در حذف آلایندگی عناصر مس و روی مثبت ارزیابی نمودند (۲۷).

در ۴ خاک غیرغرقاب منطقه، در جزء رس، نتایج نشان‌دهنده درصد بالای اسمکتیت و سپس پالی‌گورسکیت در خاک شماره ۵ الی ۸ می‌باشد. حضور هر دوی این رس‌ها به‌دلیل داشتن میزان ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه بالا، نقش مهمی در جذب عنصر روی دارند (جدول ۲ و شکل ۱ به‌عنوان نمونه). وجود کانی رسی اسمکتیت به‌دلیل ظرفیت بالای جذب عناصر می‌تواند شاخص مهمی برای جذب عناصر سنگین در خاک‌ها باشد (۲۸). در کنار رس اسمکتیت، ایلیت نیز در منطقه در حدود ۲۰٪ تخمین زده شده است (جدول ۲)، که پس از اسمکتیت و پالی‌گورسکیت، رس بعدی در جذب آلایندگی روی می‌باشد.

که در آن،  $q_e$  میزان ماده جذب‌شده در واحد وزن جاذب (میلی‌گرم بر گرم)،  $C_e$  غلظت تعادلی جذب‌شونده در محلول (میلی‌گرم بر لیتر)،  $K_f$  ثابت فروندلیچ،  $n$  ثابتی است (بدون بعد) که بیان‌کننده شدت و درجه برهمکنش بین جاذب و جذب‌شونده است.  $\frac{X}{m}$  مقدار ماده جذب‌شده در واحد وزن جذب‌کننده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)،  $K$  ضریب متناسب با انرژی پیوندی جذب‌شونده به جذب‌کننده (لیتر بر کیلوگرم) و ضریب  $b$  حداکثر مقدار جذب‌شونده به‌وسیله جذب‌کننده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)،  $C$  غلظت تعادلی جذب‌شونده در محلول (میلی‌گرم بر لیتر) و  $K_1$  و  $K_2$  ثابت معادله می‌باشند. تمامی کارهای آماری با برنامه‌های Excel و SPSS 21 تحت ویندوز انجام گرفت.

### نتایج و بحث

طبقه‌بندی خاک‌ها و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به جدول، بالاترین مقدار درصد رس (۴۱/۵٪) را خاک شماره ۱ و ۲، منطقه غرقاب و کمترین مقدار درصد رس (۱۹٪) را خاک شماره ۸ منطقه غیرغرقاب، به خود اختصاص داده است. بیش‌ترین میزان pH مربوط به خاک غیرغرقاب شماره ۵ است (pH ۸/۱) و خاک غرقاب شماره ۳ دارای کمترین واکنش خاک (pH=۷/۶) می‌باشد (جدول ۱). بالاترین میزان درصد کربنات‌کلسیم در خاک شماره ۱ (۲۴/۴ درصد) و کمترین میزان آن در خاک شماره ۳ (۱۵/۳٪) است (جدول ۱). مقدار ماده آلی در خاک‌ها بین ۰/۴ تا ۲/۳۰ درصد متغیر بوده است (جدول ۱). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) در این خاک‌ها بین ۱۴/۵ تا ۳۷/۶ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم در خاک متغیر می‌باشد (جدول ۱). بیش‌ترین میزان CEC

جدول ۱- مقادیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی مورد مطالعه.

Table 1. Values of selected physicochemical characteristics of soil studied.

شماره خاک Soil No.	کشت Cultivation	USDA (۲۰۱۴)	شن %Sand	سیلت %Silt	رس %Clay	پ‌هاش pH	درصد کربنات کلسیم معادل %CaCO <sub>3</sub>	درصد ماده آلی %O.M	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol.kg <sup>-1</sup> )
1	غرقاب Paddy	Typic Epiaquepts	32.5	26	41.5	7.9	24.4	2.3	0.14	29.2
2	غرقاب Paddy	Typic Epiaquepts	22.5	36	41.5	7.8	17.1	2.3	0.17	29.9
3	غرقاب Paddy	Typic Epiaquepts	40.5	22	37.5	7.6	15.3	2	0.14	37.6
4	غرقاب Paddy	Typic Epiaquepts	18.5	42	39.5	7.9	15.5	1.6	0.15	23
5	غیر غرقاب Non Paddy	Typic Calcixerepts	34	25.5	40.5	8.1	24.8	0.4	0.1	17.3
6	غیر غرقاب Non Paddy	Typic Calcixerepts	40	37	23	7.8	23.3	2.2	0.2	14.5
7	غیر غرقاب Non Paddy	Typic Calcixerepts	21	43	36	7.8	28.5	1.8	0.4	23.1
8	غیر غرقاب Non Paddy	Typic Calcixerepts	32	49	19	7.7	23.5	2.3	0.8	26.4

جدول ۲- نتایج نیمه کمی کانی شناسی جزء رس خاک‌های مطالعه شده.

Table 2. Semi quantitative results of clay particle minerals in soils studied.

فراوانی کانی‌های جزء رس  
Clay particle mineral abundance

شماره خاک Soil No.	کلریت Chlo	ایلیت Illite	اسمکتیت Smect	ورمی کولیت Verm	پالی گورسکیت Palyg	کانولینیت Kaol	کوارتز Qua.	کانی‌های مخلوط Mix.
1	***	**	Tr	***	*	*	Tr	*
2	*	***	Tr	***	*	*	Tr	*
3	*	**	Tr	****	*	*	*	*
4	**	***	Tr	****	Tr	*	Tr	Tr
5	***	**	***	Tr	*	***	Tr	*
6	**	***	***	Tr	***	**	Tr	*
7	**	**	****	*	**	Tr	*	*
8	*	**	***	**	**	*	*	*

Tr: ناچیز، \* کم‌تر از ۱۰ درصد، \*\*: ۱۰ تا ۲۰ درصد، \*\*\*: ۲۰ تا ۳۰ درصد، \*\*\*\*: ۳۰ تا ۵۰ درصد.

Tr: Trace, \* <10%, \*\*: 10-20%, \*\*\*: 20-30 %, \*\*\*\*: 30-50%.

جذب روی را می‌توان کانی‌های رسی مختلط دانست. حضور ایلیت به صورت مختلط با ورمی‌کولیت، عامل مهمی در جذب روی می‌باشند. فلدسپارها و گیسایت نیز به دلیل داشتن ظرفیت تبادل بسیار پایین نقشی در جذب روی نشان نخواهند داد. پراش نگاشت‌های پرتوی ایکس به دست آمده از جزء سیلت (شکل ۱) در خاک غیر غرقاب، وجود کانی‌های کوارتز، فلدسپار، دولومیت و دیگر کانی‌های حد واسط رسی از جمله ایلیت- کلریت و ایلیت- هیدروکسی ایتترالایه‌ها، را در خاک‌ها تأیید می‌کند (جدول ۳). حضور کانی‌های مختلط رسی میکا و تا حدودی دولومیت و یا کلسیت، می‌تواند عاملی در جذب روی در جزء سیلت خاک‌ها گزارش شود.

پراش نگاشت‌های پرتوی ایکس به دست آمده در جزء سیلت خاک‌های غرقاب، وجود کانی‌های کوارتز، کلسیت به مقدار کم، فلدسپار، گیسایت و دیگر کانی‌های حدواسط رسی از جمله میکا را در خاک‌ها تأیید می‌کند. به نظر می‌رسد که حذف آهک به طور کامل در خالص‌سازی صورت نگرفته باشد، که می‌توان فرازهای مربوط به کلسیت را مشاهده نمود، هر چند که میزان آن کم است. در جزء سیلت کانی کوارتز و سپس کلسیت و فلدسپار (جدول ۳، شکل ۱ ردیف دوم) دیده شدند. حضور کانی‌های رسی مختلط مانند میکا، اسمکتیت، یا میکا- ورمی‌کولیت منجر به جذب بیشتر این جزء از خاک نسبت به جزء شن شده است. مهم‌ترین کانی‌های این جزء در

جدول ۳- نتایج نیمه کمی کانی‌شناسی جزء سیلت خاک‌های مطالعه شده.

Table 3. Semi quantitative results of silt particle minerals in soils studied.

فراوانی کانی‌های جزء سیلت Silt particle mineral abundance	شماره خاک Soil No.
Mixed Clay mineral < Feldespare < Calcite < Quartz	1
Feldespare < Calcite < Quartz	2
Feldespare < Mixed Clay mineral < Gibbsite < Quartz	3
Quartz < Mixed Clay mineral < Feldespare	4
Feldespare < Quartz < Mixed Clay mineral < Calcite	5
Dolomite < Calcite < Quartz < Feldespare	6
Mixed Clay mineral < Calcite < Quartz < Feldespare	7
Mixed Clay mineral < Calcite < Quartz < Feldespare	8

در جزء شن را برای جذب روی فوق‌العاده کاهش داده است، به طوری که تقریباً این میزان جذب نصف مقادیر رس و حتی سیلت می‌باشد (بخش نتایج جذب). در جزء شن خاک‌های غیر غرقاب کانی‌های کوارتز، فلدسپار و گیسایت بیش‌ترین میزان را دارا بودند (جدول ۴ و شکل ۱ ردیف سوم). جذب انجام‌شده در این جزء را تنها می‌توان به وسیله کلسیت

در جزء شن ۴ خاک غرقاب، فراوانی نسبی کانی‌ها به ترتیب، کوارتز، فلدسپار، کلسیت مشاهده شده است. مقادیر بالای کانی کوارتز میزان جذب روی را تا حدودی در شن کم‌تر می‌کند، اما این کاهش در خاک شماره ۳، بسیار چشم‌گیر است (جدول ۴ و شکل ۱ ردیف سوم). در خاک شماره ۳، فراوانی کوارتز، فلدسپار و گیسایت مقادیر بار لایه‌ای

جذب روی، برخوردار است (۲۵). کلسیت به علت فراوانی آن در خاک‌های آهکی یکی از اجزاء مهم جذب روی در این خاک‌ها محسوب می‌شود.

و دولومیت به مقدار ناچیز توجیه پذیر کرد. شاهوان و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که کلسیت خالص در مقایسه با رس کائولینیت از ظرفیت بالایی برای

جدول ۴- نتایج نیمه کمی کانی شناسی جزء شن خاک‌های مطالعه شده.

Table 4. Semiquantitative results of sand particle minerals in soils studied.

شماره خاک Soil No.	فراوانی کانی‌های جزء شن Sand particle mineral abundance
1	Dolomite < Calcite < Feldespare < Quartz
2	Feldespare < Gibbsite < Calcite < Quartz
3	Gibbsite < Feldespare < Quartz
4	Calcite < Feldespare < Quartz
5	Calcite < Feldespare < Quartz
6	Calcite < Feldespare < Quartz
7	Feldespare < Calcite < Quartz
8	Dolomite < Calcite < Feldespare < Quartz

بخش شن، کربنات کلسیم نقش اثرگذاری دارد، به طوری که در بررسی همبستگی پیرسون، بین ضریب  $K_F$  و  $CaCO_3$  در سطح ۰.۵٪ رابطه معنی داری مشاهده شد ( $n=4$ ,  $r^2=0.96^*$ ). میزان  $K_F$  فروندلیچ در جزء رس در خاک‌های غیرغرقاب به طور میانگین برابر ۸۳۱۳ در جزء شن ۵۹۸۲/۵ و در جزء سیلت برابر ۲۹۹۱/۷ به دست آمد. همان طور که مشاهده می‌شود، مقایسه میزان جذب در خاک‌های غیرغرقاب و غرقاب (جدول‌های ۵ و ۶)، نشان می‌دهد که جزء رس در خاک غرقاب بیش تر از شن و سیلت در جذب نقش داشته‌اند، متنها در خاک‌های غیرغرقاب نقش اول رس و سپس شن (همبستگی معنی داری در سطح ۰.۵٪، بین  $K_F$  جزء شن و  $CaCO_3$  ( $n=4$ ,  $r^2=0.97^*$ ) آن مشاهده شد)، نقش بیش تری نسبت به سیلت داشته است. میزان جذب در خاک‌های غرقاب بیش از غیرغرقاب مشاهده شد. عامل اصلی نوع کانی‌های رسی آن است. همان طور که در بخش کانی شناسی بیان شد، حضور ورمی کولیت به دلیل تبادل کاتیونی بالاتر، در جذب روی در خاک غرقاب، نقش مؤثرتری

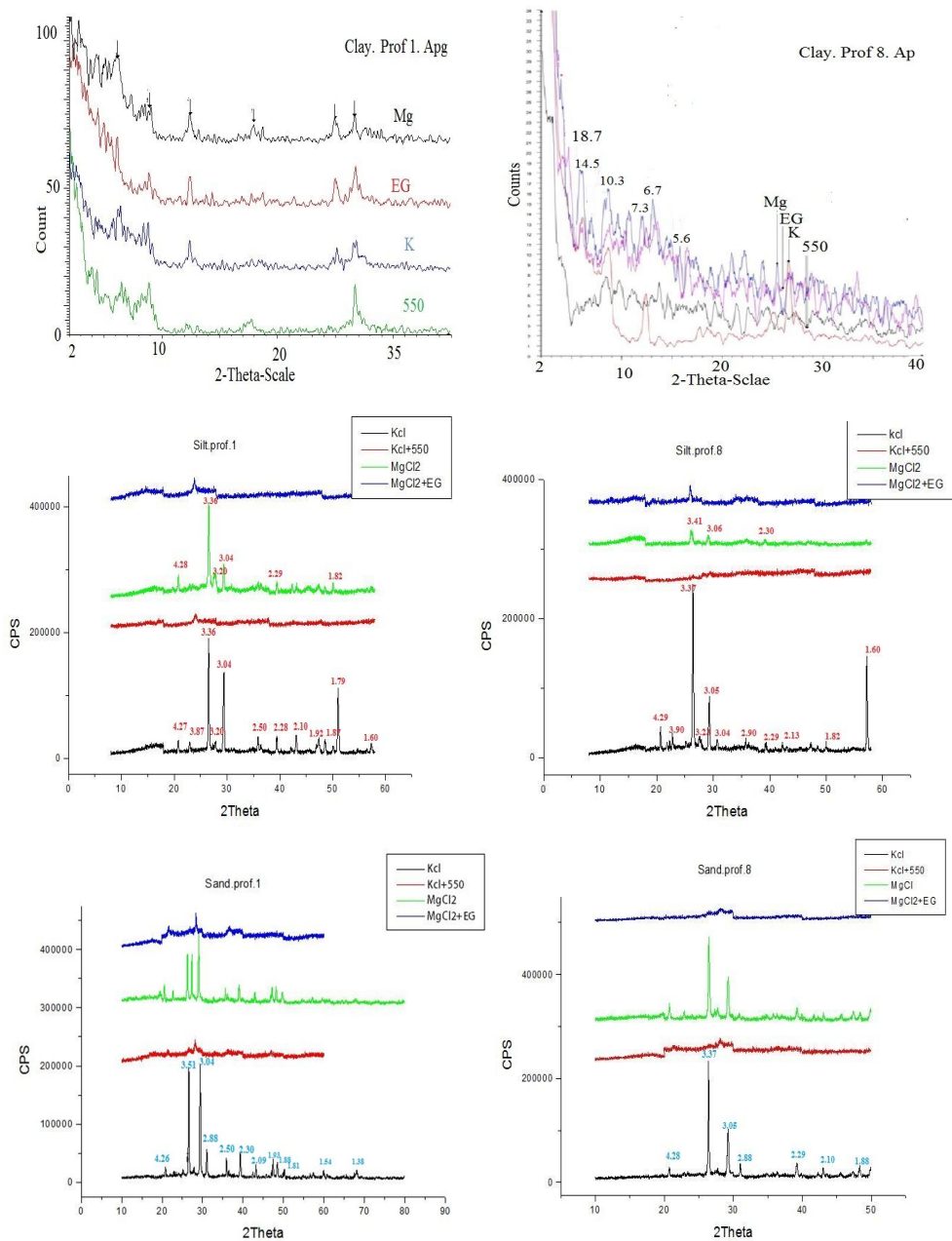
بررسی هم‌دماهای جذب روی: در مطالعات هم‌دماهای جذب روی، نتایج نشان داد که در خاک‌های غرقاب، معادله فروندلیچ توصیف قابل قبولی از داده‌های جذب روی داشته است. مقایسه میانگین ضریب تبیین ( $r^2>0.95$ ) نشان می‌دهد که این معادله نسبت به معادلات لانگ‌مویر ( $r^2=0.51-0.97$ ) و تمکین ( $r^2=0.69-0.99$ ) در خاک‌های غرقاب بیش ترین برازش را داشته است (جدول ۵). نتایج نشان داد، در خاک‌های غیرغرقاب، همانند خاک‌های غرقاب معادله فروندلیچ دارای میانگین ضریب تبیین بهتری ( $r^2=0.87-0.95$ ) نسبت به معادله لانگ‌مویر است. معادله تمکین ( $r^2=0.87-0.92$ ) نیز نسبت به معادله لانگ‌مویر برازش بهتری نشان می‌دهد. مقایسه بین خاک‌های غرقاب و غیرغرقاب نشان داد که ضریب تبیین در غرقاب بالاتر از غیرغرقاب است (جدول‌های ۵ و ۶).  $K_F$  فروندلیچ نشان‌دهنده میزان جذب در غلظت تعادلی روی بوده است و در جزء رس خاک غرقاب، میانگین آن (۹۶۶۸/۵) از جزء سیلت (۴۶۸۲/۷) و شن (۲۶۶۶) بیش تر است. در جذب روی در معادله فروندلیچ در



به دست آوردند و بیان کردند که با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مقدار روی نگهداری شده افزایش می یابد (۱۵). مطالعه انجام شده توسط نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۱)، در خاک غیرغرقاب نشان داد که معادله لانگ مویر نسبت به معادله خطی برازش خوبی برای جذب روی داشته است (۱۸).

نسبت به اسمگتیت و پالی گورسکیت در خاک های غیرغرقاب دارد.

مطالعه انجام شده در خاک های تحت کشت برنج توسط مفتون و همکاران (۲۰۰۰)، نشان دادند که همدمای جذب سطحی با شکل خطی معادله فروندلیچ هماهنگی داشته است، همچنین آن ها رابطه معنی داری بین  $K_F$  و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک



شکل ۱- پراش نگاشت پرتو ایکس اجزاء خاک شماره ۱ (غرقاب) و خاک شماره ۸ (غیرغرقاب).

Figure 1. X-ray diffraction curve, in particles of soil 1 (paddy) and soil 8 (non-paddy).

جدول ۵ - پارامترهای معادلات لرنجلیچ، لانگمویر و تمکین در اجزای شن، سیلت و رس خاک‌های خراب.  
**Table 5- The parameters of Freundlich, Langmuir and Temkin equations in sand, silt and clay particles in paddy soils.**

تمکین Temkin									
$r^2$	K1	K2	$r^2$	b (mg/kg)	K1	$r^2$	ln	Kf (L/Kg)	شماره خاک Soil No.
شن Sand									
0.84*	2176	4218	0.94**	1428.6	1.4	0.99**	1.69	5069	1
0.75*	1340	2804	0.91**	3333.3	0.5	0.98**	1.26	2953	2
0.82*	622.7	1464	0.88*	3333.3	0.5	0.97**	0.52	983	3
0.92**	722.2	2205	0.91**	3333.3	1.5	0.86*	0.51	1659	4
0.83*	1215.1	2672.7	0.91**	2857.1	0.9	0.95**	0.99	2666	Mean
سیلت Silt									
0.94**	931.7	2387	0.97**	5000	1	0.9**	0.66	2141	1
0.78*	2005	6051	0.97**	3333.3	1.5	0.99**	1.46	2674	2
0.69*	1705	2219	0.62*	3333.3	1	0.96**	1.32	8904	3
0.81*	1693	3633	0.62*	3333.3	0.8	0.96**	1.3	5011	4
0.81*	1583.6	3622.5	0.79*	3749.9	1.07	0.95**	1.2	4682.4	Mean
رس Clay									
0.83*	4201	2587	0.6*	3333.3	1	0.95**	1.38	7537	1
0.95**	1046	2871	0.94**	5000	1	0.93**	0.75	2621	2
0.99**	1645	4798	0.51*	1666.7	0.6	0.97**	0.92	6674	3
0.91**	2131	5726	0.67*	2500	2	0.98**	1.57	1842	4
0.92**	2255.7	3995.5	0.68*	3125	1.15	0.95**	1.15	9668.5	Mean

\*، \*\* به ترتیب در سطح احتمال 0 و 1 درصد معنی دار می‌باشد.

\*، \*\* are Significant at 5 and 1 (%) probability level, respectively.

جدول ۶- پارامترهای معادلات فروندلیچ، لانگمیر و تمکین در اجزاء شن، سیلت و رس خاک‌های غیرغرقاب.

Table 6- The parameters of Freundlich, Langmuir and Temkin equations in sand, silt and clay particles in non-paddy soils

Temkin	Freundlich	Langmuir	Temkin	Freundlich	Langmuir	Temkin	Freundlich	Langmuir	Temkin
F	KI	K2	F	b (mg/kg)	Kc	F	Kf (L/Kg)	1/n	Kt (L/Kg)
0.94**	1016	2833	0.89*	5000	1	0.81*	2454	0.72	2454
0.98**	683.4	2223	0.99**	5000	1	0.84*	1788	0.48	1788
0.77*	2178	5225	0.71*	1428.6	1.7	0.93*	17967	1.7	17967
0.94**	850.9	2303	0.92**	5000	1	0.89*	1721	0.59	1721
0.9**	1181.3	3146	0.88**	4107.1	1.17	0.87*	5982.5	0.87	5982.5
شن Sand									
0.88*	883.5	2744	0.95**	5000	1	0.84*	2328	0.61	2328
0.97**	1135	2811	0.81*	10000	0.5	0.92**	2456	0.79	2456
0.91**	1113	3216	0.61*	5000	1	0.84*	3194	0.76	3194
0.94**	1417	3648	0.83*	10000	1	0.98**	3989	0.75	3989
0.92**	1137.1	3104.7	0.8*	7500	0.87	0.89*	2991.7	0.72	2991.7
سیلت Silt									
0.85**	1235	2783	0.83*	5000	1	0.88*	2438	0.64	2438
0.82*	1987	5469	0.83*	2000	2.5	0.97**	20663	1.54	20663
0.82*	817.3	2292	0.89*	5000	0.7	0.97**	1911	0.62	1911
0.97**	1849	4571	0.7*	5000	1	0.99**	8230	1.25	8230
0.88*	1472.1	3778.7	0.81*	4250	1.3	0.95**	8313	1.01	8313

\*, \*\*, \*\*\* به ترتیب در سطح احتمال 5 و 1 درصد معنی دار می‌باشد.

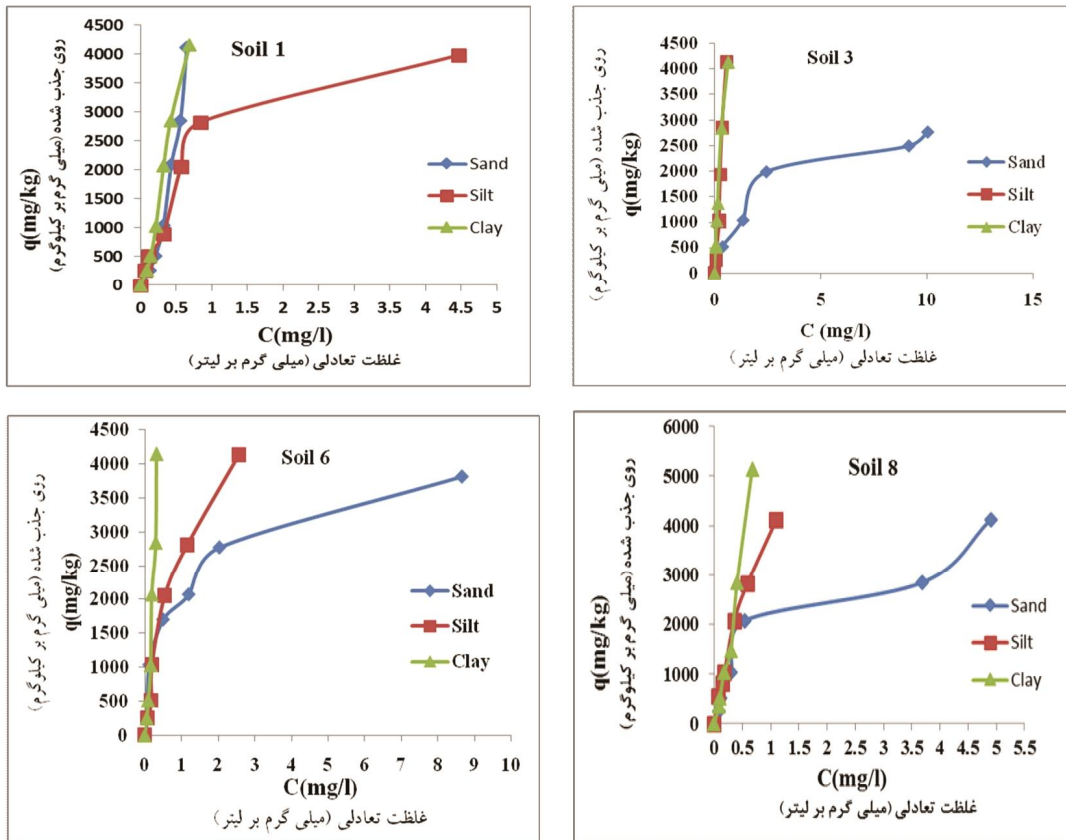
\*, \*\*, \*\*\* are Significant at 5 and 1 (%) probability level, respectively.

کاتیونی (CEC) و مواد آلی در خاک شماره ۱ و ۳، علاوه بر کانی‌های این جزء از عوامل دیگر افزایش جذب هستند (شکل ۱).

در خاک شماره ۸ حداکثر میزان جذب در جزء رس (۳۸/۳۸٪) نسبت به خاک‌های دیگر مشاهده شده است، که ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالا، محتوی ماده آلی به نسبت بالا (جدول ۱) و مقدار درصد آهک بالاتر (۲۳/۵) می‌توانند از دلایل این امر باشد. در خاک شماره ۶ و ۸ رس نقش بیش‌تری در جذب نسبت به سیلت و سیلت نسبت به شن را نشان داد. هر چند میزان رس در خاک شماره ۸ کم‌ترین میزان را در بین نمونه‌ها داشته است (۱۹٪)، اما جذب بیش‌تر در این جزء را می‌توان به محتوی اسمکتیت و تا حدودی ورمی‌کولیت رس نسبت داد (جدول ۲). وجود کانی رسی اسمکتیت به دلیل ظرفیت بالای جذب عناصر می‌تواند شاخص مهمی برای جذب عناصر سنگین در خاک‌ها باشد (۲۷). جالب توجه است که بین میزان روی جذب شده در جزء رس و محتوی ورمی‌کولیت رس نیز همبستگی معنی‌داری در سطح ۵٪ مشاهده شد ( $n=8, r=0.96^*$ ). مطالعه انجام شده توسط سرانو و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که در بخش رس خاک، به دلیل وجود کانی اسمکتیت، جذب روی بالاتر بوده است (۲۴).

ماندژیوا و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه جذب مس، سرب و روی در خاک‌های چرنوزم در اجزاء متفاوت خاک نشان دادند که با افزایش اندازه ذرات خاک، میزان جذب عناصر سنگین نامبرده کاهش یافته است. بیش‌ترین میزان جذب را در خاک‌های لومی رسی، لوم و سپس شنی لومی مشاهده کردند. عامل اصلی را شیمی و کانی‌شناسی اجزاء ریز خاک دانستند (۱۴).

نتایج نشان داد که بدون در نظر گرفتن اجزاء خاک، میزان جذب روی با افزایش غلظت روی در محلول خاک افزایش یافت، اما جذب روی در اجزاء رس نسبت به سیلت و شن بیش‌تر بوده است (شکل ۲). وی‌یرا و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه جذب مس بر روی کانی رسی بتونیت نشان دادند که با افزایش غلظت جاذب میزان جذب مس نیز افزایش یافته است (۲۹). جذب بیش‌تر روی در بخش رس بستگی به نوع، مقدار کانی‌های رسی و همچنین CEC خاک دارد. بین میزان روی جذب‌شده و محتوی رس در تمامی نمونه‌ها در سطح ۵٪ همبستگی معنی‌دار مشاهده شد ( $n=8, r=0.73^*$ ). همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، جذب روی در سه جزء ذرات خاک‌های غرقاب، در جزء شن، سیلت و رس تفاوت زیادی با یکدیگر ندارد و تنها در جزء شن (۲۴/۹۸٪) خاک شماره ۳، میزان جذب روی کم‌تر از میزان جذب در جزء رس (۳۷/۴۵٪) و سیلت (۳۷/۵۵٪) است. عامل اصلی را می‌توان محتوی رس، ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۷/۶ سانتی‌مول بر کیلوگرم) (جدول ۱) و مقدار نسبی بالای رس ورمی‌کولیت دانست (جدول ۲). بین میزان روی جذب‌شده در بخش رس و سیلت و میزان نسبی ورمی‌کولیت همبستگی معنی‌داری در سطح ۵٪ ( $n=8, r=0.76^*$ ) مشاهده شد. در خاک‌های غرقاب عمدتاً رس ورمی‌کولیت باعث افزایش میزان CEC خاک شده است. مقدار نسبی ۴۰٪ رس ورمی‌کولیت در این خاک (جدول ۲) می‌تواند دلیلی بر افزایش جذب بسیار بالای روی در جزء رس خاک‌های غرقاب باشد. ورمی‌کولیت یک سیلیکات ورقه‌ای با ساختار لایه‌ای ۲:۱ می‌باشد. این کانی علاوه بر این که ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارد، توانایی جذب و تثبیت عناصر سنگین را هم دارا است (۵). همچنین بالا بودن میزان ظرفیت تبادل



شکل ۲- میزان جذب روی در سه جزء شن، سیلت و رس در خاک‌های غرقاب (۱ و ۳) و غیرغرقاب (۶ و ۸).

Figure 2. Zinc sorption value in sand, silt and clay particles in paddy (1, 3) and non paddy (6, 8) soils.

خارج سازند (۲۳). همچنین در مطالعه انجام شده توسط هاشمی و باقرنژاد (۲۰۱۱)، خاک‌های گچی بیش‌ترین میزان جذب روی را نسبت به خاک‌های اسیدی و آهکی نشان دادند (۱۰). بالا بودن جذب روی در خاک‌های گچی به دلیل حضور کانی پالی‌گورسکیت با سطح ویژه بالا است. حمیدپور و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش میزان جذب عناصر سرب، کادمیوم و روی را با افزایش مقدار کاربرد کانی‌های ژئولیت، پالی‌گورسکیت و بتونیت گزارش نمودند (۸).

در بخش سیلت خاک‌های غرقاب کانی کوارتز فراوانی زیادی داشته و این کانی به دلیل نداشتن سطح ویژه بالا و نداشتن بار لایه‌ای منجر به کاهش جذب

در خاک‌های غیرغرقاب حضور مقادیر نسبی بالای رس‌های خانواده اسمکتیت نقش مهمی را در میزان جذب روی به عهده خواهند داشت (جدول ۲). همچنین کانی رسی پالی‌گورسکیت به دلیل سطح ویژه زیاد نقش مهمی در جذب روی در خاک شماره ۸ (شکل ۲) نشان داد. ضرایب همبستگی پیرسون رابطه معنی‌داری را بین محتوی سیلت و رس با میزان نسبی رس پالی‌گورسکایت در سطح ۰.۵٪ نشان داد ( $n=8, r=0.85^{**}$ ). کانی‌های رسی مونت‌موریلونیت، آلفان، کائولینیت، بتونیت و ایلیت به علت دارا بودن بار الکتریکی منفی و ظرفیت تبادل کاتیونی، به عنوان جاذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند و قادرند عناصر سنگین را جذب و از دسترس گیاه

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج هم‌دماهای جذب نشان داد که معادله فروندلیچ با میانگین ( $r^2 > 0.95$ ) در مقایسه با معادله لانگ‌مویر ( $r^2 = 0.83$ ) و تمکین ( $r^2 = 0.85$ ) جذب روی را بهتر توصیف می‌کند. سطح ویژه بالا و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر در جزء رس باعث حداکثر جذب روی در این جزء شد. در دو جزء دیگر خاک، بخش سیلت نسبت به بخش شن جذب بیش‌تری دارد. در خاک‌های غرقاب حضور رس ورمی‌کولیت و سپس ایلیت بیشترین تاثیر در میزان جذب را داشتند. در خاک‌های غیرغرقاب کانی‌های رسی مانند اسمکتیت، ایلیت و پالی‌گورسکیت به دلیل سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی، نقش بیش‌تری در جذب روی نسبت به جزء سیلت و شن نشان دادند. حضور کانی‌های حد واسط رسی ( $n=8$ ,  $r=0.77^*$ ) و مقدار بسیار اندک کلسیت در جزء سیلت ( $n=8$ ,  $r=0.98^*$ )، عامل مهمی در جذب بوده و در جزء شن مقادیر بسیار ناچیز کلسیت و دولومیت ( $n=8$ ,  $r=0.96^*$ ) پارامترهای اصلی هستند. هرچه از جزء رس به شن می‌رویم بر میزان فلدسپارها و کوارتز افزوده می‌شود و اجزاء فعال کاسته شده و بنابراین محتوی جذب را کاهش می‌دهد. به‌طور کل کانی‌ها در شن عمدتاً غیرفعال هستند و معمولاً باعث افزایش قابلیت دسترسی روی در خاک می‌شود. می‌توان گفت بافت خاک پارامتر مهمی در میزان جذب عناصر سنگین در خاک بوده، به‌خصوص خاک‌های آهکی که محتوی مواد آلی آن‌ها کم است. توصیه می‌شود در جهت کاهش آلاینده‌گی این عناصر از جمله روی در مناطق صنعتی، از رس‌های نام‌برده، به‌عنوان جاذب استفاده نمود.

روی می‌شود و همچنین کانی‌های فلدسپار و گیبسایت به دلیل داشتن ظرفیت تبادل پایین، نقشی در جذب روی نشان نخواهند داد (شکل ۱). عامل اصلی جذب در جزء سیلت را به کانی‌های حد واسط میکا-ورمی‌کولیت می‌توان نسبت داد. در بعضی از خاک‌ها (شماره ۳) جذب روی توسط دو جزء رس و سیلت نزدیک به هم بوده است (شکل ۱). در مقایسه با دو جزء رس و سیلت میزان جذب در جزء شن در خاک شماره ۳ بسیار کم‌تر بوده، که این امر به دلیل وجود کانی‌هایی با سطح جذب کم‌تر مانند کوارتز و فلدسپار می‌باشد (جدول ۵). ضرایب همبستگی پیرسون بین میزان حداکثر جذب روی در جزء سیلت و شن خاک‌های غرقاب، و محتوی  $\text{CaCO}_3$  در سطح ۰.۵٪ رابطه معنی‌داری را نشان داده است ( $n=8$ ,  $r=0.98^*$ ).

در خاک‌های غیرغرقاب در جزء شن، فراوانی کوارتز در این خاک‌ها منجر به کاهش میزان جذب روی شده است. فاکتورهای اصلی این بخش در جذب را می‌توان به کلسیت ناچیز و تا حدودی دولومیت نسبت داد. بین روی جذب‌شده در جزء شن و محتوی  $\text{CaCO}_3$  در سطح ۰.۵٪ رابطه معنی‌داری مشاهده شد ( $n=8$ ,  $r=0.96^*$ ). بالاز و همکاران (۲۰۰۵)، گزارش کردند که جذب روی توسط کانی سیلتی مانند کلسیت عمدتاً شیمیایی است و در این میان سطح ویژه و مورفولوژی ذرات به همراه درجه بلوری شدن از ویژگی‌های مهم کلسیت، در جذب روی بوده است (۳).

منابع

1. Allison, L.E., and Moodi, C.D. 1962. Carbonates. In: Black, C.A. (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp: 1379-1396.
2. Amune, M., Christiana, O., and Samuel, K. 2012. Impact of mining and agriculture on heavy metal levels in environmental samples in Okahi local government area of Kogi state. *Int. J. Pure. Appl. Sci. Tech.* 12: 66-77.
3. Balaz, P., Alacova, A., and Brianein, J. 2005. Sensitivity of Freundlich equation constant  $L/n$  for zinc sorption on changes induced in calcite by mechanical activation. *Chem. Eng. J.* 114: 115-121.
4. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI, Pp: 891-901.
5. Douglas, L.A. 1989. Vermiculites. In: Dixon, J.B., and Weed, S.B. (Eds.). Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. Pp: 345-380.
6. Jacquat, O., Voegelin, A., and Kretzschmar, R. 2009. Local Coordination of Zn in hydroxyl-interlayered minerals and implications for Zn retention in soils. *Geo. Et. Cosmochimica Acta.* 73: 348-363.
7. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Method of Soil Analysis, part1. Physical and Mineralogical Methods, 2<sup>nd</sup> Edition. American society of agronomy, Madison, WI. Pp: 383-411.
8. Hamidpour, M., Kalbasi, M., Afyuni, M., and Shariatmadari, H. 2010. Kinetic and isothermal studies of cadmium sorption on to bentonite and zeolite. *Inter. Agro.* 24: 1. 253-259.
9. Hashemi, S.S., and Asadi, F. 2018. Effect of waterlogging cultivation on physical, chemical and mineralogical characteristics of paddy soils in Doroud area, Lorestan Province. *Applied soil research.* 6: 1. 112-123.
10. Hashemi, S.S., and Baghernejad, M. 2009. Zinc sorption by acid, calcareous and gypsiferous soils as related to soil mineralogy. *Iran Agriculture Res.* 27-28: 1. 1-15.
11. Kabata-Pendias, A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants, fourth ed. CRC Press, Boca Raton, Florida.
12. Kittrick, J.A., and Hope, E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction for analysis. *Soil Sci.* 96: 312-325.
13. Kunze, G.W., and Dixon, J.B. 1986. Pretreatments for Mineralogical Analysis. In: Klute, A. (Ed). Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods (No. Ed. 2). American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
14. Mandzhieva, S., Minkina, T., Pinskiy, D., Bauer, T., and Sushkova, S. 2014. The role of soil's particle-size fractions in the adsorption of heavy metals. *Eurasian. J. Soil. Sci.* 3: 197-205.
15. Mafton, M., Haghnia, H., Karimian, N.A. 2000. Zn adsorption characteristics of some soils of Fars province under rice cultivation. *Agri. Sci. Nat. Res.* 4: 2. 71-83.
16. Malakuti, M., Keshavarz, P., and Karimian, N.A. 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. Tarbiat modares University press, 132p.
17. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 1987. Principles of plant nutrition international potash Institute, Kluwer Academic Publishers, Switzerland, Pp: 525-535.
18. Najafi Ghiri, M., Rezaei, M., and Sameni, A. 2011. Zinc sorption-desorption by sand, silt and clay fractions in calcareous soils of Iran. *Arch. Agro. Soil Sci.* 1: 1-13.
19. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis, Part III, 3<sup>rd</sup> Ed., American society of agronomy, Madison, WI, USA. Pp: 961-1010.
20. Perez novo, C., Bermudez Couso, A., Lopez, E., Fernandez, D., and Arias, M. 2011. Zinc adsorption in acidic soils influenced of phosphate. *Geoderma.* 162: 358-364.

21. Reyhanitabar, A., Ardalan, M., Gilkes, R.J., and Savaghebi, G. 2010. Zinc sorption characteristics of some selected calcareous soils of Iran. *J. Agro. Sci. Tech.* 12: 99-110.
22. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part III, 3<sup>rd</sup> Ed.*, American society of agronomy, Madison, WI. Pp: 417-436.
23. Sajidu, S.M.I., Persson, I., Persson, W.R.L., Masamba, N., and Henry, E.M.T. 2008. Mechanisms of heavy metal sorption by chemical extractions. *Water. Air. Soil Poll.* 57-58: 1. 861-871.
24. Serrano, S., Garrido, F., Campbell, C.G., Garcia-Gonzalez, M.T. 2005. Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of Central Spain. *Geoderma.* 124: 91-104.
25. Shahwan, T., Zunbul, B., Tunusoglu, O., and Erogu, A.E. 2005. AAS, XRPD, SEM/EDS, and FTIR characterization of Zn<sup>2+</sup> retention by calcite, calcite-kaolinite and calcite-clinoptilolite minerals. *J. Coll. Inter. Sci.* 286: 471-478.
26. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part III, 3<sup>rd</sup> Ed.*, American society of agronomy, Madison, WI. Pp: 475-490.
27. Turan, M., Mart, U., Yuksel, B., and Celik, M. 2005. Lead removal in fixed bed columns by zeolite and sepiolite. *Chemosphere*, 60: 1487-1492.
28. Usman A.R.A. 2008. The relative adsorption selectivity of Pb, Cu, Zn, Cd and Ni by soils developed on shale in New Valley, Egypt. *Geoderma.* 144: 334-343.
29. Vieira, M.G.A., Neto, A.F.A., and Silva, M.G.C. 2011. Cu(II) adsorption on modified bentonitic clays: different isotherm behaviors in static and dynamic systems. *J. Mater. Res.* 15: 1439-1451.
30. Young, Do, N., and Park, H.I. 2011. A Study on Adsorption of Pb, Cu, Zn and Cd on to natural clay. *Int. J. Environ. Res.* 5: 2. 413-424.





## Investigation of Zinc adsorption in paddy and non-paddy soils: an emphasis on soil particles mineralogy

M. Torkaman<sup>1</sup> and \*S.S. Hashemi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Malayer University, Malayer,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Malayer University, Malayer

Received: 10.09.2017; Accepted: 06.27.2018

### Abstract

**Background and Objectives:** Zinc (Zn) is among the micro elements which is, essential for humans, animals and plants growth at low concentration. High concentrations of heavy metals in soils may pose long-term health risks to ecosystems and humans. Clay minerals play an important role in accumulation, adsorption/desorption, as well as exchange processes of metal ions. The bioavailability of these trace elements by plants decreases with the clay mineral content in soils. The aim of this study is to evaluate Zn sorption by soil fractions in puddling and non-puddling conditions with respect to their mineralogy.

**Materials and Methods:** According to previous studies, eight profiles (Four in paddy and four in non-paddy condition) were sampled and described and all soil profiles were classified in Inceptisols order. For this purpose, eight surface soil samples (0-30 cm) were collected. Soil samples were air-dried and crushed to pass through a 2-mm sieve and physico-chemical experiments were performed. All size fractions were separated and content of minerals in sand, silt and clay fraction were determined. Zinc sorption analysis was performed by adding eight levels of Zn from 100 to 3000  $\mu\text{mol}$  in 0.01 M  $\text{NaNO}_3$  solution as background to sand, silt and clay particles and were shaken for 24 h. The data obtained for Zn sorption on different samples was analyzed for Freundlich, Langmuir and Temkin equations.

**Results:** The results of study showed that the amount of zinc sorbed increased with increasing in the concentration of Zn in the contact solutions. The zinc absorption in the clay and silt fraction was much higher than the sand fraction. The results showed that Freundlich equation ( $R^2=0.95$ ) was more fitted to other equations, in puddling and non-puddling condition.  $K_F$  of Freundlich, indicating sorption value in equilibrium concentration of Zn that in clay fraction of puddling soils it's mean (9668.5) more than silt (4682.7) and sand (2666) fractions.  $K_F$  Mean of Freundlich in clay, sand and silt particles of no puddling soils was equal to 8313, 5982.7 and 2991.7 respectively. The results indicated sorbed Zn value was significantly correlated with clay content in all sample ( $n=8$ ,  $r=0.73^*$ ). The presence of vermiculite mineral in puddling soils is the reason for high Zn sorption ( $n=8$ ,  $r^2=0.768^*$ ), whereas smectite and palygorskite minerals in no puddling soils affected Zn sorption ( $n=8$ ,  $r=0.85^*$ ). In silt fraction mixed minerals such as illite-vermiculite and illite-smectite ( $n=8$ ,  $r=0.77^*$ ) and low content of calcite are main factors to Zn sorption. The presence of quartz and feldspar in sand fraction decreased Zn sorption. While, the presence of small amount of calcite and dolomite ( $n=8$ ,  $r=0.96^*$ ) in this fraction, increased zinc sorption value.

**Conclusion:** Generally, it can be concluded that the type and amount of minerals in soil components are one of the factors that influence the absorption of zinc. The presence of vermiculite and smectite minerals in paddy soils and non-paddy soils are important clay minerals in Zn sorption.

**Keywords:** Inceptisols, Smectite, Sorption, Vermiculite

\* Corresponding Author; Email: s.hashemi@malayeru.ac.ir

*Arci*