

ویژگی‌های جذب سطحی روی در برخی از خاک‌های زیرکشت برنج استان فارس

منوچهر مفتون^۱، حسن حقیقت‌نیا^۲ و نجف علی کریمیان^۱

چکیده

از آن‌جا که بازیابی ظاهری روی در خاک‌های معدنی (غرقابی و غیر غرقابی) ناچیز می‌باشد، برسی دقیق فرایندهایی که باعث ابقای روی در خاک می‌شود اهمیت ویژه‌ای دارد. لذا در یک مطالعه آزمایشگاهی، ویژگی‌های جذب سطحی روی در هشت خاک آهکی زیرکشت برنج، با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت، و برآزش داده‌های جذب توسط هم‌دماهای فروندلیچ و لانگ مویر ارزیابی شد. در این آزمایش دو گرم خاک برای ۲۴ ساعت با ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۱٪ مولار کلسیم کلرید محتوی ۵۰۰ میلی‌گرم روی در لیتر، به حالت تعادل رسانده شد. تفاوت میان غلظت‌های اولیه و نهایی روی در محلول تعادل، به عنوان روی جذب شده منظور گردید. جذب سطحی روی با شکل خطی معادله فروندلیچ قابل توجیه بود. علاوه بر آن، از برآزش داده‌های جذب این عنصر با هم‌دماهای لانگ مویر، دو قسمت خطی متقاطع به دست آمد، که احتمالاً بیانگر دو محل جذبی با میل ترکیبی متفاوت برای روی می‌باشد. ضربیب متناسب با انرژی پیوندی بخش اول (K₁)، یعنی در غلظت‌های کم محلول تعادل، بیشتر و حداقل جذب (K₂) کمتر از بخش دوم (K₃) غلظت‌های زیاد محلول تعادل بود. بنابراین، به نظر می‌رسد که در بخش اول، محل‌های جذبی به علت انرژی پیوندی بیشتر، و در بخش دوم، به واسطه ظرفیت جذبی زیادتر، از اهمیت ویژه‌ای پرخوردار باشد. حداقل ظرفیت جذب سطحی روی در بخش دوم حاصل از هم‌دماهای لانگ مویر (K₂)، با مقدار رس، کربنات کلسیم معادل و غلظت فسفر بومی قابل استفاده هم‌بستگی مثبت، و با ظرفیت تبادل کاتیونی هم‌بستگی منفی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: هم‌دماهای فروندلیچ، هم‌دماهای لانگ مویر، حداقل جذب، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی

مقدمه

بودن روی قابل استفاده در این خاک‌ها است. هنگامی که کودهای معدنی یا آلی روی دار، برای رفع کمبود به خاک اضافه می‌شود، بازیابی ظاهری آن غالباً کمتر از پنج درصد است (۱) و

کمبود روی یکی از شایع‌ترین کمبودهای عناصر غذایی کم مصرف کاتیونی در خاک‌های آهکی و قلیایی، و مخصوصاً خاک‌های زیرکشت برنج به حساب می‌آید. علت اصلی آن کم

۱. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

b (حداکثر جذب) و k (ضرایب متناسب با انرژی پیوندی)، بیش از هم دمای های جذب فروندلیچ، یعنی معادله های ۱ و ۳ مورد استفاده قرار گرفته اند.

برازش هم دمای های جذب سطحی روی با معادله های فروندلیچ و لانگ مویر، به وسیله پژوهشگران زیادی گزارش شده است (۵، ۱۰، ۱۹، ۲۰، ۲۷، ۲۹، ۳۰، ۳۳ و ۳۷). ایس و کنzk (۱۱) اظهار می کنند که رس ها قادر به نگهداری عنصر روی، حتی بیش از ظرفیت تبادل کاتیونی بوده، در پ-هاش تزدیک به ختنی یا قلیایی، این پدیده معلول رسوب و جذب سطحی به صورت $Zn(OH)^+$ است. روی هم چنین می تواند به وسیله سطوح کربنات ها (۱۵) و اکسیدهای آبدار آهن، آلومینیوم و منگنز نیز جذب شود (۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۷).

شوکلاو میتاال (۳۳)، جذب سطحی روی را در چند خاک هندوستان، با بافت های مختلف و با کمبود روی مورد آزمایش قرار داده، نتیجه گرفته اند که هم دمای های جذب شامل سه بخش می باشد. در بخش اول، با غلظت کم روی در محلول خاک (حداکثر ۶ میلی گرم در لیتر)، میزان جذب نسبت به رسوب بیشتر است. در بخش دوم، که در آن غلظت روی ۵۰-۶ میلی گرم در لیتر است، جذب و رسوب توأم صورت می گیرد، و در بخش سوم، که غلظت روی بیشتر از ۵۰ میلی گرم در لیتر است، میزان جذب بیشتر از ظرفیت تبادل کاتیونی بوده، که بیانگر تأثیر بیشتر رسوب، در مقایسه با جذب سطحی روی است. چستر (۷) عقیده دارد که روی در محلول قلیایی، و در شرایطی که غلظت آن از 1×10^{-4} مولار ($6/5$ میلی گرم در لیتر) بیشتر باشد، به صورت $Zn(OH)$ رسوب می نماید. ماندال و هزرا (۲۴) نشان دادند که جذب روی، حداکثر جذب و ضریب متناسب با انرژی پیوندی، در خاکی که برای مدت ۹۰ روز از آب اشباع شده و سپس برای ۳۰ روز در معرض هوا خشک گردیده است، در مقایسه با همان خاک خشک و یا خاکی که برای ۱۵ روز به صورت غرقابی نگهداری شده است، کمتر می باشد. کیان و اکسی (۳۱) مشاهده کردند که عملکرد برجع با حداکثر جذب روی هم دمای لانگ مویر ارتباط مثبت و معنی دار داشته است.

۲۳). در اراضی غرقابی (شالیزارها)، این مقدار از دو درصد تجاوز نمی کند. این موضوع معلول ظرفیت نسبتاً زیاد خاک های آهکی در ابقاء روی است (۱۱ و ۲۶). با این حال، فرایند هایی که باعث جذب روی در خاک می شود به وضوح مشخص نیست. بدینهی است درک صحیح و شناخت بهتر مکانیسم ها، باعث می شود بتوان قابلیت استفاده این عنصر را در شرایط مختلف، دقیق تر برآورد نمود. به طور کلی، به نظر می رسد جذب سطحی و یا رسوب روی به صورت هیدروکسید و کربنات، و یا محیوس شدن آن در شبکه های بلورین کانی ها، از عوامل اصلی کمی قابلیت استفاده روی در خاک های آهکی (غرقابی و غیر غرقابی) به حساب می آید (۲۶ و ۳۲).

از هم دمای های جذب، برای مطالعه نگهداری روی در خاک استفاده شده است. این هم دمای رابطه میان جذب سطحی روی و غلظت یونی آن را در محلول تعادل نشان می دهدند. تاکنون معادله های مختلفی برای توصیف و بیان این رابطه پیشنهاد گردیده است، که دو معادله فروندلیچ (معادله ۱) و لانگ مویر (معادله ۲)، بیش از همه مورد استفاده واقع شده است:

$$X = kC^n \quad [1]$$

$$X = \frac{KbC}{(1 + KC)} \quad [2]$$

در این معادله، X مقدار روی جذب شده (میلی گرم در کیلو گرم خاک)، C غلظت نهایی روی در محلول تعادل (میلی گرم در لیتر) و k ، n ، K و b ضرایب جذبی روی می باشند. در عمل، معمولاً از شکل های خطی این دو معادله به منظور برآورده داده ها استفاده می شود:

$$\log X = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad [3]$$

$$\frac{C}{X} = \frac{1}{Kb} + \left(\frac{1}{b}\right)C \quad [4]$$

نکته شایان توجه این است که هم دمای های جذب لانگ مویر (معادله های ۲ و ۴)، به علت اهمیت فیزیکی دو ثابت آن یعنی

محلول روی از کاغذ صافی و اتمن ۴۲ عبور داده شد. غلظت روی در این محلول توسط دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. تفاوت بین مقدار روی در محلول اولیه و محلول نهایی، برابر با مقدار روی جذب سطحی شده به وسیله خاک در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده با معادله‌های لانگمویر و فروندلیچ برآش داده شد و ضرایب مربوطه محاسبه گردید. همچنین با استفاده از روش رگرسیون گام به گام، ارتباط این ضرایب با خصوصیات خاک مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

هم‌دماهای جذب سطحی روی برای هشت خاک، با شکل خطی معادله فروندلیچ (معادله^(۳)) هماهنگی داشته و در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، ضرایب جذبی مربوط به این معادله در جدول ۲ ارائه گردیده است. از آن جا که هم‌دمای جذب فروندلیچ اصولاً یک توصیف تجربی است، لذا انتظار نمی‌رود که ضرایب آن ارتباطی با خصوصیات خاک داشته باشد. با این حال، کریمیان و کاکس^(۱۸) معتقدند که با در نظر گرفتن $C=1$ ، جزء لگاریتمی سمت راست معادله خطی فروندلیچ حذف شده، در نتیجه فقط در غلظت $1, C=k$ برابر با X می‌شود. بنابراین، با توجه به این تعبیر و تفسیر، k موجود در جدول ۲ برای بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک در نگهداری روی مورد استفاده قرار گرفت، و رابطه معنی‌داری بین k و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به دست آمد.

$$k = -\frac{213}{9+37/5CEC} \quad R^2 = 0.62^* \quad [5]$$

در این معادله، CEC ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر کیلوگرم خاک) می‌باشد، و نشان می‌دهد که با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مقدار روی نگهداری شده زیاد می‌شود. همان طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، هم‌دماهای جذب فروندلیچ در این تحقیق به صورت یک قسمتی است، که منعکس کننده وضعیت مشابه جذب سطحی روی در تمام مقادیر به کار رفته می‌باشد. کردی و دانر^(۲۱) نیز ضمن مطالعه چهار خاک در کالیفرنیا، مشاهده کردند که هم‌دماهای جذب

هدف‌های تحقیق حاضر عبارت بود از: ۱) بررسی میزان جذب روی در تعدادی از خاک‌های آهکی زیرکشت برنج در استان فارس، با استفاده از هم‌دماهای جذب فروندلیچ و لانگمویر، ۲) تعیین ضرایب جذب سطحی روی در این خاک‌ها، و ارزیابی رابطه کمی میان این ضرایب و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های تحت مطالعه.

مواد و روش‌ها

خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری اراضی شلتوك کاری شده استان فارس تهیه گردید. این خاک‌ها، که برای سال‌های طولانی زیرکشت برنج بوده‌اند، پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا در هوا خشک و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، از قبیل تجزیه مکانیکی به روش هیدرومتر^(۶)، ماده آلی به روش واکی و بلاک^(۳۹)، پ-هاش خمیر اشباع توسط الکترود شیشه‌ای، ظرفیت تبادل کاتیونی به وسیله روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم^(۸)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک^(۲) تعیین شد. ضمناً فسفر و روی قابل جذب، به ترتیب به وسیله بی‌کربنات سدیم^(۲۸) و دی‌تی‌پی^(۱) از خاک عصاره گیری شده و غلظت آنها به ترتیب با استفاده از دستگاه رنگ‌سنگی و جذب اتمی تعیین گردید (جدول ۱).

مقدار دو گرم خاک در داخل لوله سانتریفیوژ ریخته، به آن ۴۰ میلی‌لیتر از محلول‌های روی با هشت غلظت (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به صورت سولفات روی، و دو قطره تولوئن (به منظور جلوگیری از رشد ریز جانداران)، اضافه شد. برای ثابت نگهداشتن تقریبی قدرت یونی، محلول‌های روی در کلسیم کلرید ۱٪ مولار تهیه گردید. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در به هم زن مکانیکی تکان داده شد، و پس از ۲۳ ساعت سکون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مجدداً به مدت ۳۰ دقیقه دیگر به هم زده شد. پس از آن لوله‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در حدود ۹۰۰ گرم سانتریفیوژ و

پایه ای از مفهوم تکنیک های انتقالی در زمینه های مختلف

(ج) ایجاد مکانیزم های انتقالی برای انتقال مواد از سطح خاک و آب

(ج) ایجاد مکانیزم های انتقالی برای انتقال مواد از سطح خاک و آب

۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹

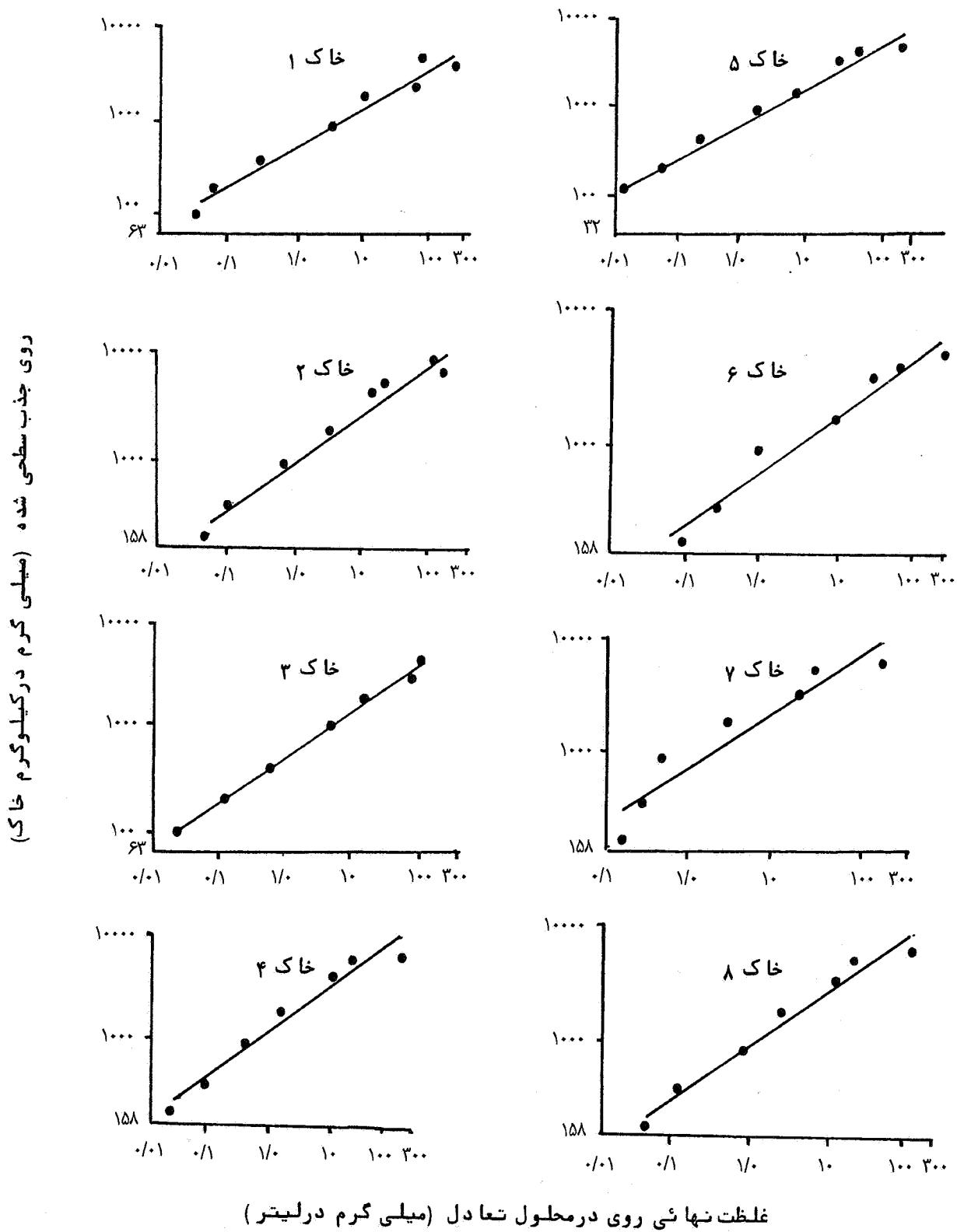
۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹

۱۳۷۹



شکل ۱. برآور داده‌ها با هم دمای جذب سطحی فروندیج در خاک‌های ۱ تا ۸

پارامتر معادله ۶ در جدول ۳ نشان داده شده است. در سطح اول، هم‌دماهای جذب، مربوط به جذب روی در غلظت‌های کم (پنج میکروگرم در میلی لیتر)، و سطح دوم مربوط به جذب این عنصر در غلظت‌های بیشتر است. وجود دو سطح در هم‌دماهای لانگ مویر، محتملاً بیانگر دو محل یا دو مکانیسم مشخص، با میل ترکیبی متفاوت برای جذب روی است. ثابت متناسب با انرژی پیوندی در سطح اول (K_1)، به مراتب بزرگ‌تر از ثابت متناسب با انرژی پیوندی در سطح دوم منحنی (K_2) می‌باشد (جدول ۳). این بدان معنی است که در غلظت‌های کم روی محلول تعادلی، این عنصر با انرژی پیوندی بیشتری جذب می‌شود. از طرفی، حداکثر جذب در سطح اول منحنی (b_1 ، به مراتب کمتر از سطح دوم (b_2) است (جدول ۳). به عبارت دیگر، گرچه مقدار روی جذب شده در سطح اول کمتر از قسمت دوم است، اما با انرژی پیوندی بیشتری نسبت به قسمت دوم نگهداری می‌شود. برای مثال، حداکثر جذب روی در سطح اول در خاک‌های ۳ و ۵ به ترتیب $\frac{1}{5}$ و $\frac{1}{6}$ حداکثر جذب در سطح دوم است. اما انرژی پیوندی نزدیک به 57 و 91 برابر سطح دوم جذب می‌باشد. شومان (۳۴) عقیده دارد که محل‌های تبادلی در بخش اول و دوم هم‌دماهای لانگ مویر، به ترتیب از نظر حداکثر انرژی پیوندی و ظرفیت جذبی اهمیت دارند.

در این تحقیق مقدار روی جذب شده در تمام خاک‌ها، به غیر از خاک ۱، تقریباً نزدیک به مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی می‌باشد. در خاک ۱، محتملاً مقداری از روی مصرفی رسوب کرده است. به عقیده بعضی از پژوهشگران (۹ و ۲۵) تمام خاک‌هایی که پ-هاش آنها نزدیک خنثی یا قلیایی است، قادرند روی را بیش از ظرفیت تبادل کاتیونی نگهداری نمایند. درجه (۱) در بررسی جذب سطحی روی در تعدادی از خاک‌های آهکی غیر غرقابی زیر سد درودزن استان فارس، مشاهده نمود که هم‌دماهای جذب در این خاک‌ها با معادله لانگ مویر منطبق بوده و شامل دو قسمت خطی است. این نتایج با آنچه توسط تایلور و همکاران (۳۷) برای خاک‌های آلاماماگزارش شده است، مطابقت دارد. اینگار و راجا (۱۳) نشان دادند که جذب

جدول ۲. ضرایب مربوط به برآش داده‌های جذب روی

با هم‌دماهای فروندلیج

شماره خاک	$\frac{1}{n}$	k	ضریب تبیین (R ²)
۱	۰/۴۱	۴۹۷	۰/۹۸***
۲	۰/۴۶	۸۹۱	۰/۹۶*
۳	۰/۴۲	۴۰۳	۰/۹۹***
۴	۰/۴۱	۱۱۶۴	۰/۹۷*
۵	۰/۴۳	۶۵۰	۰/۹۹***
۶	۰/۶۹	۱۰۰۴	۰/۹۹***
۷	۰/۴۷	۸۰۰	۰/۹۲*
۸	۰/۴۸	۹۲۸	۰/۹۷*

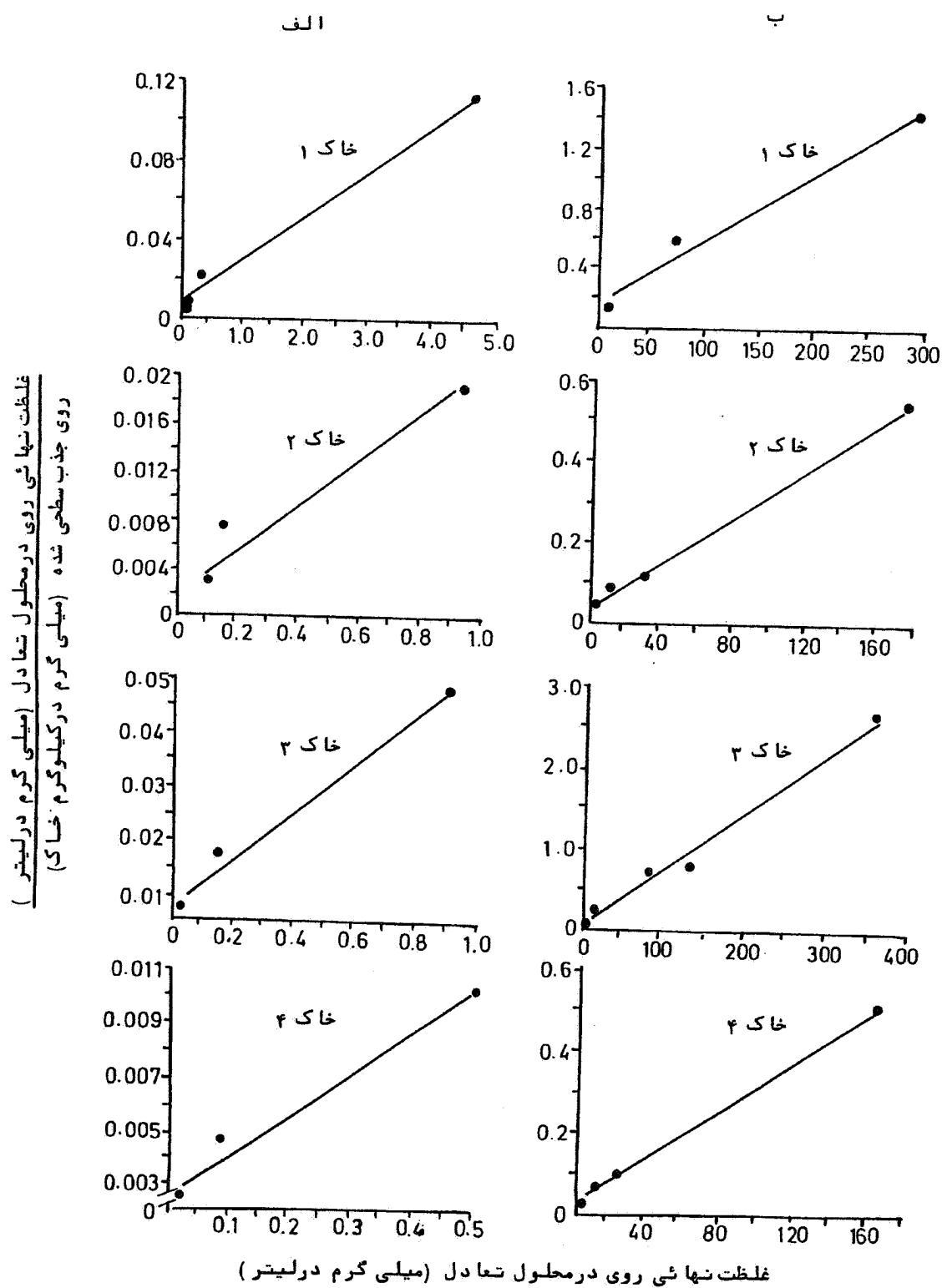
*** و *: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد

سطحی با معادله فروندلیج هماهنگی داشته و به صورت یک قسمتی هستند. نتایج مشابهی توسط پژوهشگران دیگر (۳ و ۲۷) نیز گزارش شده است. ولی درجه (۱) با برآش داده‌های جذب سطحی روی در هفت نمونه خاک آهکی غرقابی با معادله فروندلیج، هم‌دماهای دو و سه قسمتی را گزارش نمود. شوکالا و میتا (۳۳) نیز جذب سطحی روی را در چند نمونه از خاک‌های هندوستان، با بافت‌های مختلف مورد آزمایش قرار داده و به نتایج مشابهی دست یافتند.

هر چند برآش داده‌های جذب سطحی روی با هم‌دماهای جذب لانگ مویر مطابقت داشت، اما مشاهده شد که هم‌دماهای دو سطحی (معادله ۶) بهتر می‌تواند این داده‌ها را توصیف نماید:

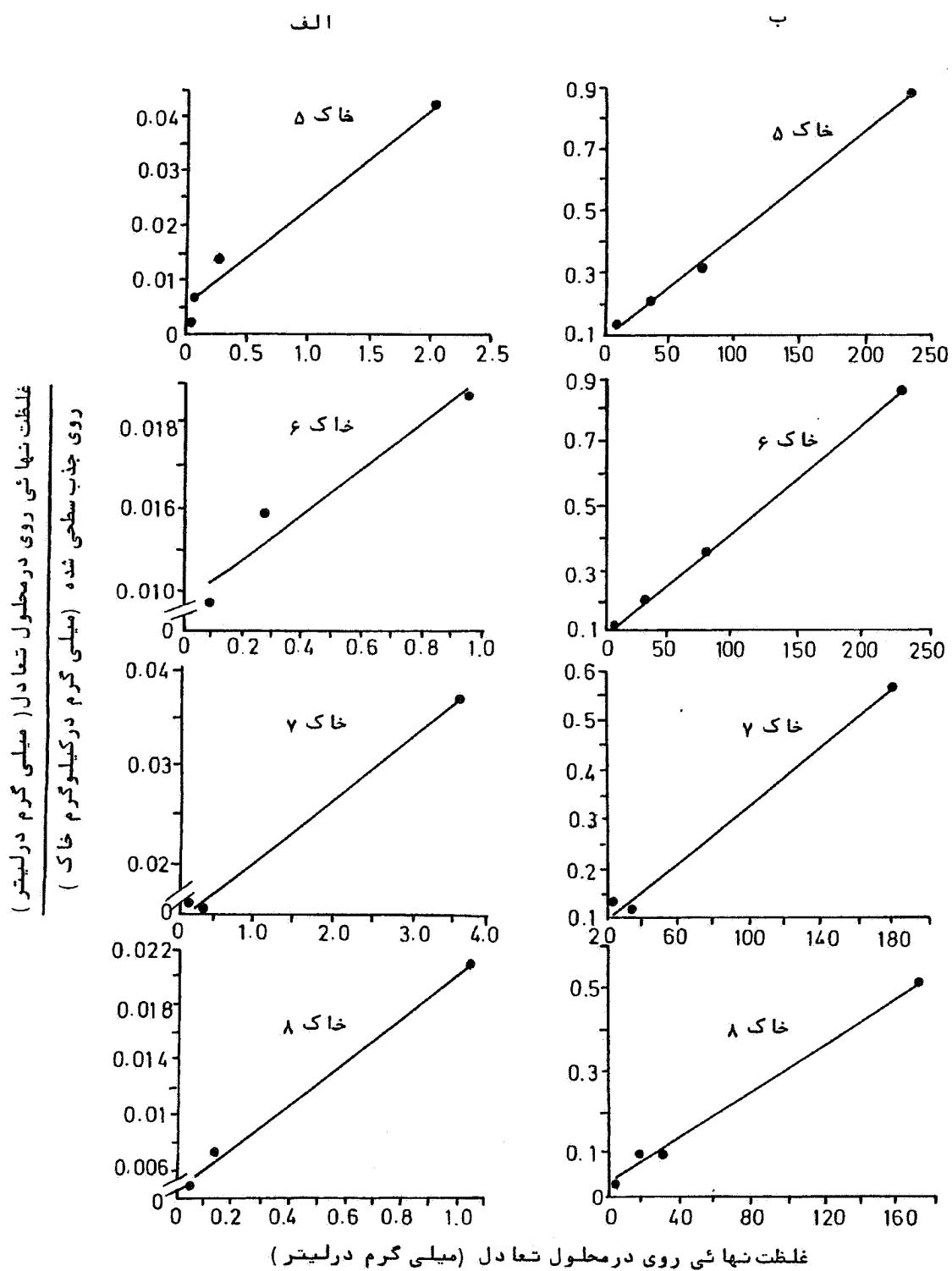
$$X = [(K_1 b_1 C)/(1 + K_1 C)] + [(K_2 b_2 C)/(1 + K_2 C)] \quad [6]$$

در این معادله K_1 و K_2 به ترتیب ضریب متناسب با انرژی پیوندی برای سطح اول و دوم، و b_1 و b_2 به ترتیب حداکثر جذب برای سطح اول و دوم، و C غلظت در محلول تعادلی می‌باشد. برآش نتایج هم‌دماهای جذب روی توسط معادله ۶، در شکل‌های ۲ و ۳ به صورت دو سطحی ارائه گردیده، و چهار



شکل ۲. برازش داده‌ها با هم‌دمای دوبخشی جذب لانگ مویر در خاک‌های ۱ تا ۴

(الف: غلظت محلول تعادل کمتر از پنج میلی‌گرم در لیتر، ب: غلظت محلول تعادل بیش از پنج میلی‌گرم در لیتر)



شکل ۳. برآژش داده‌ها با هم‌دمای دویخشی جذب سطحی لانگ مویر در خاک‌های ۵ تا ۸

(الف: غلافت محلول تعادل کمتر از پنج میلی‌گرم در لیتر، ب: غلافت محلول تعادل بیش از پنج میلی‌گرم در لیتر)

جدول ۳. ضرایب مربوط به برآش داده‌های جذب روی با هم‌دماهی لانگ مویر دو سطحی

R ₂	R ₁	K ₁ /K ₂	b ₂ /b ₁	K ₂	K ₁	b ₂	b ₁	شماره خاک
۰/۹۶***	۰/۹۲***	۳۲/۰	۲/۶۰	۰/۰۲	۰/۶۴	۴۶۷۳	۱۷۹۵	۱
۰/۹۹***	۰/۹۹***	۴/۳	۴/۹۳	۰/۰۹	۰/۳۹	۶۸۹۷	۱۳۹۹	۲
۰/۹۸***	۰/۹۹***	۵۷/۳	۶/۲۵	۰/۱۰	۵/۷۳	۲۸۲۵	۴۰۲	۳
۰/۹۹***	۰/۹۸***	۴۲/۶	۵/۲۶	۰/۱۴	۵/۹۶	۶۸۹۷	۱۳۱۱	۴
۰/۹۹***	۰/۹۸***	۹۰/۵	۵/۴۳	۰/۰۴	۳/۶۲	۵۸۸۲	۱۰۸۳	۵
۰/۹۹***	۰/۹۴***	۲۸/۰	۳/۱۵	۰/۰۴	۱/۱۲	۵۹۱۷	۱۸۷۶	۶
۰/۹۹***	۰/۸۶***	۱۰/۸	۵/۶۹	۰/۰۸	۰/۸۶	۶۸۴۹	۱۲۰۵	۷
۰/۹۹***	۰/۹۹***	۴۴/۱	۵/۶۵	۰/۰۸	۳/۵۳	۷۰۴۲	۱۲۴۷	۸

b_1 و b_2 : حداکثر جذب روی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، به ترتیب در غلظت‌های کم و زیاد روی در محلول تعادل

K_1 و K_2 : ضریب ثابت متناسب با انرژی پیوندی، به ترتیب در غلظت‌های کم و زیاد روی در محلول تعادل

R_1 و R_2 : ضریب تبیین معادله‌ها، به ترتیب در غلظت‌های کم و زیاد روی در محلول تعادل

***: معنی دار در سطح یک درصد

در بخش پایینی منحنی هم‌دماهای در خاک‌های آهکی و سدیمی، با زیاد شدن پ-هاش خاک افزایش می‌یابد. بارو (۴) نیز افزایش نگهداری روی را، با زیاد شدن پ-هاش خاک در دمای مختلف گزارش کرده است.

اسپوزیتو (۳۶) معتقد است نبایستی از برآش داده‌های تجربی هم‌دماهی جذب لانگ مویر برای تعیین مکانیسم جذب استفاده نمود، زیرا می‌توان از طریق ریاضی ثابت کرد که مجموع دو بخش معادله لانگ مویر و چهار ضریب آن با هر منحنی هم‌دما به صورت ال^۱ قابل برآش است. با این وجود، همان طور که قبلًا اشاره شد، پژوهشگران متعددی از هم‌دماهی جذب لانگ مویر به منظور تعیین مکانیسم جذب عناصر غذایی، از جمله روی استفاده کرده‌اند.

پرای کسب اطلاع بیشتر در مورد مکانیسم نگهداری روی در خاک‌های مورد آزمایش در این تحقیق، و تأثیر ویژگی‌های خاک بر جذب سطحی این عنصر، بین ضرایب هم‌دماهی لانگ مویر (جدول ۳) و خصوصیات خاک‌ها (جدول ۱) معادله رگرسیون تعیین گردید. شایان ذکر است که، حداکثر جذب سطحی روی در

سطحی روی در تعدادی از خاک‌های منطقه کاراتانکا، با هم‌دماهی جذب لانگ مویر هماهنگی دارد. شومان (۳۴) عقیده دارد که بزرگ‌تر بودن ضریب متناسب با انرژی پیوندی در قسمت پایینی منحنی هم‌دما، نشان دهنده این امر است که روی در این بخش به مقدار کمتر، اما با پیوندی قوی‌تر، جذب خاک می‌گردد. وی زیاد بودن ضریب انرژی پیوندی در این بخش را با جذب روی توسط ماده آلی خاک مرتبط می‌داند. براه و همکاران (۵)، در بررسی جذب سطحی روی در هشت خاک آفی‌سول و ورتی سول، مشاهده کردند که هم‌دماهای جذب در این خاک‌ها، با معادله لانگ مویر منطبق بوده و به شکل خطی است. هم‌چنین، حداکثر جذب در خاک‌های مختلف متفاوت است، که ناشی از اختلاف پ-هاش این خاک‌ها می‌باشد. کریمیان و معافپوریان (۱۹) نیز در ۲۴ خاک نشان دادند که هم‌دماهای جذب سطحی روی با معادله لانگ مویر هماهنگی داشته و به صورت خطی است. نتایج مشابهی به وسیله دان و شوکلا (۱۰)، و پراساد و سارانتیم (۳۰) گزارش شده است. اینگار و راجا (۱۲) ملاحظه کردند که حداکثر جذب روی و ضریب متناسب با انرژی پیوندی

1. L-curve isotherm

خاک هم بستگی مثبت و معنی داری به دست آوردند. تایلور و همکاران (۳۷)، داده های جذب روی مربوط به شش خاک آلامای آمریکا را با هم دماهای فرونالیچ، لانگ مویر و بی ای تی^۱ برآش داده، و نتیجه گرفتند که حداکثر جذب لانگ مویر با ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آکی، پ - هاش و رس خاک همبسته است، و این خواص تعیین کننده تغییرات در جذب سطحی هستند. پاردو و گوادالیکس (۲۹) گزارش کردند که در پ - هاش های بیش از شش، جذب سطحی قوی، و یا حتی با رسوب روی در خاک همراه می باشد.

مطابق معادله ۹، بین حداکثر جذب روی در بخش دوم منحنی و کربنات کلسیم، معادل هم بستگی منفی معنی داری وجود دارد، که داده های ارائه شده در جدول های ۱ و ۳ این نوع هم بستگی را تأیید می نماید. به عنوان مثال، خاک ۳ با بیشترین کربنات کلسیم معادل (۷۰ درصد)، کمترین حداکثر جذب (۲۸۲۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک)، و خاک ۲ با کمترین کربنات کلسیم معادل (۲۷/۴ درصد)، تقریباً بیشترین حداکثر جذب (۶۸۹۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک) را دارا می باشد. وجود ارتباط منفی بین b_2 با کربنات کلسیم معادل، محتملاً به دلیل بزرگ بودن اندازه ذرات کربنات ها بوده، که سبب کاهش سطح جذب کننده روی شده است.

از آن جا که در نگهداری و ابقاء روی در خاک های آهکی مورد استفاده در این تحقیق، مقدار فسفر بومی قابل استفاده گیاه، رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم نقش مهمی ایفا می نمایند، بنابراین برای افزایش بازیابی ظاهری روی در این خاک ها، لازم است تأثیر هر کدام از این پارامترها تعديل شود. کاهش فسفر بومی خاک در شرایط مزرعه، دور از دسترس نیست. برای نیل به این هدف پیشنهاد می شود در خاک هایی که فسفر قابل استفاده در آنها نسبتاً زیاد است، از کاربرد کودهای فسفردار خودداری شود. با این حال، تغییر مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و یا کربنات کلسیم در مزرعه عملاً غیرممکن است. لذا به منظور افزایش بازیافت روی مصرفی توسعه گیاه،

بخش اول منحنی (b₁)، با هیچ یک از ویژگی های خاک هم بستگی معنی داری نشان نداد. حال آنکه ضریب تبیین معنی داری میان مقدار حداکثر جذب روی در قسمت دوم منحنی (b₂، با بعضی از خصوصیات خاک ملاحظه گردید:

$$b_2 = 2670 + 67/3 \text{ Clay} \quad R^2 = 0.58^* \quad [7]$$

$$b_2 = -416 + 235 \text{ CEC} \quad R^2 = 0.75^* \quad [8]$$

$$b_2 = 9994 + 86/6 \text{ CCE} \quad R^2 = 0.62^* \quad [9]$$

$$b_2 = 3783 + 69 \text{ P} \quad R^2 = 0.63^* \quad [10]$$

در این معادله ها Clay و P به ترتیب درصد رس، کربنات کلسیم معادل (درصد) و غلظت فسفر قابل استفاده بومی خاک (میلی گرم در کیلوگرم خاک) می باشد، و CCE قبل از تعریف شده است. از طرفی، در هیچ کدام از معادله های ۷ تا ۱۰، اضافه کردن هر متغیر مستقل دیگر سبب تغییر معنی دار ضریب تبیین نگردید.

حداکثر جذب روی در بخش دوم (b₂، با رس هم بستگی معنی دار نشان داد. نتایج مشابهی توسط درجه (۱) و کوومیکلس (۲۰) گزارش شده است. شوکلا و میتال (۳۳) نشان دادند که هم دماهای جذب روی در خاک های شنی همواره زیر هم دماهای مشابه خود در خاک لومنی قرار دارند، و در خاک های لومنی، در مقایسه با خاک های شنی، b زیادتر و K کمتر است. هم چنین، کریمیان و معافپوریان (۱۹)، و سیدهو و همکاران (۳۵) نیز هم بستگی مثبتی بین حداکثر جذب سطحی روی و درصد رس خاک به دست آوردند.

بین حداکثر جذب سطحی روی در بخش دوم منحنی، با ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت فسفر قابل استفاده بومی خاک نیز ارتباط معنی داری دیده شد (معادله های ۸ و ۱۰). به عنوان مثال، خاک ۳ با کمترین ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت فسفر، تقریباً بیشترین حداکثر جذب را دارا می باشد. دان و شوکلا (۱۰) و یودو و همکاران (۳۸)، ضمن تطابق هم دماهای جذب با معادله یک سطحی لانگ مویر در خاک های آهکی، بین حداکثر جذب سطحی و درصد رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آکی

نیست، مصرف مواد آلی و یا مواد بهسازی غنی شده با روی

سه راه زیر توصیه می‌شود:

توصیه می‌شود.

۱. کاهش پ - هاش ریزوسفر (خاک ریشه) با مصرف مواد

اسید ساز.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کمک‌های ارزنده شورای پژوهشی دانشگاه
شیراز، در تأمین اعتبار مالی لازم برای اجرای این تحقیق،

۲. استفاده از گونه‌ها و ارقام روی کارا^۱، که با تراوش هیدروژن و

یا مواد کلاته کننده سبب افزایش حلالیت روی بومی و مصرفی

می‌شوند.

صمیمانه سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

۳. از آن جا که کاربرد Zn EDTA به علت گرانی مقرر نبود

منابع مورد استفاده

1. درجه، ز. ۱۳۶۸. ارزیابی وضعیت روی قابل استفاده گیاه به روش‌های آزمایشگاهی و گلخانه‌ای در خاک‌های منطقه زیر سد درودزن استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز.
2. Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1965. Carbonate. pp. 1379-1396. In: C. A. Black et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part II, Am. Soc. Agron., Madison, WI.
3. Assad, F. F. and J. D. Nielsen. 1985. Adsorption of zinc in selected soils from Denmark. *Acta Agric. Scan.* 35: 48-54.
4. Barrow, N. J. 1986. Testing a mechanistic model. IV. Describing the effects of pH on zinc retention by soils. *J. Soil. Sci.* 37: 295-302.
5. Borah, D. K., N. K. Banerjee and R. K. Rathan. 1990. Studies on adsorption of zinc by soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 38: 27-33.
6. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
7. Chester, R. 1965. Adsorption of zinc and cobalt on illite in sea water. *Nature* 206: 884-886.
8. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 811-903. In: C. A. Black et al. (Eds.), Method of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
9. Demumbrum, L. E. and M. L. Jackson. 1965. Copper and zinc exchange from dilute neutral solutions by soil colloidal electrolytes. *Soil Sci.* 81: 353-357.
10. Dhane, S. S. and L. M. Shukla. 1995. Zinc adsorption and its thermodynamics in some soil series of Maharashtra. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 43: 590-593.
11. Ellis, B. G. and B. D. Knezek. 1972. Adsorption reaction of micronutrients in soils. pp. 59-78. In: J. J. Mortvedt et al. (Eds.), Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, WI.
12. Ghanem, S. A. and D. S. Mikkelsen. 1988. Sorption of zinc on iron hydrous oxides. *Soil Sci.* 146: 15-21.
13. Iyengar, B. R. V. and M. E. Raja. 1983. Zinc adsorption as related to its availability in some soils of Karnataka. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 31: 432-438.
14. Jenne, E. A. 1968. Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn concentrations in soils and waters: The significant role of hydrous Mn and Fe oxides. *Adv. Chem.* 73: 337-387.
15. Jurinak, J. J. and N. Bauer. 1956. Thermodynamics of zinc adsorption on calcite, dolomite, and magnesite

1. Zn efficient

- type minerals. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20: 466-471.
16. Kalbasi, M. and G. J. Racz. 1978. Association of zinc with oxides of iron and aluminium in some Manitoba soils. *Can. J. Soil Sci.* 58: 61-68.
 17. Kalbasi, M., G. J. Racz and L. A. Loewen-Rudgers. 1978. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminium oxides. *Soil Sci.* 125: 146-150.
 18. Karimian, N. and F. R. Cox. 1978. Adsorption and extractability of molybdenum in relation to some chemical properties of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 757-761.
 19. Karimian, N. and G. R. Moafpouryan. 1999. Zinc adsorption characteristics of selected calcareous soils of Iran and their relationship with soil properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 1721-1731.
 20. Kuo, S. and D. S. Mikkelsen. 1979. Zinc adsorption by two alkaline soils. *Soil Sci.* 128: 274-278.
 21. Kurdi, F. and H. E. Doner. 1983. Zinc and copper sorption and interaction in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 873-876.
 22. Lindsay, W. I. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
 23. Maftoun, M. and N. Karimian. 1989. Relative efficiency of two zinc sources for maize (*Zea mays* L.) in two calcareous soils from an arid area of Iran. *Agronomie* 9: 771-775.
 24. Mandal, B. and G. C. Hazra. 1997. Zinc adsorption in soils as influenced by different soil management practices. *Soil Sci.* 162: 713-721.
 25. Misra S. G. and R. C. Tiwari. 1966. Retention and release of copper and zinc by some Indian soils. *Soil Sci.* 101: 465-471.
 26. Moraghan, J. T. and H. J. Mascagni, Jr. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. pp. 329-370. In: J. J. Mortvedt et al. (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, WI.
 27. Msaky, J. J. and R. Calvet. 1990. Retention and release of copper and zinc in soils: Influence of pH on adsorption characteristics. *Soil Sci.* 150: 513-521.
 28. 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. Gover. Prin. Office, Washington, D. C.
 29. Pardo, M. T. and M. E. Guadalix. 1996. Zinc sorption-desorption by two Andepts: Effect of pH and support medium. *Europ. J. Soil Sci.* 47: 257-263.
 30. Prasad, B. and I. Sarangthem. 1993. Adsorption of zinc as affected by its sources in calcareous soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 41: 261-265.
 31. Qian, J. H. and Z. C. Xie. 1992. Studies on chemical behavior of soil zinc and zinc-supply characteristics to rice. pp. 283-289 In: S. Protch (Eds.), *The Role of Sulfur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition*. The Sulfur Inst., Washington, D. C.
 32. Reddy, M. R. and H. R. Parkins. 1974. Fixation of zinc by clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 229-232.
 33. Shukla, V. C. and S. B. Mital. 1979. Characterization of zinc adsorption in some soils of india. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 905-908.
 34. Shuman, L. M. 1975. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 454-458.

35. Sidhu, A. S., N. S. Randhawa and M. K. Sinha. 1977. Adsorption of zinc in different soils. *Soil Sci.* 124: 211-218.
36. Sposito, G. 1989. *The Chemistry of Soils*. P. 15, Oxford University Press, New York, NY.
37. Taylor, R. W., K. Hassan, A. A. Mehadie and J. W. Shuford. 1995. Zinc sorption by some Alabama soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 993-1008.
38. Udo, E. J., H. L. Bohn and T. C. Tucker. 1970. Zinc adsorption by calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 405-407.
39. Walkley, A. and C. A. Black. 1934. An Examination of the Deglijareff method for determining organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.