تأثیر اسید هومیک بر جذب و واجذب روی

مرضیه پیری و ابراهیم سپهر[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۲/۸)

چکیده

مواد هومیکی مهم‌ترین بخش آلی خاک را تشکیل می‌دهند و دارای توانایی جذب فلزات می‌باشند. به‌منظور بررسی تأثیر اسیدهومیک بر رفتار جذب و واجذب روی، آزمایشی به‌صورت پیمانه‌ای(Batch)برروی دو نوع خاک با درصدهای رس و آهک مختلف با سه سطح اسیدهومیک (صفر، ۲۰۰، ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ۱۲ سری غلظتی روی (۰ تا۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در قدرت یونی ثابت ۰/۰۵ مولار NaClانجام شد. برای تعیین واجذب روی از DTPA ۰/۰۰۵ مولار استفاده شد. داده‌های جذب برروی معادلات لانگ‌مویر، فروندلیچ و تمکین برازش داده شدند و به‌طور نسبی معادله فروندلیچ برازش بهتری با داده‌های جذب نشان داد (R^2 =۰/۸۶-۰/۹۸).نتایج نشان داد کاربرد اسیدهومیک باعث افزایش میزان جذب و واجذب روی در هر دو نمونه خاک می‌گردد. به‌طوری‌که کاربرد اسیدهومیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) حداکثر جذب تک‌لایه‌ای لانگ‌مویر (q_{max}) را ۸ الی ۲۱ درصد و ظرفیت جذب فروندلیچ (K_f) را ۷۳ الی ۹۵ درصد افزایش داد. همچنین همه پارامترهای جذب شامل انرژی جذب لانگ‌مویر (K_L) و فاکتور شدت جذب فروندلیچ (n) و ضرایب تمکین (A، K_T) با کاربرد اسیدهومیک افزایش یافتند. مقادیر پارامترهای جذب در خاک S_1 (با مقادیر رس و کربنات کلسیم پایین) کمتراز خاک S_2 (با مقادیر رس و کربنات کلسیم بالا) به‌دست آمد. با افزودن اسیدهومیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) میزانواجذب روی(Zn-DTPA) در خاک S_1 از ۵۱۳ به ۷۱۱ میلی‌گرم برکیلوگرم و در خاک S_2 از ۴۹۹ به ۶۰۹ میلی‌گرم برکیلوگرم افزایش یافت.

کلمات کلیدی: روی، اسیدهومیک، هم‌دماهای جذب، واجذب

۱.گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:e.sepehr@urmia.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

مقدمه

رویکی از عناصر ریز مغذی ضروری برای گیاهان حیوانات و انسان‌ها می‌باشد (۵). کمبود روی در گیاهان کشت شده در خاک‌های آهکی و قلیایی ایران رایج می‌باشد (۲۳). غلظت روی در محلول خاک و دسترسی آن برای گیاهان به‌وسیله فرآیندهای جذب و واجذب در سطح مواد کلوییدی خاک کنترل می‌شود (۷ و۳۳). این فرآیندها با ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک یا مواد جذب کننده بسیار متغیر است، که عمدتاً شامل pH، مواد آلی، قدرت یونی محلول، ترکیب یونی محلول (۲۴) و اتصال دهنده‌های غیرآلی شامل رس‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزاتو کربنات‌ها می‌باشند (۷). دلیل عمده کمبود گسترده روی در خاک‌ها پایین بودن قابلیت دسترسی آن برای ریشه گیاهان بوده در حالی که مقدار کل آن در بسیاری از خاک‌ها بالا می‌باشد (۲۳). خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای ویژگی‌هایی مانند pH بالا و ماده آلی کم می‌باشند. چنین ویژگی‌هایی موجب کاهش قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف مانند آهن، منگنز و روی برای گیاهان زراعی می‌شود. نتایج تجزیه خاک‌های کشاورزی ایران نیز مؤید آن است که کمبود روی در این خاک‌ها به دلایل متعددی از جمله pH بالا، مقدار ماده آلی کم، حضور بی‌کربنات بالا در آب آبیاری و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاته گسترش دارد (۳). به‌طوری‌که کریمیان و معافپوریان (۱۹) گزارش کردند که مقادیر زیاد pH وکربنات کلسیم موجب افزایش جذب روی و از عوامل اصلی کاهش قابلیت دسترسی روی برای گیاهان محسوب می‌شود. در همین رابطه خیرآبادی و همکاران (۲) همبستگی منفی و معنی‌داری را بین مقدار کربنات کلسیم معادل با روی استخراج با DTPA را در خاک‌های مورد مطالعه گزارش کردند. به‌علاوه سدبری و همکاران (۳۰) نیز بیان نمودند که در خاک‌های آهکی با ماده آلی کم و pH بالا، پخشیدگی روی ۵۰ برابر کمتر از خاک های اسیدی است. در نتیجه پویای روی در این خاک‌ها کاهش می‌یابد و احتمال کمبود روی افزایش می‌یابد. چرم و عبدالهی (۱) در مطالعه ویژگی‌های جذب سطحی روی در خاک‌های تحت کشت نیشکر گزارش کردند که میزان جذب روی با درصد رس و ماده آلی خاک همبستگی مثبت را دارا می‌باشد. همچنین نوروزی و همکاران (۴) بین مصرف کودهای آلی و میزان روی قابل دسترس گیاه رابطه مثبت و معنی‌داری را بیان نمودند.

با توجه به این‌که یکی از عوامل مؤثر بر جذب و واجذب فلزات در خاک مواد آلی می‌باشد، و مواد هومیکی بخش عمده و مهم مواد آلی در خاک را تشکیل می‌دهند و بیش از ۸۰ درصد مواد آلی در خاک را به خود اختصاص می‌دهند (۱۷). اسیدهومیک جزء اصلی فعال هومات‌های آلی می‌باشد که نقش بسیار مهمی در وضعیت خاک و رشد گیاهان ایفا می‌کند (۸). اسیدهومیک کلوییدآلی است که دارای گروه‌های شیمیایی فعال مانند کربوکسیل‌ها، هیدروکسیل‌های فنول و واحدهای آروماتیکی می‌باشد که از تجزیه بیولوژیکی مواد آلی بقایای گیاهان و سایر جانداران به وجود می‌آیند. این اسید آلی از نظر فیزیکی ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد و ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهد و از طرفی به لحاظ شیمیایی به‌عنوان ترکیبی که عناصر غذایی را برای استفاده گیاهان جذب و نگهداری می‌کند، عمل می‌نماید (۹). طی چندین سال گذشته توجه زیادی به اثر اسیدهومیک برروی جذب و حلالیت فلزاتی همچون مس، سرب، جیوه، لانتانیدها و غیره شده است (۱۵). به‌طورکلی اسیدهومیک سه نقش کلی در جذب فلزات می‌تواند داشته باشد: ۱) جلوگیری از جذب با تشکیل کمپلکس با فلزات۲) رقابت با فلز در جذب بر مکان‌های سطحی ۳) افزایش جذب فلزات با تشکیل کمپلکس‌های فلز-لیگاند برروی سطوح جذب کننده (۳۷). اسیدهیومیک بر سطوح اکسیدها جذب می‌شوند و از آنجایی که مکان‌های جذبی زیادی برای فلزات دارند باعث تشکیل کمپلکس‌های سه گانه می‌شوند (۲۰). قاسمی فسایی و جراح (۱۴) در بررسی تأثیر اسیدهومیک بر جذب عناصر ریزمغذی به وسیله خیار کشت شده در خاک آهکی مشاهده کردند که افزایش اسیدهومیک میزان جذب روی را در گیاه افزایش می‌دهد. جلیلیو محرمی گزارش کردند

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

جدول۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	شن ٪	سیلت ٪	رس ٪	OC %	pH	CCE %	Zn (mg/kg)
S_1	۷۰	۲۰	۱۰	۰/۲۷	۷/۵	۴/۷	۰/۷۲
S_2	۱۸	۵۲	۳۰	۰/۵۲	۷/۶	۲۳	۰/۵۰

CCE: کربنات کلسیم معادل، OC: کربن آلی

رابطه مثبت و معنی‌داری بین میزان ماده آلی خاک، درصد رس با میزان روی جذب شده وجود دارد (۱۸).نایک و داس (۲۵) در بررسی تأثیر اسیدهومیک بر میزان روی قابل دسترس در خاک‌های آلفی سول بیان کردند که در حضور اسیدهومیک میزان روی قابل استخراجبا DTPA به میزان ۵۰٪ بیشتر شد. همچنین ناتسن و همکاران (۲۶) گزارش کردند اسیدهومیک با تشکیل کمپلکس کلاته با روی منجر به افزایش روی قابل دسترس گیاه می‌شود. از طرف دیگر بعضی از محققان نشان دادند که اسیدهومیک میزان جذب فلزات را کاهش می‌دهد به‌طوری که، پترویک و همکاران (۲۷) در بررسی فعل و انفعال جذب روی در حضور اسیدهومیک برروی کائولین، کلسیت و شن گزارش کردند که جذب روی در pH۴ با افزایش غلظت اسیدهومیک کاهش می‌یابد. ویو و همکاران در بررسی تأثیر مواد هومیکی بر جذب مس برروی کائولینایت نشان دادند که در pH بالای ۸ اسیدهومیک و فولویک با تشکیل کمپلکس‌های محلول با مس سبب کاهش جذب مس می‌گردد (۳۸). در این پژوهش از آزمایشات همدمایی و معادلات جذب برای بررسی تأثیر کاربرد اسیدهومیک بر جذب و واجذب روی در دو خاک با درصد رس و آهک متفاوت استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

دراین مطالعه دو نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، از اراضی زراعی شهرستان ارومیه از رده اینسپتی سل (Inceptisols) تهیه شد و پس از خشک شدن ازالک۲ میلی‌متر عبورداده شدند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در آزمایش، در جدول۱ گزارش شده است. جهت مطالعه تأثیر اسیدهومیک بر جذب و واجذب روی، آزمایش به‌صورت پیمانه‌ای (Batch) در سه غلظت اسیدهومیک (صفر، ۲۰۰، ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) معادل (صفر، ۲، ۵ گرم بر کیلوگرم) و با دوازده غلظت روی(صفر تا۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) معادل (۰ تا ۴/۵ گرم بر کیلوگرم) از منبع سولفات روی در قدرت یونی ثابت (۰/۰۵ مولار کلرید سدیم) در ۲ تکرار انجام شد. به‌طوری که ۲/۵ گرماز نمونه‌های خاک را در داخل لوله‌های سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به هر یک از لوله‌ها ۲۵ میلی‌لیتر مواد هومیکی حاوی سری غلظتی تعیین شده روی افزوده شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تکان داده شدند. سپس نمونه‌ها با سانتریفوژ در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه به هم زده و سپس محلول رویی جدا و از کاغذ صافی عبور داده شد. غلظت روی در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu 6300-AA) اندازه‌گیری شد. مقدار روی جذب شده توسط خاک از تفاوت غلظت روی در محلول اولیه و محلول تعادلی محاسبه گردید. برایمطالعه واجذبی روی جذب شده توسط خاک، به هرکدام از نمونه خاک‌های باقی مانده از آزمایش جذب ۵ میلی‌لیتر ۰/۰۰۵DTPA مولار افزوده شد و پس از ۲ ساعت تکان دادن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، سانتریفوژ، عصاره‌گیری و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

مقدار جذب روی در خاک‌ها از طریق معادله ۱ محاسبه گردید و نتایج بر معادلات لانگ‌مویر (معادله۲)، فروندلیچ (معادله۳) و تمکین (معادله۴) برازش داده شدند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

$$q_e = (C_i - C_e)*V/m \quad [۱]$$

$$q_e = (K_L C_e q_{max})/(۱+ K_L C_e) \quad [۲]$$

$$q_e = K_F C_e^{۱/n} \quad [۳]$$

$$q_e = A + K_T \ln C_e \quad [۴]$$

C_e غلظت تعادلی جذب شونده(mg/L)؛ C_i غلظت اولیه جذب شونده (mg/L)؛ q_e وزن جذب شونده در واحد وزن جذب کننده (mg/kg)؛ K_Lضریب لانگ‌مویر و نشانگر قدرت اتصال جذب شونده به ماده جاذب و q_{max} حداکثر جذب تک لایه‌ای لانگ‌مویر K_F(mg/kg) و n ضرایب معادله فروندلیچ که به‌ترتیب نمایانگر ظرفیت و شدت جذب می‌باشند، K_T و A ضرایب معادله تمکین که به‌ترتیب شیب و عرض از مبدأ معادله می‌باشند. در نهایت داده‌های جذب با نرم‌افزار Solver و SigmaPlot بر معادلات فروندلیچ، لانگ‌مویر و تمکین برازش داده شدند و پارامترهای هر یک از معادلات جذب محاسبه شدند. مقایسه میانگین جذب و واجذب به روش آزمون t (t-test) با نرم‌افزار SPSS، ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excelصورت گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر اسیدهومیک بر جذب و واجذب روی

شکل۱ منحنی‌های جذب و واجذب روی در غلظت‌های مختلف اسیدهومیکدر قدرت یونی ثابت (۰/۰۵ مولار NaCl) را نشان می‌دهد. کاربرد اسیدهومیک میزان جذب روی را در هر دو نمونه خاک افزایش داده است و همان‌گونه که ملاحظه می‌شود میزان جذب روی در حضور غلظت‌های مختلف اسیدهومیک در خاک$S_۲$ (با درصد رس بالا و کربنات کلسیم زیاد) بیشتر از خاک$S_۱$ (با درصد رس و کربنات کلسیم معادل کم) به‌دست آمد. به‌طوری که با کاربرد اسیدهومیک در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان جذب روی در خاک$S_۱$ از ۱۳۲۴ به ۱۵۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (به‌میزان ۱۵٪) و در خاک$S_۲$ از ۱۶۱۹ به ۱۹۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (به‌میزان ۱۸٪) افزایش یافت (جدول۲). جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین‌های جذب در سطوح مختلف اسیدهومیک (جدول۲) و همچنین مقایسه میانگین جذب را در خاک$S_۱$ (با درصد رس و کربنات کلسیم پایین) و $S_۲$ (با درصد رس و کربنات کلسیم زیاد) نشان می‌دهد. کاربرد اسیدهومیک درهر دو نمونه خاک منجر به افزایش معنی‌دار میزان جذب شده است، همچنین درسطوح مختلف اسیدهومیک بین میانگین جذب در خاک$S_۱$ و خاک$S_۲$اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مهم‌ترین بخش مواد آلی در خاک را مواد هومیکی تشکیل می‌دهند که در واکنش با بخش غیرآلی خاک خیلی فعال می‌باشد(۳۱). اسیدهومیک عامل کمپلکس‌کننده قوی برای اکثر فلزات است و با تشکیل کمپلکس با فلزات می‌تواند موجب افزایش جذب یون‌های فلزات شود. با توجه به نتایج این پژوهش اسیدهومیک احتمالاً با تشکیل کمپلکس‌های فلز-لیگاند برروی سطوح جذب کننده در نمونه خاک‌ها موجب افزایش جذب روی می‌شود. چن و ویو (۱۰) گزارش کردند در حضور اسیدهومیک جذب $Cu^{۲+}$برروی کربن فعال، ۱۵٪ بیشتر از بدون حضور آن شد. اسیدهومیک بر سطوح کانی‌ها جذب می‌شود، به‌دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی زیاد مکان‌های جذب زیادی برای فلزات ایجاد می‌کنند و موجب تشکیل کمپلکس‌های سه‌گانه می‌شوند (۲۰). لای و همکاران (۲۰) گزارش کردند که با کاربرد اسیدهومیک میزان جذب کادمیوم برروی گئوتایت در محدوده pH۲ تا ۶ افزایش یافت. همچنین آریاس و همکاران (۶) گزارش کردند جذب کادمیم و مسبرروی کائولینایت در حضور اسیدهومیک بیشتر شد.

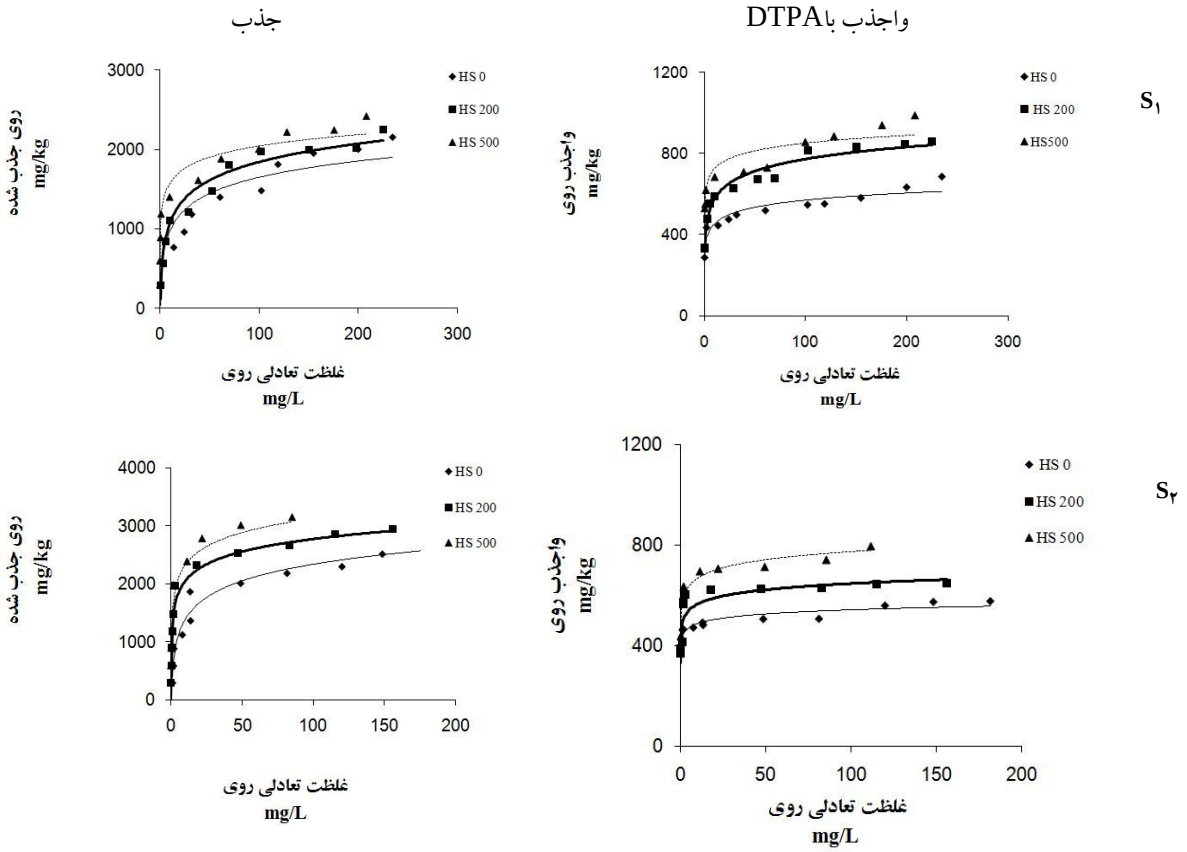
لی و همکاران (۲۲) در بررسی جذب روی و مس از محلول‌های آبی برروی اسیدهومیک بیان کردند که اسیدهومیک با تشکیل کمپلکس منجر به افزایش جذب روی و مس شد. همچنین مواد هومیکی به‌عنوان عامل‌های کمپلکس کننده با افزایش جذب فلزات از حرکت و آبشویی فلزات و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌کاهند (۱۳ و ۳۴). میزان واجذب روی با DTPA ۰/۰۰۵ مولار در حضور غلظت‌های مختلف اسیدهومیک در شکل۱ نشان داده شده است. کاربرد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

جدول ۲. مقایسه میانگین جذب و واجذب روی در غلظت‌های مختلف اسیدهومیک (HA)

خاک	جذب و واجذب (mg/kg)	HA (mg/L)		
		۰	۲۰۰	۵۰۰
S_1	جذب	۱۳۲۴$^{c, B*}$	۱۴۱۳$^{b, B}$	۱۵۲۴$^{a, B}$
S_2	جذب	۱۶۱۹$^{c, A}$	۱۷۹۴$^{b, A}$	۱۹۲۲$^{a, A}$
S_1	واجذب	(٪۳۸)** ۵۱۳$^{c, A}$	(٪۴۶) ۶۶۱$^{b, A}$	(٪۴۶) ۷۱۱$^{a, A}$
S_2	واجذب	(٪۳۰) ۴۹۹$^{b, A}$	(٪۳۰) ۵۳۴$^{b, B}$	(٪۳۲) ۶۰۹$^{a, B}$

* حروف کوچک مقایسات میانگین براساس اسیدهومیک (مقایسه ردیفی) و حروف بزرگ، مقایسات میانگین براساس خاک (مقایسه ستونی)؛
** اعداد داخل پرانتز درصد واجذب روی در غلظت‌های مختلف اسیدهومیک می‌باشد.



شکل۱. تأثیر سطوح اسیدهومیک بر روند جذب و واجذب روی در دو نمونه خاکS_1وS_2

اسیدهومیک در هر دو نمونه خاک موجب افزایش میزان واجذب شده و بخشی از روی جذب شده توسط اسیدهومیک با DTPA ۰/۰۰۵ مولار قابل استخراج است.

در سطوح مختلف اسیدهومیک خاکS_1وخاکS_2به‌ترتیب دارابیشترین و کمترین تأثیر رابر منحنی‌های واجذب و میزان واجذب می‌باشند. به‌طوری‌که با کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهومیک میانگین واجذب روی در خاکS_1 از ۵۱۳ به ۷۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (به‌ترتیب از ۳۸٪ به ۴۶٪)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

جدول ۳. پارامترهای معادله لانگ‌مویر در غلظت‌های مختلف اسیدهومیک(HA)

خاک	پارامترهای معادلات	HA (mg/L)		
		۰	۲۰۰	۵۰۰
S_1	q_{max} (mg/kg)	۲۲۶۲±۱۸۳	۲۳۹۸±۱۲۳	۲۴۴۳±۱۴۲
	K_L (L/mg)	۰/۰۴±۰/۰۰۹	۰/۰۶±۰/۰۲	۰/۱۴±۰/۰۹
	R^2	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۶
S_2	q_{max}(mg/kg)	۲۶۴۰±۱۲۵	۳۰۶۸±۱۰۱	۳۲۱۲±۱۷۵
	K_L (L/mg)	۰/۱۲±۰/۰۳۲	۰/۶۷±۰/۱۲۵	۰/۸۷±۰/۱۶۸
	R^2	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۰

خطای استاندارد (±SE)

و در خاکS_2 از ۴۹۹ به ۶۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم (به‌ترتیب از ۳۰٪ به ۳۲٪) افزایش یافت (جدول۲). نتایج مقایسه میانگین روی قابل استخراج با DTPA در سطوح مختلف اسیدهومیک (جدول۲) نشان داد که کاربرد اسیدهومیک در خاکS_1 منجر به افزایش معنی‌دار میزان واجذب روی شده ولی در خاکS_2 تنها در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهومیک به لحاظ تأثیر بر افزایش میزان واجذب اختلاف معنی‌دار نشان داد. احتمالاً در خاکS_2 به‌دلیل بالابودن درصد رس و کربنات کلسیم میزان روی قابل دسترس در حضور اسیدهومیک نسبت به خاکS_1 کمتر می‌شود. رس‌ها مکان‌های جذبی زیادی برای جذب ویژه روی دارند(۲۸). به‌علاوه یون‌های کربنات با تشکیل رسوب کربنات روی($ZnCO_3$) موجب کاهش روی قابل دسترس در خاک‌های آهکی می‌شوند (۳۶). هاشمی و باقرنژاد (۱۶) در بررسی جذب و واجذب روی در خاک‌های اسیدی، آهکی و گچی گزارش کردند که میزان رویآزاد شده با DTPA در خاک‌های با میزان رس و کربنات کلسیمزیاد، کم شد. صفرزاده و همکاران (۲۹) بیان نمودند با افزایش میزان رس و CCE(کربنات کلسیم معادل) در خاک‌های آهکی میزان کادمیم آزاد شده کاهش می‌یابد. نایک و داس (۲۵) در بررسی تأثیر اسیدهومیک بر میزان روی قابل دسترس در خاک‌های آلفی سول گزارش کردندکه در حضور اسیدهومیک میزان DTPA-Zn را به‌میزان ۵۰٪ بیشتر شد. اسیدهومیک با تشکیل کمپلکس کیلیتی با روی منجر به افزایش روی قابل دسترس گیاه می‌شود (۲۶). گونگور و بک بولت (۱۵) بیان نمودند که اسیدهومیک منجر به افزایش میزان رهاسازی روی در خاک شد و در نتیجه میزان رویقابل دسترس گیاه را افزایش داد.

همدماهای جذب

داده‌های جذب برروی هم‌دماهای جذب لانگ‌مویر، فروندلیچ و تمکین برازش داده شدند(شکل۲). نتایج حاصل از بررسیضرایب رگرسیونی(R^2) لانگ‌مویر (۰/۹۶ – ۰/۸۶=R^2)، فروندلیچ (۰/۹۸–۰/۸۶=R^2) و تمکین (۰/۹۵ – ۰/۸۸=R^2) نشان داد که این مدل‌ها واکنش جذب رویرا می‌توانند به خوبیتوصیف کنند، فروندلیچ (۰/۹۸–۰/۸۶=R^2) برازش بهتری بر داده‌های جذب نسبت به لانگ‌مویر و تمکین نشان داد (جداول۳، ۴ و ۵). کاربرد اسیدهومیک سبب افزایش معنی‌دار حداکثر جذب تک لایه‌ای لانگ‌مویر (q_{max}) در هر دو نمونه خاک شد (جدول۳)، میزان افزایش حداکثر جذب در خاکS_2 (با درصد رس متوسط و کربنات کلسیم معادل زیاد) بیشتر از

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

جدول۴.پارامترهای معادله فروندلیچ در غلظت‌های مختلف اسیدهومیک(HA)

خاک	پارامترهای معادلات	HA (mg/L)		
		۰	۲۰۰	۵۰۰
S_1	$K_f(mg^{(1-1/n)}kg^{-1}L^{1/n})$	۳۳۴±۳۵	۳۶۲±۴۴	۵۸۰±۵۶
	۱/n	۰/۳۵±۰/۰۲	۰/۳۲±۰/۰۲	۰/۲۹±۰/۰۱
	R^2	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷
S_2	$K_f(mg^{(1-1/n)}kg^{-1}L^{1/n})$	۶۷۰±۱۰۰	۱۱۹۵±۱۰۱	۱۳۱۰±۹۸
	۱/n	۰/۲۷±۰/۰۳	۰/۲۱±۰/۰۲	۰/۱۸ ±۰/۰۱
	R^2	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۸۶

خطای استاندارد (±SE)

خاکS_1 (با مقادیر درصد رس و کربنات کلسیم معادل کم) شد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با کاربرد اسیدهومیک‌در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پارامترحداکثر جذب تک لایه‌ای در خاکS_1از ۲۲۶۲ به ۲۴۴۳ میلی‌گرم برکیلوگرم (به‌میزان ۸٪) و در خاکS_2 از ۲۶۴۰ به ۳۲۱۲ میلی‌گرم برکیلوگرم (به‌میزان ۲۱٪) افزایش یافت. نتایج مقدار ضریب K_L که نشان‌دهنده قدرت نگهداری روی به‌وسیله ذرات خاک است، نشان می‌دهد که کاربرد اسیدهومیکمنجر به افزایش این پارامتر می‌گردد (جدول۳). در حضور سطوح مختلف اسیدهومیک میزان افزایش K_Lدر خاکS_1 کمتر از خاکS_2 به دست آمد.با کاربرد اسیدهومیکدر غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار K_L در خاکS_1 از ۰/۰۴ به ۰/۱۴ و در خاکS_2 از ۰/۱۲ به ۰/۸۷ افزایشیافت. همچنین تأثیر اسیدهومیک برروی پارامترهای معادله فروندلیچ معنی‌دار بوده با افزایش۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهومیکپارامترهای معادله فروندلیچ، ظرفیت جذب (K_f) در خاکS_1از ۳۳۴ به ۵۸۰ (به میزان ۷۳٪) و در خاک S_2 از ۶۷۰ به ۱۳۱۰ (به میزان ۹۵٪)افزایش یافت (جدول۴).پارامتر 1/n نیز در خاکS_1از ۰/۳۵ به ۰/۲۹ (به میزان ۱۶٪) و درخاکS_2 از ۰/۲۷ به ۰/۱۸ (به میزان ۳۳٪) کاهش یافت (جدول۴) نتایج نشان می‌دهد کاربرد اسیدهومیکشدت جذب را در هر دو خاک افزایش داده است، با کاهش 1/n در یک غلظت تعادلی مقدار بیشتری از فلز جذب خواهد شد (۲۱). معادله تمکین شکل نیمه لگاریتمی معادله جذب می‌باشد، K_T ضریب تمکین بوده و شیب این معادله می‌باشد و رابطه بین غلظت تعادلی و میزان جذب را نشان می‌دهد. حضور اسیدهومیک در هر دو نمونه خاک موجب افزایش این پارامتر شد با افزایش ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهومیکK_Tدر خاکS_1 از ۲۵۷ به ۲۹۱ (به میزان ۱۳٪) و در خاکS_2 از ۳۲۵ به ۴۰۴ (به میزان ۲۳٪) افزایش یافت (جدول ۵). A عرض از مبدأ تمکین و بیانگر میزان جذب در غلظت تعادلی واحد می‌باشد، کمترین و بیشترین تأثیر در افزایش این پارامتر به‌ترتیب مربوط به خاکS_1 و خاکS_2 می‌باشد، با کاربرد۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهومیکدر خاکS_1 از ۵۲۳ به ۷۵۰ (به میزان ۴۳٪) و در خاک S_2 از ۷۴۵ به ۱۴۱۰ (به میزان ۸۸٪)افزایش یافت(جدول۵). خاکS_2 به‌دلیل داشتن درصد رس زیاد،با کاربرد اسیدهومیک و با افزایش مکان‌های جذب موجب افزایش بیشتر پارامترهای جذب در مقایسه با خاک S_1 می‌گردد. انرژی پیوند و حداکثر جذب خاک‌ها به بافت خاک وابسته است، هر دو با ریزتر شدن بافت بیشتر می‌شوند (۳۲). یودو و همکاران (۳۵) در بررسی جذب روی در ۱۰ خاک آهکی آریزونا گزارش کردند که حداکثر جذب تک لایه‌ای لانگ‌مویر همبستگی مثبت با میزان کربنات و مواد آلی در خاک‌های مطالعه شده داشت.جلیلی و محرمی (۱۸) رابطه مثبت و معنی‌دار بین پارامتر مواد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

جدول ۵.پارامترهای معادله تمکین در غلظت‌های مختلف اسیدهومیک(HA)

خاک	پارامترهای معادله	HA (mg/L)		
		۰	۲۰۰	۵۰۰
S_1	A	۵۲۳±۱۳۶	۵۳۳±۸۸	۷۵۰±۶۵
	K_T	۲۵۷±۳۴	۲۶۳±۲۳	۲۹۱±۱۷
	R^2	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۲
S_2	A	۷۴۵±۷۴	۱۱۶۸±۶۷	۱۴۰۱±۸۴
	K_T	۳۲۵±۲۲	۳۴۳±۲۱	۴۰۲±۸۴
	R^2	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۳

خطای استاندارد (±SE)

آلی، درصد رس با میزان جذب روی بیان نمودند. جذب اسیدهومیک بر سطوح معدنی خاک مکان‌های جذبی زیادی را ایجاد می‌کند و با تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزات موجب افزایش جذب آنها می‌گردد (۱۲). ستیتیا (۳۳) گزارش کرد اسیدهومیک باعث افزایش جذب رویبرروی کائولینایت شد. داویس و بتناگار (۱۱) بیان کردند جذب کادمیوم برروی هماتیت در حضور اسیدهومیک در pH ۵ تا ۸ افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری

کاربرد اسیدهومیک باعث تغییر در ویژگی‌های جذب و واجذب روی در خاک‌ها شد. با افزودن اسیدهومیک میزان جذب روی توسط ذرات خاک افزایش یافت و همچنین پارامترهای معادلات جذب نیز افزایش نشان دادند. با کاربرد اسیدهومیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) حداکثر جذب لانگ‌مویر (q_{max}) ۸ الی ۲۱ درصد و ظرفیت جذب فروندلیچ (K_f) ۷۳ الی ۹۵ درصد افزایش یافت و مقادیر پارامترهای محاسبه شده از طریق معادلات جذب در خاکS_1 (با مقادیر رس و کربنات کلسیم پایین) کمتر از خاکS_2 (با مقادیر رس و کربنات کلسیم بالا) به‌دست آمد. اسیدهومیک میزان روی قابل استخراج با DTPA را افزایش داد، با افزودن ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان واجذب روی در خاکS_1 از ۵۱۳ به ۷۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک S_2 از ۴۹۹ به ۶۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اسیدهومیک نیز با داشتن گروه‌های عاملی زیاد و اندازه بزرگ و احتمالاً با اتصال به مکان‌های جذب، مکان‌های جذب را افزایش می‌دهد و منجر به افزایش جذب روی در خاک‌ها شده و میزان روی محلول را کاهش می‌دهد و از طرف دیگر، بخشی از روی نگهداری شده توسط اسیدهومیک با DTPA قابل استخراج بوده و می‌تواند در دسترس گیاهان قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. چرم، م. و ف. عبدالهی. ۱۳۸۶. مطالعه ویژگی‌های جذب سطحی عناصر منگنز و روی در خاک‌های کشت و صنعت نیشکر (امام خمینی(ره) و هفت تپه). مجله علوم کشاورزی ایران ۳۸ (۳): ۶۰۳-۵۹۴.

۲. خیرآبادی، ح.، ا. ح. خوشگفتارمنش و ز، خان‌محمدی. ۱۳۹۱. تأثیر برخی از ویژگی‌های خاک بر قابلیت دسترسی روی برای ذرت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

در تعدادی از خاک‌های آهکی اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۶۲(۱۶): ۱۰-۱.

۳. ملکوتی، م. و م. نفیسی. ۱۳۷۶. *مصرف کود در اراضی فاریاب و دیم*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران.

۴. نوروزی، م.، ا. ح. خوشگفتارمنش و م. افیونی. ۱۳۹۳. تأثیر برخی کودهای آلی بر شکل‌های شیمیایی روی در فاز جامد خاک و ارتباط آن با جذب روی در گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۷۰ (۱۸): ۸۹-۸۱.

5. Alloway, B. J. Zinc in soils and crop nutrition. 2004. International Zinc Association Communications. IZA. Brussels. Belgium.
6. Arias, M., M. T. Barral and J. C. Mejuto. 2002. Enhancement of copper and cadmium adsorption on kaolin by presence of humic acids. Chemosphere 48(10): 1081-1088.
7. Backes, C. A., R. G. McLaren, A. W. Rate and R. S. Shift. 1995. Kinetic of cadmium and cobalt desorption from iron and manganese oxides. Soil Sci Soc. Am J. 59:778-785.
8. Benedetti, A., C. Figliolia, S. Izza and G. Rossi. 1996. Some thoughts on the physiological effects of humic acids; interaction with mineral fertilizers. Agrochime 40(5-6):229-240.
9. Brannon, C. A. and L.E. Sommers. 1985. Preparation and characterization of model humic polymers containing organic P. Soil Biol. Biochem. 17(2): 213-219.
10. Chen, J. P. and S. J. Wu. Simultaneous adsorption of copper ions and humic acid onto an activated carbon. 2004. J. Colloid Interf. Sci. 280: 334-342.
11. Davis, A. P. and V. Bhatnagar. 1995. Adsorption of cadmium and humic acid onto hematite. Chemosphere 30: 243-256.
12. Davic, J. A. 1982. Adsorption of natural dissolved organicmatter at the oxid/water Geochim. Cosmochim. Acta. 46:2381-2393.
13. Garcia-Mina, J. M., M. C. Antolin and M. Sanchez-Dias. 2004. Metal- humic complexes and plant micronutrient uptake. Plant and Soil. Springer Netherlands 258:57-68.
14. Ghasemi-Fasaei, R. and M. Jarrah. 2013. Adsorption kinetics of cadmium and zinc as influenced by some calcareous soil properties. IJACS 5(5): 479-483.
15.Gungor, E. B. O. and M. Bekbolet. 2010. Zinc relese by humic and fluvic acid as influenced by pH, complexation and DOC sorption. Geoderma 159: 131-138.
16. Hashemi S. S. and M. Baghernejad. 2009. Zinc sorption by acid, calcareous and gypsiferous soils as related to soil mineralogy. Iran. J. Agric. Res. 27 (2): 1-16.
17. Jones, M. N. and N. D. Bryan. 1998. Colloidal properties of humic substances. Adv.Colloid Interf. 78: 1-48.
18. Jalali, M., S. Moharrami. 2007. Competitive adsorption of trace elements in calcareous soils ofwestern Iran. Geodetma 140: 156-163.
19. Karimian, N. and G. R. Moafpouryan. 1999. Zinc adsorption characteristics of selected calcareous soils of Iran and their relationship with soil properties. J. Comm Soil Sci Plant Anal. 30: 1721-1731.
20. Lai, C. H., C. Y. Chen, B.L. Weiand S. H. Yeh. 2002. Cadmium adsorption on goethite-coated sand in the presence of humic acid. Water Res. 36(20): 4943-4950.
21. Lair, G. J., M. H. Gerzabek, G. Haberhauer, M. Jakusch and H. Kirchmann. 2006. Response of the sorption behavior of Cu, Cd, and Zn to different soil management. J. Plant Nutr. Soil Sci. 169: 60-68. doi:10.1002/jpln.200521752.
22. Li, Y., Q. Yue and B. Gao. 2010. Adsorption Kinetics and desorption of Cu(II) and Zn(II) from aqueous solution onto humic acid. J. Hazard. Mater 178: 455-461.
23. Marschner, H. Zinc uptake from soils. 1993. Zinc in Soils and Plants. (Ed.A.D. Robson) PP:59-77. Kluwer Academic Pub. Dordreht. Netherlands.
24. Mesquite, M. E. and J. M.Vierira. 1996. Zinc adsorption by a calcareous soil. Copper iteraction. Ceoderma 69: 137-146.
25. Naik, S. K. and D. K. Das. 2007. Effect of lime, humic acid and moisture regime on the availability of zinc in alfisol.Sci World. J. 6: 1198-1206.
26. Natesan, R., S. Kandasamy. S. Thiyageshwari and P. M. Boopathy.2006. Influence of Lignite Humic Acid on the Micronutrient Availability and Yield of Blackgram in an Alfisol. The 18th WCSS, 9-15July,Philadelphia, Pennsylvania, USA.
27. Petrovic, M., M. Kastelan-Macan. and A.J.M. Horvat. 1999. Interactive sorption of metal ions and humic acids onto mineral particles. Water Air Soil Poll. 111: 41-56.
28. Randal S. S. and R. J. Bruce. 1991. Zinc sorption by B Horizon soils as a function of pH. Soil Sci Soc. Am J.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]

1:1592-1597.
29. Safarzade S., A. Ronaghi and N. Karimian. 2009. Comparison of cadmium adsorption behaviaor in selected calcarious and acid soils.Iran. J. Agric. Res. 28(2): 63-76.
30. Sedberry, J. E., F. J. Peterson, F. E. Wilson, D. B. Mengel, P. E. Schiling and R. H. Brupbacher. 1980. Influence of soil reaction and applications zinc on yield sand zinc content sofrice plants. Commun. Soil Sci.Plant Anal. 11: 283-295.
31. Sensi, L. 1993. Metal-humic substance complexes in the environment. Molecular and mechanistic aspects by multiple spectroscopic approach. *In*: Adriano D.C. (Ed.), Biogeochemistry of trace metals. Lewis Publ., Boca Raton: 429-496.
32. Shuman, L. M. 1975. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. Soil Sci. Soc. Am J. Proc. 39:454-458.
33. Stietiya, M. H. 2010.Sorption mechanisms of zinc in different clay minerals and soil systems as influenced by various natural ligands. ph. D. Thesis. Uni. of Science and Technology.
34. Tan, K. H. 1998. Principles of soil Chemistry. 3rd ed. M. Sekke, N. Y.
35. Udo, E. J., H. L. Bohn and T.C. Tucker. 1970. Zinc adsorption by calcareous soils. Soil Sci.Soc.Am. 34:405-407.
36. Wang, J. and J. Harrel. 2005. Effect ammonium, potassium and sodium cations and phosphate,nitrate, and chloride anions on Zn sorption and lability in selected acid and calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. 69: 1036-1046.
37. Wang, S., T. Terdkiatburana, M. O. Tede. 2008. Single and co-adsorption of heavy metals and humic acid on fly ash. Sep. Purif. Methods 57(3): 353-358.
38. Wu. J., L. J. West. and D. I. Stewart. 2002. Effect of humic substances on Cu(II) solubility in kaolin-sand soil. J. Hazard. Mater. 77:1-16.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.12.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.12]