



دانشگاه گورگان  
فصلنامه علمی-پژوهشی

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۰  
www.gau.ac.ir/journals

## شبیه‌سازی سینتیک آزاد شدن روی از خاک‌های مختلف استان گلستان با استفاده از دی‌اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA)

مرضیه غلامی<sup>۱</sup>، \* مجتبی بارانی مطلق<sup>۲</sup>، اسماعیل دردی‌پور<sup>۲</sup> و محسن علمایی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۱۹

### چکیده

رها سازی روی فاکتور مهمی در تعیین قابلیت دسترسی روی در خاک‌های آهکی است. در این پژوهش سینتیک آزاد شدن روی از ۱۵ نمونه خاک جمع‌آوری شده از استان گلستان با ویژگی‌های متفاوت با استفاده از محلول دی‌اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید مطالعه گردید. معادله‌های سینتیکی مختلف (مرتبه صفر، دیفیوژن پارابولیکی، الویچ ساده شده و تابع توانی) برای توصیف سرعت رها سازی روی از خاک استفاده شدند. مقایسه ضرایب تبیین ( $R^2$ ) و خطاهای معیار تخمین (SE) نشان داد که معادله‌های تابع توانی، الویچ ساده شده و مرتبه اول به‌طور قابل قبولی رها سازی روی را توصیف کردند در حالی که معادله مرتبه صفر قادر به توصیف سینتیک آزاد شدن روی از خاک‌ها نبود. هر چند معادله مرتبه اول نیز قادر به توصیف مناسب رها سازی روی در زمان‌های کوتاه نبود. الگوی آزاد شدن روی بر پایه معادله دیفیوژن پارابولیکی نشان داد که سرعت رها سازی روی در ۲ ساعت ابتدایی بالاتر بوده و به‌وسیله یک سرعت آزاد شدن کندتر ادامه یافت که این امر بیانگر وجود دو مکانیسم مختلف در روند رها سازی است. مقدار روی قابل استفاده خاک (آزاد شده در طی مرحله سریع)،  $40/5-83/3$  درصد مقدار کل روی آزاد شده در زمان ۱۹۲ ساعت را شامل شد.

واژه‌های کلیدی: سینتیک، آزاد شدن روی، محلول DTPA، معادله‌های سینتیکی

\* مسئول مکاتبه: mbarani@gau.ac.ir

## مقدمه

فرآیندهای شیمیایی خاک از هر دو دیدگاه تعادلی و سینتیکی می‌توانند مورد مطالعه قرار گیرند (اسپارکز و همکاران، ۱۹۹۶). با این حال از زمان شروع در اواسط دهه ۱۸۵۰، شیمی خاک بر جنبه‌های ماکروسکوپی و تعادلی فرآیندها و واکنش‌های شیمیایی خاک متمرکز بوده است. از این مطالعات، اطلاعات بسیاری در مورد فرآیندهای شیمیایی مهم خاک مانند جذب، واجذبی، رسوب، تشکیل کمپلکس، انحلال و اکسیداسیون کاهش به دست آمده است (اسپارکز، ۲۰۰۰). بدون شک، نتایج این مطالعات مفید و آموزنده بوده، با این وجود هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد سینتیک این واکنش‌ها در اختیار نمی‌گذارند. از این گذشته، مطالعات تعادلی به دلیل این که خاک‌ها و رسوبات تقریباً همیشه در حالت غیرتعادلی نسبت به تغییر شکل یون‌ها و برهم‌کنش مولکول‌های آلی قرار دارند، اغلب قابل اعمال به شرایط مزرعه نمی‌باشند (اسپارکز، ۱۹۸۹). از این رو، برای شناخت کامل برهم‌کنش‌های دینامیکی عناصر غذایی با خاک و نیز پیش‌بینی سرنوشت آن‌ها در طول زمان، همچنین تحرک، تشکیل گونه و زیست‌فراهمی عناصر غذایی در خاک‌ها، آگاهی یافتن از سینتیک و مکانیسم واکنش‌های درگیر ضروری است (اسپارکز، ۱۹۸۹؛ اسپارکز، ۲۰۰۰).

ریشه‌های گیاه، روی مورد نیاز خود را از محلول خاک یا در نهایت از فاز جامد سیستم خاک به دست می‌آورند. از این رو، رهاسازی روی از فاز جامد به درون فاز محلول خاک، مرحله مهمی در تأمین نیاز روی گیاهان می‌باشد. در این حالت، عامل مهمی که باید مورد توجه قرار گیرد سرعت آزاد شدن روی از فاز جامد برای جبران کاهش روی محلول ناشی از جذب توسط گیاه است (جوپونی و یونگ، ۱۹۸۷؛ شورتمن، ۱۹۹۱).

فرآیندهای جذب و رهاسازی روی در سیستم خاک-محلول-ریشه بر پایه شیب غلظت ناشی از جذب روی محلول توسط ریشه‌های گیاه می‌باشد (یانگ و اسکوگلی، ۱۹۹۲). جذب روی در طول دوره رشد گیاه یک فرآیند پویا و دینامیک است که موجب تخلیه روی از ناحیه ریشه و آزاد شدن روی از فاز جامد خاک شامل روی به درون محلول خاک می‌شود. این فرآیند منجر به تخریب و فروپاشی قابل توجه ماتریکس خاک نمی‌شود. از این رو، روشی که بتواند دینامیک جذب روی توسط گیاه را، بدون تغییر در ماتریکس کانی‌ها، شبیه‌سازی کند، سینتیک آزاد شدن روی در شرایط مزرعه را به طور مناسبی برآورد خواهد کرد (هاولین و همکاران، ۱۹۸۵).

پژوهش‌های آزاد شدن روی از سطوح ذرات خاک با استفاده از عصاره‌گیرهای مختلفی انجام می‌شود. با این حال به نظر می‌رسد DTPA (دی‌اتیلن تری‌آمین پنتا استیک اسید) از زمان معرفی

به‌عنوان عصاره‌گیر، بیش‌ترین کاربرد را داشته است (کو و مایکلسن، ۱۹۸۰). روش DTPA بر پایه این فرض استوار است که روی استخراج شده تابعی از غلظت روی در محلول خاک (فاکتور شدت) و روی قابل جایگزین از فازهای لبایل (فاکتور ظرفیت) می‌باشد (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸). DTPA با یون‌های روی آزاد موجود در محلول ترکیب و کمپلکس‌های محلول را تشکیل داده و به این وسیله فعالیت یون‌های آزاد در محلول را کاهش می‌دهد. برای جبران این کاهش، روی از فاز جامد کنترل‌کننده حلالیت روی به درون محلول خاک آزاد می‌شود (کلاین و همکاران، ۱۹۸۲؛ لیندزی و نورول، ۱۹۷۸). محلول DTPA با تری اتانول آمین در حضور کلرید کلسیم و در  $\text{pH}=7/3$  بافر می‌شود (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸؛ لوپرت و اینسکیپ، ۱۹۹۶). انتخاب  $\text{pH}=7/3$  این امکان را به محلول استخراج‌کننده می‌دهد که با  $\text{CaCO}_3$  و  $\text{CO}_2$  (g) در سطحی معادل ۱۰ برابر فشار  $\text{CO}_2$  اتمسفر به تعادل برسد. این مسأله از انحلال  $\text{CaCO}_3$  و رهاسازی روی محبوس شده که به‌طور معمول برای گیاه قابل دسترس نمی‌باشد، جلوگیری می‌کند. اضافه نمودن  $\text{Ca}^{2+}$  محلول به شکل  $\text{CaCl}_2$  نیز به این مسأله کمک می‌کند (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸؛ لوپرت و اینسکیپ، ۱۹۹۶). تری اتانول آمین به‌دلیل این‌که دارای  $\text{pK}_a=7/8$  بوده و بدون ایجاد مشکل در شعله دستگاه جذب اتمی می‌سوزد، به‌عنوان بافر انتخاب شده است (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸).

معادله‌های سینتیکی مختلفی از جمله مرتبه صفر، مرتبه اول، الوویچ، تابع توانی (سرعت دوثابته) و دیفیوژن پارابولیکی برای توصیف سینتیک فرآیندهای شیمیایی خاک از جمله سینتیک رهاسازی استفاده شده‌اند (اسپارکز، ۱۹۸۹). سینتیک رهاسازی روی از طریق DTPA به‌وسیله معادله سرعت دوثابته (کو و مایکلسن، ۱۹۸۰؛ شهبازی، ۱۹۹۸) و معادله‌های دیفیوژن پارابولیکی، سرعت دوثابته و الوویچ ساده شده (دنگ و همکاران، ۱۹۹۴) توصیف شده است. روپا و تومار (۱۹۹۹a) و روپا و همکاران (۲۰۰۰) با بررسی رفتار وابسته به زمان روی در خاک‌ها دریافتند که معادله الوویچ بهترین معادله توصیف‌کننده رهاسازی روی از خاک‌هاست، در حالی‌که خاطر و زاغلول (۲۰۰۲) معادله تابع توانی را بهترین معادله برای توصیف سینتیک رهاسازی روی گزارش کردند. ریحانی‌تبار و گیلکز (۲۰۱۰) سینتیک استخراج روی به‌وسیله دی‌اتیلن تری‌آمین پنتا استیک اسید برای مدت زمان ۱۹۲ ساعت در خاک‌های آهکی دشت قزوین را بررسی نموده و دریافتند که از بین معادله‌های سینتیکی مختلف، معادله تابع توانی بهترین مدل توصیف‌کننده استخراج روی از تمامی خاک‌ها می‌باشد. یو و کلاروپ (۱۹۹۴) نیز سینتیک استخراج روی از یک رسوب آلوده شده را با استفاده از EDTA بررسی کرده و نشان دادند که استخراج روی می‌تواند به‌وسیله معادله تابع توانی توصیف گردد.

در مقایسه با پژوهش‌های منتشر شده متعدد در ارتباط با رفتار جذب روی در خاک‌ها و اجزای خاک (برومر و همکاران، ۱۹۸۳؛ برومر و همکاران، ۱۹۸۸؛ بارو، ۱۹۸۶)، مطالعات به نسبت اندکی در مورد سینتیک رهاسازی روی به‌ویژه از خاک‌ها انجام گرفته است. از این‌رو، اهداف این پژوهش عبارتند از مطالعه شبیه‌سازی سینتیک رهاسازی روی از خاک‌های مختلف استان گلستان به وسیله DTPA در دامنه زمانی از ۱۵ دقیقه تا ۱۹۲ ساعت و مقایسه معادله‌های سینتیکی مختلف برای توصیف رهاسازی روی از این خاک‌ها و شناسایی بهترین مدل‌های توصیف‌کننده فرآیند رهاسازی روی.

### مواد و روش‌ها

**جمع‌آوری و انتخاب نمونه‌های خاک:** تعداد ۸۰ نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نواحی مختلف کشاورزی استان گلستان جمع‌آوری گردید. نمونه‌های هوا خشک شده به آرامی کوبیده شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری در ظروف پلاستیکی نگهداری شدند. از بین این نمونه‌ها، تعداد ۱۵ نمونه به گونه‌ای انتخاب شدند که از نظر مقدار روی قابل استخراج با DTPA (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) و نیز برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند درصد رس، درصد رطوبت اشباع (کلوت، ۱۹۸۶)، pH، قابلیت هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲) متفاوت باشند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های انتخاب شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

**آزمایش سینتیک رهاسازی روی:** مطالعه سینتیکی آزاد شدن روی با استفاده از محلول DTPA (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) به شرح زیر انجام گرفت. ۱۰ گرم از خاک هوا خشک در اندازه کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر به دقت (۰/۰۰۱ گرم) وزن و در لوله‌های سانتریفوژ ۵۰ سی‌سی اسیدشویی شده قرار داده شد. آن‌گاه ۲۰ میلی‌لیتر از محلول استخراج‌کننده (۰/۰۰۵ مولار DTPA، ۰/۱ مولار تری اتانول آمین و ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم بافر شده در pH=۷/۳) و دو قطره تولوئن برای جلوگیری از فعالیت میکروبی و تجزیه DTPA به خاک اضافه و برای مدت زمان‌های ۰/۲۵، ۰/۳۳، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۴، ۴۸، ۹۶، ۱۴۴ و ۱۹۲ ساعت در دمای  $25 \pm 2$  تکان داده شد. سوسپانسیون به دست آمده به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و محلول زلال رویی فوراً از طریق کاغذ صافی شماره ۴۲ واتمن صاف گردید. زمان افزودن محلول به خاک به‌عنوان زمان صفر و هنگام جدا شدن محلول زلال رویی به‌عنوان زمان پایانی در نظر گرفته شد. غلظت روی در عصاره‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید.

مرضیه غلامی و همکاران

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در این بررسی.

شماره خاک	سری خاک	روی قابل استخراج		pH <sub>e</sub>	EC <sub>e</sub> (دسی‌زیمنس بر متر)	SP	CCE (درصد)	OC	رس	CEC Cmolc kg <sup>-1</sup>
		با DTPA	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)							
۱	شاهپسند	۰/۶	۷/۷۵	۰/۸۷	۴۵/۲۳	۴۵/۲۳	۲/۰۰	۱/۳۷	۳۲/۳	۲۲/۵۶
۲	شاهپسند	۰/۴۷	۸/۲۹	۰/۷۳	۳۵/۸۵	۳۵/۸۵	۹/۱۲	۲/۰۰	۶/۳	۱۴/۰۰
۳	مینودشت	۱/۲۳	۷/۶۸	۰/۸۰	۴۹/۵۲	۴۹/۵۲	۴/۰۰	۱/۱۲	۱۸/۳	۲۱/۲۵
۴	گالیکش	۱/۹۵	۷/۷۷	۱/۴۸	۶۳/۴۱	۶۳/۴۱	۷/۰۰	۱/۸۵	۲۶/۳	۲۵/۵۳
۵	دهنه	۰/۳۴	۸/۰۳	۰/۶۳	۴۱/۸۳	۴۱/۸۳	۲۱/۵۸	۰/۶۳	۲۲/۳	۱۶/۱۴
۶	مینودشت	۱/۷۱	۷/۵۹	۰/۵۸	۴۵/۹۷	۴۵/۹۷	۱۱/۳۷	۱/۱۲	۱۸/۳	۱۶/۸۰
۷	مینودشت	۱/۵۰	۸/۳۱	۰/۶۳	۶۰/۷۵	۶۰/۷۵	۱۰/۰۰	۱/۳۲	۳/۱	۲۰/۵۹
۸	معصوم‌آباد	۲/۴	۷/۵۹	۰/۵۱	۵۹/۴۷	۵۹/۴۷	۱۳/۷۵	۱/۳۲	۲۸/۳	۱۹/۹۳
۹	ایمر	۱/۳۲	۷/۹۸	۴/۳۱	۵۵/۳۶	۵۵/۳۶	۲۱/۵۰	۱/۱۷	۲۴/۳	۱۹/۱۰
۱۰	فوج‌مراد	۰/۸۴	۷/۶۹	۱۰/۱۱	۶۰/۵۱	۶۰/۵۱	۴/۸۳	۱/۹۰	۱۲/۳	۱۷/۷۹
۱۱	صوفیان	۱/۱۹	۸/۵	۱/۰۱	۴۶/۵۸	۴۶/۵۸	۷/۷۵	۲/۱۰	۱۵	۲۱/۲۵
۱۲	آریادشت	۰/۵۳	۷/۹	۷/۷۹	۴۹/۸۱	۴۹/۸۱	۱۳/۷۵	۱/۱۷	۲۰/۳	۱۳/۸۳
۱۳	آق‌تپه	۰/۶۹	۷/۳	۲۵/۳۰	۴۷/۶۷	۴۷/۶۷	۱۱/۰۰	۱/۳۷	۱۸/۳	۱۳/۰۱
۱۴	ترکمن	۰/۴	۷/۸	۸/۸	۴۵/۲۹	۴۵/۲۹	۱۵/۵۰	۱/۰۷	۰/۳	۱۳/۵۰
۱۵	قره‌سو	۰/۹۸	۶/۷۲	۱/۳۴	۶۴/۹۸	۶۴/۹۸	۲۷/۰۰	۱/۴۱	۲۶/۳	۱۴/۸۲

CEC، OC، SP، EC<sub>e</sub> و pH<sub>e</sub> به ترتیب ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، درصد رطوبت اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع و pH عصاره اشباع خاک هستند.

**مدل‌های سینتیکی:** معادله‌های سینتیکی مختلفی از جمله مرتبه صفر، مرتبه اول، الوویچ ساده شده، تابع توانی (سرعت دوثابت)، دیفیوژن پارابولیکی برای توصیف سینتیک آزاد شدن روی از خاک‌ها در دوره زمانی از ۱۹۲-۰/۲۵ ساعت استفاده شدند (جدول ۲) (چین و کلیتون، ۱۹۸۰؛ اسپارکز و همکاران، ۱۹۸۰؛ جوپونی و یونگ، ۱۹۸۷؛ پاولاتو و پلی‌زوپولوس، ۱۹۸۸؛ شریعتمداری و همکاران، ۲۰۰۶؛ قاسمی‌فسایی و همکاران، ۲۰۰۷).

ارزیابی معادله‌های بالا برای انتخاب بهترین معادله توصیف‌کننده آزاد شدن روی با مقایسه ضرایب تبیین (R<sup>۲</sup>) و خطاهای معیار تخمین (SE)<sup>۱</sup> محاسبه شده برای هر معادله صورت گرفت. خطای معیار تخمین به صورت زیر محاسبه گردید:

$$SE = [\sum(Zn_t - Zn_t^*)^2 / (n - 2)]^{1/2} \quad (1)$$

1- Standard Error of the Estimate

که در آن،  $Zn_t$  و  $Zn_t^*$  به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و محاسبه شده با هر کدام از معادله‌ها در زمان  $t$  و  $n$  تعداد اندازه‌گیری است (دنگ و همکاران، ۱۹۹۴؛ جلالی و ضرابی، ۲۰۰۶؛ قاسمی فسایی و همکاران، ۲۰۰۶؛ شریعتمداری و همکاران، ۲۰۰۶؛ ریحانی تبار و کریمیان، ۲۰۰۸).

جدول ۲- مدل‌های سینتیکی مورد استفاده در این مطالعه.

پارامترها	معادله	مدل سینتیکی
$k_0$ , ثابت سرعت مرتبه صفر ( $mg\ Zn\ kg^{-1}\ h^{-1}$ )	$(q_0 - q_t) = q_0 - k_0 t$	مرتبه صفر
$k_1$ , ثابت سرعت مرتبه اول ( $h^{-1}$ )	$\ln(q_0 - q_t) = \ln q_0 - k_1 t$	مرتبه اول
$k_p$ , ثابت سرعت دیفیوژن [ $(mg\ Zn\ kg^{-1})^{-1/2}$ ]	$q_t = q_0 + k_p t^{1/2}$	دیفیوژن پارابولیکی
$a$ , ثابت اولیه سرعت رهاسازی روی ( $mg\ Zn\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ) <sup>b</sup> و $b$ , ضریب سرعت رهاسازی [ $(mg\ Zn\ kg^{-1})^{-1}$ ]	$q_t = a t^b$	تابع توانی
$\alpha_s$ , ثابت اولیه رهاسازی روی ( $mg\ Zn\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ) و $\beta_s$ , ثابت رهاسازی روی [ $(mg\ Zn\ kg^{-1})^{-1}$ ]	$q_t = 1/\beta_s \ln(\alpha_s \beta_s) + 1/\beta_s \ln t$	الوویج ساده شده

نکته:  $q_0$  و  $q_t$  به ترتیب مقدار روی آزاد شده ( $mg\ Zn\ kg^{-1}$ ) در زمان صفر و  $t$  هستند.

## نتایج و بحث

**ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه:** در این پژوهش تعداد ۱۵ نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری از میان نمونه‌های جمع‌آوری شده از نواحی مختلف کشاورزی استان گلستان مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که از نظر ویژگی‌های مؤثر در قابلیت دسترسی روی در خاک دارای تنوع زیادی باشند. برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنان‌که جدول نشان می‌دهد خاک‌های انتخاب شده دارای دامنه وسیعی از نظر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند. دامنه گسترده روی قابل استخراج با  $DTPA$  (۲/۴-۰/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که معیاری از روی قابل استفاده خاک است (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) نیز بیانگر تنوع این ویژگی‌ها در خاک‌های انتخاب شده می‌باشد.

**الگوی رهاسازی روی از خاک‌ها:** مقدار کل روی آزاد شده از خاک‌های مورد مطالعه با یکدیگر متفاوت بوده و از ۰/۶۴ (خاک شماره ۱۴) تا ۵/۰۶ (خاک شماره ۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۳). مقدار روی آزاد شده در طی زمان‌های ابتدایی (مرحله سریع) که شاخصی از روی قابل دسترس خاک است، ۴۰/۵-۸۳/۳ درصد مقدار کل روی آزاد شده در زمان ۱۹۲ ساعت را شامل می‌شود. از سوی دیگر، روی قابل استفاده خاک (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) همبستگی معنی‌داری

## مرضیه غلامی و همکاران

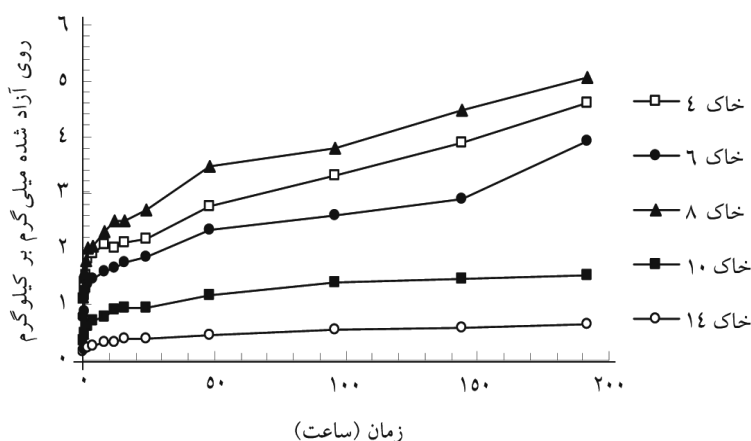
(\*\*۰/۹۷۱) را با مقدار کل روی آزاد شده در زمان ۱۹۲ ساعت نشان داد که می‌تواند بیانگر ننگه داشته شدن بخش عمده روی موجود در این خاک‌ها در مکان‌های سطحی با انرژی کم و یا یک فاز جامد با حلالیت به نسبت بالا باشد.

جدول ۳- مقادیر روی آزاد شده در پایان مرحله‌های سریع و کند.

شماره خاک	سری خاک	روی آزاد شده در مرحله سریع (۲ ساعت) (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی آزاد شده در ۱۹۲ ساعت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نسبت روی آزاد شده در مرحله سریع به کل روی آزاد شده (درصد)
۱	شاهپسند	۰/۶	۰/۷۲	۸۳/۳
۲	شاهپسند	۰/۴۷	۱/۱	۴۲/۷
۳	مینودشت	۱/۲۳	۲/۰	۶۱/۵
۴	گالیکش	۱/۹۵	۴/۶	۴۲/۴
۵	دهنه	۰/۳۴	۰/۸۴	۴۰/۵
۶	مینودشت	۱/۷۱	۳/۹۲	۴۳/۶
۷	مینودشت	۱/۵۰	۲/۷۲	۵۵/۱
۸	معصوم‌آباد	۲/۴	۵/۰۶	۴۷/۴
۹	ایمر	۱/۳۲	۲/۰۶	۶۴/۱
۱۰	قوچ‌مراد	۰/۸۴	۱/۵۴	۵۴/۵
۱۱	صوفیان	۱/۱۹	۲/۰۶	۵۷/۸
۱۲	آریادشت	۰/۵۳	۰/۹۰	۵۸/۹
۱۳	آق‌تپه	۰/۶۹	۱/۳	۵۳/۱
۱۴	ترکمن	۰/۴	۰/۶۴	۶۲/۵
۱۵	قره‌سو	۰/۹۸	۲/۰۶	۴۷/۶
	دامنه	۰/۳۴-۲/۴	۰/۶۴-۵/۰۶	۸۳/۳-۴۰/۵
	میانگین	۱/۰۸	۲/۱	۵۴/۳

سیتتیک آزاد شدن روی به وسیله محلول DTPA در تعدادی از خاک‌های مورد مطالعه در دامنه زمانی ۱۹۲-۰/۲۵ ساعت به صورت منحنی تجمعی در شکل ۱ نشان داده شده است. آزاد شدن روی از خاک‌ها ابتدا سریع (تا ۲ ساعت) و سپس با آهنگ کندتری ادامه می‌یابد. در همه خاک‌ها آزاد شدن کند حتی پس از گذشت ۱۹۲ ساعت هنوز ادامه داشته و تعادل در هیچ‌یک از خاک‌ها به دست نیامد. به عبارت دیگر برای استخراج کامل روی و رسیدن به مقداری ثابت زمان واکنش طولانی‌تری مورد نیاز

است. در حقیقت، این فرآیند دومرحله‌ای رهاسازی<sup>۱</sup> عموماً با سطوح جذب‌کننده طبیعی<sup>۲</sup> مشاهده می‌شود (یو و کلاروپ، ۱۹۹۴). احتمالاً بافت خاک زمان تعادل را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. نتیجه مشابهی نیز به‌وسیله کو و مایکلسن (۱۹۸۰) گزارش شده است. آنان بیان کردند که خاک‌های ریزبافت نسبت به خاک‌های درشت‌بافت برای رسیدن به تعادل به زمان بیشتری نیاز دارند. رویا و همکاران (۲۰۰۰) نیز با مطالعه رفتار وابسته به زمان روی در خاک‌ها دریافتند که خاک‌های دارای رس و کربن آلی کم‌تر در مقایسه با خاک‌های شامل کربن آلی و رس بالا به زمان کم‌تری برای رسیدن به تعادل نیاز دارند. در این مطالعه نیز، به‌طورکلی خاک‌های ریزبافت (برای مثال خاک‌های ۴ و ۶) نسبت به خاک‌های درشت‌بافت (برای مثال خاک‌های ۱۰ و ۱۴) مقدار روی آزاد شده بیشتر بوده و زمان رسیدن به تعادل نیز طولانی‌تر می‌باشد.



شکل ۱- آزاد شدن تجمعی روی از برخی خاک‌ها با زمان.

فرآیند دومرحله‌ای رهاسازی (سریع و کند متعاقب آن) به‌وجود مکان‌های با انرژی متفاوت نسبت داده شده است (لمن و هارتر، ۱۹۸۴). واکنش سریع اولیه رهاسازی روی به واکنش DTPA با مکان‌های سطحی با انرژی کم<sup>۳</sup> و کاهش تدریجی سرعت واکنش به مصرف مکان‌های سطحی فعال<sup>۴</sup>

- 1- Two-Step Desorption/Release Process
- 2- Natural Adsorbents
- 3- Low-Energy Surface Site
- 4- Active Surface Site



نسبت داده شده است (لوپرت و اینسکیپ، ۱۹۹۶). این فرآیند دومرحله‌ای پیش از این برای دیگر عناصر نیز مشاهده شده است. از آن جمله، لمن و هارتر (۱۹۸۴)، مرحله سریع رهاسازی مس را به آزاد شدن مس از سطوح خارجی و مرحله کند را به آزاد شدن مس از یک فاز جامد مجزا یا دیفیوژن مس از سطوح داخلی نسبت دادند. مکانیسم مشابهی به وسیله دنگ و همکاران (۱۹۹۴) برای توصیف فرآیند دومرحله‌ای آزاد شدن روی از ورتی سول‌ها به وسیله DTPA پیشنهاد شده است. یو و کلاروپ (۱۹۹۴) نیز با مطالعه سینتیک استخراج روی با EDTA از رسوبات آلوده شده، مرحله رهاسازی کند پس از مرحله سریع را به دیفیوژن روی از سطوح داخلی و نیز انحلال کند کانی‌های شامل روی مرتبط دانستند. آن‌ها همچنین بیان داشتند که پوشش‌های سطحی<sup>۱</sup>، احتمالاً اکسیدها، به آرامی به درون محلول حل شده و به این طریق شاید روی بیش‌تری برای استخراج قابل دسترس می‌شود. در حالی که کو و مایکلسن (۱۹۸۰) معتقدند که اگرچه مواد آلی و رس قادر به جذب سطحی روی می‌باشند اما توانایی آن‌ها برای تنظیم رهاسازی روی خاک به وسیله DTPA در ظاهر کم‌اهمیت بوده و از آنجایی که pH به‌طور معکوسی حلالیت روی خاک و قدرت پیوندی آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، pH می‌تواند به میزان زیادی سرعت رهاسازی روی را تحت‌تأثیر قرار دهد. آنان نشان دادند که سرعت رهاسازی روی در خاک‌های اسیدی نسبت به دیگر خاک‌ها به نسبت بالاتر می‌باشد.

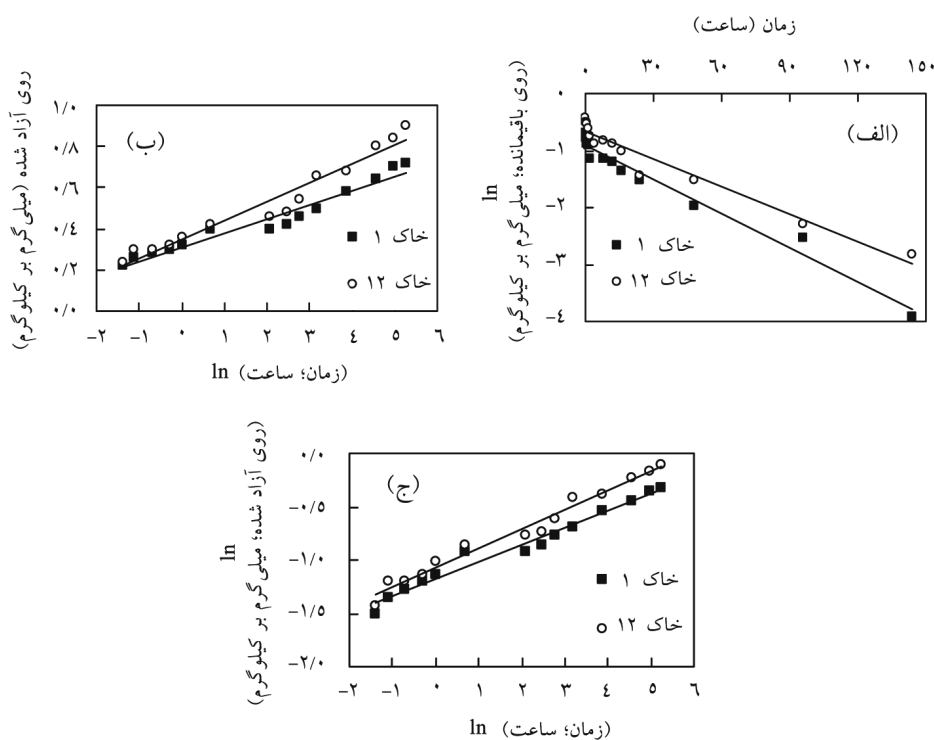
مقایسه معادله‌های سینتیکی: معادله‌های سینتیکی مختلف برای توصیف سینتیک آزاد شدن روی از خاک‌ها در دوره زمانی ۱۹۲-۰/۲۵ ساعت مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۴).

جدول ۴- دامنه و میانگین ضرایب تبیین ( $R^2$ ) و خطاهای معیار تخمین (SE) معادله‌های سینتیکی مختلف برای توصیف آزاد شدن روی از خاک‌های مورد بررسی.

SE		$R^2$		معادله‌های سینتیکی
میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	
۰/۰۷۷۹	۰/۰۱۶۲-۰/۲۳۲۶	۰/۹۷	۰/۹۶-۰/۹۹	تابع توانی
۰/۱۲۵۶	۰/۰۳۷۴-۰/۳۸۰۲	۰/۹۳	۰/۹۰-۰/۹۷	الوویچ ساده شده
۰/۱۲۸۴	۰/۰۴۱۰-۰/۲۹۹۳	۰/۹۵	۰/۹۱-۰/۹۷	مرتبه اول
۰/۱۰۴۲	۰/۰۳۰۳-۰/۱۹۱۱	۰/۹۴	۰/۸۸-۰/۹۸	دیفیوژن پارابولیکی
۰/۱۷۶۸	۰/۰۵۶۱-۰/۴۱۸۵	۰/۷۹	۰/۷۳-۰/۸۷	مرتبه صفر

## 1- Surface Coatings

هم‌چنان که جدول ۴ نشان می‌دهد در تمامی خاک‌های مورد آزمایش، معادله مرتبه صفر به دلیل مقادیر  $R^2$  پایین و SE بالا قادر به توصیف آزاد شدن روی به وسیله DTPA در دوره زمانی مطالعه شده نبود. گرچه معادله مرتبه اول نیز به دلیل مقادیر به نسبت بالای  $R^2$  همراه با مقادیر تقریباً پایین SE قادر به توصیف به نسبت رضایت‌بخش داده‌های آزاد شدن روی از خاک‌ها بود (جدول ۴)، ولی هم‌چنان که در شکل ۲-الف نشان داده شده است، خط مستقیمی که بتواند سرتاسر مدت واکنش را پوشاند به دست نیامد. به عبارت بهتر، در زمان‌های کوتاه برازش این معادله بر داده‌ها چندان مناسب نیست. این امر ممکن است بیانگر این باشد که سرعت آزاد شدن روی از این خاک‌ها در زمان‌های کوتاه از مکانیسم متفاوتی پیروی می‌کند. جوپونی و یونگ (۱۹۸۷) نیز با به دست آوردن نتیجه مشابه این‌گونه استنباط کردند که یک مدل "تک‌مکانی + انحلال کند کانی‌های شامل روی" یا یک مدل "دومکانی" احتمالاً یک توصیف معتبر برای رهاسازی روی از خاک‌ها خواهد بود.



شکل ۲- ترسیم داده‌های آزاد شدن روی از برخی از خاک‌ها به وسیله DTPA براساس معادله‌های الف) مرتبه اول، ب) الویج ساده شده و ج) تابع توانی.

معادله الوویچ ساده شده به طور تقریباً رضایت بخشی سینتیک رهاسازی روی در خاک‌های انتخاب شده را توضیح داده است (جدول ۴ و شکل ۲-ب). نتایج مشابهی به وسیله رویا و تومار (۱۹۹۹) در بررسی سینتیک رهاسازی روی تحت تأثیر pH و فسفر و نیز رویا و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه رفتار وابسته به زمان روی از خاک‌ها گزارش شده است. معادله الوویچ برای واکنش‌های جذب و رهاسازی تحت کنترل دیفیوژن<sup>۱</sup> به کار می‌رود (پاولاتو و پلی‌زوپولوس، ۱۹۸۸؛ شریعتمداری و همکاران، ۲۰۰۶). هاولین و همکاران (۱۹۸۵) نیز انطباق معادله الوویچ به داده‌های سینتیکی را تأییدکننده کنترل فرآیند رهاسازی به وسیله دیفیوژن دانستند. با این حال، استفاده از معادله الوویچ برای توضیح یک مکانیسم واحد مورد انتقاد قرار گرفته است زیرا این معادله می‌تواند تعداد زیادی از فرآیندهای متفاوت از جمله دیفیوژن سطحی یا توده‌ای و فعال‌سازی و غیرفعال‌سازی سطوح کاتالیزورکننده را توضیح دهد (روپا و همکاران، ۲۰۰۰).

مقادیر بالای  $R^2$  و پایین SE (جدول ۴) نشان می‌دهد که معادله تابع توانی بهترین معادله سینتیکی توصیف آزاد شدن روی در خاک‌های مورد مطالعه است (شکل ۲-ج). یو و کلاروپ (۱۹۹۴) با به دست آوردن نتیجه مشابه بیان کردند که معادله تابع توانی (سرعت دوئابته) به واسطه دارا بودن دو ضریب تجربی کاملاً انعطاف‌پذیر بوده و بنابراین توصیف مطلوب سینتیک رهاسازی روی از خاک‌ها به وسیله این مدل، خیلی تعجب‌آور نیست. پاولاتو و پلی‌زوپولوس (۱۹۸۸) نیز برآزش عموماً مناسب معادله تابع توانی را ناشی از تبدیل لگاریتمی می‌دانند که حساسیت داده‌ها را به حداقل می‌رساند.

مقادیر پارامترهای سرعت برای معادله تابع توانی در جدول ۵ نشان داده شده است. هم‌چنان که جدول نشان می‌دهد مقادیر ثابت a دارای تغییرات زیادی با نوع خاک است در حالی که ثابت b با نوع خاک تغییری نکرده و برای تمامی خاک‌های مورد مطالعه تقریباً مشابه است. نتایج مشابهی به وسیله کو و مایکلسن (۱۹۸۰) و دنگ و همکاران (۱۹۹۴) در بررسی سینتیک آزاد شدن روی از خاک‌ها نیز گزارش شده است. افزایش در مقدار a و کاهش در مقدار b احتمالاً بیانگر افزایش سرعت آزاد شدن روی از خاک‌ها به وسیله DTPA است (دنگ و همکاران، ۱۹۹۴).

در معادله تابع توانی (سرعت دوئابته)، در صورتی که از معادله  $q_t = at^b$  نسبت به زمان مشتق گرفته شود و  $t=1$  باشد، خواهیم داشت که:  $dq/dt = ab$ ، در این حالت، پارامتر ab را می‌توان به عنوان سرعت

#### 1- Diffusion-Controlled-Desorption Reactions

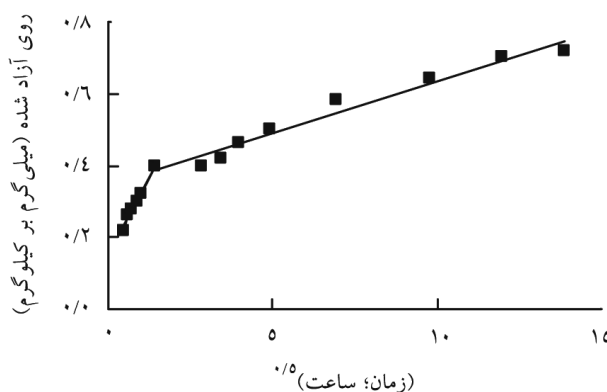
رهاسازی اولیه<sup>۱</sup> روی در نظر گرفت (دنگ و همکاران، ۱۹۹۴؛ ریحانی تبار و کریمیان، ۲۰۰۸). ضرایب *ab* و *a* تابع توانی همبستگی معنی‌داری را در سطح ۱ درصد (به‌ترتیب ۰/۹۸۸ و ۰/۹۹۵) با مقدار روی قابل استفاده خاک (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) نشان دادند. از سوی دیگر، مقدار رس تنها ویژگی خاک بود که همبستگی معنی‌داری ( $r=0/61^*$ ) با پارامتر *ab* معادله تابع توانی نشان داد. از آنجایی‌که این پارامتر به‌عنوان سرعت اولیه رهاسازی روی در نظر گرفته می‌شود، به‌نظر می‌رسد که سرعت ابتدایی آزاد شدن روی از خاک‌های مورد مطالعه به‌طور عمده به‌وسیله میزان رس خاک کنترل می‌شود. این نتیجه با نتایج پیشین مبنی بر متأثر بودن زمان تعادل خاک‌ها از بافت خاک مطابقت دارد.

جدول ۵- مقادیر ثابت‌های سرعت برای برخی از مدل‌های توصیف‌کننده رهاسازی روی در خاک‌های مورد مطالعه.

شماره خاک	دیفیوژن پارابولیکی		تابع توانی			
	$k_p''$	$k_p'$	<i>ab</i>	<i>b</i>		<i>a</i>
	(mg Zn kg <sup>-1</sup> h <sup>-1/2</sup> )		(mg Zn kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>			
۱	۰/۰۲۸۹	۰/۱۸۰۸	۰/۰۴۹۰	۰/۱۶	۰/۳۰۶	
۲	۰/۰۶۱۹	۰/۱۷۳۶	۰/۰۷۲۹	۰/۲۷	۰/۲۷	
۳	۰/۰۷۸۳	۰/۵۱۴۲	۰/۱۴۶۲	۰/۱۷	۰/۸۶	
۴	۰/۱۸۴۸	۰/۷۸۱۰	۰/۲۴۴۸	۰/۱۷	۱/۴۴	
۵	۰/۰۴۱۷	۰/۱۸۵۵	۰/۰۵۵۲	۰/۲۳	۰/۲۴	
۶	۰/۱۴۹۹	۰/۹۰۸۴	۰/۲۰۳۴	۰/۱۸	۱/۱۳	
۷	۰/۱۲۴۱	۰/۵۵۳۴	۰/۱۷۲۰	۰/۱۷	۱/۰۱۲	
۸	۰/۲۴۳۶	۰/۲۰۱۳	۰/۳۰۷۸	۰/۱۹	۱/۶۲	
۹	۰/۰۸۳۱	۰/۶۲۷۶	۰/۱۴۴۵	۰/۱۷	۰/۸۵	
۱۰	۰/۰۷۵۸	۰/۵۳۰۱	۰/۱۰۶۰	۰/۲۰	۰/۵۳	
۱۱	۰/۰۹۵۳	۰/۴۲۴۹	۰/۱۴۴۴	۰/۱۹	۰/۷۶	
۱۲	۰/۰۳۹۱	۰/۱۹۳۳	۰/۰۶۱۲	۰/۱۸	۰/۳۴	
۱۳	۰/۰۵۹۱	۰/۲۸۴۶	۰/۰۸۶۰	۰/۲۰	۰/۴۳	
۱۴	۰/۰۳۲۰	۰/۱۵۲۸	۰/۰۴۱۸	۰/۱۹	۰/۲۲	
۱۵	۰/۱۱۰۱	۰/۳۳۸۸	۰/۱۳۴۲	۰/۲۲	۰/۶۱	

#### 1- Initial Release Rate

ترسیم داده‌های آزاد شدن روی بر پایه شکل خطی معادله دیفیوژن پارابولیکی، یک شکستگی در شیب را در زمان ۲ ساعت نشان داد. بین زمان ۰-۲ ساعت، رهاسازی روی از خاک‌ها سریع بوده و سپس به وسیله یک واکنش کندتر ادامه می‌یابد. منحنی به‌دست آمده از این معادله می‌تواند به دو قسمت خطی تفکیک گردد (شکل ۳). شکستگی به‌دست آمده می‌تواند نشانگر وجود دو مکانیسم متفاوت با ثابت‌های سرعت مختلف ( $k_p$  و  $k_p''$  جدول ۴) باشد که کنترل‌کننده فرآیندهای سرعت رهاسازی می‌باشند. برای تمامی خاک‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری بین دو شیب خط به‌دست آمده وجود دارد به‌گونه‌ای که شیب قسمت اول (کم‌تر از ۲ ساعت) به مقدار قابل‌توجهی بیش‌تر از خط دوم می‌باشد.



شکل ۳- ترسیم داده‌های آزاد شدن روی به‌وسیله DTPA براساس معادله دیفیوژن پارابولیکی (خاک شماره ۱).

با توجه به این‌که مکانیسم دیفیوژن پوسته‌ای<sup>۱</sup> به‌وسیله تکان دادن مداوم در طی آزمایش به حداقل می‌رسد (اسپارکز و همکاران، ۱۹۸۰)، احتمالاً دو مکانیسم دیفیوژن ذره‌ای<sup>۲</sup> در این امر دخالت دارند (دنگ و همکاران، ۱۹۹۴؛ قاسمی‌فسایی و همکاران، ۲۰۰۶). دنگ و همکاران (۱۹۹۴) با توصیف آزاد شدن روی از ورته‌سول‌ها به‌وسیله DTPA با معادله دیفیوژن پارابولیکی دوگانه<sup>۳</sup>، رهاسازی اولیه روی (کم‌تر از ۲ ساعت) را به آزاد شدن روی از خاک‌دانه‌های درشت یا سطوح بیرونی خاک‌دانه‌های ریز و

- 1- Film Diffusion
- 2- Particle Diffusion
- 3- Parabolic Double Diffusion Equation

رهاسازی کند متعاقب آن (۱۹۲-۲ ساعت) را به آزاد شدن و دیفیوژن روی از درون خاک‌دانه‌های درشت و ریز و یا رهاسازی روی در اثر انحلال اکسیدهای آهن و آلومینیوم که در خاک‌دانه‌سازی نقش دارند نسبت دادند. این مطلب با مدل دیفیوژن روی ارایه شده به‌وسیله برومر و همکاران (۱۹۸۳) و برومر و همکاران (۱۹۸۸)، مدل جذب روی توسط بارو (۱۹۸۶) و یافته‌های خاطر و زاغلول (۲۰۰۲) مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در تمامی خاک‌های مورد مطالعه الگوی آزاد شدن روی از خاک‌ها به شکل یک واکنش سریع که تا حدود ۲ ساعت به طول انجامید، بود که به‌وسیله یک واکنش کندتر ادامه یافت. مقایسه ضرایب تبیین و خط‌های معیار تخمین (SE) معادله‌های مختلف نشان داد که آزاد شدن روی به‌وسیله DTPA می‌تواند به‌طور قابل‌قبولی به‌وسیله معادله‌های تابع توانی، الویچ ساده شده و مرتبه اول توصیف شود؛ با این وجود معادله مرتبه اول قادر به توصیف مطلوب رهاسازی روی در زمان‌های کوتاه نبود. گرچه مکانیسم کنترل‌کننده رهاسازی روی به‌وسیله DTPA کاملاً مشخص نیست اما شکستگی به‌دست آمده در برازش معادله دیفیوژن پارابولیکی می‌تواند نشانگر این مطلب باشد که دیفیوژن ساده تنها مکانیسم تنظیم‌کننده سرعت رهاسازی روی به‌وسیله این عامل کلات‌کننده نیست. به‌نظر می‌رسد که دو مکانیسم متفاوت با ثابت‌های سرعت مختلف کنترل‌کننده فرآیندهای سرعت رهاسازی روی باشند.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که هزینه اجرای این طرح را فراهم نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

### منابع

1. 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.
2. Brummer, G., Gerth, J., and Tiller K.G. 1988. Reaction kinetics of adsorption and desorption of nickel, zinc and cadmium by goethite. I. Adsorption and diffusion of metals. *J. Soil Sci.* 39: 37-52.

3. Brummer, G., Tiller, K.G., Herms, U., and Clayton, P.M. 1983. Adsorption desorption and/or precipitation dissolution processes of zinc in soils. *Geoderma*, 31: 337-354.
4. Chien, S.H., and Clayton, W.R. 1980. Application of Elovich equation to kinetics of phosphate release and sorption in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 265-268.
5. Cline, G.R., Powell, P.E., Szaniszlo, P.J., and Reid, C.P.P. 1982. Comparison of the abilities of hydroxamic, synthetic and other natural organic acids to chelate iron and other ions in nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1158-1164.
6. Dang, Y.P., Dalal, R.C., Edwards, D.G., and Tiller, K.G. 1994. Kinetics of zinc desorption from vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1392-1399.
7. Ghasemi-Fasaei, R., Maftoun, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Yasrebi, J., Assad, M.T., and Ippolito, J.A. 2006. Kinetics of copper desorption from highly calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 797-809.
8. Ghasemi-Fasaei, R., Tavajjoh, M., Olama, V., Molazem, B., Maftoun, M., Ronaghi, A., Karimian, N., and Adhami, E. 2007. Copper release characteristics in selected soils from southern and northern Iran. *Australian J. Soil. Res.* 45: 459-464.
9. Havlin, J.L., Westfall, D.G., and Olsen, S.R. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 371-376.
10. Jalali, M., and Zarabi, M. 2006. Kinetics of nonexchangeable potassium release and plant response in some calcareous soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169: 196-204.
11. Jopony, M., and Young, S.D. 1987. A constant potential titration method for studying the kinetics of copper desorption from soil and clay minerals. *J. Soil Sci.* 38: 219-228.
12. Khater, A.H., and Zaghoul, A.M. 2002. Copper and zinc desorption kinetics from soil: effect of pH. P 1-9, In: *Proceeding of the 17th world conference of soil science*. Bangkok, Thailand.
13. Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis*. Part 1. Second edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI, 1188p.
14. Kuo, S., and Mikkelsen, D.S. 1980. Kinetics of zinc desorption from soils. *Plant and Soil*, 56: 355-364.
15. Lehmann, R.G., and Harter, R.D. 1984. Assessment of copper-soil bond strength by desorption kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 769-772.
16. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
17. Loeppert, R.H., and Inskeep, W.P. 1996. Iron. P 639-664, In: D.L. Sparks et al. (eds.). *Methods of soil analysis*. Parte 3. Chemical methods. SSSA. ASA. Madison. Wisconsin. USA.
18. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of soil analysis*. Part 2. Second edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison, WI, 1159p.

19. Pavlatou, A., and Polyzopoulos, N.A. 1988. The role of diffusion in the kinetics of phosphate desorption. The relevance of the Elovich equation. *J. Soil. Sci.* 39: 425-436.
20. Reyhanitabar, A., and Karimian, N. 2008. Kinetics of copper desorption of selected calcareous soils from Iran. *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci.* 4: 3. 287-293. (In Persian)
21. Reyhanitabar, A., and Gilkes, R.J. 2010. Kinetics of DTPA extraction of zinc from calcareous soils. *Geoderma*, 154: 289-293.
22. Rupa, T.R., Tomar, K.P., Reddy, D.D., and Rao, A.S. 2000. Time dependent zinc desorption in soils. *Commum. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 15-16. 2547-2563.
23. Rupa, T.R., and Tomar, K.P. 1999a. Zinc desorption kinetics as influence by pH and phosphorus in soils. *Commum. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 13-14. 1951-1962.
24. Schwertmann, U. 1991. Solubility and dissolution of iron oxides. *Plant and Soil*, 130: 1-25.
25. Shahbazi, K. 1998. Kinetics of zinc release from paddy soils of north of Iran. M.Sc. Thesis. University of Tehran, 99p. (In Persian)
26. Shariatmadari, H., Shirvani, M., and Jafari, A. 2006. Phosphorus release kinetics and availability in calcareous soils of selected arid and semiarid toposequence. *Geoderma*, 132: 261-272.
27. Sparks, D.L. 1989. Kinetics of soil chemical processes. Academic Press. San Diego, California. USA, 210p.
28. Sparks, D.L. 2000. Kinetics and mechanisms of soil chemical reactions. P 123-168, In: M.E. Sumner (ed.). *Handbook of soil science*. CRC Press Inc. Boca Raton. Florida. USA.
29. Sparks, D.L., Zelazny, L.W., and Martens, D.C. 1980. Kinetics of potassium desorption in soil using miscible displacement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1205-1028.
30. Sparks, D.L., Fendorf, S.E., Toner, Ch.V., and Carski, T.H. 1996. Kinetic methods and measurements. In: D.L. Sparks et al. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. SSSA. ASA. Madison. Wiscansin. USA.
31. Yang, J.E., and Skogley, E.O. 1992. Diffusion kinetics of micronutrient accumulation by mixed-bed ion-exchange resin. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 408-414.
32. Yu, J., and Klarup, D. 1994. Extraction kinetics of copper, zinc, iron, and manganese from contaminated sediment using disodium ethylenediaminetetraacetate. *Water, Air and Soil Pollution*, 75: 205-225.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(2), 2011*  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Zinc Release Kinetics from different Soils of Golestan Province using Diethylene triamine pentaacetic acid (DTPA)**

**M. Gholami<sup>1</sup>, \*M. Baranimotlagh<sup>2</sup>, E. Dordipour<sup>2</sup> and M. Olamaee<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and  
Natural Resources, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of  
Agricultural Sciences and Natural Resource

Received: 2010/03/09; Accepted: 2011/02/08

### **Abstract**

Release of Zinc (Zn) is an important factor in determining Zn availability in calcareous soils. The kinetics of soil Zn release were investigated using 15 different soil samples collected from Golestan province by diethylene triamine pentaacetic acid (DTPA) solution. Different kinetic equations (Zero-and first order, parabolic diffusion, simplified Elovich and power function) were used to describe the rate of release of soil Zn. Comparisons of coefficient of determination ( $R^2$ ) and standard errors of estimate (SE) indicated that the power function, simplified Elovich and first order equations adequately described Zn release, whereas the zero-order equation did not. However, the first order kinetic equation inadequately described the release data at short reaction times. The Zinc release pattern based on the parabolic diffusion equation revealed that the rate of Zn release was higher in the first 2 hours followed by a slower release rate, which suggests that two different mechanisms are involved. The soil available Zn (released in rapid step) was included 40.5-83.3% of total Zn released in 192 hours.

**Keywords:** Kinetics, Zinc release, DTPA solution, Kinetic equations

---

\* Corresponding Author; Email: [mbarani@gau.ac.ir](mailto:mbarani@gau.ac.ir)

