

سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک‌های استان گلستان

اکرم فرشادی‌راد*، اسماعیل دردی‌پور و فرهاد خرمالی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۵)

چکیده

آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از جنبه قدرت تأمین پتاسیم برای گیاهان در خاک‌های مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات کمی بر روی آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و به ویژه اجزای انجام شده است. هدف از این تحقیق بررسی سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و بخش‌های رس و سیلت چهار سری خاک غالب استان گلستان به وسیله عصاره‌گیری متوالی با اسید اگزالیک ۰/۰۱ مولار در مدت ۱۸۴۴ ساعت بود. مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۱۸۴۴ ساعت از کل خاک، بخش رس و سیلت خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب ۲۴۲ تا ۴۵۰، ۳۸۰ تا ۵۵۰ و ۱۰۵ تا ۱۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در زمان‌های مختلف با استفاده از معادلات الوویچ ساده شده، پخشیدگی و تابع نمایی بخوبی توصیف شدند. در تمام خاک‌ها و بخش رس و سیلت خاک‌ها، سرعت رهاسازی پتاسیم در ابتدا زیاد بود و سپس تدریجاً کاهش یافت. مقدار پتاسیم آزاد شده با سرعت زیاد در مراحل اولیه درصد کمی از پتاسیم غیرتبادلی کل را تشکیل داد، ولی این شکل از پتاسیم، به رغم مقدار کم، نقش مهمی در پویایی پتاسیم و حاصل‌خیزی خاک بازی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم غیرتبادلی، معادلات سینتیکی، اجزای خاک

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد، استادیار و دانشیار خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farshadirad@gmail.com

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر ضروری و پر مصرف برای گیاهان است. چهار شکل مختلف پتاسیم به ترتیب آسانی دسترسی برای گیاهان عبارتند از: پتاسیم محلول، پتاسیم تبادل، پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختاری (۲ و ۱۹). تعادل موجود بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک، باعث تداوم تأمین پتاسیم برای گیاه می‌شود. پتاسیم غیرتبادلی که در بین لایه‌های کانی‌های فیلوسیلیکاتی نگهداری می‌شود می‌تواند منبع مهم پتاسیم قابل جذب برای گیاهان باشد. فراهمی پتاسیم غیرتبادلی خاک برای گیاه به عوامل مختلفی مانند نوع کانی، میزان پتاسیم در کانی و فراوانی کانی‌های پتاسیم‌دار و اندازه ذرات آنها، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک و سرعتی که این نوع پتاسیم می‌تواند به شکل‌های قابل جذب تبدیل شود بستگی دارد (۱۳). انتظار می‌رود که در بین کانی‌های میکایی (فلوگوپیت، مسکویت و بیوتیت) کانی‌های میکایی با هشت وجهی سه جایی نسبت به کانی‌های با هشت وجهی دو جایی سریع‌تر هوا دیده شده و پتاسیم بین لایه‌ای خود را آزاد کنند (۱). اسمکتیت‌ها به دلیل پیوند بین لایه‌ای ضعیف، به راحتی منبسط شده و پتاسیم غیرتبادلی خود را به راحتی آزاد می‌نمایند (۱۱).

برای آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای از فیلوسیلیکات‌های ۲:۱، کاهش غلظت پتاسیم در محلول اطراف به زیر حد آستانه لازم است (۳۰). حد آستانه در بیوتیت ۴۰ تا ۵۰ میکرومولار، در مسکویت ۲/۵ میکرومولار و در فلوگوپیت ۸۰ میکرومولار گزارش شده است (۱۲). اسیدهای آلی نقش مهمی در آزاد کردن عناصر غذایی از جمله پتاسیم در خاک بازی می‌کنند. غلظت اسیدهای آلی در ریزوسفر ناشی از ترشح ریزجانداران و گیاهان در محدوده ۵/۵ تا ۵ مول در مترمکعب می‌باشد. این اسیدها در فرآیند هوادیدگی کانی‌ها به دلیل تشکیل کمپلکس‌های اسید-فلز، تبادل لیگاندی و واکنش‌های پروتونه شدن نقش دارند. از میان اسیدهای آلی موجود، اسید سیتریک و اگزالیک از لحاظ کمی بیشترین مقدار را در محلول خاک تشکیل می‌دهند، که به احتمال قوی بر حرکت و وضعیت پتاسیم در خاک‌ها اثرگذار

می‌باشند (۱۸ و ۲۸). تعدادی از پژوهشگران آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را از فلدسپار به تراوش اسید به ویژه اسید سیتریک و اسید اگزالیک از ریشه‌ها نسبت داده اند (۲۸ و ۳۲). نخستین مطالعه در مورد نقش اجزای مختلف خاک در آزاد کردن پتاسیم غیرتبادلی به وسیله مان و همکاران (۲۱) انجام شد. این پژوهشگران دریافتند که ۳۰ تا ۷۴ درصد پتاسیم از بخش رس، ۲۴ تا ۵۶ درصد از بخش سیلت و ۳ تا ۲۶ درصد از بخش شن آزاد شد. مارتین و اسپارکس (۱۷) سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را در دو پروفیل خاک با استفاده از رزین هیدروژنی مطالعه کرده و دریافتند که ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در دامنه $10^{-3} \times 1/2$ تا $10^{-3} \times 2/9$ بر ساعت بود. هاولین و همکاران (۱۱) با استفاده از رزین کلسیمی آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را از بخش‌های مختلف رس و سیلت مطالعه کردند.

نتایج این پژوهشگران نشان داد که ۶۵ تا ۸۰ درصد کل پتاسیم در مدت ۷۰۰۰ ساعت آزاد شد. هم‌چنین از نتایج این مطالعه مشخص شد که ثابت‌های سرعت آزاد شدن پتاسیم به دست آمده از معادلات پارابولیک، تابع نمایی و الویچ همبستگی بالایی با مقدار میکای خاک، محصول نسبی گیاه یونجه و مقدار پتاسیم جذب شده به وسیله گیاه داشت. هاولین و همکاران (۱۱) آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را به وسیله دو روش کشت پی در پی و رزین کلسیمی مطالعه کردند. در این مطالعه مقدار پتاسیم آزاد شده در هر دو روش همبستگی بالایی با یکدیگر ($r = 0.91$) داشتند. در مطالعه سیمارد و همکاران (۲۶) با استفاده از اسید سیتریک رقیق، سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی به وسیله معادله ایلویچ ساده شده توصیف شد. هم‌چنین در این مطالعه بین مقدار و سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی به روش اسید سیتریک و پتاسیم غیرتبادلی، پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم و مقدار رس درشت خاک‌ها همبستگی معنی‌داری وجود داشت. کاکس و جورن (۹) دریافتند که سرعت آزاد شدن پتاسیم با کاهش اندازه ذرات افزایش یافت که نشان می‌دهد در خاک، ابتدا آزاد شدن سریع پتاسیم از رس

گل اشباع (۲۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم با $\text{pH} = 8.7$ (۷)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر با اسید کرومیک و تیتراژ کردن با فرو آمونیوم سولفات به روش نلسون (۲۲) اشباع و کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید (۲۳) اندازه گیری شد. مرحله جداسازی ذرات خاک به روش کیتریک و هوپ (۱۵) انجام گرفت. بر این اساس نمونه های خاک بعد از حذف کربنات، اکسایش مواد آلی و جداسازی اکسید آهن در یک استوانه یک لیتری جهت جداسازی بخش رس (کمتر از ۲ میکرومتر) و سیلت به روش ترسیب منتقل شدند. ذرات شن توسط الک از ذرات سیلت جدا شدند. در نهایت شکل های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل) در خاک و ذرات جدا شده رس و سیلت اندازه گیری شدند. پتاسیم محلول خاک توسط آب مقطر با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب، پتاسیم تبادلی توسط عصاره گیری با استات آمونیوم ($\text{pH} = 7$ و یک نرمال) طی چهار مرحله تکان دادن و سانتریفوژ، پتاسیم غیرتبادلی به روش اسید نیتریک جوشان (یک نرمال) تعیین گردید و پتاسیم کل به وسیله هضم با اسید HF تعیین شد (۱۶). سرانجام مقدار پتاسیم در عصاره های به دست آمده با استفاده از دستگاه فلیم فوتمتر اندازه گیری شد.

برای بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از عصاره گیر اسید اگزالیک با غلظت ۰/۰۱ مولار استفاده شد (۳)، ۴، ۱۴ و ۲۷). برای خروج پتاسیم تبادلی و محلول قبل از شروع آزمایش ها، خاک ها به وسیله کلرید کلسیم یک مولار با یون Ca^{2+} اشباع و هوا خشک شدند. یک گرم از خاک های اشباع شده با کلسیم را در چهار تکرار درون لوله سانتریفوژ ریخته و به هر یک ۱۰ میلی لیتر از عصاره گیرها افزوده شد و پس از ۳۰ دقیقه تکان دادن، نمونه ها به انکوباتور با دمای ثابت ۲۷ درجه سلسیوس منتقل شدند. پس از گذشت دو ساعت از افزودن عصاره گیرها، نمونه ها از انکوباتور خارج شده و در ۳۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شده و عصاره رویی برای اندازه گیری میزان پتاسیم رها شده جمع آوری گردید. سپس بلافاصله ۱۰ میلی لیتر دیگر از عصاره گیرها افزوده و مجدداً به

ریز و درشت و آزاد شدن کندتر از بخش سیلت وجود دارد. هم چنین نتایج تجزیه های XRD نشان داد که در مدت ۹۶ ساعت عصاره گیری فاصله صفحات کانی از ۱/۰۱ نانومتر به ۱/۳۳ نانومتر افزایش یافت. تو و همکاران (۳۱) مشاهده کردند که بین چهار کانی بیوتیت، مسکویت، فلوگوپیت و میکروکلین بیشترین مقدار پتاسیم آزاد شده تحت تأثیر اسید اگزالیک از دو کانی بیوتیت و فلوگوپیت بوده است. فیجن بام و همکاران (۱۰) سرعت آزاد شدن پتاسیم از بیوتیت، مسکویت و فلوگوپیت را مطالعه کردند. در این مطالعه سرعت آزاد شدن پتاسیم از مسکویت به ترتیب ۵ و ۱۵ درصد مقدار آن در بیوتیت و فلوگوپیت بود. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که مسکویت از دو کانی دیگر پایدارتر بوده و این کانی در آزاد شدن پتاسیم نقش زیادی ندارد. سانگ و هوانگ (۲۸) در مطالعه خود دریافتند که ثابت سرعت آزاد شدن پتاسیم از کانی های حاوی پتاسیم به روش اسید اگزالیک به ترتیب زیر می باشد: مسکویت > ارتوکلاز = میکروکلین > بیوتیت. با توجه به اینکه در مورد سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی به خصوص در مورد اجزای خاک مطالعات اندکی انجام شده است و اطلاع از مقدار پتاسیم غیرتبادلی و سرعت آزاد شدن آن در خاک می تواند در مدیریت حاصل خیزی این خاک ها در رابطه با پتاسیم مفید باشد، تحقیق حاضر با هدف بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و توصیف سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با معادلات سینتیکی مختلف در چهار نمونه از خاک های غالب استان گلستان انجام گردید.

مواد و روش ها

چهار نمونه خاک سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی متری) از ۱۲ نمونه اولیه از خاک های استان گلستان براساس نوع کانی های تشکیل دهنده خاک و مقدار اشکال مختلف پتاسیم در خاک و اجزا انتخاب گردید. نمونه ها پس از خشک شدن در هوا و عبور از الک ۲ میلی متری برای انجام آزمایش ها آماده شدند. بافت خاک به روش بایکاس (۸)، pH و هدایت الکتریکی به روش

زمان t و تعداد عصاره‌گیری‌ها $n=12$ می‌باشد. جهت انجام مراحل کانی‌شناسی، مرحله خالص‌سازی بخش رس خاک‌ها به روش کیتریک و هوپ (۱۵) انجام گرفت. سپس بر روی هر یک از نمونه‌های رس به دست آمده چهار تیمار شامل منیزیم، منیزیم و گلیسرول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در دمای 55° درجه سانتی‌گراد اعمال گردیده و با دستگاه اشعه ایکس Brucker مدل D8-ADVANCE اسکن گردیدند.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. دامنه تغییرات مقدار رس، سیلت، کربنات کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی معادل به ترتیب ۱۶ تا ۴۸ درصد، ۴۰ تا ۶۰ درصد، ۵ تا ۲۵ درصد و $15/6$ تا $29/8$ سانتی مول بر کیلوگرم خاک است. دامنه تغییرات پتاسیم تبدالی در خاک، رس و سیلت به ترتیب 103 تا 476 ، 181 تا 539 و 35 تا 160 میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات پتاسیم غیرتبدالی خاک، رس و سیلت به ترتیب 632 تا 1200 ، 668 تا 1587 و 219 تا 599 میلی‌گرم بر کیلوگرم است (جدول ۲). همان‌طوری که ملاحظه می‌شود پتاسیم غیرتبدالی بخش رس این خاک‌ها از پتاسیم غیرتبدالی بخش سیلت بیشتر است. اهمیت نسبی پتاسیم اجزای خاک در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه به عوامل متعددی از جمله سرعت آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های آنها بستگی دارد. نتایج نشان داد که پتاسیم غیرتبدالی در بخش رس و سیلت در خاک شماره ۳ (اوقچی) بیشتر است که دلیل آن را می‌توان به هوادیدگی کمتر این خاک و نوع کانی‌های موجود در این خاک نسبت داد.

نتایج آزمایشات کانی‌شناسی بخش رس خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. براساس این جدول کانی‌های مشاهده شده شامل ایلیت، اسمکتیت، کلریت، کائولینیت، ورمی کولیت و کانی‌های مختلط بودند. کانی‌های ایلیت، کلریت و کائولینیت دارای منشأ ارثی می‌باشند. خاک‌های

مدت ۳۰ دقیقه تکان داده و سپس به انکوباتور انتقال داده شدند. به طور کلی در فواصل زمانی ۲، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۲۰، ۱۶۸، ۳۱۲، ۳۸۴، ۴۵۶ ساعت عصاره‌گیری به ترتیبی که ذکر شد، انجام گرفت و غلظت پتاسیم در آنها با استفاده از فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد. پنج مدل سینتیکی مرتبه اول، مرتبه صفر، الوویچ ساده شده، انتشار هذلولی و تابع نمایی برای برازش داده‌ها، مورد استفاده قرار گرفتند. شکل کلی این معادلات به صورت زیر می‌باشد:

$$\ln (K_0 - K_t) = a - bt \quad \text{مرتبه اول} \quad [1]$$

$$(K_0 - K_t) = a - bt \quad \text{مرتبه صفر} \quad [2]$$

$$K_t = a + b \ln t \quad \text{الویچ ساده شده} \quad [3]$$

$$K_t/K_0 = a + b t^{1/2} \quad \text{انتشار هذلولی} \quad [4]$$

$$\ln K_t = a + b \ln t \quad \text{تابع توانی} \quad [5]$$

که در آن Kt مقدار پتاسیم غیرتبدالی و یا تبدالی آزاد شده در زمان t و K_0 پتاسیم غیرتبدالی و یا تبدالی که در حال تعادل در زمان انتهایی آزمایش (حداکثر پتاسیم آزاد شده) هستند. a و b ضرایب ثابت هستند و t زمان (ساعت) است. با رسم منحنی‌های زمان در مقابل مقادیر سمت چپ معادلات ۱ تا ۵ و a و b به ترتیب عرض از مبدا و شیب خط می‌باشند. معادلاتی که سرعت رهاسازی پتاسیم تبدالی را بهتر توضیح می‌دهند براساس ضرایب تبیین (R^2) و اشتباه استاندارد برآورد (SE)، انتخاب شدند. اشتباه استاندارد برآورد (SE) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SE = \left[\frac{\varepsilon (kt - k^*)^2}{n-2} \right]^{1/2} \quad [6]$$

در این معادله Kt ، K^* و n به ترتیب نشان‌دهنده مقدار پتاسیم غیرتبدالی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به وسیله مدل در

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	نام سری	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربنات کلسیم (%)	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ₍₊₎ /kg)	ماده آلی (%)	پ- هاش
۱	قره سو	۴۸	۴۰	۱۲	۲۵	۳/۳۰	۲۷/۲۳	۲/۶۹	۷/۵۵
۲	مینودشت	۳۹	۵۶	۵	۱۰	۰/۵۴	۲۹/۷۶	۳/۳۱	۷/۳۵
۳	اوقچی	۱۶	۶۰	۲۴	۵	۰/۱۴	۱۵/۵۶	۱/۶۵	۷/۴۳
۴	رامیان	۳۰	۴۱	۲۹	۱۵	۰/۹۶	۲۵/۷۱	۲/۸۴	۷/۵۶

جدول ۲. شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	پتاسیم محلول (mgkg ⁻¹)			پتاسیم تبادلی (mgkg ⁻¹)			پتاسیم غیرتبادلی (mgkg ⁻¹)			پتاسیم کل (%)
	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک	
۱	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۷/۹	۴۸۱/۳	۱۰۰/۵۴	۲۵۶/۳	۸۴۹/۵	۵۹۹/۷	۷۸۲/۳	۱/۷۸
۲	۸/۷	۹/۸	۱۵/۵	۵۳۹/۷	۶۹/۸	۱۵۰/۸	۸۶۰/۶	۲۱۹/۵	۷۴۷/۶	۱/۸۰
۳	۱۵/۲	۱۸/۳	۳۲/۹	۴۴۸/۲	۱۶۰/۱۹	۴۷۶/۶	۱۵۸۷/۹	۹۱۴/۲	۱۲۰۰/۵	۱/۴۵
۴	۶/۹	۷/۱	۱۵/۶	۱۸۱/۲	۳۵/۹	۱۰۳/۵	۶۶۸/۱	۲۳۳/۴	۶۳۲/۲	۱/۳۰

جدول ۳. نتایج آزمایش‌های کانی‌شناسی جزء رس

شماره خاک	نام سری	کانی‌شناسی رس
۱	قره سو	اسمکتیت‌ها < ایلیت < کلریت‌ها < کائولینیت
۲	مینو دشت	ایلیت < اسمکتیت‌ها < کلریت‌ها < ورمی کولیت < کائولینیت
۳	اوقچی	ایلیت < کلریت‌ها < کائولینیت
۴	رامیان	ایلیت < اسمکتیت‌ها < ورمیکولیت < کائولینیت < کلریت‌ها

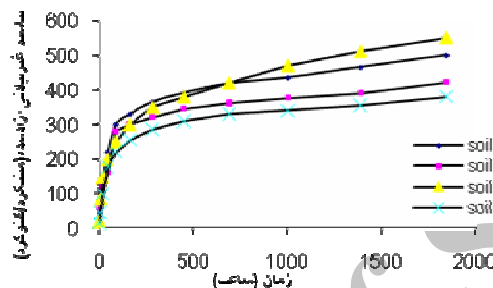
متوالی با اسید اگزالیک را به عنوان تابعی از زمان عصاره‌گیری از بخش رس خاک‌ها نشان می‌دهد. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از بخش رس این خاک‌ها در مراحل اولیه زیاد و سپس کند شده و با سرعت‌های متفاوتی در بخش رس خاک‌ها تا ۱۸۰۰ ساعت ادامه یافت. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود در مرحله اول، رهاسازی بیشتری نسبت به مرحله دوم اتفاق افتاده است. رهاسازی سریع اولیه را می‌توان به آزاد شدن پتاسیم از مناطق لبه‌ای و گوه‌ای شکل کانی‌های پتاسیم دار نسبت داد. با پیشروی رهاسازی، لبه‌های کانی از هم جدا شده و

مورد مطالعه دارای مواد مادری لسی هستند و طبق نتایج مطالعات انجام شده در استان گلستان، در این خاک‌ها میزان دو کانی ایلیت و کلریت نسبت به کانی‌های دیگر برتری دارد (۵). کانی‌های موجود در بخش سیلت خاک‌ها عبارت از کوارتز، فلدسپارها، کلریت‌ها و میکاها هستند (جدول ۴).

سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با اسید اگزالیک از خاک و اجزای آن
شکل ۱ مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به روش عصاره‌گیری

جدول ۴. نتایج آزمایش‌های کانی‌شناسی جزء سیلت

شماره خاک	نام سری	کانی‌شناسی رس
۱	قره سو	کوارتز < فلدسپار (آلیت) < میکا < کلریت
۲	مینو دشت	کوارتز < فلدسپار (پلاژیوکلاز، میکروکلین) < میکا < کلریت
۳	اوقچی	کوارتز < فلدسپار (پلاژیوکلاز، میکروکلین) < میکا
۴	رامیان	کوارتز < فلدسپار (پلاژیوکلاز) < میکا



شکل ۱. منحنی رهاسازی تجمعی پتاسیم با عصاره‌گیری متوالی با اسید اگزالیک از بخش رس خاک‌های مورد مطالعه (۱. سری قره سو، ۲. سری مینودشت، ۳. اوقچی و ۴. سری رامیان)

جدول ۵. پتاسیم غیرتبادلی رها شده توسط اسید اگزالیک پس از ۱۸۰۰ ساعت در دو مرحله

خاک	رس	سیلت	خاک
لبه ای	بین لایه‌ای	بین لایه‌ای	لبه ای
میلی‌گرم بر کیلوگرم			
۱	۳۶۵	۱۳۵	۱۹۷
۲	۳۵۰	۲۰۰	۲۲۲
۳	۳۲۱	۹۹	۱۳۲
۴	۲۸۵	۹۵	۱۵۶

مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به وسیله اسید اگزالیک در بخش رس خاک‌ها ۳۰ تا ۵۸ درصد پتاسیم غیرتبادلی را تشکیل می‌دهد. مقایسه مقادیر پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در بخش رس خاک‌ها نشان‌دهنده تفاوت در مقدار پتاسیم غیرتبادلی موجود در این بخش و نوع و مقدار کانی‌های رسی موجود در آن است. شکل ۲- الف مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به وسیله عصاره‌گیری متوالی با اسید اگزالیک را به عنوان تابعی از زمان

پتاسیم‌های بین لایه‌ای موجود در ساختمان کانی رها شدند، به علت افزایش فاصله پتاسیم‌های درونی از لبه‌ها و قدرت جذب پتاسیم، رهاسازی با سرعت و پخشیدگی کمتری صورت می‌گیرد (۶).

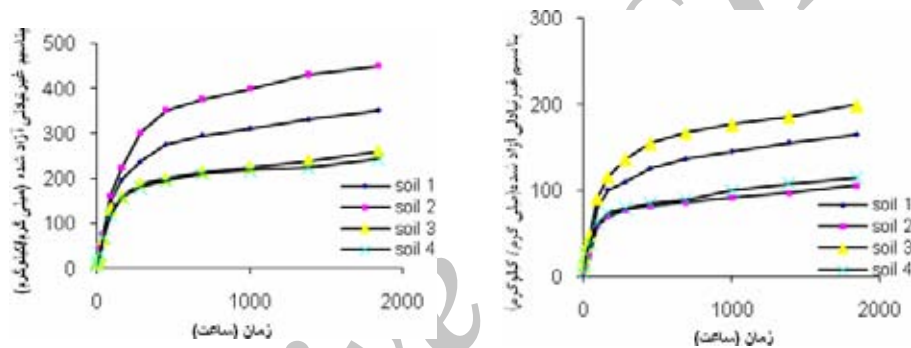
بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی از بخش رس خاک شماره ۳ (اوقچی) و کمترین مقدار آن از بخش رس خاک شماره ۴ (رامیان) آزاد شده است (شکل ۱). جدول ۶ نشان می‌دهد که

جدول ۶. پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده توسط اسید اگزالیک پس از ۱۸۰۰ ساعت

شماره خاک	بخش رس		بخش سیلت		خاک
	*/mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	
۱	۵۰۰/۰۰ ^b	۵۸/۸	۱۶۵/۳۴ ^b	۲۷/۵	۳۵۰/۹۷ ^b
۲	۴۲۰/۸ ^c	۴۸/۸	۱۰۵/۹۸ ^d	۴۸/۲	۴۵۰/۰۰ ^a
۳	۵۵۰/۴ ^a	۳۴/۶	۱۹۹/۰۸ ^a	۲۰/۶	۲۶۰/۰۰ ^c
۴	۳۸۰/۵ ^d	۵۶/۹	۱۱۵/۱۸ ^c	۴۹/۳	۲۴۲/۷۶ ^d
	۴۶۳/۹۳ ^A		۱۴۶/۳۹ ^C		۳۲۵/۹۳ ^B

*: درصد پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده = (مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به روش اسید اگزالیک پس از ۲۵۰۰ ساعت

/ مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به روش اسید نیتریک جوشان) × ۱۰۰



شکل ۲. منحنی رهاسازی تجمعی پتاسیم با عصاره‌گیری متوالی با اسید اگزالیک در الف) جزء سیلت و ب) خاک‌های مورد مطالعه (۱. سری قره سو، ۲. سری مینودشت، ۳. اوقچی و ۴. سری رامیان)

درصد بالای رس، سیلت و احتمالاً حضور کانی غالب میکای هشت وجهی سه جایی در آن نسبت داد (۱). تو و همکاران (۳۱) مشاهده کردند که بین چهار کانی بیوتیت، مسکویت، فلوگوپیت و میکروکلین بیشترین مقدار پتاسیم آزاد شده تحت تأثیر اسید اگزالیک از دو کانی بیوتیت و فلوگوپیت بوده است. کمترین میزان آزادسازی مربوط به خاک سری رامیان می‌باشد (شکل ۲-ب). با توجه به نتایج کانی‌شناسی در این سری کانی مخلوط میکا-اسمکتیت وجود دارد، هم‌چنین به دلیل کم بودن درصد رس و سیلت در این خاک و مقدار کم پتاسیم آزاد شده از بخش رس و سیلت این خاک، پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده کمترین مقدار می‌باشد. اختلاف در میزان رهاسازی در خاک‌ها

عصاره‌گیری از بخش سیلت خاک نشان می‌دهد. همان‌طورکه در مورد بخش رس خاک‌ها گفته شد در بخش سیلت خاک‌ها نیز سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در مراحل اولیه زیاد و سپس کند شده و با سرعت‌های متفاوتی تا ۱۸۰۰ ساعت ادامه یافته است. بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی از بخش سیلت خاک اوقچی و کمترین مقدار آن از بخش سیلت خاک سری مینودشت آزاد شده است. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهند که مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به وسیله اسید اگزالیک در بخش سیلت خاک‌ها ۲۰-۴۹ درصد کل پتاسیم غیرتبادلی را در بخش سیلت خاک‌های مطالعه شده تشکیل می‌دهد. رهاسازی بیشتر در خاک سری مینودشت را می‌توان به

آزاد شدن نشان‌دهنده تفاوت نوع و مقدار کانی‌های رسی در این خاک‌ها می‌باشد. هم‌چنین تفاوت در ضریب سرعت آزاد شدن ممکن است علاوه بر تفاوت کانی‌های رسی به دلیل اختلاف اندازه ذرات رس (رس ریز، متوسط و درشت) و تفاوت ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در این اجزاء باشد. در کانی‌های کائولینیت و اسمکتیت سرعت تبادل یون سریع است. در رس‌های کائولینیت، لایه‌های رس به‌وسیله پیوندهای محکم هیدروژنی به یکدیگر متصل شده‌اند، بنابراین فقط سطوح خارجی برای تبادل در دسترس می‌باشند. در رس‌های اسمکتیت به‌علت پیوندهای ضعیف بین لایه‌ای و آبپوشی یون‌های جذب شده در بین لایه‌ها، کانی قادر به انبساط بوده و عبور سریع یون‌ها از داخل لایه‌ها امکان‌پذیر می‌باشد. سرعت تبادل یون در کانی‌های ورمیکولیت و میکاها بسیار کند است چون این کانی‌ها قابلیت انبساط کمی داشته و یا فاقد قابلیت انبساط می‌باشند و مانع واکنش‌های سریع تبادل یونی می‌شوند (۲۹).

در بخش سیلت خاک‌های مورد مطالعه، با توجه به نتایج جدول ۷، ضریب تبیین به ترتیب در معادلات الویچ، نمایی و پخشیدگی بیشترین مقدار بود. اشتباه استاندارد برآورد (SE) به ترتیب در معادلات ایلویچ، نمایی و پخشیدگی کمترین مقدار و در معادلات مرتبه صفر و درجه اول بیشترین مقدار بود. بنابراین در بخش سیلت خاک‌های مورد مطالعه، معادله ایلویچ بهتر از معادلات دیگر داده‌ها را توصیف کرد و پس از آن معادلات نمایی و پخشیدگی بهترین بودند. در معادله ایلویچ بیشترین ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی (b) در بخش سیلت خاک شماره ۳ (اوقچی) و کمترین آن در بخش سیلت خاک شماره ۴ (رامیان) وجود دارد. معادله ایلویچ در خاک‌های مورد مطالعه نیز بهترین معادله بود. ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی (b) از خاک‌ها به ترتیب در معادلات ایلویچ و تابع توانی بیشترین مقدار بود. رحمت اله و منگل (۲۴) در مطالعه‌ای که درباره رهاسازی پتاسیم بین لایه‌ای خاک‌های پاکستان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که سرعت رهاسازی پتاسیم از این

را می‌توان به نوع، میزان و اندازه ذرات کانی‌های حاوی پتاسیم موجود در بخش رس، سیلت و شن و هم‌چنین درصد ماده آلی خاک‌ها نسبت داد. نتایج مقایسات میانگین مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده از خاک و اجزای آن (جدول ۶) نشان داد مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده از بخش رس خاک‌ها بیشترین مقدار بود و پس از رس، خاک و بخش سیلت قرار گرفتند. این نتایج با نتایج حسین‌پور و همکاران (۳) همخوانی دارد. سیمارد و همکاران (۲۶) نشان دادند در بین گروه‌های مختلف اندازه ذرات خاک، سیلت ریز بیشترین آزادسازی را برای پتاسیم و ساین سیلت متوسط بیشترین آزادسازی را برای منیزیم داشتند. منگل و همکاران (۲۰) دریافتند که مقدار پتاسیم آزادشده از بخش شن + سیلت نصف مقدار پتاسیم آزادشده از کل خاک بود، در حالی که وزن خشک محصول چمن (*Lolium prene*) در بخش شن + سیلت با وزن خشک چمن در کل خاک تفاوتی نداشت. این امر نشان می‌دهد که مقدار پتاسیم در بخش شن و سیلت به آسانی توسط گیاه جذب می‌شود. نتایج آنها نشان داد که بخش سیلت خاک‌های با منشأ لس به دلیل مقدار زیاد میکاها در فراهم کردن پتاسیم مورد نیاز گیاه نقش زیادی دارند. ضرابی (۴) توانایی اسید اگزالیک در رهاسازی پتاسیم را به یون‌های هیدرژن و کمپلکس لیگاندهای آلی تولید شده حاصل از تجزیه آن در محلول خاک نسبت داد. در مورد سازوکار عمل اسید اگزالیک دو احتمال تبادل و یا تخریب کانی وجود دارد.

معادلات سینتیکی در توصیف آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی

ضرایب تبیین (R^2) و اشتباه استاندارد برآورد (SE) معادلات سینتیکی در تشریح آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در (جدول ۷) آورده شده است. با توجه به نتایج، معادله ایلویچ ساده شده در بخش رس خاک‌های مطالعه شده به طور رضایت بخشی روند رهاسازی را توجیه کرد. در معادله ایلویچ، بیشترین ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی (b) در بخش رس خاک شماره ۳ (اوقچی) و کمترین مقدار آن در بخش رس خاک شماره ۴ (سری رامیان) وجود دارد. این اختلاف ضریب سرعت

جدول ۷. ضرایب تبیین، اشتباه استاندارد برآورد و ضرایب معادلات سیتیکی مورد استفاده

شماره خاک	فاز جامد	معادله مرتبه اول					معادله مرتبه صفر					معادله توانی				
		a	b	SE	R ²	a	b	SE	R ²	a	b	SE	R ²			
۱	رس	۵/۳۳	-۰/۰۰۱۷	۳۷۶/۴۱	۰/۸۸	۳۰۰/۵۹	-۰/۲۰۶۷	۳۶۲/۹۴	۰/۶۱	۳/۱۶	۰/۴۵	۳۷۰/۹۰	۰/۸۷			
		۴/۸۱	-۰/۰۰۱۹	۱۱۷/۰۳	۰/۹۴	۱۱۳/۸۹	-۰/۰۷۹	۱۹۵/۲	۰/۶۸	۱/۵۶	۰/۵۲	۴/۱۳	۰/۹۴			
		۵/۵۹	-۰/۰۰۰۲	۲۴۰/۷۰	۰/۹۴	۲۴۶/۳۷	-۰/۱۷۸	۳۰۶/۲۷	۰/۶۶	۲/۰۰۶	۰/۵۶	۶۹/۱۳	۰/۹۴			
		۵/۴۷	-۰/۰۰۰۲	۳۷۸/۱۴	۰/۹۰	۲۴۲/۸۲	-۰/۱۶۹۶	۵۰۱/۹۸	۰/۵۷	۳/۱۳	۰/۴۴	۱۷۹/۷۰	۰/۸۵			
۲	رس	۴/۲۶	-۰/۰۰۱۷	۷۲/۷۰	۰/۸۵	۶۹/۴۵	-۰/۰۴۸	۸۴/۴	۰/۶۴	۱/۴۷	۰/۴۶	۸/۷۶	۰/۹۳			
		۵/۹۱	-۰/۰۰۰۲۲	۲۰۳/۰۸	۰/۹۷	۳۲۹/۹۲	-۰/۲۳۳	۴۰۵/۰۹	۰/۷۲	۱/۸۶	۰/۶۲	۹۸/۷۲	۰/۹۵			
		۵/۹۸	-۰/۰۰۰۱۷	۳۲۵/۳۶	۰/۸۳	۳۶۳/۴	-۰/۲۴۱۳	۳۰۱/۷۰	۰/۷۶	۳/۴۳	۰/۴۱	۱۰۵/۱۶	۰/۹۰			
		۴/۹۶	-۰/۰۰۰۱۹	۱۳۶/۰۷	۰/۹۴	۱۳۳/۵۳	-۰/۰۹۳	۱۶۱/۹۵	۰/۷	۲/۳۳	۰/۴۳	۱۵/۰۶	۰/۹۷			
۳	سیلت	۵/۳۹	-۰/۰۰۰۲۶	۱۶۶/۲۲	۰/۹۲	۱۷۵/۷۶	-۰/۱۲۱	۲۱۳/۳۱	۰/۶۵	۲/۱۰۹	۰/۵۰	۵۰/۲۲	۰/۹۳			
		۵/۴۲	-۰/۰۰۰۱۸	۲۹۲/۵۲	۰/۸۷	۲۳۳/۱	-۰/۱۵۶۵	۲۷۶/۷۶	۰/۶	۳/۱۵	۰/۴۱	۶۹/۰۲	۰/۸۹			
		۴/۳۶	-۰/۰۰۰۱۸	۷۹/۲۵	۰/۹۳	۷۳/۳۹	-۰/۰۰۵	۲۲/۰۴	۰/۶۸	۱/۸۷	۰/۴۱	۵/۶۳	۰/۹۳			
		۵/۱۷	-۰/۰۰۰۲۸	۱۵۷/۰۲۸	۰/۹۶	۱۶۰/۱۲	-۰/۰۱۱۲	۱۹۹/۱۰	۰/۶۳	۱/۹۱۸	۰/۵۴	۶۵/۰۳	۰/۹۳			
۴	سیلت	۴/۳۶	-۰/۰۰۰۱۸	۷۹/۲۵	۰/۹۳	۷۳/۳۹	-۰/۰۰۵	۲۲/۰۴	۰/۶۸	۱/۸۷	۰/۴۱	۵/۶۳	۰/۹۳			
		۵/۴۲	-۰/۰۰۰۱۸	۲۹۲/۵۲	۰/۸۷	۲۳۳/۱	-۰/۱۵۶۵	۲۷۶/۷۶	۰/۶	۳/۱۵	۰/۴۱	۶۹/۰۲	۰/۸۹			
		۵/۳۹	-۰/۰۰۰۲۶	۱۶۶/۲۲	۰/۹۲	۱۷۵/۷۶	-۰/۱۲۱	۲۱۳/۳۱	۰/۶۵	۲/۱۰۹	۰/۵۰	۵۰/۲۲	۰/۹۳			
		۵/۴۲	-۰/۰۰۰۱۸	۷۹/۲۵	۰/۹۳	۷۳/۳۹	-۰/۰۰۵	۲۲/۰۴	۰/۶۸	۱/۸۷	۰/۴۱	۵/۶۳	۰/۹۳			

ادامه جدول ۷. ضرایب تبیین، اشتباه استاندارد برآورد و ضرایب معادلات سبیتیکی مورد استفاده

معادله پخشیدگی			معادله الوریج			شماره خاک	مصارف گیر	
R ²	SE	b	a	R ²	SE	b	a	
۰/۸۲	۷۲/۸۶	۰/۰۲۰۸	۰/۳۳	۰/۹۸	۷۷/۱۵	۷۴/۲۷	-۶۱/۷۱	۱
۰/۸۸	۲۱/۲۷	۰/۰۲۳۸	۰/۱۲۷	۰/۹۵	۳۲/۰۹	۱۶/۵۲	-۳۹/۵۴	سیلت
۰/۸۹	۴۵/۰۳	۰/۰۲۴۸	۰/۰۹۷	۰/۹۴	۳۲/۵۵	۵۸/۰۰۵	-۹۶/۴۱	خاک
۰/۷۸	۱۱۱/۲۳	۰/۰۲۰۶	۰/۲۵۶۷	۰/۹۷	۴۳/۷۸	۶۲/۸۸	-۴۴/۷۸	رس
۰/۸۴	۱۵/۴۶	۰/۱۶۶۲	۰/۱۶۶	۰/۹۵	۱۸/۳۱	۱۶/۵۷	-۲۱/۱۳	سیلت
۰/۹۱	۴۲/۰۶	۰/۰۳۵	۰/۰۷۲	۰/۹۴	۴۴/۳۹	۷۵/۲۴	-۱۳۴/۰۶	خاک
۰/۹۲	۶۶/۷۴	۰/۰۲۱۱	۰/۱۸۱۷	۰/۹۸	۱۸/۸۰	۷۴/۸۰	-۶۵/۷۷	رس
۰/۹	۲۲/۹۳	۰/۱۵۱۷	۰/۱۵۱	۰/۹۶	۷۸/۱۰	۳۰/۶۹	-۳۹/۲۵	سیلت
۰/۸۵	۳۶/۷۷	۰/۰۲۳	۰/۱۴	۰/۹۵	۲۱/۸۵	۴۱/۴۴	-۵۹/۲۲	خاک
۰/۸۱	۵۵/۷۵	۰/۰۲۰۹	۰/۲۴۵۴	۰/۹۷	۲۰/۸۵	۵۶/۴۱	-۴۴/۱۸	رس
۰/۸۷	۱۳/۹۰	۰/۱۹۶۹	۰/۱۹۶	۰/۹۸	۵/۶۳	۱۶/۹۷	-۱۶/۸۸	سیلت
۰/۸۵	۷۸/۷۹	۰/۰۲۳	۰/۱۵۴	۰/۹۶	۱۸/۴۸	۳۹/۳۷	-۵۴/۸۵	خاک

واحد a (mgkg⁻¹) و واحد b برای معادلات به جز پخشیدگی (h⁻¹) می باشد

میکایی تفاوت در میزان جهت‌یابی هیدروکسیل ساختمانی، مکان بار لایه‌ای، درجه تخلیه پتاسیم، درجه چرخش چهار وجهی، درجه کج شدگی چهار وجهی، تفاوت در ترکیب شیمیایی و نقایص ساختمانی می‌باشد (۲۸).

نتایج این مطالعه نشان داد که پس از ۱۸۰۰ ساعت عصاره‌گیری خاک و بخش‌های رس و سیلت هنوز بخش قابل توجهی از پتاسیم غیرتبادلی آزاد نشده است. این ذخیره پتاسیم غیرتبادلی می‌تواند آزاد و در اختیار گیاه قرار بگیرد. هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار پتاسیم غیرتبادلی و ضرایب سرعت آزاد شدن پتاسیم در خاک‌های مختلف متفاوت می‌باشد. این نتیجه‌گیری می‌تواند در مدیریت کاربرد کودهای پتاسیم مورد استفاده قرار گیرد و مقدار کود پتاسیم مورد نیاز با توجه به نتایج آزمون خاک و مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در هر خاک توصیه گردد.

خاک‌ها توسط رزین اسیدی از معادله ایلویچ پیروی می‌کند. در معادله ایلویچ در خاک‌های عصاره‌گیری شده با اسید بیشترین ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک شماره ۲ (سری مینودشت) و کمترین مقدار آن در خاک شماره ۴ (سری رامیان) وجود داشت. در خاک شماره ۴ (سری رامیان) به دلیل کم بودن ضرایب سرعت آزاد شدن در بخش سیلت و رس و کم بودن درصد این اجزاء چنین چیزی انتظار می‌رود. لازم به ذکر است ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در معادله توانی در خاک، بخش سیلت و بخش رس تمام نمونه‌های مطالعه شده کمتر از ۱ می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با گذشت زمان کاهش می‌یابد (۹). بدیهی است تفاوت در سرعت و مقدار آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک و بخش‌های سیلت و رس علاوه بر موارد ذکر شده در بالا به خصوصیات دیگری بستگی دارد. این خصوصیات شامل درصد متفاوت کانی‌های پتاسیم‌دار، ریزی و درشتی این کانی‌ها، درجه هواپدگی کانی‌ها و در کانی‌های

منابع مورد استفاده

۱. بحرینی، م. ۱۳۸۸. مطالعه سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی خاک‌های غالب جنوب استان گلستان و قابلیت استفاده پتاسیم غیرتبادلی خاک. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۲. حسین‌پور، ع. ۱۳۸۳. کاربرد مطالعات سینتیک در توصیف آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در شماری از خاک‌های همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۳: ۸۵-۹۳.
۳. حسین‌پور، ع و کلباسی، م. ۱۳۸۰. تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس خاک در شماری از خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵(۳): ۷۹-۹۳.
۴. ضرابی، م. ۱۳۸۰. بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و قابلیت جذب آن با استفاده از اسید اگزالیک، اسید مالیک و کلرید کلسیم در بعضی خاک‌های همدان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۵. زائرنوملی، س. ۱۳۸۷. توزیع فرم‌های مختلف پتاسیم و رابطه آن با توسعه پروفیلی خاک در تعدادی از خاک‌های استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
6. Bolt, G. A., M. F. Summer and A. Kamphorst. 1963. A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitic soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27: 294-299.
7. Chapman, H. D. 1965. Cation Exchange Capacity. PP: 891-901 *In: Method of Soil Analysis. Part 2; In: Black, C. A. (Ed.), American Society of Agronomy, Madison, WI.*
8. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465.

9. Cox, A. E. and B.C. Joern. 1997. Release kinetics of non-exchangeable potassium in soils using sodium tetraphenylboron. *J. Soil Sci.* 162: 588-598
10. Feigenbaum, S., R. Edelstein and I. Shainberg. 1981. Release rate of potassium and structural cations from micas to ion exchangers in dilute solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45:501-506.
11. Havlin, J. L., D. J. Westfal and S. R. Olsen. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49: 371-376.
12. Hinsinger, P. and B. Jaillard. 1993. Root-induced release of inter-layer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere. *J. Soil Sci.* 44: 525-534.
13. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 135: 63 – 71.
14. Jalali, M. 2007. Spatial variability in potassium release among calcareous soils of western Iran. *Geoderma*. 140: 42 – 51.
15. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X- ray diffraction analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37: 201-205.
16. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, Sodium and potassium. PP: 225-246. *In: A. L. Page et al.* (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
17. Martin, H. W. and D. I. Sparks. 1985. Kinetics of Nonexchangeable Potassium Release from Two Coastal Plain Soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 47: 883-887.
18. Mehta, S. C., P. K. Meel, K. S. Grewal and M. Singh. 1995. Release of non exchangeable potassium in Entisols. *J. Indian Soil Sci.* 43: 351:356.
19. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. 5th ed., Illustrated. Springer Pub., USA.
20. Mengel, K., Rahmatullah and H. Dou. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess- derived soils. *Soil Sci.* 163(10): 805-813.
21. Munn, D. A., L. P. Wilding and E. Mclean. O. 1976. Potassium release from sand, silt and clay soil separates. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40:364-366.
22. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. PP: 539-579. *In: Page, A.L.* (Ed.), *Method of Soil Analysis. Part 2*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
23. Page, A.L. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
24. Rahmatullah and K. Mengel. 2000. Potassium release from mineral structures by H⁺ ion resin. *Geoderma* 96: 201-305.
25. Rhodes, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP: 417 – 435. *In: Sparks, D.L.* (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. SSSA Book Series No. 5. ASA, Madison, WI.
26. Simard, R. S., C. R. Dekimpe and J. Zizka. 1992. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56: 1421-1428.
27. Sirinvasarao, C., A. Subba Rao and A. N. Ganeshamorthy. 1995. Status and desorption kinetics of potassium in some Swell-Shrink soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 43: 356-360.
28. Song, S. K. and P. M. Huang. 1988. Dynamic of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 52: 383-390.
29. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* 6:1-63.
30. Springob, G. and Richter, J. 1998. Measuring interlayer potassium release rates from soil minerals. II. A percolation procedure to study the influence of the variable 'solute K' in the < 1–10 μ M range. *J. Plant. Nut. Soi. Sci.* 161: 315–322.
31. Tu, S. X., Z. F. Guo and J. H. Sun. 2007. Effect of oxalic acid on potassium release from typical Chinese soils and minerals. *Pedosphere* 17:1-10.
32. Wang, J. G., F. S. Zhang, Y. P. Cao and X. L. Zhang. 2000. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. *Nutr. Cycl. Agron.* 56: 37–44.

Kinetics of Non-Exchangeable Potassium Release from Soil and its Components in Some Soils of Golestan Province

A. Farshadirad*, E. Dordipour and F. Khormali¹

(Received : Aug. 3- 2010 ; Accepted : Jan. 14- 2012)

Abstract

Non-exchangeable potassium (NEK) release is necessary to supply potassium for plant in different soils. A few studies on the NEK release have been done in soils and particularly on its components. This study was intended to investigate the NEK release from soil and the components of clay and silt through successive extractions with oxalic acid (0.01 M) over a period of 1844 (h) in 4 soil series of Golestan province. The amount of NEK release from whole soil, silt and clay fractions after 1844 (h) were 242 to 450, 380 to 550 and 105 to 199 mg kg⁻¹, respectively. The cumulative rates of NEK release after 1844 (h) were well described by simplified Ellovich, parabolic diffusion and power function equations. The rate of K release was high initially, and then decreased gradually in all soils and in their silt and clay fractions. The amount of released NEK (with high rate) consisted of lower percentage of total NEK, but in spite of less amount, this K form plays a vital role in K dynamic and soil fertility.

Keywords: Non-exchangeable potassium, Kinetic equations, Soil components.

1. Former MSc. Student, Assis. Prof. and Assoc. Prof. of Soil Sci., Respectively, Gorgan Univ. of Agric. and Natur. Sci., Gorgan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: soltani@ag.iut.ac.ir