



سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از کلرید کلسیم در خاک‌ها و اجزای آن

*اکرم فرشادی‌راد^۱، اسماعیل دردی‌پور^۲ و فرهاد خرمالی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۵

چکیده

مطالعات سینتیک رهاسازی پتاسیم می‌تواند در درک بهتر وضعیت پتاسیم قابل استفاده گیاه به‌ویژه در خاک‌های شامل کانی‌های پتاسیم مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این مطالعه بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک، بخش رس و سیلت ۴ نمونه از خاک‌های لسی و شبه‌لسی استان گلستان با استفاده از کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در مدت ۱۸۰۰ ساعت و مطالعه ارتباط آن با نوع کانی‌های موجود در خاک است. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از معادله‌های سینتیکی ارزیابی شد. رهاسازی پتاسیم در تمام خاک‌ها در مراحل اولیه سریع بود و در مراحل بعدی با سرعت کم‌تری تا پایان آزمایش ادامه یافت. براساس ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد، سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی به‌وسیله معادله‌های الوویچ و تابع توانی و پخشیدگی توصیف شد. کانی‌های موجود در بخش رس خاک‌ها شامل ایلیت، اسمکتیت، کلریت، کائولینیت، ورمی‌کولیت و کانی‌های مختلط و کانی‌های موجود در بخش سیلت خاک‌ها شامل کوارتز، فلدسپار، ایلیت و کلریت بود. در بین اندازه‌های مختلف ذرات خاک، بخش رس بیش‌ترین مقدار و سرعت آزادسازی پتاسیم را نشان داد و خاک سری قره‌سو با کانی غالب اسمکتیت بالاترین آزادسازی پتاسیم را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اجزای خاک، رهاسازی پتاسیم، سینتیک

*مسئول مکاتبه: farshadirad@gmail.com

مقدمه

گیاهان پتاسیم مورد نیاز خود را نه تنها از پتاسیم تبادلی بلکه از پتاسیم غیرتبادلی موجود در بین لایه‌های کانی‌های میکایی به دست می‌آورند (مالاولتا، ۱۹۸۵). وقتی پتاسیم محلول و تبادلی به علت جذب زیاد توسط گیاه در مجاورت ریشه در ریزوسفر گیاهان تخلیه می‌شود در پی آن، کاهش شدید غلظت پتاسیم در این ناحیه می‌تواند آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از کانی‌های پتاسیم‌دار اطراف ریشه را افزایش دهد (مکلین و واتسون، ۱۹۸۵). پتاسیم بین‌لایه‌ای کانی‌های میکا، ایلیت و فلدسپارها منبع اصلی آزادسازی پتاسیم در طول دوره کشت هستند (منگل، ۱۹۸۵). از سوی دیگر، دسترسی به پتاسیم بین‌لایه‌ای از این کانی‌های غیرمنبسط‌شونده به مقدار پتاسیم بین‌لایه‌ای بستگی ندارد، بلکه نوع کانی‌های شامل پتاسیم در خاک که سرعت آزاد شدن پتاسیم وابسته به آن‌ها است، تعیین‌کننده میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه می‌باشد (اسپارکس، ۱۹۸۷).

آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی به طور قطع نتیجه حل شدن کانی‌های شامل پتاسیم نیست بلکه ممکن است یک واکنش تبادلی باشد. این تبادل آهسته است و با روش‌های معمول تعیین پتاسیم تبادلی اندازه‌گیری می‌شود. وقتی تبادل آهسته در بین لایه‌های کانی‌های رسی مانند میکا وجود دارد، یون جانشین پتاسیم باید ابتدا وارد لایه‌های داخلی انبساط‌نیافته شود، بعد از آن یا به طور هم‌زمان، این لایه‌های داخلی تحت تأثیر هیدراتاسیون این یون‌ها منبسط خواهد شد و این یون‌ها اجازه می‌یابند که تثبیت یا محبوس شوند و پتاسیم آزاد شده به آهستگی به محل‌های تبادلی در قسمت‌های خارجی ذرات رس انتشار یابند (سانگ و هوانگ، ۱۹۸۸).

اولین مطالعه در مورد نقش اجزا مختلف خاک در آزاد کردن پتاسیم غیرتبادلی به وسیله مان و همکاران (۱۹۷۶) انجام شد. این پژوهشگران دریافتند که ۷۴-۳۰ درصد پتاسیم از بخش رس، ۵۶-۲۴ درصد از بخش سیلت و ۲۶-۳ درصد از بخش شن، آزاد شده است. هاولین و همکاران (۱۹۸۵) با استفاده از رزین کلسیمی، آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را از بخش‌های مختلف رس و سیلت مطالعه کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که ۸۰-۶۵ درصد پتاسیم بخش رس در مدت ۷۰۰۰ ساعت آزاد شد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که ثابت‌های سرعت آزاد شدن پتاسیم به دست آمده از معادله‌های پارابولیک، تابع نمایی و الویج همبستگی بالایی با مقدار میکای خاک، محصول نسبی گیاه یونجه و مقدار پتاسیم جذب شده توسط گیاه داشت. کاکس و جورن (۱۹۹۷) دریافتند که سرعت آزاد شدن پتاسیم با کاهش اندازه ذرات افزایش یافت که نشان می‌دهد، در مرحله اول آزاد شدن پتاسیم از بخش رس ریز و درشت به سرعت اتفاق افتاد و با آزاد شدن کند پتاسیم از بخش سیلت ادامه می‌یابد.

همچنین، نتایج تجزیه‌های XRD نشان داد که در مدت ۹۶ ساعت عصاره‌گیری فاصله صفحه‌های کانی از ۱/۰۱ نانومتر به ۱/۳۳ نانومتر افزایش یافت. مطالعه منگل و همکاران (۱۹۹۸) در خاک‌های لسی نشان داد جزو سیلت به‌خاطر میکای زیاد منبع مهمی برای ذخیره پتاسیم مورد نیاز گیاه می‌باشد. کوونگ و راماساومی (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند به‌دلیل باندهای ضعیف‌تر پتاسیم درون‌لایه‌ای کانی‌هایی میکایی (به‌خصوص بیوتیت) در بخش سیلت خاک‌های لسی، نسبت به خاک‌های آلوویال و بازالتی، کانی‌های این بخش، جزو اصلی آزادکننده پتاسیم در این خاک‌ها هستند. قوش و سینگ (۲۰۰۱) دریافتند خاک‌های ایلیتی با مقادیر کم‌تر پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم، پتاسیم را با سرعت بیشتری از خاک‌های با کانی‌های مختلط و پتاسیم تبادلی بالاتر آزاد می‌کنند و پس از آن‌ها خاک‌های کائولینیتی قرار دارند. به‌دلیل این‌که، وجود کاتیون‌های مختلف در محلول خاک بر قابلیت دسترسی پتاسیم تأثیرگذار است، بررسی روند رهاسازی پتاسیم در حضور کاتیون‌های معمول خاک ضروری به‌نظر می‌رسد آن‌ها علاوه‌بر رقابت بر سر مکان‌های تبادلی، بر ضریب فعالیت و در نهایت فعالیت یون‌ها در محلول خاک و سرعت رهاسازی پتاسیم تأثیرگذارند (موراشکینا و همکاران، ۲۰۰۷). مکانیزم عمل یون کلسیم، جانشینی می‌باشد، بنابراین یون کلسیم به‌علت اندازه و انرژی هیدراتاسیون بالایی که نسبت به یون پتاسیم دارد، به‌راحتی نمی‌تواند با پتاسیم‌های بین‌لایه‌ای تبادل شود و در خاک‌های با کانی غالب انبساط‌ناپذیر مثل ایلیت این موضوع بیش‌تر نمایان می‌شود (سرینواسائو و همکاران، ۱۹۹۹).

در بررسی انجام شده توسط منگل و اولنبرگر (۱۹۹۳) آزاد شدن پتاسیم بین‌لایه‌ای با استفاده از تکنیک الکترواولترافیلتراسیون از معادله الویچ پیروی کرد. سرعت رهاسازی پتاسیم در مطالعات لوپز-پیناریو و گارسیا ناوارو (۱۹۹۷) و رحمت‌الله و منگل (۲۰۰۰) نیز از معادله ایلویچ پیروی کرد. جلالی (۲۰۰۷) با مطالعه رهاسازی پتاسیم با استفاده از عصاره‌گیر کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار بر روی ۴۰ خاک سطحی همدان مقدار شیب و عرض از مبدأ معادله پارابولیک را برای کاربرد و فراهمی مقدار پتاسیم کافی برای گیاه مورد استفاده قرار داد.

دیلون و همکاران (۱۹۸۹) رهاسازی پتاسیم را در ۳ نوع خاک با ترکیب کانی‌های غالب شامل ایلیت، بدلیت و کائولینیت با استفاده از الکترولیت‌های مختلف بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد در همه خاک‌ها باریم بیش‌ترین آزادسازی پتاسیم و کم‌ترین مقدار را سدیم به خود اختصاص داد و کاتیون‌های آمونیوم و کلسیم بین این دو حالت واقع گردیدند.

زائرنوملی (۲۰۰۷) طی آزمایش کانی‌شناسی، در رژیم‌های مختلف رطوبتی استان گلستان، گزارش کرد که کانی‌های غالب در این خاک‌ها ایلیت، کلریت، اسمکتیت و کائولینیت می‌باشد. میزان پتاسیم

غیرتبادلی عصاره‌گیری شده به‌وسیله اسید نیتریک جوشان موجود در خاک‌ها از ۸۴۸/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک Typic Hapludalfs با کانی غالب ایلیت و ورمی‌کولیت، تا ۱۰۹/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک Lithic Xerorthents متغیر بود.

سرینواسائو و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که اگر میکا در بخش سیلت و رس خاک زیاد باشد، میزان پتاسیم رهاسیده نیز بیش‌تر خواهد بود. نتایج پژوهش‌های مشابه نشان داد که علاوه بر کانی‌های موجود در بخش رس، میکا و فلدسپارهای موجود در بخش شن و سیلت نیز نقش مهمی در رهاسازی پتاسیم دارند (فانینگ و همکاران، ۱۹۸۹؛ سیمارد و همکاران، ۱۹۹۲).

علاوه بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی، سرعت رهاسازی آن نیز در میزان در دسترس قرار گرفتن این جز از پتاسیم در طول دوره رشد گیاه دارای اهمیت می‌باشد. در تعدادی از پژوهش‌های سینتیک از رس‌های خالص استفاده شده است (گول‌دینگ، ۱۹۸۴؛ تو و همکاران، ۲۰۰۷)، اما در خاک که ترکیب پیچیده‌ای از کانی‌های رسی، ترکیبات غیرکریستالی، اکسیدها و هیدرکسیدها و مواد آلی می‌باشد پژوهش‌های کم‌تری انجام شده است. به این منظور این پژوهش با هدف بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (که رهاسازی پتاسیم را ابتدا با مکانیسم تبادل کلسیم با پتاسیم شروع می‌کند) و توصیف سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با معادله‌های سینتیک مختلف در ۴ سری از خاک‌های استان گلستان و اجزا رس و سیلت در این خاک‌ها انجام گردید.

مواد و روش‌ها

۴ نمونه خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) از ۴ سری خاک (قره‌سو، مینودشت، اوقچی و رامیان) که از ۱۲ سری خاک جمع‌آوری شده از سری خاک‌های استان گلستان براساس نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده خاک و مقدار اشکال مختلف پتاسیم در خاک و اجزا انتخاب گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای انجام آزمایش‌ها آماده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری، pH و هدایت الکتریکی به روش گل‌اشباع (پیچ، ۱۹۹۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم با $pH=8.2$ (چپمن، ۱۹۶۵)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر با دی‌کرومات پتاسیم و تیتراژ با فرو آمونیوم سولفات به روش نلسون (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. مرحله جداسازی ذرات خاک به روش کیتریک و هوپ (۱۹۶۳) انجام گرفت. بر این اساس نمونه‌های خاک بعد از کربنات‌زدایی، اکسایش مواد آلی و جداسازی اکسید آهن، در یک سیلندر ۱ لیتری برای جداسازی بخش رس (کم‌تر از ۲ میکرومتر) و سیلت به روش ترسیب منتقل شدند. ذرات شن توسط الک از

ذرات سیلت جدا شدند. شکل‌های محلول، تبدلی، غیرتبدلی و کل پتاسیم در خاک و ذرات جدا شده رس و سیلت اندازه‌گیری شد. پتاسیم محلول خاک توسط آب مقطر با نسبت ۱ به ۵ خاک به آب، پتاسیم تبدلی توسط عصاره‌گیری با استات آمونیوم (pH=7 و یک نرمال) طی ۴ مرحله شیکر و سانتریفوژ، پتاسیم غیرتبدلی به روش اسید نیتریک جوشان (یک نرمال) تعیین گردید (کنادسن و همکاران، ۱۹۸۲) و پتاسیم کل به وسیله هضم با فلوریدریک اسید تعیین شد (هلمک و اسپارکز، ۱۹۹۶). مقدار پتاسیم در عصاره‌های مختلف گفته شده با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. در این پژوهش برای بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبدلی از عصاره‌گیر کلرید کلسیم با غلظت ۰/۱ مولار استفاده شد (مهدوی، ۲۰۰۱؛ حسین‌پور و کلباسی، ۲۰۰۰؛ جلالی، ۲۰۰۷؛ سربینواسائو و همکاران، ۲۰۰۰). برای خروج پتاسیم تبدلی و محلول قبل از شروع آزمایش‌ها، خاک‌ها به وسیله کلرید کلسیم ۱ مولار با یون Ca^{2+} اشباع و هوا خشک شدند. ۱ گرم از خاک‌های اشباع شده با کلسیم را در ۴ تکرار درون لوله سانتریفوژ ریخته و به هر یک ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیر اضافه گردید و پس از ۳۰ دقیقه مخلوط نمودن، نمونه‌ها به انکوباتور با دمای ثابت ۲۷ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از گذشت ۲ ساعت از افزودن عصاره‌گیرها، نمونه‌ها از انکوباتور خارج شده و با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شده و عصاره رویی برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم رها شده جمع‌آوری گردید. سپس بلافاصله ۱۰ میلی‌لیتر دیگر از عصاره‌گیرها اضافه شد و دوباره به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شدند و سپس به انکوباتور انتقال داده شدند. به‌طور کلی در فاصله‌های زمانی ۲، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۲۰، ۱۶۸، ۳۱۲، ۳۸۴ و ۴۵۶ ساعت عصاره‌گیری به‌ترتیبی که ذکر شد، انجام گرفت و غلظت پتاسیم در آن‌ها با استفاده از فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. ۵ مدل سینتیکی مرتبه اول، مرتبه صفر، الویچ ساده شده، انتشار هذلولی و تابع نمایی برای برازش داده‌ها، مورد استفاده قرار گرفتند. شکل کلی این معادله‌ها به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\ln (K_{\infty} - K_t) = a - b_t \quad (1) \text{ مرتبه اول}$$

$$(K_{\infty} - K_t) = a - b_t \quad (2) \text{ مرتبه صفر}$$

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

$$K_t / K_{\infty} = a + b_t^{1/2} \quad (4) \text{ انتشار هذلولی}$$

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

که در آن ها، K_t : مقدار پتاسیم غیرتبادلی و یا تبادلی آزاد شده در زمان t و K_0 : پتاسیم غیرتبادلی و یا تبادلی که در حال تعادل در زمان انتهایی آزمایش (حداکثر پتاسیم آزاد شده) هستند. a و b : ضرایب ثابت و t : زمان (ساعت) است. معادله‌هایی که سرعت رهاسازی پتاسیم تبادلی را بهتر توضیح می‌دهند براساس ضرایب تشخیص (R^2) و اشتباه استاندارد برآورد، انتخاب شدند. اشتباه استاندارد برآورد (SE) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SE = [\sum (K_t - K^*)^2 / n - 2]^{1/2} \quad (6)$$

که در آن، K_t و K^* به ترتیب نشان‌دهنده مقدار غیرتبادلی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به وسیله مدل در زمان t و n تعداد عصاره‌گیری‌ها ($n=12$) می‌باشد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است. دامنه تغییرات مقدار رس، سیلت، کربنات کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی معادل به ترتیب ۴۸-۱۶ درصد، ۶۰-۴۰ درصد، ۲۵-۵ درصد و ۲۹-۱۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک می‌باشد. دامنه تغییرات پتاسیم تبادلی در خاک، رس و سیلت به ترتیب ۴۷۶-۱۰۳، ۵۳۹-۱۸۱ و ۱۶۰-۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات پتاسیم غیرتبادلی خاک، رس و سیلت ۱۲۰۰-۶۳۲، ۱۵۸۷-۶۶۸ و ۵۹۹-۲۱۹ می‌باشد (جدول ۲). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود پتاسیم غیرتبادلی بخش رس از بخش سیلت بیش‌تر است. اهمیت نسبی پتاسیم اجزا خاک در تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه به عوامل متعددی از جمله سرعت آزاد شدن پتاسیم از کانی‌ها که خود وابسته به نوع کانی‌ها می‌باشد، بستگی دارد. نتایج نشان می‌دهد پتاسیم غیرتبادلی در بخش رس و سیلت در خاک شماره ۳ (اوقچی) بیش‌تر است که دلیل آن را می‌توان به نوع کانی‌های موجود در آن نسبت داد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منتخب خاک‌های مورد مطالعه.

شماره خاک	نام سری	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	آهک (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	ظرفیت تبادل کاتیونی $\text{cmol}^{(+)}/\text{Kg}$	ماده آلی (درصد)	pH
۱	قره‌سو	۴۸	۴۰	۱۲	۲۵	۳/۳	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

اکرم فرشادی راد و همکاران

جدول ۲- شکل های محلول، تبادلی، غیر تبادلی و کل پتاسیم خاک های مورد مطالعه.

میلی گرم در کیلوگرم خاک											
سری خاک	پتاسیم محلول			پتاسیم تبادلی			پتاسیم غیر تبادلی			پتاسیم کل (درصد)	
	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت	خاک	رس	سیلت
قره سو	۱۲/۱	۱۱/۵	۱۷/۹	۴۸۱/۳	۱۰۰/۵۴	۲۵۶/۳	۸۴۹/۵	۵۹۹/۷	۷۸۲/۳	۲/۲۸	۰/۸
مینودشت	۸/۷	۹/۸	۱۵/۵	۵۳۹/۷	۶۹/۸	۱۵۰/۸	۸۶۰/۶	۲۱۹/۵	۷۴۷/۶	۲/۳۳	۱/۰۷
اوقچی	۱۵/۲	۱۸/۳	۳۲/۹	۴۴۸/۲	۱۶۰/۱۹	۴۷۶/۶	۱۵۸۷/۹	۹۱۴/۲	۱۲۰۰/۵	۱/۶۴	۱/۰۱
رامیان	۶/۹	۷/۱	۱۵/۶	۱۸۱/۲	۳۵/۹	۱۰۳/۵	۶۶۸/۱	۲۳۳/۴	۶۳۲/۲	۱/۶۳	۱/۰۲

نتایج آزمایش های کانی شناسی بخش رس خاک های مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. براساس این جدول کانی های مشاهده شده شامل ایلیت، اسمکتیت، کلریت، کائولینیت، ورمی کولیت و کانی های مختلط بودند. کانی های ایلیت، کلریت و کائولینیت در این خاک ها دارای منشأ ارثی می باشند (زائرنوملی، ۲۰۰۷). کانی های موجود در بخش سیلت خاک ها شامل: کوارتز، فلدسپار، کلریت و میکا می باشند (جدول ۴).

جدول ۳- نتایج آزمایش های کانی شناسی جزو رس.

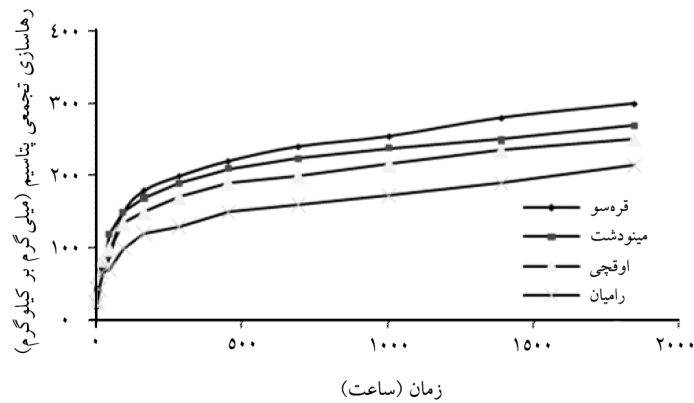
شماره خاک	نام سری	کانی شناسی رس
۱	قره سو	اسمکتایت < ایلیت < کلریت < کائولینیت
۲	مینودشت	ایلیت < اسمکتیت < کلریت < ورمی کولیت < کائولینیت
۳	اوقچی	ایلیت < کلریت < کائولینیت
۴	رامیان	ایلیت < اسمکتیت < ورمی کولیت < کائولینیت < کلریت

جدول ۴- نتایج آزمایش های کانی شناسی جزو سیلت.

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

روند آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با کلرید کلسیم در اجزا رس، سیلت و خاک: شکل ۱ مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به روش عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم را به‌عنوان تابعی از زمان عصاره‌گیری از بخش رس خاک‌ها نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ و جدول ۵ تقریباً در تمام خاک‌ها سرعت رهاسازی تا ۱۶۴ ساعت پس از شروع آزمایش فزاینده بود و پس از این مرحله رهاسازی با سرعت کم‌تری ادامه یافت. روند رهاسازی سریع‌تر اولیه و سپس یکنواخت شدن آن در بسیاری از مطالعات رهاسازی، از جمله در مطالعات تو و همکاران (۲۰۰۷) دیده شده است. در مطالعه تو و همکاران (۲۰۰۷) دو کانی میکروکلین و مسکوویت، پس از گذشت ۵۰ ساعت از عصاره‌گیری هم‌چنان روند یکنواخت اولیه را نشان دادند، اما کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت ابتدا روند افزایشی شدید و سپس روند یکنواختی را داشتند. به‌طور کلی رهاسازی سریع اولیه را می‌توان به آزاد شدن پتاسیم از مناطق لبه‌ای و گوه‌ای شکل کانی‌های پتاسیم‌دار نسبت داد. با پیش‌روی رهاسازی، لبه‌های کانی از هم جدا شده و پتاسیم‌های بین‌لایه‌ای موجود در ساختمان کانی رها می‌شوند، به‌علت افزایش فاصله پتاسیم‌های درونی از لبه‌ها و قدرت جذب پتاسیم، رهاسازی با سرعت و پخشیدگی کم‌تری صورت می‌گیرد (گول‌دینگ، ۱۹۸۴). مقدار پتاسیم آزاد شده در مراحل اولیه عصاره‌گیری (پتاسیم لبه‌ای آزاد شده) از بخش رس خاک‌های مختلف متفاوت است. همچنین مقدار پتاسیم آزاد شده در مراحل کند بعدی (پتاسیم بین‌لایه‌ای آزاد شده) نیز در بخش رس خاک‌ها متفاوت است (جدول ۵). بیش‌ترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی از بخش رس خاک شماره ۱ (سری قره‌سو) و کم‌ترین مقدار آن از بخش رس خاک شماره ۴ (رامیان) آزاد شده است (شکل ۱). رهاسازی بیش‌تر در سری قره‌سو را می‌توان به درصد بالای رس و حضور غالب کانی انبساط‌پذیر اسمکتیت در این سری که امکان تبادل بیش‌تر یون کلسیم را با پتاسیم فراهم می‌کند نسبت داد. رهاسازی پایین در بخش رس خاک شماره ۴ (رامیان) می‌تواند به‌دلیل نوع کانی‌های موجود در این بخش باشد (جدول ۳). در کانی‌های کائولینیت و اسمکتیت‌ها 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 بین‌لایه‌ای 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 بدون قابلیت انبساط می‌باشند و مانع واکنش‌های سریع تبادل یونی می‌شوند (اسپارکس، ۱۹۸۷).

جدول ۶ نشان می‌دهد که مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به وسیله کلرید کلسیم در بخش رس خاک‌ها ۱۶-۳۵ درصد پتاسیم غیرتبادلی را تشکیل می‌دهد. مقایسه مقادیر پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در بخش رس خاک‌ها نشان‌دهنده تفاوت نوع و مقدار کانی‌های رسی در بخش رس خاک‌های مطالعه شده است. مهدوی (۲۰۰۲) در مطالعات خود، پایین بودن میزان پتاسیم رها شده توسط کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار را به نوع کانی غالب آن، که ایلیت دی‌اکتا هدرال بود نسبت داد و از طرفی بالا بودن میزان پتاسیم رها شده را به علت بالا بودن میزان کانی‌های انبساط‌پذیر در خاک مربوط دانست، که امکان تبادل بیش‌تر یون کلسیم را با پتاسیم فراهم می‌کند.



شکل ۱- منحنی رهاسازی تجمعی پتاسیم با عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم در بخش رس مورد مطالعه.

جدول ۵- میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط کلرید کلسیم در دو مرحله.

سری خاک	رس		سیلت		خاک	
	لبه‌ای*	بین‌لایه‌ای*	لبه‌ای	بین‌لایه‌ای	لبه‌ای	بین‌لایه‌ای
میلی‌گرم بر کیلوگرم						
قره‌سو	۱۷۹	۱۲۱	۱۰۲	۶۳	۱۶۵	۵۷
مینودشت	۱۷۱	۹۹	۷۱	۳۴	۱۵۰	۴۲
اوقچی	۱۵۴	۹۶	۱۱۴	۸۵	۱۳۷	۶۱
رامیان	۱۲۰	۹۵	۷۳	۴۲	۱۲۶	۳۹

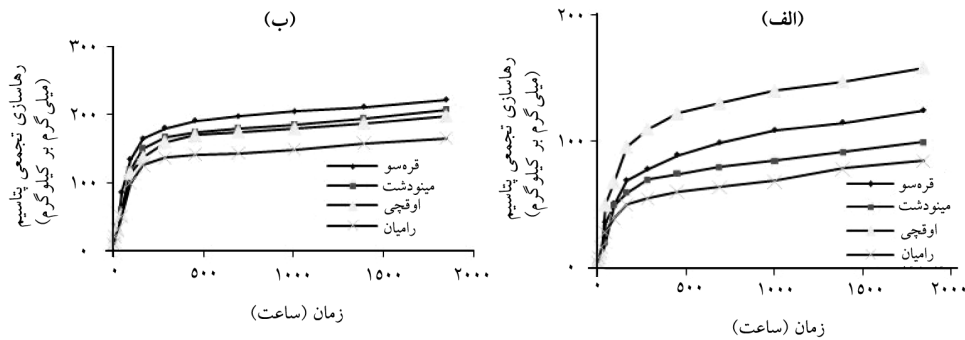
* با توجه به منحنی رهاسازی تجمعی پتاسیم، نقطه‌ای که تغییر ناگهانی شیب اتفاق افتاد تفکیک پتاسیم لبه و بین‌لایه‌ای انجام شد.

بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی از بخش سیلت خاک شماره ۳ (اوقچی) و کمترین مقدار آن از بخش سیلت خاک شماره ۴ (سری رامیان) آزاد شده است (شکل ۲- الف). مهم‌ترین کانی آزادکننده پتاسیم در بخش سیلت خاک‌های مورد مطالعه میکا می‌باشد و تفاوت در آزاد شدن پتاسیم در بخش سیلت خاک‌های مختلف را می‌توان به تفاوت در مرحله هوادهی این کانی نسبت داد. علاوه بر این در بخش سیلت خاک شماره ۳ فلدسپارهای پتاسیمی (میکروکلین) مشاهده شد که می‌تواند در پتاسیم بالای آزاد شده از این خاک سهمیم باشد. فلدسپارهای پتاسیمی از جمله ذخایر پتاسیمی خاک‌ها می‌باشند که در بخش شن و سیلت فراوانند. تجزیه شیمیایی فلدسپارها با بالا رفتن دما تشدید می‌شود. معمولاً در مناطقی با آب و هوای گرم و بارندگی زیاد احتمال تجزیه فلدسپارها و رها شدن تمام پتاسیم از ساختمان آن‌ها وجود دارد. اسپارکس (۱۹۸۵) از جمله عوامل مؤثر در هوادهی فلدسپارها را به خصوصیات ساختمانی آن‌ها، وجود یون هیدرونیوم و اسیدهای آلی در محلول خاک نسبت داد. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده به وسیله کلرید کلسیم ۴۵-۱۶ درصد پتاسیم غیرتبادلی را در بخش سیلت خاک‌های مطالعه شده تشکیل می‌دهد.

جدول ۶- پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده توسط کلرید کلسیم پس از ۱۸۰۰ ساعت.

شماره خاک	بخش رس		بخش سیلت		خاک
	(درصد میلی گرم بر کیلوگرم)	(درصد میلی گرم بر کیلوگرم)	(درصد میلی گرم بر کیلوگرم)	(درصد میلی گرم بر کیلوگرم)	
قره‌سو	۳۰۰/۴۳ ^a	۳۵/۳	۱۲۵/۲۳ ^b	۲۰/۸	۲۲۲/۷۶ ^a
مینودشت	۲۷۰/۱۸ ^b	۳۱/۳	۱۰۰/۰۰ ^c	۴۵/۵	۲۰۸/۰۱ ^b
اوقچی	۲۵۰/۹۸ ^c	۱۶/۷	۱۵۸/۷۶ ^a	۱۶/۷	۱۹۸/۶۵ ^c
رامیان	۲۱۵/۰۹ ^d	۳۲/۱۸	۸۵/۱۲ ^d	۳۶/۵	۱۶۵/۷۶ ^d
	۲۵۹/۱۷ ^A		۱۱۷/۲۷ ^C		۱۹۸/۷۹ ^B

نتایج مقایسه‌های میانگین نشان داد، جزو رس بیشترین آزادسازی پتاسیم را پس از ۱۸۰۰ ساعت داشت و پس از آن خاک و بخش سیلت قرار گرفتند. این نتایج با نتایج لائو و ارشد (۱۹۹۷) مطابق بود. مطالعات آن‌ها نشان داد، مقدار پتاسیم آزاد شده بخش رس، سیلت و شن به ترتیب ۴۹، ۳۳ و ۱۸ درصد از کل پتاسیم آزاد شده را تشکیل می‌دهد.



شکل ۲- منحنی رهاسازی تجمعی پتاسیم با عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم در (الف) جزو سیلت و (ب) خاک‌های مورد مطالعه (۱. سری قره‌سو، ۲. سری مینودشت، ۳. اوقچی و ۴. سری رامیان).

معادله‌های سینتیکی در توصیف آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی: ۵ معادله سینتیکی شامل معادله مرتبه صفر، مرتبه اول، توانی، ایلویچ ساده شده و پخشیدگی پارابولیکی برای بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم از خاک‌ها مورد برآزش قرار گرفتند. در مواردی که چندین معادله قادر به توصیف داده‌های سینتیکی باشند برای انتخاب بهترین معادله، با مقایسه ضریب تبیین (R^2) و اشتباه استاندارد برآورد (SE) محاسبه شده برای هر معادله، معادله‌ای که بیشترین ضریب تبیین و کمترین اشتباه استاندارد برآورد را دارا باشد به‌عنوان بهترین معادله در توجیه رهاسازی پتاسیم از خاک شناخته می‌شود.

ضرایب تبیین (R^2) و اشتباه استاندارد برآورد (SE) معادله‌های سینتیکی در تشریح آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در جدول ۷ آورده شده است. در بخش رس خاک‌های مطالعه شده با کلرید کلسیم معادله‌های ایلویچ، توانی و پخشیدگی به‌طور رضایت‌بخشی روند رهاسازی را توجیه کردند (جدول ۷). همان‌طور که ملاحظه می‌شود در بخش رس خاک‌های مطالعه شده با کلرید کلسیم در معادله ایلویچ بیشترین ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در بخش رس خاک شماره ۱ (سری قره‌سو) و کمترین مقدار آن در بخش رس خاک شماره ۴ (سری رامیان) وجود داشت. این اختلاف ضریب سرعت آزاد شدن نشان‌دهنده تفاوت نوع و مقدار کانی‌های رسی در این خاک‌ها می‌باشد (جدول ۳). به‌طوری‌که در بخش رس خاک شماره ۱ (سری قره‌سو) اسمکتیت کانی غالب و در

بخش رس خاک شماره ۴ (سری رامیان) پس از میکا کانی اسمکتیت غالب 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 اجزا باشد.

ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در بخش سیلت خاک‌های مطالعه شده در معادله‌های ایلویچ، تابع نمایی و پخشیدگی و ضریب تبیین در معادله‌های ایلویچ، نمایی، پخشیدگی و مرتبه اول بیش‌ترین مقدار بود (جدول ۷). اشتباه استاندارد برآورد در معادله‌های ایلویچ، نمایی و پخشیدگی کم‌ترین مقدار و در معادله‌های مرتبه صفر و درجه اول بیش‌ترین مقدار بود. بنابراین در بخش سیلت عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم معادله‌های ایلویچ، نمایی و پخشیدگی بهتر از دو معادله دیگر داده‌ها را توصیف کردند.

در خاک‌های عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم بیش‌ترین ضریب سرعت آزادسازی مربوط به خاک شماره ۱ (سری قره‌سو) و کم‌ترین آن مربوط به خاک شماره ۴ (سری رامیان) می‌باشد. در تعدادی از پژوهش‌ها معادله الوویچ برای توصیف سرعت واکنش‌های پتاسیم استفاده شده است (کاکس و جورن، ۱۹۹۷؛ هاولین و همکاران، ۱۹۸۵؛ لویز و ناوارا، ۱۹۹۷؛ رحمت‌الله و منگل، ۲۰۰۰؛ سیمارد، ۱۹۸۹؛ منگل و اولنبرگر، ۱۹۹۳).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که پس از ۱۸۰۰ ساعت عصاره‌گیری خاک و بخش‌های رس و سیلت هنوز بخش قابل‌توجهی 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.

اکرم فرشادی راد و همکاران

جدول ۷- ضرایب تشخیص، اشتباه استاندارد برآورد و ضرایب معادله‌های سینتیکی در بخش رس خاک‌های مورد مطالعه.

سری خاک	عصاره‌گیر	معادله مرتبه اول				معادله مرتبه صفر				معادله توانی			
		R ²	SE	b	a	R ²	SE	b	a	R ²	SE	b	a
رس	قره‌سو	۰/۹۴	۲۱۶/۷۵	-۰/۰۰۱۷	۵/۳۵	۰/۸۱	۲۳۱/۲۲	-۰/۱۳۳۱	۱۹۶/۵۶	۰/۹۶	۳۰/۹۰	۰/۳۹	۲/۹۴
سیلت	خاک	۰/۹۵	۸۰/۸۷	-۰/۰۰۱۸	۴/۵۶	۰/۸۳	۱۶۷/۵۲	-۰/۰۶۰	۸۸/۴۴	۰/۹۴	۱۸/۵۵	۰/۴۹	۱/۴۲
رس	مینودشت	۰/۸۹	۱۷۹/۲۲	-۰/۰۰۱۶	۴/۹۴	۰/۵۵	۱۵۱/۰۸	-۰/۰۸۵	۱۱۸/۵	۰/۹۱	۱۸/۳۷	۰/۴۲	۲/۵۴۷
سیلت	خاک	۰/۹۰	۱۹۵/۲۴	-۰/۰۰۱۶	۵/۱۲	۰/۷۷	۱۹۱/۱۳	-۰/۱۰۹۳	۱۶۱/۴۵	۰/۹۴	۳۰/۰۸	۰/۳۴	۳/۲۲
رس	اوقچی	۰/۹	۶۶/۰۱	-۰/۰۰۱۷	۴/۳۶	۰/۷۷	۷۱/۹۸	-۰/۰۴۷	۶۸/۵۱	۰/۹۱	۱۹/۴۵	۰/۵۴	۱/۳۷
سیلت	خاک	۰/۸۳	۱۶۱/۸۶	-۰/۰۰۱۸	۴/۸۶	۰/۵۶	۱۵۴/۳۶	-۰/۰۸۲	۱۱۷/۰۶	۰/۹۲	۱۷/۸۹	۰/۴۸	۲/۱۲
رس	رامیان	۰/۹۵	۱۸۶/۳۱	-۰/۰۰۱۷	۵/۰۸	۰/۸۳	۱۷۲/۱۱	-۰/۰۹۹۳	۱۴۸/۴۶	۰/۹۷	۱۶/۵۳	۰/۲۹	۳/۴۶
سیلت	خاک	۰/۹۲	۱۰۷/۲۸	-۰/۰۰۱۹	۴/۸۴	۰/۷۷	۱۱۴/۲۷	-۰/۰۷۶	۱۰۸/۹۹	۰/۹۲	۳۹/۰۳	۰/۵۶	۱/۲۹
رس	خاک	۰/۸۵	۱۵۵/۹۱	-۰/۰۰۱۹	۴/۸۳	۰/۵۸	۱۴۲/۲۱	-۰/۰۷۹	۱۱۱/۸۲	۰/۹۴	۱۷/۸۱	۰/۴۲	۲/۴۰۷
سیلت	خاک	۰/۹۳	۱۴۸/۷	-۰/۰۰۱۳	۴/۹۸	۰/۸۹	۱۵۰/۰۸	-۰/۰۸۷	۱۳۸/۴	۰/۹۸	۹/۴۵	۰/۳۰	۳/۱۵
رس	رامیان	۰/۹۲	۵/۰۲	-۰/۰۰۱۶	۴/۱۰	۰/۸۲	۶۴/۳۹	-۰/۰۳۷	۵۶/۵۸	۰/۹۵	۹/۸۸	۰/۴۰	۱/۶۲
سیلت	خاک	۰/۸۳	۱۳۲/۲۸	-۰/۰۰۱۹	۴/۴۸	۰/۵۵	۱۱۴/۴۷	-۰/۰۶۳	۸۹/۱۸	۰/۹۲	۳۴/۱۷	۰/۴۲	۲/۲۲

ادامه جدول ۷- ضرایب تشخیص، اشتباه استاندارد برآورد و ضرایب معادله‌های سینتیکی در بخش رس خاک‌های مورد مطالعه.

سری خاک	عصاره‌گیر	معادله الویج				معادله پخشیدگی			
		R ²	SE	b	a	R ²	SE	b	a
رس	قره‌سو	۰/۹۷	۸/۳	۴۴/۹۳	-۴۵/۶۲	۰/۹۷	۳۱/۶۸	۰/۰۲۱۷	۰/۱۸۳
سیلت	خاک	۰/۹۵	۹/۹	۱۹/۵۱	-۲۹/۰۹	۰/۹۵	۱۴/۲۱	۰/۰۹۱۱	۰/۰۹۱
رس	مینودشت	۰/۹۵	۴۳/۱۴	۳۵/۳۳	-۳۴/۹۷	۰/۹۵	۳۸/۵۶	۰/۰۲۲	۰/۲۲۸
سیلت	خاک	۰/۹۹	۱۰/۲۲	۳۸/۲۹	-۲۱/۸۹	۰/۹۹	۳۱/۸۱	۰/۰۲۰۱	۰/۲۴۶۳
رس	اوقچی	۰/۹۴	۸/۷۷	۱۵/۶۶	-۲۲/۲۳	۰/۹۴	۱۳/۸۵	۰/۱۰۹۸	۰/۱۰۹
سیلت	خاک	۰/۹۵	۲۴/۷۲	۳۳/۴۹	-۳۹/۹۳	۰/۹۵	۳۵/۵۶	۰/۰۲۲۷	۰/۱۹۶
رس	رامیان	۰/۹۸	۹/۳۵	۳۲/۳	-۸/۱۴	۰/۹۸	۲۲/۱۹	۰/۰۱۹۲	۰/۲۶۳
سیلت	خاک	۰/۹۵	۱۲/۷	۲۵/۶۴	-۳۸/۶	۰/۹۵	۲۲/۵۹	۰/۰۹۸۶	۰/۰۹۸
رس	خاک	۰/۹۵	۳۶/۱۸	۳۲/۲۴	-۳۷/۲۱	۰/۹۵	۳۲/۴۳	۰/۰۲۲۷	۰/۲۰۱
سیلت	رس	۰/۹۶	۱۲/۶	۲۷/۸۸	-۱۳/۹۹	۰/۹۶	۱۷/۳۵	۰/۰۱۹۳	۰/۲۱۴۳
رس	رامیان	۰/۹۷	۴/۸۲	۱۲/۱۹	-۱۲/۹۲	۰/۹۷	۹/۰۴	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶
سیلت	خاک	۰/۹۴	۳۴/۷۹	۲۶/۲۲	-۲۶/۶۹	۰/۹۴	۸۵/۲	۰/۰۲۳۲	۰/۲۲۳

منابع

1. Chapman, H.D. 1965. Cation Exchange Capacity. P 891-901, In: Black, C.A., (ed.), Method of soil analysis, Part 2; American Society of Agronomy, Madison, WI.
2. Cox, A.E., and Joern, B.C. 1997. Release kinetics of nonexchangeable potassium in soil using sodium tetraphenylboron. *Soil Sci.* 162: 588-596.
3. Dhillon, S.K., Sidhu, P.S., and Bansal, R.C. 1989. Release of potassium from same benchmark soils of India. *Indian. J. Soil Sci.* 40: 783-797.
4. Fanning, D.S., Keramidase, V.Z., and EI-Desoky, M.A. 1989. Mica. P 551-634, In: Dixon, J.B. and S.B. Weed, (eds.), Mineral in Soil Environment, SSSA, Madison, WI.
5. Ghosh, B.N., and Singh, R.D. 2001. Potassium release characteristics of some soils of Uttar Pradesh hills varying in altitude and their relationship with forms of soil K and clay mineralogy. *Geoderma.* 104: 135-144.
6. Goulding, K.W.T. 1984. The availability of potassium in soil to crops as measured by its release to a calcium-saturated cation exchange resin. *J. Agric. Sci. Camb.* 103: 265-275.
7. Havlin, J.L., Westfall, D.G., and Olsen, S.R. 1985. Mathematical model for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 371-376.
8. Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium Sodium potassium Rubidium and Cesium. P 551-574, In: Sparks, D.L., (ed.), Method of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI.
9. Hosseinpur, A., and Kalbasi, M. 2001. Kinetics of non-exchangeable potassium release from soil and soil fractions in some soils of central zones of Iran. P 323-324, In: Givi, J. (ed.), Proceedings of 7th Iranian soil science congress, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Persian)
10. Jalali, M. 2007. Spatial variability in potassium release among calcareous soils of western Iran. *Geoderma.* 140: 42-51.
11. Kittrick, J.A., and Hope, E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 201-205.
12. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Partt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. P 403-429, In: Page, A.L. (ed.), Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. ASA and SSSA, No 9, Madison, WI.
13. Kwong, K.F.N.G., and Ramasawmi, G. 2006. Potassium in Soils Cropped with Sugarcane in Mauritius. *Sugar Tech.* 8: 4. 239-245.
14. Lau, C.H., and Arshad, R. 1997. Extraction of potassium by sulfuric acid in selected particle size-fractions of five Malaysian soils. *Malaysia. J. Soil Sci.* 1: 21-34.
15. Lopez-Pineiro, A., and Garcia Navarro, A. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized Vertisols of southwestern Spain. *J. Soil Sci.* 162: 912-918.

16. Mahdavi, Sh. 2001. Study of release kinetics of nonexchangeable potassium and correlation with plant uptake in dominant soil series in Hamedan province. M. Sc. Thesis in Soil Science, Soil Sci. Dept., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran, 140p. (In Persian)
17. Malavolta, A.E. 1985. K status of tropical and subtropical region soils. P 163-200, In: Munson, R.D. (ed.), K in Agriculture, ASA and CSSA, Madison, WI.
18. Mc Lean, E.O., and Watson, M.E. 1985. Soil measurement of plant available potassium. P 277-398, In: Munson, R.D. (ed.), Potassium in Agriculture, ASA-CSSA, Madison, WI.
19. Mengel, K. 1985. Dynamic and availability of major nutrient in soils. *Adv. Soil Sci.* 1: 65-131.
20. Mengel, K., and Uhlenbecker, K. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by ryegrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 761-766.
21. Mengel, K., Rahmatullah, and Dou, H. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-derived soils. *Soil Sci.* 163: 10. 805-813.
22. Munn, D.A., Wilding, L.P., and Mclean, E.O. 1976. Potassium release from sand, silt and clay soil separates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 364-366.
23. Murashkina, M.A., Southard, R.J., and Petty, G.S. 2007. Silt and sand fraction dominate K fixation in soils derived from granitic alluvium of the sanjoaquin valley California. *Geoderma.* 141: 283-293.
24. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. P 539-579, In: Page, A.L. (ed.), *Methods of soil Analysis, Part 2*, 2nd ed., ASA and SSSA, Madison, WI.
25. Page, A.L.V., and Keeney, M.R.H. 1992. *Method of soil analysis. Part 1 and 2*, ASA and SSSA, Madison, WI, USA. 1159p.
26. Rahmatullah, and Mengel, K. 2000. Potassium release from mineral structures by H⁺ ion resin. *Geoderma.* 96: 291-305.
27. Simard, R.R., Dekimpe, C.R., and Zizka, J. 1989. The kinetics of non exchangeable potassium and magnesium release from Quebec soil. *Can. J. Soil Sci.* 69: 663-675.
28. Simard, R.S., Dekimpe, C., and Zizka, J. 1992. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1421-1428.
29. Song, S.K., and Huang, P.M. 1988. Dynamic of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 383-390.
30. Sparks, D.L. 1985. Kinetics of ionic reaction in clay minerals and soils. *Adv. Agron.* 38: 231-266.
31. Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* 6: 1-63.
32. Srinivasarao, C., Datta, S.P., SubbaRao, A., Sing, S.P., and Takkar, P.N. 1999. Kinetics of non-exchangeable potassium release by organic acids from mineralogically different soils. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 45: 728-734.

33. Srinivasarao, C., SubbaRao, A., and Rupa, T.R. 2000. Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 165: 7. 578-586.
34. Tu, S.X., Guo, Z.F., and Sun, J.H. 2007. Effect of oxalic acid on potassium release from typical Chinese soils and minerals. *Pedosphere*. 17: 1-10.
35. Zaernomeli, S. 2007. Distribution of the different K pools and its relation with soil profile development and clay mineralogy in some selected soils of Golestan province. M.Sc. Thesis in Soil Science. Soil Sci. Dept., Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, 113p. (In Persian)



Kinetic of non-exchangeable potassium release with CaCl₂ from soils and its components

***A. Farshadirad¹, E. Dordipour² and F. Khormali³**

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 10/13/2011; Accepted: 12/25/2012

Abstract

Kinetic studies on soil potassium release can contribute to a better understanding of K availability to plants, particularly in soils containing K bearing minerals. The objective of this research is to study the dynamic of nonexchangeable Potassium (NEK) from the whole soil, clay and silt fractions in four different soils of Golestan province through successive extraction with CaCl₂ (0.01 M) over a period of 1800h and to study its relation with soil minerals types. The rates of cumulative NEK release were evaluated using the kinetic equations. K release was fast in the earlier periods of the extraction in all soils and its fractions and it is followed with a lower rate to the end of experiment. The NEK release rates were well described through Ellovich, power function and diffusion equations upon the highest determination coefficient and the least estimation standard error. There were illite, chlorite, vermiculite, kaolinite, stratified minerals and quartz, feldspars, mica, chlorite in clay and silt fractions, respectively. Among the soil particle size fractions, clay particle showed the highest amount and rates of K release and Gharesou series with dominant smectite showed the highest K release.

Keywords: Kinetic, Potassium release, Soil components

* Corresponding Authors; Email: farshadirad@gmail.com

