Arshive of SID

بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط کلریدکلسیم در ارتباط با برخی ویژگی‌های خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد

شبنم صادقی بانیانی[۱]، حمیدرضا اولیایی[۲*]، ابراهیم ادهمی[۲]، مهدی نجفی قیری[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳)

چکیده

تکامل خاک و نوع و مقدار کانی‌های رسی، از عوامل مؤثر بر سینتیک رهاسازی پتاسیم در خاک می‌باشند. سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی، نقش مهمی در عرضه پتاسیم تبادلی برای گیاهان، به خصوص در خاک‌های محتوی کانی‌های پتاسیم‌دار از جمله میکا و فلدسپار ایفا می‌کند. در این مطالعه، سینتیک رهاسازی پتاسیم توسط عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، در ۱۴ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) مناطق مختلف اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد، جنوب غرب ایران، بررسی گردید. نتایج کانی‌شناسی نشان داد که اسمکتیت، ایلیت، کلریت و پالی‌گورسکیت کانی‌های غالب خاک‌های این استان می‌باشند. میزان رهاسازی پتاسیم در پایان آزمایش (۶۵۶ ساعت) در دامنه ۳۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک Typic Xerorthents تا ۳۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک Calcic Haploxeralfs خاک متغیر بود. این پژوهش نشان داد که میزان رهاسازی پتاسیم، همبستگی بالایی با ویژگی‌هایی چون مقدار رس، پتاسیم غیرتبادلی، ظرفیت تبادل‌کاتیونی و همچنین مقدار کانی‌های ایلیت و اسمکتیت دارد. به‌طورکلی رهاسازی پتاسیم از خاک‌ها بر اساس تیپ آن‌ها روند آلفی‌سولز (۲۲۲/۳) > اینسپتی‌سولز (۱۱۱/۳) > انتی‌سولز (۱۰۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان داد. داده‌های حاصل از مطالعات سینتیکی با مدل‌های سینتیکی مختلف برازش داده شد که معادلات تابع توان، مرتبه اول و الوویچ، رها شدن پتاسیم از خاک‌های منطقه را به نحو قابل‌قبولی توصیف نمودند. انطباق داده‌های سینتیکی با این معادلات نشان می‌دهد که رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌های منطقه، به طور عمده توسط فرآیند پخشیدگی کنترل می‌شود.

واژهای کلیدی: تکامل خاک، رهاسازی پتاسیم، سینتیک، کانی رسی، کلریدکلسیم

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۲-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج (مکاتبه‌کننده)
۳-دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
* پست الکترونیک: owliaie@yu.ac.ir

www.SID.ir

Arshive of SID

مقدمه

پتاسیم از عناصر ضروری برای رشد گیاه می‌باشد. امروزه به دلیل کشاورزی فشرده و عدم استفاده کافی از کودهای حاوی پتاسیم، بسیاری از خاک‌ها در حال تبدیل شدن به خاک‌های در معرض کمبود پتاسیم می‌باشند (Balali & Malakouti, 1998). این عنصر در خاک به چهار شکل وجود دارد که به ترتیب سهولت جذب برای گیاه شامل پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد (Najafi *et al.*, 2011).

کانی‌های رسی دارای موقعیت‌های مختلفی برای نگهداری پتاسیم هستند که شامل سطح، لبه‌ها و لایه‌های داخلی می‌باشند. قدرت رهاسازی پتاسیم از هر کدام از این موقعیت‌ها با توجه به نوع عصاره‌گیر متفاوت است. پتاسیم موجود در روی سطوح با عمل تبادل به راحتی خارج می‌شود، درحالی‌که پتاسیم موجود روی لبه‌ها و لایه‌های داخلی کانی‌ها به انرژی بیشتری جهت خارج شدن نیاز دارند (Cox *et al.*, 1999; Mengel & Rahmatullah, 1994). دو فرآیند معمول رهاسازی پتاسیم از کانی‌های رسی شامل: ۱- انحلال میکا و تشکیل محصولات هوادیدگی از آن و ۲- خروج پتاسیم بین‌لایه‌ای میکا و تبدیل آن به سایر کانی‌ها مانند اسمکتیت و ورمیکولیت می‌باشند (Sparks, 2000).

سینتیک، واژه‌ای کلی است که به واکنش‌های وابسته به زمان اشاره دارد. سینتیکِ شیمیایی طبق تعریف به مطالعه سرعت واکنش‌های شیمیایی و فرآیندهای مولکولی در محیطی که نقل و انتقال مواد و محصولات واکنش در آن محدودکننده نباشد، گفته می‌شود. در محیط خاک، واکنش‌های سینتیکی ترکیبی از سینتیک کنترل‌شده توسط انتقال[1] و سینتیک کنترل‌شده توسط واکنش[2] می‌باشد (Sparks, 2000). به‌طورکلی دو دلیل عمده جهت انجام مطالعات سینتیکی در خاک به شرح زیر است: ۱- پی‌بردن به زمانی که یک واکنش خاص در خاک به حالت تعادل یا شبه‌تعادل می‌رسد و ۲- پی بردن به سازوکار واکنش. در مطالعه سینتیک رهاسازی پتاسیم، از روش‌های مختلفی برای پایین نگه داشتن غلظت پتاسیم استفاده می‌شود. شستشوی پی‌درپی کانی یا خاک با محلول‌های الکترولیت و استفاده از رزین‌های تبادل کاتیونی از آن جمله‌اند (Scott *et al.*, 1960). در این مطالعه برای رفع این مشکل، از عصاره‌گیری متوالی استفاده شد (Martin & Sparks, 1983). منبع اصلی پتاسیم غیرقابل‌تبادل در خاک‌ها، سیلیکات‌هایی مانند فلدسپار و کانی‌های رسی ۲:۱ پتاسیم‌دار، مانند میکا و ورمیکولیت هستند (Moritsuka *et al.*, 2004; Rezaei & Movahedi Naeini, 2009).

با توجه به شرایط متفاوت خاک‌ها، از عصاره‌گیرها و روش‌های مختلفی از جمله محلول‌های نمکی رقیق، رزین‌های تبادل کاتیونی، اسیدهای آلی، سدیم تترافنیل بران، اسید نیتریک و الکترواولترافیلتراسیون برای مطالعات رهاسازی پتاسیم استفاده شده است (Najafi *et al.*, 2011). محققان زیادی برای مطالعه‌ی سینتیک رها سازی پتاسیم غیرتبادلی از عصاره‌گیر محلول رقیق کلریدکلسیم استفاده کرده‌اند (Owliaie *et al.*, 2014; Jalali, 2007; Hosseinpur & Safari Sinegani, 2007). جلالی (Jalali, 2006) و حسین‌پور و صفری سنجانی (Hosseinpur & Safari Sinegani, 2007) بیان می‌کنند که در خاک‌های آهکی، یون کلسیم معمول‌ترین کاتیون برای تبادل پتاسیم بین‌لایه‌ای می‌باشد. بنابراین عصاره‌گیری متوالی پتاسیم با کلسیم یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها می‌باشد. مدل‌های سینتیکی مختلفی برای توصیف روند رها سازی پتاسیم استفاده شده است. این مدل‌ها شامل معادلات الوویچ، پخشیدگی پارابولیک، تابع توان، مرتبه صفر و مرتبه اول می‌باشند. به‌طورکلی استفاده از معادله‌های مختلف برای بررسی سینتیک رها سازی پتاسیم و تعیین بهترین معادله بستگی به سازوکار اصلی مؤثر در رهاسازی پتاسیم، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی خاک، نوع روش آزمایشگاهی استفاده شده و تیمار یا عدم تیمار خاک قبل از شروع آزمایش دارد (Sparks, 2000).

حسین‌پور و کلباسی (Hosseinpur & Kalbasi, 2002)، با مطالعه سینتیک رهاسازی پتاسیم از خاک‌های ناحیه مرکزی ایران نتیجه‌گیری کردند که معادله مرتبه اول، پارابولیک و تابع توانی، سرعت رهاسازی پتاسیم از خاک‌های این منطقه را بهتر توصیف می‌کنند. رها 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

1- Transport control

2- Reaction control

www.SID.ir

Arshive of SID

پتاسیم تبادلی اندازه‌گیری می‌شود (Song & Huang, 1998).

عبدی و همکاران (Abdi *et al*., 2014) در مطالعه سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی تعدادی از خاک‌های استان فارس اظهار نمودند که روند رهاسازی به طور رضایت بخشی با مدل‌های توانی، مرتبه اول، الوویچ و پخشیدگی توصیف می‌گردد. جلالی (Jalali, 2007)، با مطالعه رهاسازی پتاسیم با استفاده از عصاره‌گیر کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار بر روی ۴۰ نمونه خاک سطحی استان همدان، مقدار شیب و عرض از مبدأ معادله پارابولیک را برای کاربرد و فراهمی مقدار پتاسیم کافی برای گیاه مورد استفاده قرار داد. مهدوی (Mahdavi, 1991)، در مطالعات خود در استان همدان، پایین بودن میزان پتاسیم رها شده توسط کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار را به نوع کانی غالب آن، که ایلیت دی‌اکتاهدرال بود، نسبت داد و از طرفی بالا بودن میزان پتاسیم رها شده را به بالا بودن میزان کانی‌های انبساط‌پذیر در خاک که امکان تبادل بیشتر یون کلسیم را با پتاسیم فراهم می‌کنند، مربوط دانست.

اطلاع از سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و معادلات آن برای محققان تغذیه گیاه این امکان را فراهم می‌آورد که با آگاهی بیشتر نسبت به نوع، میزان و دفعات کوددهی اقدام نمایند. با توجه به اهمیت عنصر پتاسیم در کشاورزی و موارد ذکرشده، و پژوهش‌های اندکی که در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد با توجه به تنوع آنها صورت گرفته است، مطالعه حاضر به منظور آگاهی از موارد یاد شده انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

۴۰ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) از خاک های مناطق مختلف اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. بر اساس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله بافت، میزان کربنات‌کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی، ۱۴ نمونه خاک که به لحاظ این ویژگی‌ها دارای پراکندگی نسبتاً زیادی بودند (شامل ۴ خاک انتی‌سول، ۴ خاک اینسپتی‌سول و ۶ خاک آلفی‌سول) برای انجام آزمایش‌های سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی انتخاب شدند. نمونه‌برداری از مناطقی صورت گرفت که اطلاعات کانی‌شناسی آنها بر اساس مطالعات قبلی (Owliaie, 2005) موجود بود. نمونه‌ها پس از خشک شدن، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1951)، پ‌هاش در گل اشباع و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شدند. کربن آلی به روش سوزاندن تر (Jackson, 1975)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم ۱ نرمال (Chapman, 1965) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (Richards, 1954) اندازه‌گیری شدند. شکل‌های مختلف پتاسیم خاک شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل به ترتیب در عصاره‌ی اشباع، عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال (۵ گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر عصاره‌گیر، ۱۰ دقیقه تکان دادن و سه بار تکرار)، عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان (۲/۵ گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر عصاره‌گیر و ۱۰ دقیقه جوشاندن) و هضم با اسید فلور یدر یک و تیزاب سلطانی (۰/۵گرم خاک و یک میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک و ۱۰ میلی‌لیتر اسید فلوریدریک و دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت) اندازه‌گیری و پتاسیم استخراج شده توسط دستگاه شعله سنجی Jenway مدل PFP7 تعیین گردیدند (Pratt, 1965).

رها سازی پتا سیم غیرتبادلی: برای مطالعه‌های سینتیک رها سازی پتا سیم، از روش معمول که توسط پژوهشگران زیادی بیان شده است (Martin & Sparks, 1983; Srinivasarao *et al*., 2006; Jalali 2005 & 2006; Najafi Ghiri *et al*., 2011) استفاده گردید. ابتدا پتاسیم تبادلی و محلول خاک‌ها با محلول ۱ نرمال کلریدکلسیم خارج گردید. پس از هوا خشک شدن نمونه‌ها، ۳ گرم از نمونه را در لوله سانتریفوژ ریخته و ۳۰ میلی‌لیتر از محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به آن اضافه گردید و به مدت ۲ ساعت تکان داده شد. سپس نمونه سانتریفوژ شده و محلول زلال رویی صاف و جهت اندازه‌گیری غلظت پتاسیم نگهداری گردید. مجدداً محلول تازه کلریدکلسیم به نمونه خاک اضافه گردید و تکان دادن با شیکر رفت و برگشتی با سرعت ۲۰۰ مرتبه در دقیقه، سانتریفوژ و اندازه‌گیری غلظت پتاسیم صورت گرفت. زمان‌های تکان دادن به‌صورت تجمعی شامل ۲، ۴، ۷، ۱۱، ۱۶، ۳۰، ۵۴، ۷۸، ۱۰۲، ۱۵۰، ۲۴۶، ۳۴۲، ۴۸۸ و ۶۵۶ ساعت بود. پتاسیم رها شده نسبت به زمان با معادلات مختلف سینتیکی برازش داده شد و ضریب تبیین (R^2) با رگرسیون حداقل مربعات و

www.SID.ir

Arshive of SID

خطای استاندارد برای ارزیابی معادلات مختلف استفاده گردید (Jalali, 2007). این معادلات عبارتند از معادله الوویچ ($Y = a + b \ln t$)، پخشیدگی پارابولیک ($Y = a + b\,t^{1/2}$)، تابع توان ($\ln Y = \ln a + b \ln t$)، مرتبه صفر [$(Y_0 - Y) = a - b\,t$] و مرتبه اول [$\ln (Y_0 - Y) = a - b$]؛ که در آن Y مقدار پتاسیم تجمعی رها شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، در زمان t (ساعت)، Y_0 حداکثر پتاسیم تجمعی رها شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و a و b، ثابت‌های معادله‌ها می‌باشند. یکی از مهم‌ترین بخش‌های این معادله ثابت b است که نشان‌دهنده آهنگ رها سازی پتاسیم تبادلی می‌باشد. این مدل‌های آماری با آنالیز رگرسیون حداقل مربعات آزموده شدند تا بهترین معادله‌ای که رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک را توصیف کند، مشخص شود. ضریب تبیین R^2 با رگرسیون حداقل مربعات مقادیر اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده به دست آمد. خطای استاندارد برآورد با معادله زیر تعیین شد.

$$SE = \{(q-q^*)^2/(n-2)\}^{1/2} \qquad (1)$$

در این معادله q^* , q به ترتیب نشان‌دهنده مقدار پتاسیم غیرتبادلی پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌های ارزیابی شده می‌باشد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های موردمطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. این خاک‌ها در راسته‌های انتی‌سولز، اینسپتی‌سولز و آلفی‌سولز رده‌بندی شده‌اند (Owliaie, 2005). خاک‌ها به طور عمده آهکی بوده و میانگین کربنات‌کلسیم معادل و پ‌هاش آنها به ترتیب ۴۱ درصد و ۷/۶۲ می‌باشد. میانگین مقدار رس، سیلت و شن به ترتیب ۳۲ ، ۳۵ و ۳۳ درصد بوده و گروه بافتی در دامنه لومی رسی تا لومی رسی شنی متغیر بوده است. میانگین قابلیت هدایت الکتریکی ۱/۶۷ دسی زیمنس بر متر بود. میانگین کربن آلی ۱/۵۱ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی در دامنه‌ی ۱۰/۸ تا ۴۶/۲ سانتی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. پتاسیم محلول، تبادلی، قابل‌استخراج با اسیدنیتریک جوشان، ساختمانی و کل به ترتیب در دامنه ۱/۳ تا ۸/۴، ۲۷۳/۳ تا ۴۲۵/۹، ۶۱۶/۲ تا ۱۸۳۹/۳، ۱۳۳۷/۶ تا ۴۶۲۰ و ۲۰۰۰ تا ۶۴۵۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). مقادیر کمینه و بیشینه پتاسیم تبادلی در خاک‌های ۱۲ و ۶ به ترتیب به میزان ۲۷۳/۳ و ۴۲۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک جوشان نیز در دامنه ۶۱۶ (خاک ۱۳ در راسته انتی‌سول با رس غالب پالی‌گورسکیت) تا ۱۸۳۹ (خاک ۶ در راسته آلفی‌سول با رس غالب ایلیت و اسمکتیت) میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. سهم نسبی پتاسیم تبادلی به پتاسیم کل در خاک‌های مطالعه شده در دامنه ۶/۷ (خاک ۱۲) تا ۱۵ درصد (خاک ۱۰) می‌باشد (جداول ۲ و ۳). میزان پتاسیم تبادلی در خاک‌های تکامل‌یافته‌تر آلفی سول بیشتر از سایر خاک‌های با تکامل کمتر (انتی‌سول و اینسپتی‌سول) بود (۳۷۶ در برابر ۳۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم). این روند در مورد پتاسیم کل نیز صادق بوده است (۳۹۸۸ در برابر ۲۹۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم). با توجه به نتایج جدول شماره ۳، کانی‌های رسی موجود در خاک‌های موردمطالعه به ترتیب فراوانی نسبی شامل کانی‌های کلریت، اسمکتیت، ایلیت و پالی‌گورسکیت (فقط در ۴ نمونه خاک مناطق خشک‌تر استان) و در مقادیر کم کائولینیت و کوارتز بوده‌است. مطالعات کانی‌شناسی رس صورت‌گرفته در خاک‌های استان نشان داد که کانی‌های میکا و کلریت به طور عمده دارای منشأ توارثی بوده در حالیکه دو کانی اسمکتیت و پالی‌گورسکیت دارای هر دو منشأ پدوژنیک و توارثی بوده‌اند (owliaie, 2005).

روند رهاسازی پتاسیم: مقدار پتاسیم تجمعی رها شده توسط کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار از خاک‌ها طی ۶۵۶ ساعت عصاره‌گیری از ۳۸/۱ (خاک ۱۳) تا ۳۲۰/۲ (خاک ۶) و به طور میانگین ۱۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۲ و شکل ۱). فراهمی پتاسیم غیرتبادلی، بستگی به سرعتی دارد که این نوع پتاسیم می‌تواند به شکل‌های قابل‌جذب تبدیل شود. روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی با زمان نشان داد که تقریباً در تمامی خاک‌ها سرعت رهاسازی تا ۲۴۲ ساعت پس از شروع آزمایش زیاد بود و پس از این مرحله رهاسازی با سرعت کم‌تری ادامه یافت. مشابه این روند توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Hatami *et al.*, 2013; Owliaie *et al.*, 2014; jalali, 2006).

www.SID.ir

Arshive of SID

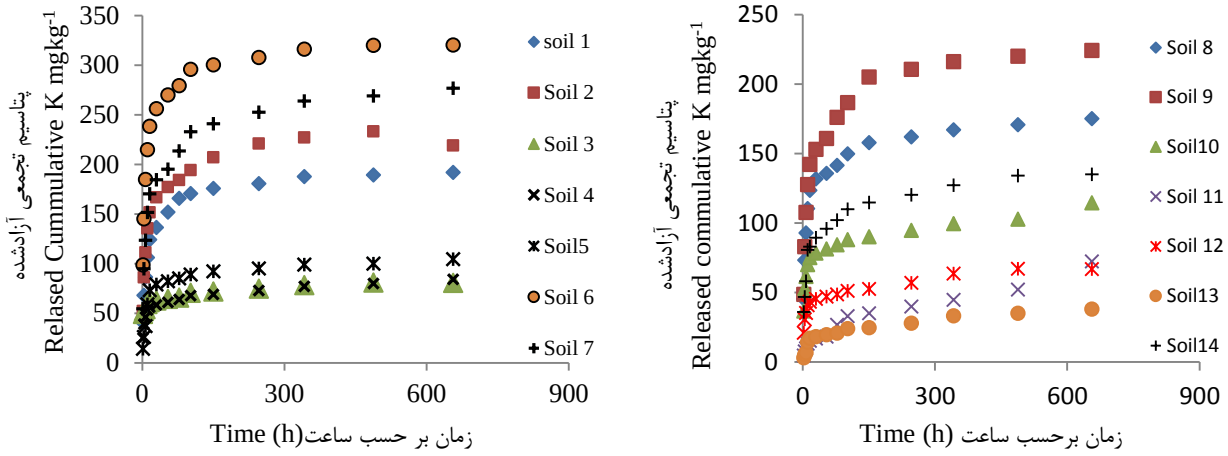
جدول ۱- مشخصات عمومی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های موردمطالعه

Table 1. General characteristics and physic-chemical properties of studied soils

ردهبندی خاک Classification (Taxonomy, 2014)	هدایت الکتریکی خاک EC dS m^{-1}	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC $cmol_+ kg^{-1}$	کربنات کلسیم معادل CCE (٪)	کربن آلی OC (٪)	پ هاش pH	رس Clay (٪)	سیلت Silt (٪)	شن Sand (٪)	طول جغرافیایی Longitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude (m)	شماره خاک Soil no.
Typic Calcixerepts	1.08	20.8	38.2	2.96	7.71	32.6	33.4	34.0	551226	3398740	1
Typic Xerorthents	0.84	27.3	16.6	0.98	7.8	30.6	31	37.4	550313	3398666	2
Typic Xerorthents	1.02	28.3	33.5	2.17	7.62	28.6	30	41.4	546745	3401557	3
Lithic Haplaquents	2.58	19.0	65.7	2.46	7.35	26.6	44	29.4	541144	3406144	4
Calcic Haploxeralfs	2.7	26.3	49.8	0.59	7.46	36.6	18	45.4	540352	3406263	5
Calcic Haploxeralfs	1.08	41.4	41.0	0.39	7.65	43.6	30	26.4	549172	3380597	6
Calcic Haploxeralfs	1.02	46.2	5.9	1.58	7.69	42.6	27	30.4	554320	3385293	7
Calcic Haploxeralfs	1.08	34.6	45.9	2.17	7.64	34.6	32	33.4	556623	3387913	8
Typic Haploxeralfs	1.44	35.7	17.2	0.75	7.60	32.0	38.6	29.4	556396	3391272	9
Typic Calciustepts	2.04	15.8	79.3	2.56	7.74	18.6	50	31.4	481821	3357678	10
Typic Calciustepts	3.66	37.43	42.8	0.39	7.57	36.6	27.4	36	493396	3353820	11
Gypsic Calciustepts	2.82	10.8	35.1	1.67	7.46	12.6	50	37.4	470634	3363762	12
Typic Xerorthents	1.14	27.3	36.7	1.08	7.63	37.2	24	38.8	573821	3366691	13
Typic Haploxeralfs	0.9	43.8	6.65	1.38	7.87	36.6	36	4.27	576607	3389878	14
-	1.37	38.00	27.7	1.14	7.65	41.0	30.8	28.2	-	-	Alfisols Mean
-	2.4	21.20	48.8	1.89	7.62	25.1	40.2	34.7	-	-	Inceptisols Mean
-	1.39	25.47	38.12	1.67	7.6	30.7	32.2	37.1	-	-	Entisols Mean
-	1.67	29.1	41.0	1.51	7.62	32	35	33	-	-	Mean

www.SID.ir

Arshive of SID



شکل ۱- مقدار پتاسیم غیرتبادلی رها شده خاک‌های مورد مطالعه به روش عصاره‌گیری متوالی با کلریدکلسیم

Figure1. The amount of released non-exchangeable K in the studied soils using $CaCl_2$ continuous extracting

جدول ۲- شکل‌های مختلف پتاسیم و درصد نسبی آنها در خاکهای موردمطالعه و میزان رهاسازی پتاسیم تجمعی با استفاده از کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار

Table 2. Potassium forms and their relative amounts in studied soils and the cumulative K release using 0.01M $CaCl_2$

شکل‌های مختلف پتاسیم Potassium forms (%)					شکل‌های مختلف پتاسیم Potassium forms (mg kg^{-1})					
پتاسیم تجمعی رهاشده Cumul. K (mg kg^{-1})	ساختمانی Structural	غیرتبادلی Non-exch.	تبادلی Exch.	محلول Solution	کل Total	ساختمانی Structural	اسید نیتریک HNO_3	استات آمونیم Ammonium acetate	محلول Solution	شماره خاک Soil no.
191.7	70.4	18.4	11.1	0.06	2721	1917	804.7	303.5	1.7	1
218.9	71.2	18.0	10.8	0.04	3323	2356	957.9	359.9	1.3	2
80.4	65.6	22.8	11.6	0.06	2770	1817	952.8	322.0	1.6	3
84.2	63.2	27.1	9.6	0.17	2934	1855	1079.1	285.3	1.5	4
204.4	73.8	14.1	12.0	0.18	3066	2261	804.7	372.8	4.5	5
320.2	71.5	20.9	7.6	0.03	6459	4620	1839.3	425.9	1.7	6
276.8	74.1	18.8	7.1	0.03	5118	3792	1326.1	366.3	1.6	7
175.3	69.6	17.0	13.4	0.07	2486	1729	756.7	334.5	1.7	8
224.2	64.1	24.7	11.1	0.09	2818	1806	1012.3	315.8	2.4	9
114.7	66.9	18.0	15.0	0.19	2000	1337	662.4	313.5	3.7	10
72.5	69.0	15.9	14.7	0.38	2171	1499	672.4	328.5	8.4	11
66.8	75.4	17.7	6.7	0.15	3977	2999	978.1	273.3	5.8	12
38.1	82.6	8.9	8.5	0.50	3535	2919	616.2	303.5	1.8	13
135.2	65.8	24.5	9.7	0.30	2398	2621	631.7	385.9	1.4	14
222.3	69.82	20.0	10.1	0.12	3325	2805	1062	366.8	2.22	Alfisols Mean
111.3	70.43	17.5	11.8	0.20	2717	1938	779.4	304.7	4.90	Inceptisols Mean
105.1	70.65	19.2	10.1	0.19	3140	2237	901.5	317.6	1.55	Entisols Mean
131.0	70.2	19.1	10.6	0.11	3383.3	2395	987.4	334.3	3.1	Mean

www.SID.ir

Arshive of SID

جدول ۳- مقادیر نسبی کانی‌های رسی موجود در خاک‌های موردمطالعه

Table 3. Relative amounts of clay minerals in studied soils

Soil no.	Relative sequence of clay minerals ترتیب نسبی کانی‌های رسی
1	Kaolinite<Quartz<Illite<<Smectite<Chlorite
2	Quartz<<Illite<Smectite<<Chlorite
3	Quartz<<Illite=Illite< Smectite
4	Quartz<<Illite<Smectite<<Chlorite
5	Kaolinite=Quartz<< Smectite<Chlorite<<Illite
6	Kaolinite<<Chlorite<= Smectite<Illite
7	Quartz<<Chlorite<Illite< Smectite
8	Kaolinite<<Illite<< Smectite<Chlorite
9	Quartz<<Illite< chlorite<= Smectite
10	Quartz<<Illite<=Chlorite<Smectite<< Palygorskite
11	Quartz<Smectite<Illite<=Chlorite<< Palygorskite
12	Quartz <Illite<Smectite=Chlorite<<Palygorskite
13	Quartz<<Smectite<Illite<Chlorite< Palygorskite
14	Kaolinite<<Illite<Chlorite<<Smectite

به‌طورکلی رهاسازی سریع اولیه را می‌توان به رها شدن پتاسیم از مناطق لبه‌ای و گوه‌ای شکل کانی‌های پتاسیم‌دار نسبت داد. با پیش‌روی رهاسازی، لبه‌های کانی از هم جدا شده و پتاسیم‌های بین لایه‌ای موجود در ساختمان کانی رها می‌شوند. به علت افزایش فاصله پتاسیم‌های درونی از لبه‌ها و قدرت جذب پتاسیم، رهاسازی با سرعت و پخشیدگی کم‌تری صورت می‌گیرد (Goulding, 1984). حاتمی و همکاران (Hatami *et al.*, 2013) در مطالعه سینتیک رهاسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاته پتاسیم‌دار نتیجه گرفتند که کانی‌های بیوتیت، فلوگوپیت، فلدسپار و موسکویت به ترتیب بیشترین رهاسازی پتاسیم را با کلریدباریم ۰/۰۵ مولار داشته و کاهش اندازه ذرات، منجر به افزایش رهاسازی پتاسیم شده است. مقادیر پتاسیم تجمعی رها شده توسط کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار، در راسته‌های آلفی‌سول (۶ خاک)، اینسپتی‌سول (۴ خاک) و انتی‌سول (۴ خاک) به ترتیب ۲۲۲/۳، ۱۱۱/۳ و ۱۰۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که بیانگر ارتباط مستقیم میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی با میزان تکامل و تیپ خاک می‌باشد (جدول ۲).

صدری و همکاران (Sadri *et al.*, 2016) و نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2011) نتایج مشابهی را در خاک‌های استان فارس گزارش نمودند. ضریب همبستگی (R^2) و خطای معیار (SE) برآورد مدل‌های سینتیکی استفاده شده جهت توصیف سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در جدول ۴ نشان داده شده است. مقادیر R^2 در معادله مرتبه صفر از ۰/۷۸-۰/۵۲ (میانگین ۰/۶۶)، در معادله مرتبه اول از ۰/۹۶-۰/۷۴ (میانگین ۰/۸۸)، در معادله الوویچ از ۰/۹۸-۰/۹۴ (میانگین ۰/۹۵)، در معادله تابع توان از ۰/۹۸-۰/۸۳ (میانگین ۰/۸۹) و در معادله پخشیدگی پارابولیک از ۰/۹۷-۰/۷۲ (میانگین ۰/۸۳) متغیر بودند. گرچه ضریب همبستگی معادله الوویچ بیشتر از معادلات تابع توان و مرتبه اول است (۰/۹۵ در برابر ۰/۸۹ و ۰/۸۸)، اما به دلیل تفاوت نسبتاً زیاد بین خطای معیار این معادلات (به ترتیب، ۶/۳۴، ۰/۱۶ و ۰/۲۴)، معادلات تابع توان، مرتبه اول و الوویچ به ترتیب رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی را به نحو قابل‌قبول‌تری در خاک‌های موردمطالعه توصیف کردند (جدول ۴). این نتایج کاملاً با نتایج به دست آمده توسط حسین‌پور و کلباسی (Hosseinpur & Kalbasi, 2002) در خاک‌های ایران مرکزی همخوانی دارد. در نتیجه به نظر می‌رسد که رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌های منطقه نیز به طور عمده توسط فرآیند پخشیدگی کنترل می‌شود. بر اساس نظر هاولین و همکاران (Havlin *et al.*, 1985)، در صورتی

www.SID.ir

Arshive of SID

که معادلات تابع توان، الوویچ و انتشار پارابولیک به دلیل بالا بودن ضرایب تبیین و پایین بودن خطای معیار برآورد، بتوانند رها شدن پتاسیم را در خاک‌ها توصیف نمایند، رها شدن پتاسیم یک فرایند انتشار است. به بیانی دیگر، انتشار پتاسیم به خارج توده کانی یا نواحی هوادیده، کنترل‌کننده سرعت رهاسازی پتاسیم در این خاک‌ها می‌باشد. نتایج مشابه توسط سایر محققان گزارش شده است (Cox & Joern, 1997; Najafi *et al*., 2011., Owliaie *et al*., 2014). هاولین و همکاران (Havlin *et al*., 1985)، در مطالعه‌ای که در مورد سرعت رهاسازی تجمعی پتاسیم توسط رزین کلسیمی در خاک‌های آهکی کارولینای شمالی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که معادلات الوویچ، توانی و پخشیدگی پارابولیکی به خوبی می‌توانند رهاسازی پتاسیم را توجیه کنند. نتایج پژوهش‌های مرتبط با سرعت رهاسازی تجمعی پتاسیم غیرتبادلی در برخی از خاک‌های همدان نشان داد که معادلات تابع توان، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیک و الوویچ به بهترین نحو رهاسازی پتاسیم را توجیه می‌نمایند (Jalali & Kolahchi, 2006).

ثابت‌های سرعت معادلات در خاک‌ها متفاوت بود. این تغییرات به اختلاف در ویژگی‌هایی چون توزیع اندازه ذرات، میزان کربنات‌کلسیم، نوع و مقدار کانی‌های رسی نسبت داده شدند. مقادیر b که شاخصی از آهنگ رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی می‌باشد، در معادلاتی که همبستگی بیشتری با سینتیک رهاسازی پتاسیم نشان می‌دهند، حائز اهمیت هستند. شیب معادله الوویچ (پارامتر b) بیانگر سرعت رهاسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای و عرض از مبدا آن بیان‌کننده سرعت اولیه و فوری رهاسازی پتاسیم می‌باشد (Abdi *et al*., 2014).

جدول ۴- ضریب تبیین و خطای استاندارد مدل‌های استفاده شده جهت بررسی سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی

Table 4. Coefficient of determination and standard error of studied models for evaluating kinetics of release of non-exchangeable K

شماره خاک	مرتبه صفر		تابع توان		پارابولیک		مرتبه اول		الوویچ	
Soil no.	Zero order		Power function		Parabolic		First order		Ellovich	
	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2
1	29.09	0.56	0.18	0.84	22.04	0.75	0.32	0.74	10.02	0.95
2	37.8	0.55	0.17	0.85	28.34	0.75	0.35	0.84	11.54	0.96
3	5.29	0.78	0.15	0.94	2.97	0.93	0.15	0.96	1.83	0.97
4	10.46	0.63	0.12	0.88	7.59	0.8	0.23	0.91	3.3	0.96
5	11.49	0.78	0.17	0.89	7.72	0.9	0.18	0.83	5.83	0.94
6	12.16	0.7	0.21	0.93	7.47	0.89	0.23	0.92	2.98	0.98
7	47.19	0.57	0.18	0.87	33.91	0.78	0.3	0.92	11.23	0.98
8	27.91	0.52	0.16	0.83	21.33	0.72	0.32	0.90	9.52	0.94
9	35.48	0.56	0.17	0.85	26.05	0.77	0.33	0.85	9.84	0.97
10	12.67	0.65	0.1	0.89	9.24	0.82	0.23	0.83	4.47	0.96
11	5.73	0.92	0.11	0.98	3.41	0.97	0.09	0.95	7.54	0.86
12	7.24	0.76	0.12	0.9	4.85	0.89	0.16	0.94	3.07	0.96
13	5.69	0.75	0.27	0.89	3.57	0.9	0.17	0.95	2.04	0.97
14	22.01	0.57	0.18	0.86	15.99	0.77	0.32	0.85	5.58	0.97
Mean	19.3	0.66	0.16	0.89	13.89	0.83	0.24	0.88	6.34	0.95

تفاوت بین مقادیر b نشان می‌دهد که قدرت خاک‌ها در تأمین پتاسیم برای گیاه متفاوت است. مقادیر ضریب b معادله الوویچ در دامنه ۵/۸ (خاک ۱۳) تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1/2}$ ۳۶/۸ (خاک ۶) و ضریب a نیز در دامنه ۲/۰۵ (خاک ۱۳) تا $mg\ kg^{-1}$ ۵۲/۲ (خاک ۶) بود. بنابراین هم آهنگ رهاسازی پتاسیم و هم مقدار اولیه پتاسیم رها شده، در خاکهای مشابه

www.SID.ir

Arshive of SID

دارای مقادیر حداقلی و حداکثری بودند که بیانگر ارتباط نزدیک این دو مشخصه در خاک‌های موردمطالعه می‌باشد (جدول ۵). نتایج جدول‌های ۱ تا ۳ نیز بیانگر این است که در خاک ۶ مقدار رس، حداکثر (۴۳/۶ درصد)، ظرفیت تبادل کاتیونی نزدیک به حداکثر (۴۱/۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم)، پتاسیم غیرتبادلی، حداکثر (۱۸۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و رس غالب آن ایلیت و اسمکتیت می‌باشند. این خاک در راسته آلفی‌سول طبقه‌بندی شده است. خاک ۱۳ نیز بر اساس نتایج ارائه شده خاکی با تکامل حداقلی (انتی‌سولز)، بافت سبک تا متوسط و پتاسیم‌های تبادلی و غیرتبادلی آن در مقادیر حداقلی در بین خاک‌های موردمطالعه بود. کانی غالب این خاک پالی‌گورسکیت بود که نقش چندانی در تثبیت پتاسیم ندارد (جدول‌های ۱، ۲ و ۳).

سرانو و همکاران (Serrano *et al*., 2005) همچنین بیان نمودند که در مدل تابع توان، پارامتر ab که حاصلضرب دو ثابت این مدل می‌باشد، به عنوان سرعت ویژه در واحد زمان[3] در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند شاخصی از سرعت در این معادله باشد. بر این اساس، مقدار حداکثر این پارامتر طبق معادله تابع توان در خاک ۶ (مقدار ۱/۹۳) و مقدار حداقل در خاک ۱۳ (مقدار ۰/۲۴) می‌باشد که مشابه نتایج به دست آمده ضرایب a و b به تفکیک می‌باشد. نوع کانی رسی در میزان و سرعت رها سازی پتاسیم در خاک اهمیت زیادی دارد. کوونگ و راماساومی (Kwong & Ramasawmi, 2006)، نتیجه گرفتند به دلیل باندهای ضعیف‌تر پتاسیم درون‌لایه‌ای کانی‌های میکایی به خصوص بیوتیت، در خاک‌های لسی، نسبت به خاک‌های آلوویال و بازالتی، کانی‌های این بخش، جزء اصلی رهاکننده پتاسیم در این خاک‌ها هستند.

جدول ۵- شیب (b) و عرض از مبدا (a) مدل‌های استفاده شده جهت بررسی سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی

Table 5. Slope (b) and Intercept (a) of models used for evaluating kinetics of release of non-exchangeable K

الوویچ Elovich		مرتبه اول First order		پارابولیک Parabulic		تابع توان Power function		مرتبه صفر Zero order		شماره خاک Soil no.
b $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$	a $mg\ kg^{-1}$	b $(mg\ kg^{-1})^{-1}$	a $mg\ kg^{-1}\ h$	b $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$	a $mg\ kg^{-1}$	b $mg\ kg^{-1}\ h^{-1/2}$	a $mg\ kg^{-1}$	b $(mg\ kg^{-1})^{-1}$	a $mg\ kg^{-1}\ h$	
22.28	43.71	-0.0034	4.42	4.67	84.18	0.21	3.99	-0.15	85.25	1
28.63	45.29	-0.0051	4.54	5.95	107.72	0.21	4.23	-0.2	94.14	2
5.82	5.48	-0.0043	3.31	1.34	8.87	0.32	1.7	-0.05	25.53	3
8.71	26.87	-0.0046	3.55	1.87	42.21	0.16	3.43	-0.06	33.22	4
12.33	9.06	-0.0025	4.14	2.84	28.91	0.26	2.94	-0.1	63.02	5
78.36	52.23	-0.0048	3.87	2.57	13.98	0.39	4.96	-0.09	45.3	6
49.11	51.05	-0.0064	4.87	7.73	117.61	0.23	4.27	-0.25	121.73	7
20.24	51.88	-0.0061	4.23	4.15	89.46	0.19	4.09	-0.13	65.53	8
27.46	50.97	-0.0049	4.58	5.75	100.81	0.21	4.17	-0.19	95.65	9
10.96	38.04	-0.0032	3.85	2.38	57.07	0.15	3.76	-0.08	46.66	10
9.8	10.37	-0.0024	4.09	2.45	3.48	0.42	1.43	-0.09	58.88	11
7.44	13.95	-0.004	3.57	1.69	26.14	0.2	2.93	-0.06	33.14	12
5.81	2.05	-0.0047	3.29	1.32	7.47	0.18	1.32	-0.05	24.67	13
17.28	25.46	-0.0047	4.13	3.63	56.7	0.23	3.55	-0.12	61.02	14
34.13	40.11	-0.0049	4.30	4.45	67.91	0.25	4.00	-0.15	75.38	Alfisols Mean
12.62	26.52	-0.0033	3.98	2.80	42.72	0.25	3.03	-0.10	55.98	Inceptisols Mean
12.24	19.92	-0.0047	3.67	2.62	41.57	0.22	2.67	-0.09	44.39	Entisols Mean
16.07	24.87	0	4.03	3.45	53.19	0.26	3.13	-0.12	60.98	Mean

3 -special rate at unit time

www.SID.ir

Arshive of SID

فرشادی‌راد و همکاران (Farshadirad *et al.*, 2003)، بر اساس نتایج کانی‌شناسی، رهاسازی بیش‌تر در برخی خاک-ها را به درصد بالای رس و حضور غالب کانی انبساط‌پذیر اسمکتیت در آنها که امکان تبادل بیش‌تر یون کلسیم را با پتاسیم فراهم می‌کند، نسبت دادند. رهاسازی پایین در بخش رس می‌تواند به دلیل نوع کانی‌های موجود در این بخش باشد. در کانی‌های کائولینیت و اسمکتیت‌ها سرعت تبادل یون سریع است. در رس‌های کائولینیت، لایه‌های رس به وسیله پیوندهای محکم هیدروژنی به یکدیگر متصل شده‌اند. بنابراین فقط سطوح خارجی برای تبادل در دسترس می‌باشند. در رس‌های اسمکتیت به علت 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. صدری و همکاران (Sadri *et al.*, 2016) در مطالعه خود در خاک‌های استان فارس بیان نمودند که بیشترین مقدار تمام شکل‌های پتاسیم به جز پتاسیم محلول در خاک‌های تکامل‌یافته‌تر آلفی‌سول با کانی غالب اسمکتیت و ایلیت مشاهده شد. همچنین نامبردگان رابطه معنی‌داری بین تمام شکل‌های پتاسیم به جز محلول با مقدار کانی ایلیت گزارش نمودند. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که اکثر ضرایب a و b معادلات سینتیکی ۵ گانه با یکدیگر همبستگی معنی‌داری دارند (به جز ضریب b معادله مرتبه اول). همچنین میزان رس خاک با ضریب b معادلات الوویچ، پارابولیک و تابع توان همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داده است که بیانگر نقش بیشتر بخش رس خاک در رهاسازی پتاسیم از این خاک‌ها بوده است. مقدار شن فقط با ضریب b معادله تابع توان همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. کربنات‌کلسیم معادل خاک با تمامی ضرایب معادلات رابطه منفی و با ضریب b معادلات الوویچ، مرتبه اول، پارابولیک و مرتبه صفر، همبستگی معنی‌دار بوده است. همبستگی معنی‌داری بین ظرفیت تبادل کاتیونی، هدایت الکتریکی و شکل‌های پتاسیم با ضرائب معادلات بدست نیامد (جدول ۶). ضرابی و همکاران (Zarrabi *et al.*, 2006) در مطالعه سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و قابلیت جذب آن با استفاده از اسید مالیک در خاک‌های همدان بین ویژگی‌های خاکی از جمله مقادیر رس، سیلت، سیلت+رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم و استات سدیم با ثابت‌های رهاسازی معادلات مورداستفاده همبستگی معنی‌داری مشاهده نکردند.

نجفی قیری (Najafi Ghiri, 2010) نیز در مطالعه جامعی، سینتیک رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی را در خاک‌های استان فارس بررسی نمود. نامبرده برای خاک کامل، معادلات ایلوویچ و مرتبه اول و برای اجزای شن، سیلت و رس، معادلات پارابولیک و تابع توان را پیشنهاد نمود. بین ضریب b پارابولیک اجزای سه‌گانه خاک و ویژگی‌های خاک ارتباطی معنی‌داری توسط وی گزارش نگردید.

www.SID.ir

Arshive of SID

جدول ۶- همبستگی بین ضرایب سرعت a و b با خصوصیات خاک

Table 6- Correlation between (a) and (b) coefficients with soil properties

(b) Elovich	(a) Elovich	(b) first order	(a) first order	(b) parabulic	(a) parabulic	(b) power function	(a) power function	(b) zero order	(a) zero order	EC	CEC	CCE	Clay	Silt	Sand	
1	0.805**	-0.388	0.933**	0.999**	0.929**	-0.371	0.767**	-0.994**	0.969**	-0.468	0.464	-0.607*	0.355	-0.207	-0.145	(b) Elovich
	1	-0.359	0.700**	0.780**	0.967**	-0.798**	0.961**	-0.751**	0.716**	-0.422	0.006	-0.231	-0.111	-0.188	0.281	(a) Elovich
		1	-0.197	-0.367	-0.397	0.172	-0.284	0.337	-0.244	0.686**	-0.442	0.499	-0.281	0.303	0.003	(b) first order
			1	0.945**	0.830**	-0.294	0.715**	-0.947**	0.980**	-0.238	0.476	-0.493	0.389	-0.199	-0.197	(a) first order
				1	0.912**	-0.34	0.745**	-0.998**	0.979**	-0.436	0.479	-0.609*	0.373	-0.193	-0.169	(b) parabulic
					1	-0.655**	0.925**	-0.891**	0.857**	-0.476	0.205	-0.41	0.086	-0.211	0.112	(a) parabulic
						1	-0.865**	0.301	-0.287	0.101	0.418	-0.127	0.541*	0.171	-0.614*	(b) power function
							1	-0.715**	0.703**	-0.309	-0.017	-0.195	-0.144	-0.277	0.336	(a) power function
								1	-0.982**	0.421	-0.491	0.627*	-0.385	0.174	0.196	(b) zero order
									1	-0.302	0.462	-0.557*	0.387	-0.135	-0.223	(a) zero order
										1	-0.357	0.502	-0.365	0.269	0.174	EC
											1	-0.616*	-0.85**	-395	-0.54**	CEC
												1	-0.417	0.124	307	CCE
													1	-0.176	-0.817*	Clay
														1	-0.434	Silt
															1	Sand

* درسطح ۵ درصد و ** در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.

* Significant at 5% and ** 1% probability level

www.SID.ir

Arshive of SID

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، خاک‌های مختلف رفتارهای متفاوتی را در ارتباط با رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط عصاره‌گیر کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار نشان دادند. نتایج نشان دادند که سرعت رهاسازی تا ۲۴۲ ساعت پس از شروع آزمایش زیاد بود و پس از این مرحله، رهاسازی با سرعت کم‌تری ادامه یافت. همچنین پس از ۶۵۶ ساعت، در خاک‌های با بافت سنگین‌تر، با مقادیر بیشتر رس‌های ایلیت و اسمکتیت و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر، هنوز بخش قابل‌توجهی از پتاسیم غیرتبادلی رها نشده باقی مانده است که این ذخیره پتاسیم غیرتبادلی می‌تواند در اثر هوادیدگی به تدریج رها و در اختیار گیاه قرار گیرد. این نتیجه‌گیری می‌تواند در مدیریت کاربرد کودهای پتاسیم مورد استفاده قرار گیرد و مقدار کود پتاسیمی مورد نیاز با اطلاع از این ذخیره جهت گیاه محاسبه شود. ضریب همبستگی و خطای معیار برآورد مدل‌های سینتیکی نشان داد که معادلات تابع توان، مرتبه اول و الوویچ، رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی را به نحو قابل-قبول‌تری در خاک‌های موردمطالعه توصیف می‌نمایند که در مجموع بیانگر نقش فرآیند پخشیدگی در تأمین پتاسیم وارد شده به فاز محلول خاک می‌باشد. ضرایب b (آهنگ رهاسازی) و a (مقدار رهاسازی در مرحله اول) و حاصلضرب این دو (ab) همگی ارتباط مستقیمی با میزان رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار ایلیت و اسمکتیت و میزان تکامل خاک‌ها داشتند.

References

Abdi S., Ghasemi Fasaei R., Karimian N., and Feyzian M. 2014. Availability and release kinetics of nonexchangeable potassium in some calcareous soils of Fars Province. *Journal of Water and Soil*, 28(4):766-777. (In Persian)

Balali M.R., and Malakouti M.J. 1998. Study of changes of exchangeable potassium in Iranian agricultural soils. *Journal of Soil and Water*, 12(3): 59-70. (In Persian)

Bouyoucos G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.

Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black CA, (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp. 891-901

Cox A.E., and Joern B.C. 1997. Release kinetics of nonexchangeable potassium in soil using sodium tetraphenyl boron. *Soil Science*, 162: 588-596.

Cox A.E., Joern B.C., Brouder S.M., and Gao D. 1999. Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Science Society American Journal*, 63: 902-911.

Farshadirad A., Dordipur A., and Khormali F. 2003. Release kinetics of nonexchangeable potassium using $CaCl_2$ in some soils. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3(1): 113-129. (In Persian)

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. *Journal of Agricultural Science*, 103: 265-275.

Hatami H., Karimi A., Fotovat A., and Khademi H. 2013. Effect of $BaCl_2$ on K release in some K-silicate minerals and evaluation of release of potassium. *Water and Soil*, 27: 732-741. (In Persian)

Havlin J.L., Westfall D.G., and Olsen S.R. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal*, 49:371-376.

Hosseinpur A.R., and Safari Sinegani A.A. 2007. Soil Potassium-Release Characteristics and the Correlation of its Parameters with Garlic Plant Indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 107-118.

Hosseinpoor A., and Kalbasi M. 2002. Kinetics of nonexchangeable potassium release from soils and soil separates in some central region soils of Iran.17th WCSS. 14-21 August, Thailand.

Jackson M.L. 1975. Soil Chemical Analysis: Advanced Course; University of Wisconsin, College of Agriculture, Department of Soils: Madison, WI, 187 p.

Jalali M. 2007. Spatial variability in potassium release among calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 140: 42-51.

Jalali M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 135: 63-71.

Jalali M. 2005. Release kinetics of non-exchangeable potassium in calcareous soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 1903–1917.

www.SID.ir

Arshive of SID

Jalali M., and Kolahchi Z. 2006. Release kinetics of nonexchangeable potassium in some soils of Hamedan province, 8th Iran Soil Science Congress, Guilan University. (In Persian)

Kwong K.F.N.G., and Ramasawmi G. 2006. Potassium in Soils Cropped with Sugarcane in Mauritius. *Sugar Technology*, 8 (4): 239-245.

Mahdavi S.H. 1991. Study of release kinetics of nonexchangeable potassium and its correlation with plant adsorption in dominant soil series of Hamedan Province. MSc. thesis, College of Agriculture, Tehran University. (In Persian)

Martin H.W., and Sparks D.L. 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Science Society America Journal*, 47: 883-887.

Mengel K., and Rahmatullah H. 1994. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soil rich in mica. *Biology and Fertility of Soils*, 17: 75-79.

Moritsuka N., Yana D.L., and Kosak T. 2004. Possible processes releasing nonexchangeable potassium from the rhizosphere of maize. *Plant and Soil*, 258: 261-268.

Najafi Ghiri M. 2010. Morphological and mineralogical characteristics of soil potassium status of the province. PhD thesis. Shiraz University. (In Persian)

Najafi M., Abtahi A., Karimian A., Owliaie H.R., and Khormali F. 2011. Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(4): 343-363.

Owliaie H.R. 2005. Clay mineralogy, micromorphology and genesis of the soils of Kohgilouye Province, Southwestern Iran. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University. 235p. (In Persian)

Owliaie H.R., Heydarmah S., Adhami E., and Najafi Ghiri M. 2014. Kinetics of nonexchangeable potassium release in calcareous soils of Kohgilouye Province. *Journal of Water and Soil Science*, 68(2): 99-109. (In Persian)

Pratt P.F. 1965. Potassium. In: Black CA, (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp. 1022-1030.

Rezaei M., and Movahedi Naeini S.A.R. 2009. Kinetics of potassium desorption from the loess soil, soil mixed with zeolite and the clinoptilolite zeolite as influenced by calcium and ammonium. Jou*rnal of Applied Science*, 9(18): 3335-3342.

Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S. Salinity Laboratory Staff. USDA. Hand book No. 60. Washington, D C, USA. 160 pp.

Sadri N., Owliaie H.R., Adhami E., and Najafi M. 2016. Relationship between Different potassium forms and soil evolution in some soils of Fars province. *Journal of Water and Soil*, 30(1): 172-185 (In Persian)

Scott A.D., Hunziker R.R. and Hanway J.J. 1960. Chemical extraction of potassium from soils and micaceous minerals with solutions containing sodium tetra-phenyl boron. I. Preliminary experiments. *Soil Science Society America Proceeding*, 51: 912-917.

Serrano S., Garrido F., Campbell C.G., and Garcia-Gonzalez M.T. 2005. Competitive sorption of cadmium and lead in acid soils of central Spain. *Geoderma*, 124: 91-104.

Srinivasarao C., Rupa T.R., Subba-Rao A., Ramesh G., and Bansal S.K. 2006. Release kinetics of nonexchangeable potassium by different extractants from soils of varying mineralogy and depth. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 37(3): 473-491.

Song S.K., and Huang P.M. 1998. Dynamic of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society American Journal*, 52: 383-390.

Sparks D.L. 2000. Bioavailability of soil potassium, In: Sumner, M.E. (Ed.), Handbook of soil science, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 38-52.

Zarabi M., Jalali M., and Mahdavi-Hajylvy Sh. 2006. Study of non-exchangeable potassium release rate and absorption capability by using acid malic in some soils of Hamadan province. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 37(6): 951-964. (In Persian)

www.SID.ir

Arshive of SID

Release Kinetics of non-Exchangeable Potassium Using $CaCl_2$ in Relation to Some Properties of soils of Kohgilouye Province

Shabnam Sadeghi Baniani[1], HamidReza Owliaie[2*], Ebrahim Adhami[2] and Mehdi Najafi Ghiri[3]

(Received: September 2016 Accepted: January 2017)

Abstract

Degree of soil evolution, type and amount of clay minerals are among the factors affecting potassium release from the soils. The release rate of non-exchangeable K (NEK) plays a significant role in supplying K for plants; particularly in soils that they are rich in K bearing minerals such as mica and feldespar. Kinetics of K^+ release was studied by extraction with 0.01 M $CaCl_2$ in 14 surface soils of different climatic regions of Kohgilouye Province, southwestern Iran. Mineralogical analyses revealed that smectite, illite, chlorite and palygroskite are major clay minerals of the soils studied. The release rate of NEK at the end of extraction (656h) was in the range of 38.1 (Typic Xerorthents) to 320 mg kg^{-1} (Calcic Haploxeralfs). In addition, the release rate of K showed higher correlation with the properties such as clay content, NEK, CEC as well as illite and smectite contents. The amount of K release was in the sequence: Alfisols (222.3 mg kg^{-1}) > Inceptisols (111.3 mg kg^{-1}) > Entisols (105.0 mg kg^{-1}). Power function, first order and parabulic diffusion equations could reasonably describe the K release kinetics. Fit of the data to these equations indicated that K release is controlled mainly by diffusion process.

Keywords: $CaCl_2$, Clay minerals, K release, Kinetics, Soil evolution

1- MSc. Graduate of Soil Science, College of Agriculture, Yasouj University, Iran.
2- Associate Professor of Soil Science, College of Agriculture Yasouj University, Iran.
3- Associate Professor of Soil Science, College of Agriculture and Natural Res., Shiraz Univ. Darab, Iran.
* Corresponding Author Email: Owliaie@yu.ac.ir

www.SID.ir