

سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی و پاسخ گیاه در تعدادی از خاکهای گیلان

علیرضا حسین پور^۱ و مسعود کاووسی^۲

۱، استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان ۲، عضو هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور
تاریخ پذیرش مقاله ۸۲/۷/۲۳

خلاصه

سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی نقش مهمی در فراهم کردن پتاسیم، به ویژه در خاکهای حاوی کانیهای پتاسیم دارد. اطلاعات در باره سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در خاکهای گیلان محدود است. هدف این تحقیق مطالعه سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در ۱۰ نمونه خاکهای استان گیلان به وسیله عصاره گیری مرحله ای با استفاده از اسید سیتریک ۱۰ میلی مولار در مدت ۲۵۰۰ ساعت و هم بستگی ثابتهای سرعت معادلات سینتیکی با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاه یونجه بود. پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده، پس از ۲۵۰۰ ساعت در دامنه ۶۱۹ - ۱۳۴ میلی گرم در کیلوگرم بود. مطالعات هم بستگی نشان داد که پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده هم بستگی معنی داری با پتاسیم غیر تبادلی ($r^2 = 0/83^*$) خاک داشت. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی با استفاده از معادلات سینتیکی ارزیابی شد. بر اساس ضرائب تشخیص و خطای استاندارد برآورد سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی به وسیله معادلات مرتبه اول، انتشار پارابولیک و تابع نمایی تشریح شد. ثابتهای سرعت معادلات به ویژه در معادله مرتبه اول و انتشار پارابولیک در خاکها متفاوت بود. این تغییرات به اختلاف در توزیع اندازه ذرات، نوع و مقدار کانیهای رسی نسبت داده شد. ضریب سرعت معادله تابع نمایی هم بستگی معنی داری با خصوصیات خاک نداشت. ضریب سرعت معادله مرتبه اول هم بستگی معنی داری با درصد رس ($r^2 = -0/59^*$)، در صد شن ($r^2 = 0/68^*$)، CEC ($r^2 = -0/63^*$) و pH ($r^2 = 0/64^*$) داشت. ضریب سرعت معادله انتشار پارابولیک هم بستگی معنی داری با درصد رس ($r^2 = -0/76^*$)، در صد شن ($r^2 = 0/66^*$)، کربنات کلسیم معادل ($r^2 = -0/62^*$) و CEC ($r^2 = -0/63^*$) داشت. ضریب سرعت در معادله تابع نمایی هم بستگی معنی داری با شاخصهای گیاهی نداشت. ضرائب سرعت در معادلات مرتبه صفر و انتشار پارابولیک هم بستگی معنی داری با شاخصهای جذب و غلظت داشتند، ولی هم بستگی معنی داری با عملکرد گیاه نداشتند.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم غیر تبادلی، آزاد شدن، اسید سیتریک، یونجه

مقدمه

گیاهان پتاسیم مورد نیاز خود را نه تنها از پتاسیم تبادلی بلکه از پتاسیم غیر تبادلی موجود بین لایه های کانیهای رسی ۲:۱ به دست می آورند (۱۱). غالباً پتاسیم قابل جذب با عصاره گیرهایی که بخشی از پتاسیم غیر تبادلی را خارج می کند تعیین می شود. برای تعیین قابلیت جذب پتاسیم غیر تبادلی

سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی مهمتر از مقدار آن می باشد (۱۴).

در باره آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی از خاک مطالعاتی انجام شده است (۱، ۲، ۵، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۳۰)، ولی مطالعاتی که جذب پتاسیم به وسیله گیاه را بدون تغییر ساختار کانی شبیه سازی کند ارتباط

خاکهای استان گیلان تحقیقات اندکی در مورد سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی انجام شده است (۱، ۲). بنابر این به دست آوردن اطلاعاتی در باره سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاکهای گیلان و پاسخ گیاه از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. هدفهای این مطالعه عبارت بودند از:

- مقایسه معادلات سینتیکی مختلف در توصیف آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی به روش اسید سیتریک رقیق
- مطالعه هم بستگی ثابتهای سرعت معادلات سینتیکی با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ۱۰ نمونه از خاکهای استان گیلان انجام شد. نمونه‌ها از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری برداشته شد که، پس از انتقال به آزمایشگاه، در هوای آزاد خشک و برای انجام آزمایشهای فیزیکی و شیمیایی از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. همچنین بخشی از خاکها جهت انجام کشت گلدانی از الک ۶ میلی متری عبور داده شد.

خصوصیات خاک شامل بافت خاک با روش پیپت (۸)، pH در عصاره‌های ۲:۱ خاک (محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲:۱ خاک (آب مقطر، ماده آلی با روش اکسایش تر، گنجایش تبادل کاتیونی خاک با روش استات سدیم در $pH=7$ ، پتاسیم تبادلی با روش استات آمونیوم ۱ مولار و پتاسیم محلول در عصاره ۲:۱ خاک: آب مقطر بر طبق روشهای معمول آزمایشگاهی تعیین گردید (۲۸). همچنین پتاسیم غیر تبادلی با اسید نیتریک مولار جوشان عصاره گیری گردید (۳).

مطالعه سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی به روش عصاره گیری متوالی با اسید سیتریک ۱۰ میلی مولار انجام شد (۲، ۲۳، ۲۴). به این منظور ۲/۵ گرم از نمونه‌های اشباع از کلسیم (در دو تکرار) در لوله سانتیفریوژ ریخته و به آن ۲۵ میلی لیتر اسید سیتریک اضافه گردید. نمونه‌ها برای ۱ تا ۲۵۰۰ ساعت در دستگاه انکوباتور و در دمای ثابت 25 ± 0.5 °C تکان داده شدند. لازم به ذکر است که به طور کلی اگر غلظت پتاسیم در محلول از حدود ۰/۱ مول در متر مکعب بیشتر شود از آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی جلوگیری خواهد کرد (۲۷). لذا برای جلوگیری از این عمل از عصاره گیری متوالی استفاده شد و در

زدیکتری با سرعت رها سازی پتاسیم غیر تبادلی در شرایط مزرعه خواهد داشت (۳۱). شبیه سازی آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی به وسیله روشهای مختلف نظیر اسیدهای رقیق و رزینهای تبادل کاتیونی انجام می گیرد.

لیگاندیهای نظیر اسیدهای آلی کمپلکس کننده نقش مهمی در آزاد کردن عناصر غذایی در خاک بازی می کنند. از جمله اسیدهای آلی آلیفاتیک در خاک می توان به اسید اکسالیک، اسید سیتریک، اسید فوماریک، اسید تارتاریک، اسید مالیک و اسید سوکسینیک اشاره کرد (۱۲). غلظت اسیدهای آلی آلیفاتیک در فراریشه در محدوده ۰/۵ تا ۵ مول در متر مکعب می باشد (۲۹). این اسیدها در فرآیند هوازدگی کانیها به دلیل تشکیل کمپلکس اسید-فلز، تبادل لیگاندی و واکنشهای پروتونه شدن نقش دارند (۲۴). اسیدهای آلی در مطالعه آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از کانیهای خالص (۱۲، ۲۵) و خاک (۱، ۲، ۹، ۱۳، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴) استفاده شده است. سرعت آزاد شدن فلزات به وسیله این اسیدهای کمپلکس کننده بیشتر از اسیدهای غیر کمپلکس کننده (۲۹) و کمتر از رزینهای تبادل کاتیونی می باشد (۲۲).

سادوسکی و همکاران (۱۹۸۷) آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در خاکهای شدیداً هوازدیده دلور^۱ را با استفاده از رزین تبادل کلسیمی و اسید اکسالیک ۰/۱ مولار مطالعه و گزارش کردند که مقدار پتاسیم آزاد شده به روش رزین به طور معنی داری از پتاسیم آزاد شده توسط اسید اکسالیک بیشتر بوده است. سیمارد و همکاران (۱۹۸۹) سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی را با روش اسید سیتریک ۰/۵ میلی مولار مطالعه کردند. نتایج این محققان نشان داد که مقدار و سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی با پتاسیم عصاره گیری شده با اسید نیتریک مولار جوشان، پتاسیم تبادلی خاک و مقدار رس درشت خاک همبستگی بالایی داشته است. در مطالعه بعدی، این محققان (۱۹۹۲) مشاهده کردند که بیشترین مقدار پتاسیم آزاد شده و نیز بیشترین سرعت آزاد شدن پتاسیم در بخش سیلت ریز بود.

پتاسیم محبوس شده بین لایه های داخلی کانیهای رس در تعدادی از خاکها منبع مهم پتاسیم برای رشد گیاهان است. در

هوایی تعیین گردید. پتاسیم اندام هوایی با اسید کلریدریک ۲ مولار عصاره گیری و غلظت پتاسیم به روش طیف سنجی نشر اتمی تعیین و با استفاده از فرمول زیر جذب پتاسیم محاسبه شد:

جذب پتاسیم (میلی گرم در گلدان) = عملکرد (کیلوگرم در گلدان) × غلظت پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)

در پایان بین پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده پس از ۲۵۰۰ ساعت و ثابتهای سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی معادلات رگرسیون ساده برازش گردید.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج می توان گفت خاکهای مطالعه شده دارای طیف گسترده ای از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می باشند (جدول ۱). در مورد در صد اجزاء خاک دامنه تغییرات رس و سیلت به ترتیب ۳۷/۰-۷۳/۶ و ۳۷/۳-۰/۵ درصد می باشد. بر اساس نتایج شیمیایی ارائه شده می توان گفت خاکهای مورد مطالعه اسیدی تا کمی اسیدی می باشند. دامنه تغییرات pH ۳/۲-۶/۳، قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۳-۰/۶ دسی زیمنس بر متر، کربنات کلسیم معادل ۶/۷۵-۰/۲۵ درصد، کربن آلی ۳/۰-۰/۴۸ درصد گنجایش تبادل کاتیونی ۲۴/۸-۱۰/۰ سانتی مول بار در کیلوگرم و پتاسیم غیر تبادلی ۱۹۵-۸۵۸ میلی گرم در کیلوگرم می باشد.

فواصل زمانی مشخص سوسپانسیون با ۳۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ و محلول رویی جمع آوری شد. سپس ۲۵ میلی لیتر اسید سیتریک دیگر اضافه و تکان دادن نمونه ها تکرار شد. غلظت پتاسیم نمونه های صاف شده به روش طیف سنجی نشر اتمی تعیین گردید. سپس مدل های سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه اول، معادله پخش پارابولیک، معادله تابع نمایی و معادله الویچ را بر مقدار پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده برازش و با توجه به ضریب تعیین و اشتباه استاندارد برآورد، معادله یا معادله هایی که بیشترین ضریب تشخیص و کمترین اشتباه استاندارد برآورد داشتند انتخاب و ثابتهای آنها محاسبه شد. اشتباه استاندارد برآورد (SE) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$SE = [\sum (K_t - K^*)^2 / n - 2]^{0.5}$$

در این معادله K_t و K^* به ترتیب نشان دهنده مقدار پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده و برازش شده به وسیله مدل در زمان t و n تعداد نقاط آزمایشی می باشد.

مطالعه جذب پتاسیم به وسیله گیاه یونجه (*Medicago sativa*) رقم همدانی در یک آزمایش گلدانی بررسی شد. به همین منظور گیاه یونجه در گلدانهایی با سه کیلوگرم خاک (در سه تکرار) کشت و مقادیر ۲۰۰، ۱۰ و ۵ میلی گرم فسفر، آهن و روی به صورت کودهای منو فسفات کلسیم، سبکترین ۱۳۸ آهن و سولفات روی به خاک هر گلدان اضافه شد. گیاهان یونجه سه چین برداشت و عملکرد قسمت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مطالعه شده

شماره نمونه	pH	هدایت الکتریکی تبادل کاتیونی	پتاسیم			کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رس	سیلت	رده بندی خاکها تا حد تحت گروه
			تبادلی	محلول	غیر تبادلی ^۱					
	dS m ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	گرم / کیلوگرم	گرم / کیلوگرم	گرم / کیلوگرم	گرم / کیلوگرم	گرم / کیلوگرم	
۱	۵/۷	۰/۵۰	۲۴/۸	۰/۳۷	۰/۰۴	۱/۳	۰/۳۵	۶۷/۵	۲۳۳	Typic Dystrudepts
۲	۵/۵	۰/۳۵	۱۴/۰	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۵	۰/۳۵	۶۲/۵	۳۱۳	Fragic Dystrudept
۳	۴/۱	۰/۳۰	۲۰/۰	۰/۸۷	۰/۰۵	۲/۱	۱/۵۸	۷/۵	۱۲۲	Typic Dystrudept
۴	۳/۳	۰/۵۰	۱۰/۰	۰/۹۸	۰/۱۸	۰/۹	۰/۸۷	۷/۵	۱۰۱	Typic Hapludults
۵	۴/۰	۰/۳۵	۱۷/۰	۱/۱۶	۰/۰۸	۱/۱	۰/۹۹	۲/۵	۱۱۲	Typic Hapludalfs
۶	۵/۸	۰/۳۰	۱۰/۰	۰/۹۳	۰/۰۷	۱/۵	۱/۲۱	۳۲/۵	۵	Aquic Dystrudept
۷	۵/۷	۰/۳۰	۱۸/۲	۰/۶۸	۰/۰۵	۲/۰	۱/۵۷	۱۷/۵	۳۷۳	Typic Hapludolls
۸	۶/۳	۰/۳۸	۱۰/۰	۰/۵۴	۰/۰۵	۱/۴	۰/۹۳	۹۲/۵	۲۴۴	Typic Udifluvents
۹	۵/۲	۰/۳۰	۱۷/۰	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۹	۰/۷۴	۲/۵	۳۴۵	Typic Hapludalfs
۱۰	۵/۰	۱/۶۰	۱۸/۲	۰/۸۲	۰/۱۰	۲/۲	۱/۴۰	۲۲/۵	۱۲۵	Typic Hapludults

۲- پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده با اسید سیتریک پس از ۲۵۰۰ ساعت

۱- پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده به روش اسید نیتریک مولار جوشان

کانیهای رسی در بخش سیلت و رس خاکهای مطالعه شده مقدار پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده در خاکها متفاوت می باشد. نتایج تجزیه های آماری نشان داد که پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده پس از ۲۵۰۰ ساعت هم بستگی معنی داری با در صد سیلت و رس ندارد (جدول ۴). این نتیجه می تواند نشان دهنده تفاوت نوع کانیهای رسی در خاکها باشد. در این رابطه و برای تعیین نوع کانیهای رسی در خاکها به تحقیقات بیشتری نیاز می باشد.

ضرائب تشخیص و خطای استاندارد بر آورد معادلات سینتیکی در توصیف سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در جدول ۲ آورده شده است. معادلاتی که سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی را توضیح می دهند بر اساس ضرائب تشخیص و اشتباه استاندارد بر آورد انتخاب می شوند. به عبارت دیگر معادله هایی که ضریب تشخیص بالا و اشتباه استاندارد بر آورد کم داشته باشند به عنوان معادلاتی که سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی را بهتر توصیف می کنند انتخاب می شوند.

با توجه به جدول ۲ معادله الویچ به دلیل پایین بودن ضریب تشخیص و معادله مرتبه صفر علیرغم بالا بودن ضریب تشخیص به دلیل بالا بودن اشتباه استاندارد بر آورد قادر نیستند به خوبی آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی از خاکهای گیلان را توصیف کنند، در حالی که معادله های پخشیدگی پارابولیک، تابع نمایی و مرتبه اول به دلیل بالا بودن ضریبهای تشخیص و کم بودن اشتباه استاندارد بر آورد می توانند آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی را توضیح دهند. ضرائب این معادلات در جدول ۳ گزارش شده است. از آنجا که سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی از معادله های مرتبه اول و پخش پارابولیک پیروی می کند، آزاد سازی پتاسیم غیر تبادلی به روش اسید سیتریک در خاکهای گیلان احتمالاً یک فرآیند پخشیدگی می باشد (۱۳). به عبارت دیگر پخشیدگی پتاسیم به خارج توده کانی یا نواحی هوادیده، کنترل کننده سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در این خاکها می باشد. نتایج مشابهی به وسیله محققان دیگر گزارش شده است (۷، ۱۷، ۲۱).

ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در معادله مرتبه اول $11 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-4}$ میلی گرم در کیلوگرم بر ساعت می باشد. بیشترین ضریب سرعت در خاک شماره ۴ با کمترین

پتاسیم غیر تبادلی که در بین لایه های کانیهای رسی و رفته ای سیلیکاتی نگهداری می شود می تواند منبع مهم پتاسیم قابل جذب برای گیاهان باشد. فراهمی پتاسیم غیر تبادلی بستگی به سرعتی دارد که این نوع پتاسیم می تواند به فرمهای قابل جذب تبدیل شود. پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده به وسیله عصاره گیری متوالی با اسید سیتریک رقیق به عنوان تابعی از زمان عصاره گیری در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در این خاکها در مراحل اولیه زیاد و سپس کند شده و با سرعت نسبتاً ثابتی تا ۲۵۰۰ ساعت ادامه می یابد. مقدار پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده در مراحل اولیه عصاره گیری در خاکها متفاوت می باشد، به طوریکه ۱۶۸ ساعت پس از شروع آزمایش بیشترین مقدار پتاسیم غیر تبادلی از خاک شماره ۱۰ و کمترین آن از خاک شماره ۲ آزاد شد. علاوه بر تفاوت پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده در مراحل اولیه، مقدار پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده در مراحل کند بعدی نیز متفاوت است، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم غیر تبادلی پس از ۲۵۰۰ ساعت از خاک شماره ۲ و خاک شماره ۳ آزاد شد (جدول ۱). نتایج تجزیه های آماری نشان داد که پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده پس از ۲۵۰۰ ساعت هم بستگی معنی داری با پتاسیم غیر تبادلی خاکها دارد (** $r = 0.83$).

الگوی مشابه آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در خاکها با استفاده از روشهای شیمیایی نظیر تترافنیل بران سدیم (۲۳، ۲۴، ۳۰)، رزین تبادل کاتیونی (۶)، و اسیدهای آلی (۱، ۲۳، ۲۴، ۳۰) مشاهده شده است. بولت و همکاران (۱۹۶۳) آزاد شدن سریع اولیه پتاسیم را به آزاد شدن پتاسیم لبه ای و آزاد شدن کند تر را به آزاد شدن پتاسیم بین لایه ای نسبت دادند.

عوامل زیادی بر آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی تاثیر دارند. اثر نوع و اندازه کانیهای حاوی پتاسیم و شرائط خاک بر آزاد شدن پتاسیم گزارش شده است (۲۵). خصوصیات کانیهای حاوی پتاسیم که نقش مهمی در آزاد کردن پتاسیم غیر تبادلی دارند شامل: ساختمان بلور و ترکیب شیمیایی کانی، جهت گیری هیدروکسیل ساختمانی، منشاء بار لایه ای، درجه تخلیه کانی از پتاسیم و تغییر بار لایه ای در کانیها می باشد (۲۵، ۲۶، ۲۷). به دلیل تفاوت درصد رس و سیلت و همچنین تفاوت نوع و مقدار

جدول ۲- ضرائب تشخیص و اشتباه استاندارد برآورد معادلات سرعت در خاکهای مطالعه شده

شماره خاک	مرتبه صفر		مرتبه اول		معادله الوویچ		معادله پخش پارابولیک		تابع نمایی	
	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE
۱	۰/۸۲	۱۶/۸۷	۰/۰۴	۰/۸۵	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۱۱	۰/۹۷
۲	۰/۸۴	۱۵/۳۶	۰/۵۰	۰/۹۴	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۱۰	۰/۹۸
۳	۰/۹۸	۲۳/۱۰	۰/۰۸	۰/۹۸	۱/۱۵	۰/۷۰	۰/۰۵	۰/۹۶	۰/۱۷	۰/۹۶
۴	۰/۹۳	۲۶/۲۰	۰/۲۵	۰/۹۴	۰/۳۸	۰/۷۲	۰/۲۰	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۹۸
۵	۰/۹۱	۳۳/۱۰	۰/۱۳	۰/۹۷	۰/۳۷	۰/۶۵	۰/۰۴	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۹۷
۶	۰/۹۵	۳۱/۹۰	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۱۰	۰/۹۸
۷	۰/۹۸	۲۸/۳۰	۰/۰۸	۰/۹۹	۰/۴۳	۰/۷۶	۰/۰۳	۰/۹۸	۰/۱۵	۰/۹۷
۸	۰/۹۴	۲۶/۱۸	۰/۰۶	۰/۹۸	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۲۰	۰/۹۹	۰/۱۰	۰/۹۸
۹	۰/۹۶	۱۷/۴۱	۰/۰۷	۰/۹۸	۰/۴۱	۰/۷۳	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۱۲	۰/۹۸
۱۰	۰/۹۵	۳۵/۷۰	۰/۰۶	۰/۹۸	۰/۳۹	۰/۷۰	۰/۰۳	۰/۹۸	۰/۱۳	۰/۹۷

جدول ۳- ضرائب معادلات سرعت در خاکهای مطالعه شده

شماره خاک	مرتبه اول	معادله پخش پارابولیک		مرتبه اول	معادله تابع نمایی
		$b \times 10^{-1}$	a		
۱	۶/۱۳	۱/۰	۵/۱۸	۴/۰	۲/۶۴
۲	۴/۹۸	۴/۰	۱۶/۲۱	۱۱/۳	۲/۸۱
۳	۶/۶۳	۵/۰	۲/۱۳	۱۳/۲	۳/۳۹
۴	۵/۷۲	۱۱/۰	۱۲/۲۸	۱۷/۰	۳/۳۹
۵	۵/۷۸	۷/۰	۱۷/۷۷	۱۴/۳	۳/۸۲
۶	۶/۱۱	۷/۰	۱۱/۲۰	۱۴/۷	۳/۷۸
۷	۶/۵۷	۵/۰	۲/۳۱	۱۴/۴	۳/۳۴
۸	۶/۱۶	۴/۰	۶/۲۰	۱۱/۶	۳/۱۷
۹	۵/۷۲	۶/۰	۶/۷۳	۱۴/۶	۲/۹۴
۱۰	۶/۶۰	۳/۰	۸/۰۱	۱۰/۵	۳/۸۳

معادله مرتبه صفر: $(K_t - K_0) = K_0 - b.t$ معادله مرتبه اول: $\ln(K_0 - K_t) = \ln K_0 - b.t$ معادله پخش پارابولیک: $K_t/K_0 = a + b.t^{0.50}$ معادله الوویچ: $K_t = a + b.\ln t$ معادله تابع نمایی: $\ln K_t = a + b.\ln t$

K_0 و K_t به ترتیب پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده در زمان t و پتاسیم عصاره گیری شده به وسیله اسید نیتریک مولار جوشان و b ضریب سرعت

گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) و کمترین درصد شن و کمترین آن در خاک شماره ۱ با بیشترین CEC و رس و کمترین درصد شن وجود دارد. دامنه تغییرات ضریب پخشیدگی

پتاسیم غیر تبادلی در معادله پخشیدگی پارابولیک $10^{-3} - 17 \times 10^{-3}$ بر ساعت به توان نیم می باشد. در مورد این معادله نیز شبیه معادله مرتبه اول بیشترین ضریب پخشیدگی در خاک شماره ۴ و کمترین آن در خاک شماره ۱ وجود دارد. دامنه تغییرات ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در معادله تابع نمایی $10^{-1} - 3/69 \times 10^{-1}$ میلی گرم در کیلوگرم بر ساعت می باشد. ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در معادله تابع نمایی کمتر از ۱ می باشد. این نتیجه نشان می دهد که سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی با گذشت زمان کاهش می یابد (۵). مقایسه ضریبهای سرعت در این سه مدل نشان می دهد که در معادله تابع نمایی بین ضریبهای سرعت خاکهای مختلف اختلافی وجود ندارد به عبارت دیگر این معادله نمی تواند تفاوت بین خاکها را نشان دهد.

ارتباط ضرائب سرعت با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی - میزان هم بستگی ضریبهای سرعت با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی در جدول ۴ نشان داده شده است. چنانکه نتایج این جدول نشان می دهند ضریب سرعت در معادله تابع نمایی هم بستگی معنی داری با خصوصیات خاک ندارد، در حالی که ضریب های سرعت معادلات پخشیدگی پارابولیک و مرتبه اول هم بستگی معنی داری با درصد رس، شن، گنجایش تبادل کاتیونی و pH دارا می باشند. در مورد سایر ویژگیهای

رابطه بین ثابت سرعت این معادله با خصوصیات خاک و شاخصهای گیاهی استفاده از این معادله در مطالعات سینتیکی توصیه نمی شود.

جدول ۴- هم بستگی ضرائب سرعت معادلات با خصوصیات خاک و

شاخصهای گیاهی

پارامتر	ضرب سرعت معادله مرتبه اول	ضرب انتشار معادله	ضرب سرعت معادله تابع نمایی
رس	۰/۵۹*	۰/۷۶*	۰/۱۶ ^{ns}
سیلت	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۴۲ ^{ns}
شن	۰/۶۸*	۰/۶۶*	۰/۱۷ ^{ns}
کربنات کلسیم معادل	۰/۵۷ ^{ns}	۰/۶۲*	۰/۱۱ ^{ns}
کربن آلی	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۳۴ ^{ns}
گنجایش تبادل کاتیونی	۰/۶۳*	۰/۶۳*	۰/۱۷ ^{ns}
پتاسیم تبدالی	۰/۶۰*	۰/۵۷*	۰/۰۳ ^{ns}
قابلیت هدایت الکتریکی	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۴۷ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}
پ-هاش	۰/۶۵*	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}
عملکرد چین اول	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}
غلظت چین اول	۰/۶۶*	۰/۵۲ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}
جذب چین اول	۰/۷۹*	۰/۶۵*	۰/۱۷ ^{ns}
عملکرد چین دوم	۰/۵۵ ^{ns}	۰/۵۶ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}
غلظت چین دوم	۰/۷۶*	۰/۷۱*	۰/۱۰ ^{ns}
جذب چین دوم	۰/۸۳*	۰/۷۸*	۰/۰۶ ^{ns}
عملکرد چین سوم	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۶۳*
غلظت چین سوم	۰/۷۱*	۰/۶۹*	۰/۵۱ ^{ns}
جذب چین سوم	۰/۷۱*	۰/۷۱*	۰/۲۲ ^{ns}

* و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح ۵ درصد و معنی دار نیست

سپاسگزاری

بدینوسیله از سرکار خانم مهندس ندا هاشمیان که در انجام این تحقیق با بنده همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

REFERENCES

- توفیقی، ح. ۱۳۷۴. سینتیک آزاد شدن پتاسیم از خاکهای شالیزار شمال ایران. ۱- مقایسه و ارزیابی معادلات سینتیکی مرتبه اول، مرتبه صفر، و دیفیوژن پارابولیک. مجله علوم کشاورزی ایران. ج. ۲۴، ش. ۴، ص: ۲۴ تا ۴۰.
- حسین پور. ع.، م. کلباسی و ح. خادمی. ۱۳۷۹. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبدالی از خاک و اجزاء آن در تعدادی از خاکهای گیلان. مجله علوم خاک و آب. ج. ۱۴، ش. ۲، ص: ۹۹ تا ۱۱۳.
- Al-Kanani, T., A. F. Mackenzi, & G. J. Ross. 1984. Potassium status of some Quebec Soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy. Can. J. Soil Sci. 64: 99-106.

خاک نظیر پتاسیم تبدالی، کربن آلی و کربنات کلسیم معادل اگرچه ضرائب هم بستگی نسبتا بالا به دست آمده ولی معنی دار نیست. جهت تعیین خصوصیات خاک که نقش بیشتری بر ثابتهای سرعت آزاد شدن داشتند از روش رگرسیون مرحله‌ای استفاده شد.

در باره ضریب سرعت آزاد شدن معادله مرتبه اول، pH، CEC و کربنات کلسیم معادل بیشترین اهمیت و در مورد ضریب سرعت آزاد شدن معادله پخشیدگی پارابولیک، پتاسیم تبدالی، CEC، کربنات کلسیم معادل و در صد سیلت بیشترین تاثیر را دارا بودند (نتایج نشان داده نشده است). در مطالعه هاولین و همکاران (۱۹۸۵) ثابتهای سرعت آزاد شدن پتاسیم از معادله پخشیدگی پارابولیک، معادله تابع نمایی و الوویج هم بستگی بالایی با مقدار میکای خاک داشت. هاولین و وستفال (۱۹۸۵) گزارش کردند ثابت معادله و شیب معادله تابع نمایی با پتاسیم تبدالی اولیه خاک هم بستگی بالایی دارا می باشد.

ضریب سرعت معادله تابع نمایی هم بستگی معنی داری با شاخصهای یونجه نشان نداد (جدول ۴). ضریب های سرعت معادلات مرتبه اول و پخشیدگی پارابولیک هم بستگی معنی داری با جذب و غلظت در هر سه چین یونجه داشتند، ولی این ثابتها با عملکرد هم بستگی معنی داری نداشتند.

نتایج این تحقیق نشان داد که اسید سیتریک رقیق می‌تواند به عنوان عصاره‌گیری برای مطالعه سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبدالی استفاده شود. پیشنهاد می‌شود چنین مطالعاتی با گیاهان دیگر و در خاکهای مناطق دیگر انجام شود. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که معادله تابع نمایی علی‌رغم پایین بودن اشتباه استاندارد برآورد و بالا بودن ضریب تشخیص نمی‌تواند اختلاف بین خاکها را مشخص کند و از طرفی به دلیل عدم

4. Bolt, G. A., M. E. Summer, & A. Kamphort. 1963. A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27:294-299.
5. Cox, A. E. & B. C. Joern. 1997. Release kinetics of nonexchangeable potassium in soil using sodium tetraphenylboron. *Soil Sci.* 162:588-596.
6. Dhillon, S. K. & K. S. Dhillon. 1990. Kinetics of release of nonexchangeable potassium by cation saturated resins from red (Alfisols), black (Vertisols) and alluvial (Inceptisols) soils of India. *Geoderma.* 47:283-300
7. Feigenbaum, S., R. E. Edelman, & I. Shainberg. 1981. Release rate of potassium and structural cations from micas to ion exchange in dilute solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 501-506.
8. Gee, G. H. & J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. P. 383-411. In: A. Klute, (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1*, ASA, Madison, WI.
9. Havlin, J. L. & D. G. Westfall. 1985. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 366-370.
10. Havlin, J. L., D. G. Westfall, & S. R. Olsen. 1985. Mathematical model for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:371-376.
11. Malavolta, A. E. 1985. Potassium status of tropical and subtropical region soils. P. 163-200. In R. D. Munson (ed.), *Potassium in Agriculture*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
12. Manley, E. P. & L. J. Evans. 1986. Dissolution of feldspars by low-molecular weight aliphatic and aromatic acids. *Soil Sci.* 141: 106-112.
13. Martin, H. W. & D. L. Sparks. 1983. Kinetics of nonexchangeable potassium release from two Coastal plain soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:883-887.
14. Medvedeva, O. P. 1983. Nonexchangeable, fixed, fertilizer potassium as an indicator of potassium availability to plants. *Agrokhimia.* 11:25-31.
15. Mengel, K. & K. Uhlenbecker. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by ryegrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 761-766.
16. Mengel, K., Rahmatullah, & H. Dou. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-derived soils. *Soil Sci.* 163: 805-813.
17. Mortland, M. M. & B. G. Ellis. 1959. Release of fixed potassium as a diffusion-controlled process. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 363-364.
18. Munn, D. A., L. P. Wilding, & O. McLean. 1976. Potassium release from sand, silt and clay separates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 364-366.
19. Pohlman, A. A. & J. G. McColl. 1986. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids. *J. Environ. Qual.* 15: 86-92.
20. Rahmatullah, & K. Mengel. 2000. Potassium release from mineral structures by H⁺ ion resin. *Geoderma*, 96: 291-305.
21. Reed, M. G. & D. Scott. 1962. Kinetics of potassium release from biotite and muscovite in sodium tetraphenylboron solutions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 437-440.
22. Sadusky, M. C., D. L. Sparks, M. R. Noll, & G. J. Hendricks. 1987. Kinetics and mechanism of potassium release from sandy middle Atlantic Coastal plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1460-1465.
23. Simard, R. R., C. R. Dekimpe, & J. Zizka. 1989. The kinetics of nonexchangeable potassium and magnesium release from Quebec soil. *Can. J. Soil Sci.* 69:663-675.
24. Simard, R. R., C. R. Dekimpe, & J. Zizka. 1992. Release of potassium and magnesium from soil fraction and its kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1421-1428.
25. Song, S. K. & P. M. Huang. 1988. Dynamics of potassium release from potassium bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 383-390.
26. Sparks, D. L. & M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. P. 201-276. In R. D. Munson (ed.), *Potassium in Agriculture*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
27. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* 6: 1-63.
28. Sparks, D. L. 1996. *Methods of soil Analysis . Part 3. Chemical Analysis*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

29. Sposito, G. 1989. The chemistry of soil. Oxford Univ. Press, New York.
30. Subba Rao, A., Ch. Srinivasa Rao, & T. R. Rupa. 2000. Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. *Soil Sci.* 165: 578-586.
31. Uribe, E. & F. R. Cox. 1998. Soil properties affecting availability of potassium in highly weathered soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 148-152.

Kinetics of Release Rate of Nonexchangeable K along with Plant Responses in Some Soils of Gilan Province

A. R. HOSSEINPOUR¹ AND M. KAVUSI²

1, Assistant Professor, Soil Science Department, Bu Ali Sina University,

2, Academic Member, Iran Rice Research Institute

Accepted Oct. 15, 2003

SUMMARY

The release rate of nonexchangeable K (NEK) plays a significant role in supplying available K, particularly in soils containing K bearing minerals. Information concerning NEK release rate in Gilan soils is limited. The objective of this research was to study the dynamics of NEK in 10 different soils from Gilan province through successive extraction with 10 mM citric acid over a period of 2500 h and the correlation of kinetic equations rate constants with soil properties and alfalfa plant indices. The amount of NEK released after 2500 h ranged from 134-619 mg kg⁻¹, in which the highest and the lowest amount of NEK was in soil no 3 and no2 respectively. The amount of NEK released after 2500 h was significantly correlated with NEK content (R=0.83). The kinetics of cumulative NEK released were evaluated using the kinetic equations. First order, parabolic diffusion law and power function equation described well the NEK release kinetics, based on their highest determination coefficient and their lowest value of the standard error of the estimate. Rate constants particularly in first order and parabolic diffusion equations were different from soil to soil. These variations were attributed to differences in particle size distribution and to the type and content of clay minerals. In correlation study, the rate constant of the power function equation was not significantly correlated with soil properties. The rate constants of first order equation was significantly correlated with clay (r=-0.59*), sand (r=0.68*), CEC (r=-0.63*) and pH (r=0.64). The rate constant of parabolic diffusion equation was significantly correlated with clay (r=-0.76*), sand (r=0.66*), CaCO₃ (r=-0.62*) and CEC (r=-0.63*). The rate constant of the power function equation was not significantly correlated with plant indices. The rate constants of the other equation were significantly correlated with concentration and uptake indices, but these constants were not significantly correlated with yield.

Key words: Nonexchangeable K, Release, Citric acid, Alfalfa.