

سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در ارتباط با کانی‌شناسی رس برخی از خاک‌های آهکی استان کهگیلویه

حمیدرضا اولیایی^{۱*}، صفورا حیدرماه^۱، ابراهیم ادهمی^۱ و مهدی نجفی قیری^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۰۳)

چکیده

سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌ها می‌تواند وضعیت حاصلخیزی پتاسیم را تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه سینتیک آزادسازی پتاسیم توسط عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در ۱۲ نمونه خاک سطحی استان کهگیلویه بررسی گردید. نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در پایان آزمایش در دامنه‌ی ۸۹/۹ تا ۴۶۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۹۵/۴) بوده است. مقادیر کربنات کلسیم، پتاسیم غیرتبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان کانی میکا از عوامل مؤثر بر آزادسازی پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند. بیشترین آزادسازی پتاسیم در خاک‌های آلفی سولز رخ داد که علت اصلی آن احتمالاً وجود مقادیر زیادتر رس و کانی میکا می‌باشد. به‌طور کلی آزادسازی پتاسیم از خاک‌ها براساس تکامل آنها روند آلفی سولز < اینسپتی سولز < انتی سولز را نشان داد. داده‌های حاصل از مطالعات با مدل‌های مختلف سینتیکی برازش داده شد و براساس آن معادلات الوویچ، تابع توانی و پارابولیک آزاد شدن پتاسیم از خاک‌های منطقه را به‌نحو قابل قبولی توصیف نمودند. انطباق داده‌های سینتیکی با این معادلات نشان می‌دهد که آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌های منطقه توسط فرآیند پخشیدگی کنترل می‌شود.

کلمات کلیدی: آزادسازی پتاسیم، کانی رسی، کلرید کلسیم، معادلات سینتیکی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h_owliaie@yahoo.com

مقدمه

پتاسیم استفاده شده است. این مدل‌ها شامل معادلات الویچ، پخشیدگی پارابولیک، تابع توانی، مرتبه‌ی صفر و مرتبه‌ی اول می‌باشند. به‌طور کلی استفاده از معادله‌های مختلف برای بررسی سینتیک آزادسازی پتاسیم و تعیین بهترین معادله بستگی به سازوکار اصلی مؤثر در آزادسازی پتاسیم، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی خاک، نوع روش آزمایشگاهی استفاده شده و تیمار یا عدم تیمار خاک قبل از شروع آزمایش دارد (۲۹).

سرینواسارائو و همکاران (۳۱)، آزادسازی پتاسیم به‌وسیله‌ی عصاره‌گیری با محلول کلرید کلسیم ۰/۱ مولار در خاک‌های با رس منبسط‌شونده در هندوستان را مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده نمودند که روند آزادسازی از معادله‌ی مرتبه‌ی اول تبعیت می‌کند. جلالی (۱۹)، در بررسی رهاسازی پتاسیم با استفاده از محلول کلرید کلسیم در خاک‌های آهکی جنوب ایران نتیجه‌گیری کرد که سینتیک آزادسازی پتاسیم از خاک‌ها دو مرحله‌ای بوده و به‌طور قابل قبولی توسط مدل‌های الویچ، تابع توانی، پخشیدگی پارابولیک و مرتبه‌ی اول توصیف می‌شود.

مقدار پتاسیم قابل استفاده شامل محلول، تبادلی و بخشی از پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران زیاد می‌باشد. اما امروزه به‌دلیل کشاورزی فشرده و عدم استفاده از کودهای حاوی پتاسیم بیشتر این خاک‌ها در حال تبدیل شدن به خاک‌های دچار کمبود می‌باشند (۳). در این شرایط علاوه بر افزودن کودهای حاوی پتاسیم، منبع غیرتبادلی پتاسیم نیز می‌تواند در تأمین نیاز گیاه مهم باشد. اما این در شرایطی که آهنگ آزادسازی پتاسیم در خاک قابل توجه باشد می‌تواند به‌عنوان یک چاره در نظر گرفته شود. عوامل متعددی می‌توانند روی آهنگ آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی اثرگذار باشند از جمله نوع و مقدار کانی‌های خاک، درجه هوا دیدگی خاک، توزیع اندازه ذرات، عمق خاک و غیره (۲۴).

از آنجاکه اطلاع از میزان پتاسیم غیرتبادلی و سینتیک آزادسازی آن در ارتباط با کانی‌شناسی رس و تکامل خاک در مدیریت حاصلخیزی خاک اهمیت دارد و تا کنونی پژوهشی پیرامون این موارد در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد

پتاسیم به‌عنوان عنصری ضروری برای رشد گیاه، در کشاورزی اهمیت زیادی دارد. این عنصر در خاک به چهار شکل وجود دارد که به ترتیب سهولت جذب برای گیاه شامل پتاسیم محلول، تبادلی، غیر تبادلی و ساختمانی می‌باشد (۲۳). واکنش‌های سینتیکی و تعادلی بین چهار شکل پتاسیم خاک، سطح پتاسیم محلول و قابلیت دسترسی شکل‌های مختلف پتاسیم برای جذب گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۹). بسته به نوع خاک حدود ۹۰ تا ۹۸ درصد از پتاسیم کل به‌صورت ساختمانی و ۱ تا ۱۰ درصد کل پتاسیم به‌شکل غیرتبادلی و تنها ۲ درصد از آن در فاز محلول و تبادلی خاک موجود می‌باشد (۲۸).

کاهش غلظت پتاسیم در محلول خاک به‌وسیله جذب پتاسیم توسط گیاهان و میکروب‌ها یا شستشوی پتاسیم از خاک‌ها باعث آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی به محلول خاک می‌گردد. چندین فرایند، آزادسازی پتاسیم از کانی‌های رسی را کنترل می‌کند. دو فرآیند معمول آزادسازی شامل: ۱- انحلال میکا و در پی آن تشکیل محصولات هوا دیدگی و ۲- خروج پتاسیم بین لایه‌های میکاها و تبدیل آنها به اسمکتیت و اورمیکولیت می‌باشد (۲۹).

با توجه به شرایط متفاوت خاک‌ها برای مطالعات آزادسازی پتاسیم، از عصاره‌گیرهای متفاوت و روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که می‌توان از محلول‌های نمکی رقیق، رزین‌های تبادل کاتیونی، اسیدهای آلی، سدیم تترافنیل بران، اسید نیتریک و الکترواولترافیلتراسیون نام برد (۲۳). محققان زیادی برای مطالعه‌ی سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از عصاره‌گیر محلول رقیق کلرید کلسیم استفاده کرده‌اند (۱۶). جلالی (۱۸) و حسین‌پور و صفری سنجانی (۱۶) بیان می‌کنند که در خاک‌های آهکی یون کلسیم معمول‌ترین کاتیون برای تبادل پتاسیم بین لایه‌ای می‌باشد. بنابراین عصاره‌گیری متوالی پتاسیم با کلسیم یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها می‌باشد.

مدل‌های سینتیکی مختلفی برای توصیف روند آزادسازی

شد و ضریب تبیین (R^2) با رگرسیون حداقل مربعات و خطای استاندارد برای ارزیابی معادلات مختلف استفاده گردید. این معادلات عبارت‌اند از معادله الویچ ($Y=a+b \ln t$)، پخشیدگی پارابولیک ($Y = a + b t^{1/2}$)، تابع توانی ($\ln Y = \ln a + b \ln t$)، مرتبه‌ی صفر [$(Y^0 - Y) = a - b t$] و مرتبه‌ی اول [$\ln(Y^0 - Y) = a - b t$]؛ که در آن Y مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده (میلی گرم بر کیلوگرم خاک)، در زمان t (ساعت)، Y^0 حداکثر پتاسیم تجمعی آزاد شده (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) و a و b ثابت‌های معادله‌ها می‌باشند.

نتایج و بحث

جدول ۱ اطلاعات عمومی مرتبط با مکان‌های برداشت نمونه را در مناطق مختلف اقلیمی استان نشان می‌دهد. جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول خاک‌های مورد مطالعه در سه راسته‌ی اتی‌سولز (حداقل تکامل)، اینسپتی‌سولز (تکامل متوسط) و آلفی‌سولز (حداکثر تکامل) قرار داشتند و به‌طوری که مشاهده می‌شود همه خاک‌ها دارای واکنش خنثی تا کمی قلیایی هستند. تمام خاک‌ها آهکی بوده و مقدار کربنات کلسیم معادل در آنها در دامنه‌ی ۶۵-۱۸ درصد می‌باشد (جدول ۲). دامنه‌ی تغییرات رس، سیلت و شن خاک‌ها به ترتیب ۵۳-۲۳، ۵۸-۱۹ و ۵۲-۱۶ درصد می‌باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مورد بررسی در دامنه‌ی ۳۱-۱۱ سانتی مول بر کیلوگرم با میانگین ۲۱ می‌باشد، این ویژگی با مقدار رس همبستگی داشت ($r=0.632^{**}$). میانگین مقدار پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی به ترتیب ۹، ۷۲، ۳۴۱ و ۷۸۷۱ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بود.

نتایج کانی‌شناسی

مقادیر نیمه‌کمی کانی‌های رسی غالب در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس کانی‌های عمده‌ی شناسایی شده شامل میکا، کلریت، اسمکتیت و پالیگورسکیت می‌باشند (شکل ۱). در برخی نمونه‌ها مقادیر

صورت نگرفته‌است، پژوهش حاضر به منظور آگاهی از موارد یاد شده انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

۱۲ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از مناطق مختلف اقلیمی استان جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۲) تعیین گردید. pH در گل اشباع و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شدند. کربن آلی به روش سوزاندن تر (۱۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم ۱ نرمال (۱۰)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۲۷) اندازه‌گیری شدند. خالص‌سازی رس براساس روش‌های کیتیک و هوپ (۲۰) و جکسون (۱۷) و با استفاده از دستگاه پراش پرتوایکس (زیمنس مدل دی ۵۰۰۰) صورت گرفت. میزان نیمه کمی کانی‌ها با استفاده از مقایسه سطح زیر هر منحنی در تیمار منیزیم-گلیسرل محاسبه گردید.

شکل‌های مختلف پتاسیم خاک شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل به ترتیب در عصاره‌ی اشباع، عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال، عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان و هضم با اسید فلوریدریک و تیزاب سلطانی اندازه‌گیری و پتاسیم استخراج شده توسط دستگاه شعله‌سنجی مدل کورنینگ ۴۰۵ تعیین گردیدند (۲۵).

آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی

برای مطالعه‌های سینتیک آزادسازی پتاسیم ابتدا پتاسیم تبادلی و محلول خاک‌ها با محلول ۱ نرمال کلرید کلسیم خارج گردید. پس از هواخشک شدن نمونه‌ها ۳ گرم از نمونه را در لوله‌ی سانتی‌فیوژ ریخته و ۳۰ میلی‌لیتر از محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به آن اضافه گردید و به مدت معین (۲، ۴، ۷، ۱۱، ۱۶، ۳۲، ۵۶، ۸۰، ۱۰۴، ۱۵۲، ۲۴۸، ۳۴۴، ۴۹۰ و ۶۵۸ ساعت) تکان داده شد. سپس نمونه‌ی سانتی‌فیوژ شده و محلول زلال رویی صاف و جهت اندازه‌گیری غلظت پتاسیم نگهداری گردید. پتاسیم آزاد شده نسبت به زمان با معادلات مختلف سینتیکی برازش داده

جدول ۱. مشخصات عمومی مناطق مطالعه شده در استان کهگیلویه و بویراحمد

نمونه	منطقه	مختصات جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	رژیم رطوبتی	رژیم حرارتی	رده‌بندی (تاکسونومی)
۱	کاکان	۳۰° ۳۸' ۰۸"	۲۲۹۳	زریک	مزیک	Typic Haploxeralfs
۲	سروک	۳۰° ۳۷' ۳۱"	۱۸۰۲	زریک	ترمیک	Calcic Haploxeralfs
۳	چنارستان	۳۰° ۳۸' ۵۷"	۱۷۷۲	زریک	ترمیک	Typic Xerorthents
۴	آب گرمک	۳۰° ۴۳' ۲۰"	۱۹۳۲	زریک	مزیک	Calcic Argixerolls
۵	تنگ سرخ	۳۰° ۲۶' ۲۷"	۲۰۴۳	زریک	مزیک	Typic Xerorthents
۶	باشت	۳۰° ۲۱' ۴۱"	۹۲۵	یوستیک	هایپر ترمیک	Typic Calcisteps
۷	چرام	۳۰° ۴۴' ۳۸"	۸۶۲	زریک	ترمیک	Typic Calcixerpts
۸	دهدشت	۳۰° ۴۷' ۰۰"	۸۱۲	زریک	ترمیک	Calcic Haploxeralfs
۹	ایدونک	۳۰° ۵۶' ۵۲"	۶۴۰	یوستیک	ترمیک	Typic Ustorthents
۱۰	قلعه رئیسی	۳۱° ۱۰' ۴۷"	۱۴۹۲	زریک	مزیک	Calcic Haploxeralfs
۱۱	ياسوج	۳۰° ۳۹' ۱۱"	۱۷۹۰	زریک	ترمیک	Calcic Haploxeralfs
۱۲	ياسوج	۳۰° ۳۹' ۰۷"	۱۷۸۷	زریک	ترمیک	Aquic Haploxeralfs

سیستیک آزادسازی پتاسیم

مقدار تجمعی پتاسیم آزاد شده توسط عصاره‌گیری متوالی خاک با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در جدول ۲ نشان داده شده است. دامنه‌ی تغییرات پتاسیم آزاد شده ۴۶۱-۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و به‌طور میانگین ۱۹۵/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. فراهمی پتاسیم غیرتبادلی بستگی به سرعتی دارد که این نوع پتاسیم می‌تواند به شکل‌های قابل جذب تبدیل شود. روند آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با زمان در تعدادی از خاک‌های مورد مطالعه (شکل ۲) نشان داد که سرعت آزاد شدن پتاسیم در تمامی خاک‌ها در مراحل اولیه، زیاد است و سپس به تدریج با زمان کاهش می‌یابد و در نهایت با سرعت نسبتاً ثابتی تا ۶۵۸

اندکی از مخلوط لایه‌ها و کانی کوارتز نیز مشاهده شد. ترتیب فراوانی نسبی کانی‌های رسی در خاک‌های مناطق مورد مطالعه به‌صورت زیر می‌باشد: اسمکتیت < کلریت < میکا < پالیگورسکیت. به‌جز کانی پالیگورسکیت که فقط در نمونه‌های خاک مناطق خشک‌تر استان یافت گردیدند، سه کانی دیگر در تمام خاک‌های مورد مطالعه مشاهده شدند. مطالعات کانی‌شناسی رس صورت گرفته توسط اولیایی (۱) در خاک‌های استان نشان داد که کانی‌های میکا و کلریت دارای منشأ توارثی بوده در حالی که دو کانی اسمکتیت و پالیگورسکیت دارای هر دو منشأ پدوژنیک و توارثی بوده‌اند.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	کربن کلسیم معادل	pH	ظرفیت تبادل کاتیونی	مجموع پتاسیم					
								هدایت الکتریکی	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی غیرتبادلی	پتاسیم ساختمانی	پتاسیم آزاد شده	
			(%)			(dS m ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)					
۱	۴۳	۳۷	۲۰	۱/۸۲	۳۲	۷/۲۰	۲۴	۰/۸۱۰	۱۶	۸۶	۴۲۴	۷۴۳۶	۲۳۸/۶
۲	۳۷	۴۳	۲۰	۰/۵۵	۳۲	۷/۴۱	۲۴	۰/۵۰۷	۵	۵۲	۲۹۶	۷۴۳۶	۱۳۹/۹
۳	۴۱	۳۵	۲۴	۰/۸۵	۱۸	۷/۴۵	۳۱	۰/۸۵۷	۸	۸۶	۸۱۵	۹۵۲۵	۲۴۵/۲
۴	۳۹	۳۶	۲۵	۰/۴۷	۱۹	۷/۴۵	۳۱	۰/۵۷۰	۳۶	۱۸۳	۱۳۰۶	۱۲۶۶۰	۴۶۰/۹
۵	۳۷	۳۵	۲۸	۱/۴۲	۶۵	۷/۱۶	۱۱	۰/۷۲۱	۱۰	۴۰	۵۲	۳۲۵۶	۸۹/۹
۶	۲۵	۵۱	۲۴	۱/۷۸	۴۶	۷/۴۰	۱۸	۰/۱۷۳	۱۹	۹۸	۲۳۶	۷۴۳۶	۱۹۵/۲
۷	۳۹	۴۳	۱۸	۱/۶۶	۵۳	۶/۹۶	۱۸	۱/۳۱۴	۱۳	۵۳	۱۰۱	۵۳۴۶	۱۵۳/۶
۸	۲۹	۴۷	۲۴	۰/۷۵	۴۴	۷/۵۰	۱۱	۰/۵۲۰	۱۳	۸۸	۲۵۲	۶۳۹۱	۱۸۸/۴
۹	۲۳	۲۵	۵۲	۰/۴۹	۶۴	۷/۳۵	۱۱	۰/۶۲۸	۱۰	۴۷	۷۳	۴۳۰۱	۹۹/۴
۱۰	۴۱	۳۱	۲۸	۰/۷۷	۱۸	۷/۴۰	۳۱	۰/۵۵۰	۵	۸۶	۷۲۰	۹۵۲۵	۱۷۵/۲
۱۱	۴۱	۲۹	۳۰	۰/۸۳	۳۵	۷/۵۳	۲۴	۰/۴۳۱	۵	۵۹	۲۷۸	۹۵۲۵	۱۳۹/۹
۱۲	۳۷	۳۷	۲۶	۱/۰۳	۳۳	۷/۵۶	۲۴	۰/۴۰۹	۱۰	۹۴	۴۴۶	۱۱۶۱۵	۲۱۱/۹

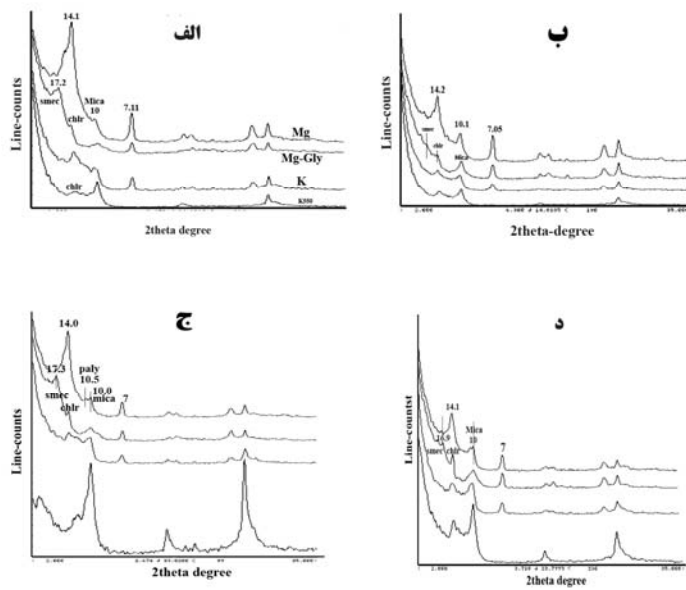
جدول ۳. مقادیر نسبی کانی‌های رسی موجود در خاک‌های مورد مطالعه^۱

شماره خاک	اسمکتیت	کلریت	پالیگورسکیت	میکا
۱	++++	++++	tr	++
۲	++++	+++	tr	+++
۳	++++	++++	tr	++
۴	+++	+++	tr	++++
۵	++++	++++	tr	++
۶	+++	+++	++	+++
۷	++++	+++	+	++
۸	++++	+++	++	+++
۹	+++	+++	+++	+++
۱۰	++++	+++	++	+++
۱۱	++++	++++	tr	++
۱۲	+++	++++	tr	+++

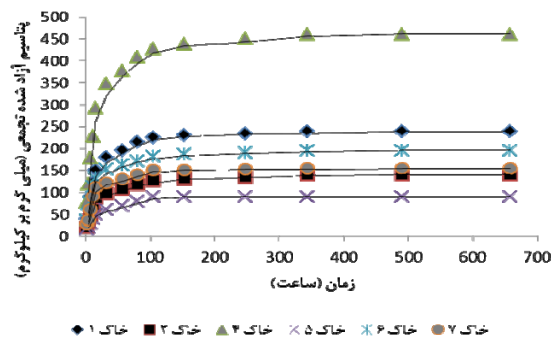
^۱مشاهده نشد، tr: کمتر از ۵ درصد، +: ۵ تا ۱۰ درصد، ++: ۱۰ تا ۲۰ درصد، +++: ۲۰ تا ۳۵ درصد، ++++: ۳۵ تا ۵۰ درصد

یون‌های هم‌اندازه یا کوچک‌تر تبادل می‌شود. شعاع هیدراته‌ی یون کلسیم ۰/۹۶ نانومتر است بنابراین برای کلسیم زمان زیادی احتیاج می‌باشد که با پتاسیم مبادله گردد. آزادسازی پتاسیم با سرعت بالا در مراحل اولیه را می‌توان به‌رهاسازی از مناطق لبه‌ای و گوه‌ای شکل کانی‌ها نسبت داد و در مرحله‌ی دوم با پیشرفت رهاسازی، لبه‌های کانی از هم جدا شده و پتاسیم‌های

ساعت ادامه می‌یابد. مشابه این روند در کانی‌های پتاسیم‌دار و خاک‌ها توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (۸). آزادسازی اولیه و سریع ممکن است از مکان‌های به‌راحتی قابل دسترس روی سطوح خارجی و مکان‌های کناره باشد در حالی‌که آزادسازی آهسته‌ی بعدی امکان دارد از مکان‌های بین لایه‌ای رس‌ها باشد (۸ و ۳۰). یون‌های پتاسیم بین لایه‌ای تنها با



شکل ۱. نمودارهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های رس خاک‌های شماره ۱ (الف)، ۴ (ب)، ۸ (ج) و ۱۲ (د)



شکل ۲. مقادیر تجمع‌ی پتاسیم آزاد شده نسبت به زمان در برخی خاک‌های مطالعه شده

که خاک ۴ (راسته‌ی آلفی-سولز) دارای حداکثر مقدار پتاسیم غیرتبادلی بوده و ظرفیت تبادلی کاتیونی آن نسبت به اغلب خاک‌ها بیشتر است و درصد کربنات‌کلسیم آن نیز کم بوده و هم‌چنین کانی غالب آن میکا می‌باشد، درحالی‌که خاک ۵ (راسته انتی-سولز) دارای حداقل مقدار پتاسیم غیرتبادلی بوده و ظرفیت تبادل کاتیونی آن پایین است و دارای درصد زیادی کربنات‌کلسیم بوده و هم‌چنین کانی غالب آن کلریت می‌باشد که دارای بین‌لایه بروسیت حاوی منیزیم می‌باشد. کونیز و مک‌لین (۱۱) در مطالعه‌ای درباره آزادسازی پتاسیم از پنج خاک در ایالت اوهایو مشاهده کردند که خاک بروکستون به‌دلیل

داخلی‌تر موجود در ساختمان کانی رها می‌شوند، که به‌علت بالا رفتن انرژی جذب پتاسیم در بین لایه‌ها و از طرفی افزایش فاصله‌ی پتاسیم از لبه‌های کانی و افزایش فاصله‌ی پخشیدگی و قدرت جذب پتاسیم، سرعت رهاسازی کاهش می‌یابد. آزادسازی پتاسیم از خاک‌ها با کربنات‌کلسیم به‌دلیل اثر رقت همبستگی منفی و معنی‌دار ($r = -0.645^*$) و با پتاسیم غیرتبادلی، کانی میکا و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r = 0.892^{**}$)، 0.803^{**} و 0.604^* نشان داد. در میان تمامی خاک‌های مورد مطالعه، خاک‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم تجمع‌ی آزاد شده بودند. این امر احتمالاً به این دلیل است

جدول ۴. ضریب تبیین (R^2) و خطای معیار برآورد (SE) مدل‌های استفاده شده

شماره نمونه	صفر		اول		الوویچ		پارابولیک		تابع توان	
	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2
۱	۵۰/۷۶۹	۰/۵۳۵	۰/۴۷۵	۰/۳۹۹	۱۴/۵۱۲	۰/۹۶۲	۳۶/۴۹۸	۰/۷۶۰	۰/۲۱۲	۰/۸۸۰
۲	۲۸/۵۶۷	۰/۵۸۱	۰/۵۱۳	۰/۴۱۴	۷/۳۹۷	۰/۹۷۲	۱۹/۹۸۵	۰/۷۹۵	۰/۲۳۰	۰/۸۸۲
۳	۵۶/۵۰۷	۰/۵۲۶	۰/۵۵۶	۰/۳۸۶	۱۷/۴۹۸	۰/۹۵۵	۴۰/۸۹۶	۰/۷۵۲	۰/۲۵۶	۰/۸۷۰
۴	۹۶/۴۸۸	۰/۵۴۱	۰/۴۷۳	۰/۴۰۱	۲۷/۳۵۴	۰/۹۶۳	۶۹/۳۲۴	۰/۷۶۳	۰/۲۱۲	۰/۸۸۰
۵	۱۹/۴۰۵	۰/۵۸۰	۰/۴۶۸	۰/۴۶۰	۵/۶۷۳	۰/۹۶۴	۱۳/۲۶۰	۰/۸۰۴	۰/۱۷۳	۰/۹۲۶
۶	۴۱/۰۳۵	۰/۵۱۴	۰/۴۶۲	۰/۳۸۱	۱۳/۶۴۹	۰/۹۴۶	۳۰/۴۰۱	۰/۷۳۳	۰/۲۲۳	۰/۸۵۶
۷	۳۵/۱۲۰	۰/۴۷۸	۰/۵۰۲	۰/۳۵۴	۱۳/۰۴۴	۰/۹۲۸	۲۶/۵۷۳	۰/۷۰۱	۰/۲۵۴	۰/۸۳۴
۸	۳۹/۰۹۰	۰/۵۳۴	۰/۴۴۷	۰/۴۰۸	۱۲/۰۷۸	۰/۹۵۶	۲۸/۳۴۸	۰/۷۵۵	۰/۱۹۸	۰/۸۸۴
۹	۱۸/۷۶۶	۰/۶۸۰	۰/۴۵۰	۰/۵۱۰	۳/۲۸۴	۰/۹۹۰	۱۱/۵۶۴	۰/۸۷۸	۰/۱۴۶	۰/۹۴۸
۱۰	۳۴/۹۲۴	۰/۵۷۲	۰/۴۵۴	۰/۴۲۴	۸/۳۴۹	۰/۹۷۶	۲۴/۳۴۶	۰/۷۹۲	۰/۱۹۲	۰/۸۹۷
۱۱	۲۸/۵۶۷	۰/۵۸۱	۰/۵۱۳	۰/۴۱۴	۷/۳۹۷	۰/۹۷۲	۱۹/۹۸۵	۰/۷۹۵	۰/۲۳۰	۰/۸۸۲
۱۲	۴۷/۰۰۹	۰/۵۱۱	۰/۵۱۲	۰/۳۷۴	۱۵/۹۱۸	۰/۹۴۴	۳۴/۸۲۲	۰/۷۳۱	۰/۲۴۸	۰/۸۵۳

نشان داد که پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۶۵۸ ساعت همبستگی معنی‌داری با درصد سیلت و رس ندارد. که این نتیجه با نتایج مطالعه‌ی حسین پور و کاووسی (۵)، در بررسی سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی و پاسخ گیاه در تعدادی از خاک‌های گیلان مطابقت دارد. مقدار آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی به‌خوبی نشان می‌دهد که تعیین مقدار پتاسیم تبادلی به‌تنهایی نمی‌تواند معیاری از کفایت یا عدم کفایت پتاسیم خاک این منطقه برای تأمین نیاز گیاه باشد. بلکه در این ارتباط باید مقدار پتاسیم غیرتبادلی که در طول دوره‌ی رشد گیاه می‌تواند آزاد گردد، نیز در نظر گرفته شود. به‌عبارت دیگر در توصیه‌ی کودهای پتاسیمی در این منطقه باید توان خاک در آزادکردن پتاسیم غیرتبادلی در نظر گرفته شود.

انتخاب بهترین مدل

ضریب همبستگی (R^2) و خطای معیار برآورد (SE) مدل‌های سینتیکی استفاده شده جهت توصیف سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در جدول ۴ نشان داده شده است.

مقادیر R^2 در معادله مرتبه صفر از ۰/۴۷۸-۰/۶۸۰ (میانگین ۰/۵۷۰)، در معادله مرتبه اول از ۰/۳۵۴-۰/۵۱۰ (میانگین ۰/۴۱۹)، در معادله الوویچ از ۰/۹۲۸-۰/۹۹۰ (میانگین

داشتن درصد بالاتر میکا، پتاسیم بیشتری در مقایسه با سایر خاک‌ها آزاد نمود. آنان نتیجه گرفتند که استعداد یک خاک برای آزادسازی پتاسیم، احتمالاً به‌مقدار رس میکا در بخش رس خاک بستگی دارد. دیلون و دیلون (۱۳) گزارش کردند که کانی رسی کنترل‌کننده‌ی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های هند، ایلیت می‌باشد. گاش و سینگ (۱۴)، با مطالعه‌ی ویژگی‌های آزاد شدن پتاسیم از برخی خاک‌های منطقه اوتارپرادش دریافتند که خاک‌هایی که رس غالب آن‌ها ایلیت می‌باشد سرعت آزادسازی بیشتری نسبت به خاک‌های دارای کانی رسی مختلط دارند. ماجومدار و همکاران (۲۱)، با بررسی ارتباط رفتارهای تثبیت و رهاسازی پتاسیم و ترکیب کانی‌های خاک‌های مختلف هند بیان کردند که رهاسازی جمععی پتاسیم از خاک‌های رتی‌سولز دارای بیشترین مقدار بود و میزان رهاسازی پتاسیم و هم‌چنین مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های رتی‌سولز و لاتریتی ارتباط و همبستگی زیادی با میزان کانی میکا داشت. بهارلویی و ابطحی (۴)، با بررسی میزان تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم در ارتباط با تحول خاک‌های منطقه‌ی سروستان فارس بیان داشتند که استعداد این خاک‌ها برای آزادسازی پتاسیم احتمالاً به‌مقدار ایلیت در بخش رس خاک بستگی دارد. نتایج تجزیه‌های آماری مطالعه‌ی حاضر

پتاسیم غیرتبادلی در معادلات الوویچ، تابع توان و پخشیدگی پارابولیک برای خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب ۳۴/۲۵، ۳۴/۳۴ و ۹/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت می‌باشد. مقدار پارامتر a (عرض از مبدأ معادله) بیان‌کننده‌ی آهنگ آزادسازی پتاسیم در ۲ ساعت مرحله اول آزادسازی بوده (مقدار اولیه پتاسیم آزاد شده) و در معادلات الوویچ، تابع توان و پارابولیک برای خاک‌ها به ترتیب ۱۳/۶۳، ۳/۴۸ و ۶۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که بین ضریب سرعت آزادسازی در معادله‌ی الوویچ و پخشیدگی پارابولیک با درصد کربنات کلسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، شکل‌های مختلف پتاسیم و کانی میکا همبستگی معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶). بین ضریب سرعت رهاسازی معادله تابع توان و خصوصیات خاک همبستگی وجود نداشت بنابراین می‌توان گفت که مدل تابع توان احتمالاً به‌خوبی نمی‌تواند آزادسازی پتاسیم از خاک‌ها را توصیف کند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین ضریب سرعت آزادسازی در معادله‌ی الوویچ و پخشیدگی پارابولیک با درصد کربنات کلسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، شکل‌های مختلف پتاسیم و کانی میکا همبستگی معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶). بین ضریب سرعت رهاسازی معادله‌ی تابع توان و خصوصیات خاک همبستگی وجود نداشت بنابراین می‌توان گفت که مدل تابع توان احتمالاً به‌خوبی نمی‌تواند آزادسازی پتاسیم از خاک‌ها را توصیف کند.

به‌طور کلی سرعت آزادسازی پتاسیم در ارتباط با تکامل خاک‌های مور مطالعه روند آلفی‌سولز < اینسپتی‌سولز > انتی‌سولز را نشان داد. با توجه به ثابت سرعت در معادله‌ی الوویچ و پخشیدگی پارابولیک، خاک آلفی‌سولز به‌دلیل داشتن ثابت سرعت بالاتر، از لحاظ سرعت آزادسازی پتاسیم سریع‌تر از بقیه خاک‌ها بوده و خاک آنتی‌سولز به‌دلیل ثابت سرعت کمتر، سرعت آزادسازی پایین‌تری نیز خواهد داشت. منگل و اوهلنبرگر (۲۲) در یک آزمایش گلدانی تحت کشت گیاه چاودار دریافتند که ثابت b در معادلات الوویچ، تابع توان و پخشیدگی

و در معادله تابع توان از ۰/۹۴۸-۰/۸۳۴ (میانگین ۰/۸۸۹) و در معادله پخشیدگی پارابولیک از ۰/۸۷۸-۰/۷۰۱ (میانگین ۰/۷۸۷) متغیر بودند.

در کلیه خاک‌ها، معادله الوویچ، تابع توان و پخشیدگی پارابولیک بهتر بر داده‌ها تطبیق داده شدند و به‌عنوان بهترین مدل برای توصیف سینتیک آزادسازی پتاسیم انتخاب شدند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی توسط فرآیند پخشیدگی کنترل می‌گردد. به‌عبارت دیگر پخشیدگی پتاسیم به خارج توده کانی یا نواحی هوا دیده، کنترل‌کننده‌ی سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها می‌باشد (۲). رحمت‌الله و منگل (۲۶)، بیان کردند که توجیه‌شدن رهاسازی جمعی پتاسیم با تمام معادلات به‌غیر از معادله مرتبه صفر، بیانگر این است که با گذشت زمان، سرعت رهاسازی کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر گزارش شده است، هاوولین و همکاران (۱۵)، در بررسی مدل‌های ریاضی بر روی سینتیک آزادسازی پتاسیم در خاک‌های آهکی نتیجه گرفتند که سه معادله‌ی الوویچ، تابع توان و پخشیدگی پارابولیک به‌نحو قابل قبولی بر داده‌ها تطبیق نمودند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارند. شهبازی و بازرگان (۷)، در بررسی سینتیک آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی نشان دادند که معادله‌ی تابع توانی، پخشیدگی پارابولیک و الوویچ به‌خوبی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی را توصیف می‌کنند.

ثابت سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی

ثابت سرعت آزادسازی پتاسیم یا همان مقادیر شیب (b) و عرض از مبدأ (a) کلیه نمونه‌های خاک برای معادلات سینتیکی در جدول ۵ آمده است. ثابت‌های سرعت معادله‌ها در خاک‌ها متفاوت بود، این تغییرات به اختلاف در توزیع اندازه‌ی ذرات، نوع و مقدار کانی‌های رسی نسبت داده شد. مقادیر b که شاخصی از آهنگ آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی می‌باشد در معادلاتی که همبستگی بیشتری با سینتیک آزادسازی پتاسیم نشان می‌دهند حائز اهمیت است. ضریب سرعت آزادشدن

جدول ۵. شیب (b) و عرض از مبدأ (a) مدل‌های استفاده شده

شماره نمونه	الوویج		پارابولیک		تابع توان	
	a	b	a	b	a	b
۱	۱۹/۴۸۳	۴۱/۶۴۷	۸۰/۸۰۰	۱۱/۰۲۲	۳/۸۳۲	۰/۳۲۸
۲	۵/۰۹۲	۲۴/۸۳۳	۴۰/۷۴۹	۶/۶۹۰	۳/۱۱۸	۰/۳۵۹
۳	۵/۶۴۱	۴۵/۷۴۵	۷۳/۱۱۳	۱۲/۰۹۱	۳/۶۲۶	۰/۳۷۷
۴	۳۸/۱۰۸	۷۹/۶۹۷	۱۵۵/۱۸۷	۲۱/۱۲۶	۴/۴۸۹	۰/۳۲۷
۵	۱/۷۱۲	۱۶/۷۶۴	۲۵/۴۵۳	۴/۵۵۹	۲/۷۳۴	۰/۳۵۰
۶	۲۲/۹۹۰	۳۲/۶۵۸	۷۱/۶۹۶	۸/۵۶۲	۳/۷۲۱	۰/۳۱۰
۷	۱۶/۷۴۹	۲۶/۷۰۷	۵۷/۲۵۷	۶/۹۱۴	۳/۴۳۵	۰/۳۲۵
۸	۱۹/۰۷۵	۳۱/۹۳۹	۶۶/۰۷۳	۸/۴۵۶	۳/۶۶۷	۰/۳۱۲
۹	-۰/۲۳۶	۱۸/۸۳۲	۲۵/۱۹۰	۵/۲۸۳	۲/۷۹۰	۰/۳۵۷
۱۰	۱۳/۷۱۳	۳۰/۰۸۸	۵۷/۱۴۸	۸/۰۷۵	۳/۵۲۶	۰/۳۲۳
۱۱	۵/۰۹۲	۲۴/۸۳۳	۴۰/۷۴۹	۶/۶۹۰	۳/۱۱۸	۰/۳۵۹
۱۲	۱۶/۴۱۴	۳۷/۲۴۴	۷۱/۹۵۳	۹/۷۶۵	۳/۶۵۷	۰/۳۴۱

جدول ۶. همبستگی بین ضرایب a و b معادلات مختلف با خصوصیات خاک‌ها

خصوصیات	الوویج		تابع توان		پارابولیک	
	a	b	a	b	a	b
کربنات کلسیم معادل	-۰/۴۰۷	-۰/۶۵۹*	-۰/۶۶۴*	-۰/۰۴۵	-۰/۶۰۷*	-۰/۶۵۹*
CEC	۰/۳۲۱	۰/۶۱۹*	۰/۵۶۱	۰/۱۸۰	۰/۵۵۰	۰/۶۱۹*
میکا	۰/۶۴۲*	۰/۷۹۰**	۰/۶۳۷*	-۰/۲۱۱	۰/۷۶۵**	۰/۸۰۰**
پتاسیم محلول	۰/۸۴۸**	۰/۷۹۳**	۰/۷۳۲**	-۰/۴۸۳	۰/۸۴۵**	۰/۷۹۲**
پتاسیم تبادلی	۰/۸۸۳**	۰/۹۵۰**	۰/۹۲۲**	-۰/۳۹۷	۰/۹۶۹**	۰/۹۵۰**
پتاسیم غیرتبادلی	۰/۵۹۹*	۰/۹۰۴**	۰/۷۷۵**	-۰/۰۱۹	۰/۸۴۱*	۰/۹۰۹**
پتاسیم ساختمانی	۰/۵۴۷	۰/۷۴۰**	۰/۷۱۸**	-۰/۰۱۷	۰/۷۱۱**	۰/۷۳۹**

* و **: به ترتیب در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی دار می‌باشد.

خاک‌ها توسط کلرید کلسیم به مقدار زیاد بستگی به کانی‌شناسی رس‌ها دارد و میزان آزادسازی پتاسیم از خاک‌های دارای کانی غالب میکا، بیشتر از سایر خاک‌ها می‌باشد. این نکته را باید در نظر داشت که تبادل پتاسیم در میکاها بستگی به نوع و ساختمان آن دارد. به علت ساختمان هشت‌وجهی دوجایی، مسکوویت بسیار مقاوم‌تر از بیوتیت در آزادسازی پتاسیم می‌باشد (۳۲). با توجه به این موضوع و در نظر گرفتن مقدار زیاد پتاسیم آزاد شده از خاک‌های مورد مطالعه می‌توان تا حدودی نسبت به غالبیت بیوتیت نسبت به مسکوویت در خاک‌های مورد مطالعه اظهار نظر کرد. از طرف دیگر ذکر این

پارابولیک، توانسته به عنوان یک معیار معتبر برای تخمین پتاسیم قابل دسترس خاک استفاده گردد. زائرنوملی (۵)، گزارش کرد که خاک‌های آلفی سول و اینسپتی سولز به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده می‌باشند، و علت آزادسازی بیشتر در خاک آلفی سولز مورد مطالعه را مقادیر زیاد رس و پتاسیم غیرتبادلی و وجود کانی‌های ایلیت و ورمی کولایت با بین لایه هیدروکسی (HIV) دانستند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که سرعت آزادسازی پتاسیم از

رها سازی پتاسیم باشد. آزاد سازی پتاسیم از خاک های مورد مطالعه توسط مدل های الویچ، تابع توان و پخشیدگی پارابولیک به خوبی توصیف می شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که فرآیند آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی توسط فرآیند پخشیدگی کنترل می گردد. به طوری که سرعت آزاد سازی پتاسیم در مراحل اولیه سریع است و پس از آن به تدریج کاهش می یابد. به طور کلی سرعت آزاد سازی پتاسیم از رسته های خاک روند آلفی سولز < اینسپتی سولز < انتی سولز را نشان داد.

نکته نیز ضروری است فلدسپات ها می توانند مسئول آزاد سازی بخشی از پتاسیم مخصوصا از ذرات درشت خاک باشند که این امر به ویژه در شرایط اسیدی و یا در صورت افزودن ماده آلی به خاک ها و اثرات اسید های آلی می تواند اهمیت پیدا کند. همچنین میزان کربنات کلسیم، پتاسیم غیر تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی در آزاد سازی پتاسیم از خاک مؤثر است. نتایج نشان داد که سرعت آزاد سازی پتاسیم غیر تبادلی، همبستگی معنی داری با درصد رس و سیلت ندارد و این نتیجه می تواند نشان دهنده ماهیت متفاوت و خصوصیات مختلف منابع و سطوح مختلف

منابع مورد استفاده

۱. اولیایی، ح. م. ۱۳۸۴. مطالعه کانی شناسی رس، میکرومورفولوژی و تکامل خاک های استان کهگیلویه و بویراحمد، جنوب غرب ایران. پایان نامه ی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۲۳۲ صفحه.
۲. بحرینی طوحان، م. ا.، دردی پور و ع. م. م. ۱۳۸۹. سرعت رها سازی پتاسیم غیر تبادلی با استفاده از اسید سیتریک و کلرید کلسیم رقیق در خاک های زراعی سری های غالب استان گلستان. مجله ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۳ (۱۴): ۱۱۳-۱۲۶.
۳. بلالی، م. ر. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات پتاسیم تبادلی در خاک های کشاورزی ایران. مجله خاک و آب ۱۲ (۳): ۵۹-۷۰.
۴. بهارلویی، ژ. و ع. ابطحی. ۱۳۸۲. بررسی میزان تغییرات شکل های مختلف پتاسیم در ارتباط با تحول خاک های سروستان. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه گیلان.
۵. حسین پور، ع. و م. کاوسی. ۱۳۸۳. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی و پاسخ گیاه در تعدادی از خاک های گیلان. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۵ (۲): ۳۴۷-۳۵۵.
۶. زائرنوملی، ص. ۱۳۸۶. بررسی شکل های مختلف پتاسیم و ارتباط آن با تکامل پروفیلی خاک و کانی های رسی در برخی از خاک های انتخابی استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.
۷. شهبازی، ک. و ک. بازرگان. ۱۳۸۹. سینتیک آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در خاک ها با استفاده از روش تترافنیل بران سدیم. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۴۱ (۱): ۱-۱۰.
8. Bolt, G. A., M. E. Summer and A. Kamphorst. 1963. A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitic soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 294-299.
9. Carey, P. L. and A. K. Metherell. 2003. Rates of release of non-exchangeable potassium in New Zealand soils measured by a modified sodium tetraphenyl-boron method. *New Zealand J. of Agri. Res.* 46: 185-197.
10. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. *In: Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, part 2. Am. Soc. of Agronomy, Madison, WI.*
11. Conveys, E. S. and E. O. Mclean. 1969. Plant uptake and chemical extractions for evaluating potassium release characteristics of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:226-230.
12. Day, R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. PP: 545-566. *In: Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part I. American Society of Agronomy, Madison, WI.*

13. Dhillon, S. K. and K. S. Dhillon. 1992. Kinetics of release of potassium by sodium tetraphenylboron from some top soil samples of red (Alfisol), black (Vertisol) and alluvial (Inceptisols and Entisols) soils of Indian. *Fertil. Res.* 32: 135-138.
14. Ghosh, B. N. and R. D. Singh. 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: 135-140.
15. Havlin, J. L., D. G. Westfall and S. R. Olsen. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 371-376.
16. Hosseinpur, A. R. and A. A. Safari Sinegani. 2007. Soil Potassium-Release Characteristics and the Correlation of its Parameters with Garlic Plant Indices. *Communications in Soli Sci., and Plant Anal.* 38: 107-118.
17. Jackson, M. L. 1975. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course*; University of Wisconsin, college of Agriculture, Dept. of Soils: Madison, WI. 187p.
18. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 135: 63-71.
19. Jalali, M. 2007. Spatial variability in potassium release among calcareous soils of western Iran. *Geoderma*. 140: 42-51.
20. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Sci.* 96: 312-325.
21. Majumdar, K., S. K. Sanyal and S. Datta. 2002. Potassium release and fixation behavior of mineralogically different soils of India. 17th WCSS, 14-21 August, Thailand.
22. Mengel, K. and K. Uhlenbecker. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by *Reyegrass*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 761-766.
23. Najafi, M., A. Abtahi., N. Karimian., H. R. Owliaie and F. Khormali. 2011. Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agron. and Soil Sci.* 57(4): 343-363.
24. Najafi Ghiri, M., A. Abtahi and F. Jaberian. 2011. Factors affecting potassium release in calcareous soils of southern Iran. *Soil Res.* 49: 529-537.
25. Pratt, P. F. 1965. Potassium. PP. 1022-1030. *In: Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* American Society of Agronomy, Madison, WI,
26. Rahmatullah, A. and K. Mengel. 2000. Potassium release from Mineral structures by H^+ ion-resin. *Geoderma* 96: 291- 305.
27. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils.* U. S. Salinity Laboratory Staff. USDA. Hand book No. 60. USA. 160 pp.
28. Schroeder, D. 1979. Structure and weathering of potassium containing minerals. *Proc. Cong. Intl. Potash Institute* 11: 43-63.
29. Sparks, D. L. 2000. Bioavailability of soil potassium, PP. D-38-D-52. *In: Sumner, M.E. (Ed.) Handbook of Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, FL.
30. Srinivasarao, C., T.R. Rupa, A. Subba Rao, G. Ramesh, and S. K. Bansal. 2006. Release kinetics of nonexchangeable potassium by different extractants from soils of varying mineralogy and depth. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37(3): 473-491.
31. Srinivasarao, C., A. Subba Rao and A. N. Ganeshamurthy. 1995. Status and desorption kinetics of potassium in some Swell- Shrink soils. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 43: 356-360.
32. Thiry, Y., A. Gommers, A. Iserentant and B. Delvaux. 2005. Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocesium from weathered micas: II. Influence of mineral alterability. *J. Environ. Qual.* 34: 2174-2180.