سینتیک آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاکدانه‌های با اندازه متفاوت در تعدادی از خاک‌های آهکی

سیده زهرا عطار شهرکی، علیرضا حسین‌پور، حمیدرضا متقیان* و شجاع قربانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۴)

چکیده

مطالعه سرعت آزاد شدن پتاسیم اهمیت زیادی در درک بهتر وضعیت پتاسیم قابل استفاده گیاه در خاک‌های مختلف دارد. خاکدانه‌های با اندازه مختلف تأثیرات متفاوتی بر آزاد شدن عناصر غذایی دارند. هدف این پژوهش، مطالعه سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک، خاکدانه‌های ریز و درشت تعدادی از خاک‌های آهکی بود. برای این منظور، سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در پنج خاک آهکی استان چهارمحال و بختیاری و خاکدانه‌های ریز و درشت (کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) مطالعه شد. نمونه‌های خاک به روش متوالی و با استفاده از کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ تا ۲۰۱۷ ساعت عصاره‌گیری شدند. نتایج نشان داد که دامنه تغییرات پتاسیم آزاد شده پس از ۲۰۱۷ ساعت، در خاک، خاکدانه‌های ریز ودرشت به‌ترتیب در دامنه ۳۷۲/۷- ۱۷۳/۵، ۴۲۶/۱- ۲۱۵/۱ و ۳۸۱/۵- ۱۷۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار پتاسیم آزاد شده از خاکدانه‌های ریز، بیشتر از خاک و خاکدانه‌های درشت بود. براساس ضریب تشخیص و خطای استاندارد، پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده با استفاده از معادله‌های مرتبه اول، تابع توانی، انتشار پارابولیکی و الوویچ ساده به‌خوبی توصیف شد. ضرایب سرعت آزاد شدن پتاسیم در خاک‌های مختلف متفاوت بود. به‌طورکلی، مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده و سرعت آزاد شدن آن در محلول کلرید کلسیم، در خاکدانه‌های ریز بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود.

واژه‌های کلیدی: آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی، خاکدانه، کلرید کلسیم، معادله‌های سینتیکی

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: motaghian.h@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در جهان امروز، یکی از مشکلات اساسی بشر تأمین نیازهای غذایی است، به گونه‌ای که امنیت غذایی به‌عنوان یکی از اهداف مهم سرلوحه برنامه‌های دولت‌ها قرار گرفته است. بدون شک به‌منظور نیل به امنیت غذایی علاوه‌بر اتخاذ سیاست‌های مطلوب و برخورداری از منابع کافی باید تولید کشاورزی به گونه‌ای باشد که همه نیازهای جامعه را برآورده کند. خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی جهان محسوب می‌شود که پایه بسیاری از تمدن‌های بشری بر باروری آن استوار شده است (۷). اولین بار لیبیگ، پتاسیم را به‌عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه معرفی کرد. پتاسیم با شعاع یونی ۱/۳۳ آنگستروم و وزن اتمی ۳۹/۱ گرم بر مول، از جمله مهم‌ترین فلزات قلیایی به‌شمار می‌رود. این عنصر به‌عنوان فراوان‌ترین کاتیون در گیاه و فعال‌کننده آنزیم‌های متعدد است. پتاسیم به‌علت تمایل به واکنش و میل ترکیبی بالا با سایر عناصر، به شکل عنصری یافت نمی‌شود (۱۲). مقدار پتاسیم در خاک‌های مختلف، متفاوت است؛ اما آن قسمت از کل پتاسیم موجود در خاک، که به‌صورت قابل تبادل یا قابل استفاده گیاه باشد، ناچیز است. بنابراین، ارزیابی وضعیت غذایی خاک از دیدگاه اقتصادی، محیطی و تغذیه مهم است.

پتاسیم در خاک به چهار شکل وجود دارد که به‌ترتیب سهل‌الوصول بودن برای گیاهان و میکروب‌ها عبارتند از: پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی (تثبیت‌شده) و ساختمانی (۸، ۲). تعادل بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک، باعث تداوم تأمین پتاسیم می‌شود. پتاسیم غیرتبادلی در مکان‌های گوه‌ای شکل و همچنین در حفره‌های شش وجهی بین چهار وجهی‌های دو لایه مجاور کانی‌های میکا، ورمی‌کولایت و سایرکانی‌های حدواسط نگهداری می‌شود؛ این نوع پتاسیم همچنین در فضاهای خالی نامنظم موجود در کانی‌های بی‌شکل نیز وجود دارد (۲۷). پتاسیم غیرتبادلی به‌آسانی قابل تبادل نیست و در زمان‌های کوتاه و توسط محلول‌های نمکی آزاد نمی‌شود (۲۷). این شکل پتاسیم در خاک‌ها به‌وسیله عصاره‌گیرهای قوی مانند اسید نیتریک یک مولار و جوشان استخراج می‌شود. پس از مصرف پتاسیم محلول به‌وسیله گیاه یا خارج‌شدن پتاسیم از محیط ریشه توسط آبشویی و کاهش مقدار پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی به‌صورت قابل استفاده درمی‌آید. پتاسیم غیرتبادلی به‌کندی مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد (۱۰). در برخی خاک‌ها، آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی کند و در طی دوره رشد گیاه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. آزاد شدن بخشی از پتاسیم غیرتبادلی، با استفاده از محلول‌های نمکی و شستشوی متوالی امکان‌پذیر است (۶، ۵، ۴ و ۳).

مرز معینی بین پتاسیم بین‌لایه‌ای بومی خاک و پتاسیم تثبیت شده وجود ندارد؛ اما به‌طور کلی می‌توان گفت که پتاسیم بین لایه‌ای بومی نسبت به پتاسیم تثبیت شده با نیروی بیشتری نگهداری می‌شود و به همین دلیل به آن، پتاسیم به سختی قابل تبادل نیز می‌گویند. در خاک‌های دارای رس‌های اسمکتایت‌ها و ورمی کولایت‌ها نیز منبع اصلی تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، پتاسیم تبادلی است و پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها سهم کمی در جذب پتاسیم توسط گیاه برعهده دارد. اما خاک‌های دارای مقادیر کم پتاسیم تبادلی و مقادیر زیاد کانی‌های میکایی و ایلیتی؛ تجدید پتاسیم تبادلی یا محلول تا حد زیادی وابسته به آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی است (۱۶).

نقش پتاسیم غیرتبادلی خاک در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه به عوامل مختلفی مانند نوع کانی، میزان پتاسیم در کانی و فراوانی کانی‌های پتاسیم‌دار و اندازه ذرات آنها، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک، غلظت پتاسیم در آب آبیاری، میزان پتاسیم آزاد شده از بقایای گیاهی و غیره بستگی دارد. در مقایسه با ذرات ریز خاک، ذرات درشت به‌علت هوادیدگی کمتر، حاوی پتاسیم بیشتری هستند. با وجود فراوانی بالفعل پتاسیم در ذرات رسی، درصد پتاسیم ذخیره در ذرات شن و سیلت، با توجه به نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده و درجه تخریب آنها، در بعضی موارد بیشتر از ذرات رس است (۱۴).

علاوه بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی که در اکثر خاک‌ها فراوان است، عامل مهم و عمده دیگر سرعت آزاد شدن و در دسترس گیاه قرار

www.SID.ir

Archive of SID

گرفتن این جزء از پتاسیم در طول دوره رشد گیاه است. اطلاع از درصد سهم هریک از اجزای تشکیل دهنده خاک در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه و نوع کانی‌های تشکیل دهنده هر جزء می‌تواند در تعیین روابط تعادلی بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک، حل پاره‌ای از مسائل تغذیه‌ای مانند تثبیت و آزادسازی پتاسیم و مدیریت کودی آنها در خاک به ما کمک کند (۳).

خاکدانه‌ها، ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هماوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به‌همراه مواد آلی و عوامل سیمانی اتصال دهنده تشکیل می‌شوند. از آنجا که فرایند خاکدانه‌سازی در مقیاس و اندازه‌های مختلفی از ذرات رخ داده و ذرات بزرگ‌تر از هماوری ذرات کوچک‌تر تشکیل می‌شوند؛ بنابراین، باعث ایجاد توزیع اندازه ذرات ثانویه می‌شود که یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است (۲۸).

مطالعه عناصر در خاکدانه‌های با اندازه مختلف می‌تواند در درک توانایی خاک‌ها در نگهداری و آزاد شدن عناصر غذایی و همچنین میزان تحرک، سرعت انتقال و قابلیت استفاده آنها در خاک مفید باشد؛ زیرا ریشه گیاه با ذرات اولیه خاک در تماس مستقیم قرار نمی‌گیرد؛ بلکه با خاکدانه‌ها ارتباط دارد. علاوه‌بر این؛ فرسایش خاک بر خاکدانه‌های با اندازه مختلف یکسان نیست و هدرروی کودها و عناصر با این ذرات مرتبط است. بنابراین، هر عاملی که باعث تبدیل خاکدانه‌های درشت به ریز و یا برعکس شود، می‌تواند حاصلخیزی خاک را نیز تغییر دهد. با وجود اهمیت، این موضوع تاکنون مطالعه‌ای روی بررسی سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاکدانه‌های ریز و درشت انجام نشده است؛ بنابراین این مطالعه با هدف بررسی آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در خاک و خاکدانه‌های ریز و درشت تعدادی از خاک‌های آهکی و توصیف آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از معادله‌های سینتیکی انجام شد.

مواد وروش‌ها

به‌منظور بررسی اثر اندازه خاکدانه ها بر سینتیک آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی پنج نمونه خاک براساس دارا بودن بیشترین تغییرات در ویژگی‌های مقدار رس، پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم یک مولار و پتاسیم غیرتبادلی انتخاب شدند. نقاط نمونه‌برداری شده از زمین‌های زراعی استان چهارمحال و بختیاری در طول ۴۵۵۰۰۰ تا ۴۹۵۰۰۰ متر و در عرض ۳۵۵۰۰۰ تا ۳۶۱۵۰۰۰ متر قرار داشتند.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها شامل توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر (۱۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک (۲۳)، pH در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (۲۹)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۱۷)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید (۲۱) اندازه‌گیری شد. پتاسیم تبادلی خاک‌ها با روش کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و استات آمونیوم ۱ نرمال (۱۷) و همچنین پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها به روش اسیدنیتریک ۱ مولار و جوشان (۸) عصاره‌گیری و پتاسیم عصاره‌گیری شده با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل کورنینگ ۴۱۰) اندازه‌گیری شد.

برای جداسازی خاکدانه‌ها از سری الک های استاندارد استفاده شد. به این ترتیب که ۵۰ گرم خاک خشک را روی الک ۴ ریخته و به‌مدت ۲ دقیقه تکان داده شد. اندازه الک‌ها در این مرحله به‌ترتیب ۴، ۲، ۱و ۰/۲۵ میلی‌متر بود. در پایان هر آزمایش وزن خاک باقی‌مانده روی هر الک یادداشت شد و بر این اساس توزیع اندازه ذرات در حالت خشک تعیین شد. سپس، ویژگی خاکدانه‌های ریز (کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) و درشت (بزرگ‌تر از ۰/۲۵میلی‌متر) از جمله پتاسیم عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و استات آمونیوم یک نرمال (۱۵)، پتاسیم غیرتبادلی به روش اسید نیتریک یک مولار و جوشان (۸)، درصد رس به روش هیدرومتری (۱۲) و درصد کربنات کلسیم معادل (۲۱) تعیین شد.

برای انجام آزمایش سینتیکی، دو گرم خاکدانه‌های ریز و درشت اشباع شده با کلسیم را همراه با ۲۰ میلی‌لیتر از محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در لوله‌های سانتریفیوژ ریخته و ۳۰ دقیقه نمونه‌ها به‌وسیله استفاده تکان‌دهنده برقی تکان داده شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. معادله‌های سینتیکی مورد استفاده در این تحقیق

معادله	مدل
مرتبه صفر	$(M_0-M_t)=a-K_0\times t$
مرتبه اول	$\ln(M_0-M_t)=a-K_1\times t$
انتشار پارابولیکی	$M_t=a+Rt^{0.5}$
تابع توانی	$M_t=at^b$
الویچ ساده	$M_t=a+1/\beta\ln t$

M_0: مقدار پتاسیم آزاد شده ($mg\ kg^{-1}$) بعداز ۲۰۱۷ ساعت، M_t: مقدار پتاسیم آزاد شده ($mg\ kg^{-1}$) در زمان t، K_0، K_1، R، b و β ضرایب سرعت معادله‌ها هستند.

نمونه‌ها در دستگاه انکوباتور در دمای ۱±۲۵ قرار داده شدند و ۳۰ دقیقه قبل از پایان دوره، نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه تکان‌دهنده برقی تکان داده شدند. نمونه‌ها در زمان‌های ۱، ۴، ۸، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴، ۱۶۸، ۳۳۶، ۵۰۴، ۶۷۲، ۸۴۰، ۱۰۰۸، ۱۱۷۶، ۱۳۴۴، ۱۵۱۲، ۱۶۸۰، ۱۸۴۸، ۲۰۱۷ ساعت پس از اضافه‌کردن کلرید کلسیم عصاره‌گیری شدند. برای این منظور سوسپانسیون با دستگاه سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه صاف، محلول رویی جدا و مقدار لازم از محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار مجدداً اضافه و پس از ۳۰ دقیقه تکان دادن نمونه‌ها به انکوباتور منتقل شدند و پتاسیم موجود در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل کورنینگ ۴۱۰) اندازه‌گیری شد (۵، ۴ و ۳).

پس از جمع‌آوری داده‌ها، معادله‌های مرتبه صفر، مرتبه اول، تابع توانی، انتشار پارابولیکی و الوویچ ساده جدول (۱) بر داده‌های تجمعی پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده برازش و براساس ضریب تشخیص و خطای استاندارد برآورد، بهترین مدل‌ها برای توصیف آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی انتخاب و ضرایب این معادله‌های تعیین شدند (۴).

با مقایسه ضریب تشخیص (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE) محاسبه شده، معادله‌ای که بیشترین ضریب تشخیص و کمترین خطای استاندارد برآورد را داشت، به‌عنوان بهترین معادله در توجیه آزاد شدن پتاسیم از خاک شناخته شد. خطای استاندارد از رابطه زیر تعیین شد:

$$SE=[\sum(K-K^*)^2/n-2]^{0.5} \quad [1]$$

در این معادله، K و*K به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده پتاسیم با استفاده از معادله در زمان t و n تعداد مشاهده‌ها هستند.

مقایسه مقدار پتاسیم غیرتبادلی و ضرایب سرعت در خاک، خاکدانه‌های ریز و درشت با استفاده از تجزیه واریانس و پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها (روش بارتلت) و یکنواختی واریانس انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار Statistica انجام شد.

نتایج و بحث

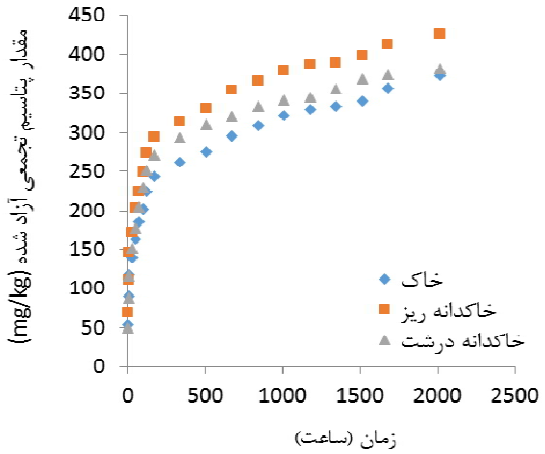
برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است. خاک‌های مطالعه شده دارای مقادیر متفاوت شن، سیلت و رس بودند. رس خاک‌ها در دامنه ۱۷-۵۴/۲ درصد، سیلت در دامنه ۱۴-۴۲ درصد و شن در دامنه ۱۲/۳-۶۹درصد بود. رس در خاکدانه‌های ریز و درشت به‌ترتیب در دامنه ۱۱/۸-۴۱/۸ و ۱۴/۳-۵۱/۸ درصد، سیلت به‌ترتیب ۲۰-۴۷/۵ و ۲۵-۴۵ درصد و درصد شن در این دو خاکدانه به‌ترتیب ۱۸/۲-۶۸/۲ و ۸/۲-۵۵/۷ میزان بود. درصد رس در خاکدانه‌های ریز کمتر از خاکدانه‌های درشت بود. پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در خاکدانه‌های ریز بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. دامنه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها و

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاک		pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	CEC ($cmol(+)\ kg^{-1}$)	ماده آلی	کربنات کلسیم	رس	سیلت
				($mg\ kg^{-1}$)				(٪)		
۱	خاک	۸/۱	۰/۳۳	۴۷۸	۲۱۹۲	۱۸/۷	۰/۹۹	۲۵/۹	۴۳	۴۰
	خاکدانه ریز	۸/۰	۰/۴۴	۵۰۹	۲۲۳۴	۱۹/۴	۱/۰۳	۲۸/۲	۳۴	۴۲
	خاکدانه درشت	۸/۱	۰/۳۶	۴۵۵	۱۹۹۱	۲۰/۸	۰/۸۹	۲۳/۴	۴۴	۴۵
۲	خاک	۸/۳	۰/۳۱	۴۴۳	۱۹۷۲	۱۹/۳	۰/۵۵	۲۹/۶	۵۴	۳۴
	خاکدانه ریز	۸/۱	۰/۳۲	۴۵۲	۲۲۹۳	۱۸/۳	۰/۶۲	۳۷/۷	۴۲	۴۰
	خاکدانه درشت	۸/۰	۰/۲۸	۴۲۳	۱۸۱۶	۱۹/۶	۰/۳۴	۳۴/۲	۵۲	۴۰
۳	خاک	۸/۲	۰/۳۶	۵۳۶	۱۸۷۵	۱۷/۵	۰/۶۲	۳۴/۵	۴۱	۴۲
	خاکدانه ریز	۸/۲	۰/۳۹	۵۲۹	۲۲۳۵	۱۷/۷	۰/۷۵	۴۰/۰	۳۲	۴۷
	خاکدانه درشت	۸/۲	۰/۳۴	۵۱۳	۱۸۷۵	۱۷/۵	۰/۵۵	۳۷/۲	۴۷	۴۰
۴	خاک	۸/۰	۰/۳۴	۳۵۳	۱۶۲۸	۱۱/۹	۰/۵۵	۲۴/۴	۱۷	۱۴
	خاکدانه ریز	۸/۰	۰/۲۸	۴۹۰	۱۸۴۶	۱۰/۱	۰/۹۳	۲۵/۰	۱۲	۲۰
	خاکدانه درشت	۸/۰	۰/۲۶	۳۷۸	۱۶۳۲	۱۲/۲	۰/۸۲	۲۴/۷	۱۴	۳۳
۵	خاک	۸/۰	۰/۳۱	۳۶۹	۱۹۶۵	۹/۳	۰/۸۹	۲۴/۸	۱۸	۱۶
	خاکدانه ریز	۷/۸	۰/۴۵	۳۹۲	۱۹۷۲	۹/۲	۰/۹۶	۲۶/۲	۱۴	۲۲
	خاکدانه درشت	۸/۰	۰/۳۲	۳۷۹	۱۸۲۱	۹/۷	۰/۸۲	۲۳/۵	۱۹	۲۵



شکل ۱. نمودار مقدار تجمعی پتاسیم آزاد شده در کلرید کلسیم در خاک، خاکدانه‌های ریز و درشت شماره ۱

خاکدانه‌های ریز و درشت مورد مطالعه به‌ترتیب از ۹/۴ تا ۱۹/۳، ۹/۲ تا ۱۹/۴ و ۹/۷ تا ۲۰/۸ سانتی مول‌بار در کیلوگرم خاک است. دامنه pH تغییرات چندانی نداشت و همه خاک‌ها در محدوده۷/۷ تا ۸/۲ قرار گرفتند.

در شکل (۱) مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده از خاک، خاکدانه‌های ریز و درشت شماره یک با روش عصاره‌گیری متوالی با کلرید کلسیم تابعی از زمان نشان داده شده است.

سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از این خاک‌ها در مراحل اولیه زیاد و سپس کند شد و با سرعت‌های متفاوتی تا ۲۰۱۷ ساعت ادامه یافت. در سایر خاک‌ها و خاکدانه‌های ریز و درشت آنها روند مشابهی وجود داشت. مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در مراحل اولیه عصاره‌گیری در خاک‌ها متفاوت بود، به‌طوری‌که ۱۶۸ ساعت پس از شروع آزمایش مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده از خاک، خاکدانه‌های ریز و خاکدانه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقدار تجمعی پتاسیم آزاد شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک و خاکدانه‌های ریز و درشت پس از ۲۰۱۷ ساعت

شماره خاک	خاک	خاکدانه درشت	خاکدانه ریز
۱	۳۷۲/۷	۳۸۱/۵	۴۲۶/۱
۲	۲۲۶/۵	۲۰۷/۶	۲۲۷/۹
۳	۲۷۳/۸	۲۴۷/۹	۲۷۴/۵
۴	۱۷۳/۵	۱۷۸/۹	۲۱۵/۱
۵	۲۰۹/۵	۱۸۳/۱	۲۲۹/۸
میانگین	۲۵۱/۲[b]	۲۳۹/۸[c]	۲۷۴/۶[a]

حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

درشت به‌ترتیب در دامنه ۲۴۳/۶- ۱۰۱/۵، ۲۹۴/۵-۱۴۱/۹ و ۲۵۱/۲- ۱۰۷/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. رهاسازی با سرعت بالا در مراحل اولیه را می‌توان به آزاد شدن پتاسیم از مناطق گوه‌ای شکل کانی نسبت داد و در مرحله دوم با پیشرفت رهاسازی و بالا رفتن انرژی جذب پتاسیم در بین لایه‌ها و از طرفی افزایش فاصله پتاسیم از لبه‌های کانی و افزایش فاصله پخشیدگی، سرعت رهاسازی کاهش می‌یابد (۳، ۴، ۵). بیشترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی از خاک شماره ۱ و کمترین مقدار آن از خاک شماره ۴ آزاد شد (جدول ۳).

پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۲۰۱۷ ساعت درخاک‌ها، خاکدانه‌های ریز و درشت متفاوت بود. دامنه تغییرات پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۲۰۱۷ ساعت در خاک‌ها، خاکدانه‌های ریز وخاکدانه‌های درشت به‌ترتیب ۳۷۲/۷-۱۷۳/۵، ۴۲۶/۱- ۲۱۵/۱ و ۳۸۱/۵- ۱۷۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۳). تفاوت در مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در این خاک‌ها را می‌توان به مقدار پتاسیم غیرتبادلی آنها جدول (۲) ارتباط داد (۲۰). همان‌طورکه نتایج جدول (۲) نیز نشان می‌دهد، خاکدانه‌های ریز غلظت پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی بیشتری نسبت به کل خاک و خاکدانه‌های درشت داشتند و همچنین ارتباط مثبت و معنی‌داری ($r=0/84$ $p<0/05$) بین پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم آزاد شده در محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به‌دست آمد. پتاسیم غیرتبادلی شامل پتاسیم بین لایه‌ای بومی خاک و پتاسیم تثبیت شده است؛ اما به‌طور کلی، پتاسیم بین لایه‌ای بومی کانی‌ها، نسبت به پتاسیم تثبیت شده با نیروی بیشتری نگهداری می‌شود. تفاوت درصد سیلت و رس خاک‌ها نیز می‌تواند در آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی اهمیت داشته باشد. نوع و اندازه کانی‌های دارای پتاسیم و شرایط خاک نیز بر آزاد شدن پتاسیم مؤثرند (۲۰). بنابراین، علاوه‌بر مقدار متفاوت پتاسیم غیرتبادلی در خاکدانه‌های با اندازه مختلف، نوع و مقدار کانی‌های رسی در بخش رس و سیلت (نه درصد آنها) نیز می‌توانند از عوامل مؤثر بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در خاک‌ها باشد (۳ و ۴). مقایسه مقادیر پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده پس از ۲۰۱۷ ساعت با درصد سیلت، رس خاک‌ها گواهی بر این ادعاست. در این تحقیق مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده با درصد رس و سیلت ارتباط معنی‌داری نداشت ($p>0/05$)، بنابراین، ممکن است در خاکی علیرغم داشتن درصد رس و یا سیلت یکسان به‌دلیل تفاوت نوع و مقدار کانی‌های رسی، مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده متفاوت باشد. همه این عوامل منجر به این شد که مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در خاکدانه‌های ریز بیشتر از خاکدانه‌های درشت باشد.

ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد معادله‌های سینتیکی مورد استفاده در توصیف سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک، خاکدانه‌های ریز و درشت در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به نتایج، به‌دلیل کم بودن ضریب تشخیص، معادله مرتبه صفر قادر به توصیف آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک، خاکدانه‌های ریز و درشت نبود و سایر

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. ضریب تشخیص (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE) معادله‌های مختلف مورد استفاده در توصیف پتاسیم آزاد شده در خاک‌های مورد مطالعه

خاک		مرتبه صفر		مرتبه اول		انتشار پارابولیکی		الوویچ ساده		تابع توانی	
		R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE
۱	خاک	۰/۷۶	۴۶/۳	۰/۹۴	۳۱/۴	۰/۹۲	۲۷/۹	۰/۹۷	۱۴/۷	۰/۹۸	۱۳
	خاکدانه ریز	۰/۷۴	۵۵/۸	۰/۹۵	۳۷/۷	۰/۹۷	۳۴/۹	۰/۹	۱۳/۷	۰/۹۸	۱۶
	خاکدانه درشت	۰/۷۴	۵۱/۶	۰/۹۵	۳۵/۴	۰/۹۷	۳۱/۹	۰/۹۰	۱۱/۱	۰/۹۸	۱۷
۲	خاک	۰/۷۸	۲۷/۵	۰/۹۶	۱۸/۸	۰/۹۸	۱۶/۷	۰/۹۶	۱۰/۷	۰/۹۸	۷/۱
	خاکدانه ریز	۰/۷۷	۲۸/۳	۰/۹۵	۱۹/۳	۰/۹۸	۱۶/۲	۰/۹۳	۱۱/۰	۰/۹۶	۷/۲
	خاکدانه درشت	۰/۷۳	۲۸/۴	۰/۹۵	۲۰/۸	۰/۹۵	۱۷/۷	۰/۹	۵/۵	۰/۹۸	۱۱
۳	خاک	۰/۷۵	۳۵/۲	۰/۹۴	۲۴/۷	۰/۹۱	۲۲/۱	۰/۹۸	۹/۳	۰/۹۶	۱۲/۳
	خاکدانه ریز	۰/۷۷	۳۲/۱	۰/۹۵	۲۰/۹	۰/۹۸	۱۸/۸	۰/۹۲	۱۸/۷	۰/۹۳	۸/۶
	خاکدانه درشت	۰/۷۵	۳۱/۴	۰/۹۵	۲۱/۴	۰/۹۷	۲۶/۲	۰/۹۱	۲۱/۶	۰/۹۸	۲۵/۶
۴	خاک	۰/۸۲	۱۹/۵	۰/۹۴	۱۲/۴	۰/۹۵	۱۰/۴	۰/۹۳	۱۱/۹	۰/۹۹	۴/۴
	خاکدانه ریز	۰/۷۷	۲۶/۲	۰/۹۵	۱۷/۴	۰/۹۸	۱۵/۱	۰/۹۳	۹/۹	۰/۹۶	۶/۱
	خاکدانه درشت	۰/۷۸	۲۱/۱	۰/۹۶	۱۴/۶	۰/۹۸	۱۲/۱	۰/۹۳	۷/۱	۰/۹۷	۵/۷
۵	خاک	۰/۷۹	۲۳/۸	۰/۹۹	۱۶/۹	۰/۹۴	۱۳/۸	۰/۹۶	۸/۹	۰/۹۹	۵
	خاکدانه ریز	۰/۷۶	۲۷/۱	۰/۹۵	۱۹/۵	۰/۹۸	۱۶/۴	۰/۹۱	۸/۳	۰/۹۷	۶/۴
	خاکدانه درشت	۰/۷۹	۲۰/۸	۰/۹۵	۱۵	۰/۹۸	۱۲/۲	۰/۹۳	۷/۲	۰/۹۷	۵/۷

SE، $mgkg^{-1}$ و ضرایب R^2 معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند

معادله‌ها قادر به توصیف آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی بودند.

در مطالعات متعددی به توانایی مدل‌های مختلف در توصیف آزاد شدن پتاسیم پرداخته شده است (۳، ۱۱ و ۱۴). حسین‌پور و کلباسی (۱۳) سینتیک آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را با معادله‌های الوویچ، مرتبه صفر، انتشار پارابولیک، معادله مرتبه یک و تابع توانی مورد ارزیابی قرار دادند. مقدار پایین ضریب تشخیص و بالا بودن خطا نشان داد که معادله الوویچ و درجه صفر، نمی‌تواند آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را توصیف کنند. در مقابل معادله انتشار پارابولیکی، معادله مرتبه اول و تابع توانی، داده‌ها را به‌طور رضایت‌بخشی توصیف کردند. حسین‌پور و همکاران (۴) دریافتند که آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از محلول کلرید کلسیم و اسید سیتریک رقیق در خاک‌های آهکی، به خوبی با معادله‌های انتشار پارابولیکی، تابع توانی والوویچ ساده شده در هر دو بخش ۲ تا ۱۶۸ ساعت و ۱۶۸ تا ۲۰۱۷ ساعت و هر دو عصاره‌گیر توصیف شد. فرشادی‌راد و همکاران (۶) مطالعات خود را برروی سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک های استان گلستان انجام دادند. آنها نشان دادند که مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در زمان‌های مختلف با استفاده از معادله‌های الوویچ ساده، انتشار پارابولیکی و تابع توانی به خوبی توصیف شده است. ویکاس و شارما (۳۰) مطالعات خود را بر روی سینتیک‌های آزاد شدن پتاسیم بر روی خاک‌های آبرفتی شمال غرب هند انجام دادند. سینتیک آزاد شدن پتاسیم با استفاده از معادله‌های ریاضی ارزیابی شد. معادله مرتبه اول، سینتیک‌های آزاد شدن پتاسیم را با بیشترین ضریب تشخیص و کمترین خطای استاندارد، به بهترین شکل توصیف کرد.

ضرایب سرعت معادله‌های سینتیکی مورد استفاده در توصیف پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در خاک، خاکدانه‌های ریز و درشت در جدول (۵) نشان داده شده است. ضریب b در معادله تابع توانی نشان دهنده سرعت آزاد شدن پتاسیم است. ضریب b در معادله تابع توانی در خاک‌ها در دامنه ۰/۲۱ تا

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. ضرایب سرعت معادله‌های سینتیکی مورد استفاده در توصیف پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده

	خاک	مرتبه اول		انتشارپارابولیکی		الوویچ ساده		تابع توانی	
		a	$K1\times10^{-4}$	a	R	a	1/β	a	b
		$(mg\ kg^{-1})\ h$	$(mg\ kg^{-1})^{-1}$	$(mg\ kg^{-1})$	$(mg\ kg^{-1})\ h^{-1/2}$	$(mg\ kg^{-1})$	$(mg\ kg^{-1})h^{-1}$	$(mg\ kg^{-1})$	$(mg\ kg^{-1})\ h^{-1}$
۱	خاک	۵/۴۳	۱۶	۱۱۸/۱۶	۶/۱۵	۲۱/۵	۴۳/۱	۴/۲	۰/۲۳
	خاکدانه ریز	۵/۵۱	۱۷	۱۴۹/۳	۶/۹	۳۷/۷	۴۸/۸	۴/۴	۰/۲۲
	خاکدانه درشت	۵/۴۵	۱۶	۱۲۰/۶	۶/۴	۲۲	۴۴/۹	۴/۱	۰/۲۴
۲	خاک	۴/۹۶	۱۴	۶۵	۳/۸۴	۶/۴	۲۶/۶	۳/۶	۰/۲۴
	خاکدانه ریز	۴/۹	۱۴	۶۴/۴	۳/۹	۵	۲۶/۹	۳/۵	۰/۲۴
	خاکدانه درشت	۴/۸۲	۱۴	۶۳/۹	۳/۴	۱۰/۸	۲۴/۲	۳/۵	۰/۲۵
۳	خاک	۵/۱	۱۶	۸۹/۱۵	۴/۴۷	۱۷/۳	۳۱/۶	۳/۸	۰/۲۳
	خاکدانه ریز	۵/۱	۱۶	۷۵/۲	۴/۳	۱۷/۱	۳۳/۳	۳/۷	۰/۲۴
	خاکدانه درشت	۴/۹	۱۴	۸۲/۳	۳/۹	۲۲/۷	۲۷/۴	۳/۸	۰/۲۲
۴	خاک	۴/۷۶	۱۴	۴۴/۳	۳	۶/۷	۲۰/۲	۳/۲	۰/۲۵
	خاکدانه ریز	۴/۸۸	۱۵	۶۵/۵	۳/۶	۱۰/۴	۲۴/۹	۳/۶	۰/۲۳
	خاکدانه درشت	۴/۷۳	۱۴	۴۹/۹	۳	۶	۲۰/۷	۳/۳	۰/۲۴
۵	خاک	۴//۸۲	۱۳	۶۷/۵	۳/۳۳	۱۶/۵	۲۳/۱	۳/۷	۰/۲۱
	خاکدانه ریز	۴/۸۸	۱۴	۷۸/۷	۳/۶	۲۲/۶	۲۵	۳/۸	۰/۲۱
	خاکدانه درشت	۴/۷۵	۱۳	۵۳/۴	۳	۹/۸	۲۰/۶	۳/۴	۰/۲۳

$mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۵ بود. ضریب R در خاک‌ها در دامنه ۳ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1/2}$ ۶/۱۵ بود. ضریب K_1 در دامنه $\times10^{-4}$ ۱۳ تا $(mg\ kg^{-1})^{-1}$ $\times10^{-4}$ ۱۶ بود. ضریب 1/β در معادله الویچ ساده در این خاک در دامنه ۲۰/۲ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۴۳/۱ بود. در مقابل ضریب b در خاکدانه‌های ریز و درشت به‌ترتیب در دامنه ۰/۱۲ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۴، ۰/۲۲ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۵ در خاکدانه درشت بود. تفاوت بین مقادیر b نشان‌دهنده تفاوت توانایی خاک‌ها در تأمین پتاسیم است. ضریب R در معادله انتشار پارابولیکی در خاکدانه‌های ریز در دامنه ۳/۶ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1/2}$ ۶/۹ و در خاکدانه‌های درشت در دامنه ۳/۰ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1/2}$ ۶/۴ بود. ضریب K_1 در معادله مرتبه اول شیب خط و نشان‌دهنده ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم است و در دامنه $\times10^{-4}$ ۱۴ تا $(mg\ kg^{-1})^{-1}$ $\times10^{-4}$ ۱۷، در خاکدانه‌های درشت $\times10^{-4}$ ۱۳ تا $(mg\ kg^{-1})^{-1}$ $\times10^{-4}$ ۱۶ بود. ضریب 1/β در معادله الویچ ساده در خاکدانه‌های ریز در دامنه ۲۴/۹ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۴۸/۸ و از ۲۰/۶ تا $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۴۴/۹ در خاکدانه‌های درشت بود.

ضرایب سرعت نشان می‌دهد که آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاکدانه‌های ریز سریع‌تر از خاکدانه‌های درشت بود. تفاوت در ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی ممکن است به‌دلیل تفاوت در مقدار پتاسیم غیرتبادلی خاکدانه‌ها، نوع و مقدار کانی‌های رسی در بخش رس و سیلت، ریزی و درشتی این کانی ها، درجه هوادیدگی کانی‌ها، درجه تخلیه پتاسیم و تفاوت در ترکیب شیمیایی آنها است (۱، ۳، ۴، ۱۳، ۲۰، ۲۴ و ۲۶). ضریب سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در معادله تابع توانی کمتر از یک است؛ بنابراین با گذشت زمان سرعت آزاد شدن پتاسیم کاهش می‌یابد. نجفی و همکاران (۱۸) عوامل مؤثر بر آزاد شدن پتاسیم در خاک‌های جنوب ایران و پیدا کردن بهترین مدل برای توصیف آزاد شدن پتاسیم توسط کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در مدت ۱۴۹۶ ساعت مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بین مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده و میزان میکا رابطه مستقیم وجود دارد. بدرسین و سینگ (۹)

www.SID.ir

Archive of SID

سینتیک آزاد شدن پتاسیم را از خاک‌های ورتی‌سول تحت کشت پنبه مورد مطالعه قرار دادند. معادله‌های تابع توانی و الوویچ ساده، آزاد شدن پتاسیم را به‌خوبی توصیف کردند، ناپیوستگی‌های موجود در معادله‌های، آزاد شدن پتاسیم از مکان‌های مختلف را تحت مکانیزم‌های گوناگون نشان می‌داد. سرعت اولیه آزاد شدن پتاسیم به‌علت وجود پتاسیم در بخش فعال تبادلی و سطوح خارجی بالا بود، درحالی‌که در مراحل بعدی آزاد شدن آهسته پتاسیم نشان داد که پتاسیم از سطوح داخلی تحت کنترل فرآیند انتشار آزاد می‌شود. نجفی (۱۹) با مطالعه اثر کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست در آزاد شدن پتاسیم از خاک‌های آهکی دریافت که استفاده از زئولیت به‌طور قابل توجهی باعث افزایش غلظت پتاسیم محلول و تبادلی می‌شود و به این نتیجه دست یافت که مقدار تجمعی پتاسیم آزاد شده از معادله‌های الوویچ، تابع توانی و انتشار پارابولیکی پیروی می‌کند.

رائو (۲۲) سینتیک آزاد شدن پتاسیم را در مزارع سیب‌زمینی شیرین با استفاده از کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار در زمان‌های یک تا ۵۶۹ ساعت مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده در زمان‌های مختلف با استفاده از معادله‌های مرتبه اول و تابع توانی به‌خوبی توصیف شده است. صمدی (۲۵) تثبیت و آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در مزارع با کشت‌های مداوم در مناطق شمال‌غرب ایران با استفاده از اسید سیتریک ۰/۵ میلی‌مولار در طی یک دوره ۲۱۶۰ ساعت مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید مقدار پتاسیم آزاد شده از معادله انتشار پارابولیکی پیروی می‌کند. نتایج پژوهش‌ها درباره سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در ۱۶ خاک آهکی جمع‌آوری شده از جنوب ایران با استفاده از کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار نشان داد که معادله‌های الوویچ، انتشارپارابولیکی و تابع توانی به بهترین نحو رهاسازی پتاسیم را توجیه می‌نماید (۱۸). نجفی و همکاران (۲۰) با مطالعه برروی پتاسیم آزاد شده از رس، شن و سیلت در خاک‌های آهکی جنوب ایران با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به‌مدت ۳۰ دوره پی‌درپی به این نتیجه رسیدند که آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی با معادله‌های انتشار پارابولیکی و تابع توانی به بهترین نحو توصیف شد.

نتیجه‌گیری

مطالعه اشکال مختلف پتاسیم در خاک و خاکدانه ریز و درشت آن نشان داد، مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده از خاکدانه ریز بیشتر از مقدار آن در خاک و خاکدانه درشت بود. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌ها و خاکدانه‌ها در مراحل اولیه زیاد بود، سپس کند شد و با سرعت‌های متفاوتی تا ۲۰۱۷ ساعت ادامه یافت. نتایج این مطالعه نشان داد مقدار پتاسیم غیرتبادلی و ضرایب سرعت آزاد شدن پتاسیم در خاک‌های مختلف متفاوت است. به‌طورکلی مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده و سرعت آزادسازی توسط کلرید کلسیم، از خاکدانه‌های ریز و خاکدانه‌های درشت به‌ترتیب بیشتر و کمتر از خاک بود. معادله‌های سینتیکی مرتبه اول، انتشار پارابولیکی، تابع توانی و الوویچ ساده سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی را به نحو مطلوبی توصیف کردند.

منابع مورد استفاده

۱. توفیقی ح. ۱۳۷۴. سینتیک آزاد شدن پتاسیم از خاک‌های شالیزاری شمال ایران. ۱- مقایسه و ارزیابی معادله‌های سینتیکی مرتبه اول، مرتبه صفر و دیفیوژن پارابولیکی. مجله علوم کشاورزی ایران ۲۶(۴): ۴۱-۲۷.

۲. سالاردینی ع. ا. ۱۳۸۲. *حاصلخیزی خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

۳. حسین‌پور ع. ر. ۱۳۸۳. کاربرد مطالعات سینتیکی در توصیف آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی در شماری از خاک‌های همدان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸: ۹۳-۸۵.

www.SID.ir

۴. حسین‌پور ع. ر.، متقیان ح. ر. و ط. رئیسی. ۱۳۹۲. ارزیابی ویژگی‌های آزاد شدن پتاسیم با استفاده از محلول‌های کلرید کلسیم و اسید سیتریک رقیق در برخی از خاک های آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۷: ۲۳۶-۲۲۱.

۵. حسین‌پور ع. ر. ۱۳۷۸. مطالعه تثبیت پتاسیم، کمیت به شدت وسرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در تعدادی از خاک‌های ایران. پایان‌نامه دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ایران.

۶. فرشادی‌راد، ا.، دردی‌پور، ا. و ف. خرمایی. ۱۳۹۱. سرعت آزادشدن پتاسیم غیرتبادلی از خاک و اجزای آن در تعدادی از خاک‌های استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۶: ۲۸۵- ۲۷۳.

۷. نوربخش، ف. و م. کریمیان اقبال. ۱۳۷۶. *حاصلخیزی خاک (ترجمه)*. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان.

8. Al-Kanani, T., A. F. Mackenzie and G. L. Ross. 1984. Potassium status of some quebec soils: K release by nitric and sodium teteraphenylboran as related to particle size and mineralogy. Canadian J. Soil Sci. 64:99-106.
9. Bedrossian, S. and B. Sing. 2004. Kinetics of potassium rlease from Vertisols from northern NSW, Super Soil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference, University of Sydney, Australia.
10. Bertsch, P. M. and G. W. Thomas. 1985. Potassium status of temperate region soil. PP: 131-162. *In:* R. E. Munson (Ed.), Potassium in Agriculture. ASA, Madison. Wisconsin.
11. Cox, A. E. and B. C. Joern. 1997. Release kinetics of nonexchangeable potassium in soil using sodium tetraphenylboron. Soil Sci. 162: 588-596.
12. Gee, G. H. and J. W. Bauder. 1986. Partical size analysis. PP: 383-411. *In:* A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Physical Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
13. Hosseinpour, A. R. and M. Kalbasi. 2002. Kinetics of non-exchangeable potassium from soil and separatesin some central region soils of Iran. *In:* Proceeding of the 17th Wold Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand.
14. Jalali, M. 2005. Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 36:1903-1917.
15. Knudsen, D. G. A. Peterson and P. F. Partt. 1982. Lithium, sodium, and potassium. PP: 225-246. *In:* A. L. Page, R. H., Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. (2nd ed.). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
16. Mengle, K., Rahmatullah and H. Dou. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess- derived soils. Soil Sci. 163(10): 805-813.
17. Nelson, D. W. and L. E. Summers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. PP: 961-1010. *In:* D. L. Sparks (Ed.), Method of Soil Analysis. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin
18. Najafi-Ghiri, M. 2014. Effects of zeolite and vermicompost applications on potassium release from calcareous soils. Soil and Water Res. 9(1): 31-37.
19. Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Karimian, N., 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. Arch. Agron. Soil Sci. 57(4): 343-363.
20. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, S. Hashemi and F. Jaberian. 2012. Potassium release from sand, silt and clay fractions in calcareous soils of southern Iran. Arch. Agron. Soil Sci. 58(12):139-1454
21. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Jeeney. 1992. Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical Properties. Soil Science Society of America. Madison.
22. Rao, R. B. K. 2015. Kinetics of potassium release in sweet potato cropped soils: Acase study in the highlands of papua new guinea. Solid Earth. 6(1): 217-225.
23. Rhodes, J. D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP: 417-435. *In:* D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
24. Srinivasarao, C., A. Subba Rao and T. R. Rupa. 2000. Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen senectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. Soil Sci. Soc. of Am. J. 165(7): 578-586.
25. Samadi, A. 2010. Long-term cropping on potassium release and fixation behaviors. Arch. Agron. Soil Sci. 56(5): 499-512.
26. Song, S. K. and P. M. Huang. 1988. Dynamic of potassium release from potassium bearing minerals as influenced by oxalic and citric acid. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:383-390.
27. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. Soil Sci. 6: 1-63.
28. Shaggs, T. H., L. M. Arya, P. J. Shouse and B. P. Mohanty. 2001. Estimating particle size distribution from limited. Soil texture data. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1038-1044.
29. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 1404-1414. *In:* D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis.

www.SID.ir

Archive of SID

Part 3: Chemical Properties. Soil Science Society of America and America Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, PP: 475-490.

30. Vikas, S. and K. N. Sharma. 2011. Potassium release kinetics in potato growing Alluvial soils of north western India. Soil Sci. 42: 1404-1414.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Water and Soil Sci. (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 22, No. 1, Spiring 2018, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Kinetics of Non-exchangable Potassium Release in Aggregates with Different Sizes in a Number of Calcareous Soils

S. Z. Atar Shahraki, A. R. Hosseinpur, H. R. Motaghian* and Sh. Ghorbani[1]

(Received: Jan. 18-2016; Accepted: Jan. 24-2018)

Abstract

The study of the kinetics of non-exchangeable potassium (NEK) release is very important for a better understanding of K availability for plants in different soils. Moreover, aggregates with different sizes have different effects on the release of nutrients. Therefore, the aim of this study was to examine the release of NEK in 5 calcareous soils of chaharmahal-va- bakhtiari province, and small and large aggregates (<250 µm and >250 µm) using $CaCl_2$ 0.01 M at 25±1ºc for 2-2017 h. The results showed that cumulative released NEK in soils, and small and large aggregates was 173.5-372.7, 215.1-426.1 and 178.9-381.5 mg kg^{-1}, respectively. The results revealed that coefficients of the cumulative released NEK in small aggregates was lower than those of the soils and large aggregates. Based on the coefficient of determination (R^2) and standard error (SE), the released NEK was well described by the first order, the power function, parabolic diffusion, and simplified Elovich equations. The rate coefficients of the release of K were different in different soils. The cumulative released amount of K and its rate of release in a solution of calcium chloride in small aggregates was more than those of large aggregates.

Keywords: Release of none exchangeable potassium, Aggregates, Calcium chloride, Kinetics equations.

1. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: motaghian.h@yahoo.com

www.SID.ir