

قابلیت استفاده و سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در برخی خاک‌های آهکی استان فارس

صمد عبدی^{1*} - رضا قاسمی فسایی² - نجف‌علی کریمیان³ - محمد فیضیان⁴

تاریخ دریافت: 1392/3/13

تاریخ پذیرش: 1393/4/31

چکیده

مجموع شکل‌های محلول و تبادلی پتاسیم خاک به طور گسترده برای تعیین قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاه به کار برده می‌شود. قابلیت اطمینان این روش‌ها در خاک‌های حاوی سیلیکات‌های لایه‌ای 2:1 کافی نیست. علاوه بر پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی هم در تغذیه گیاه نقش مهمی دارد. اطلاعات مربوط به قابلیت استفاده و سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های آهکی استان فارس محدود است. برای این منظور عصاره‌گیرهای استات آمونیم، اسید نیتریک مولار جوشان، اسید نیتریک 0/1 مولار، کلرید سدیم 2 مولار و آب جهت بررسی قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاه ذرت در ده نمونه از خاک‌های آهکی استان فارس مورد ارزیابی قرار گرفت. سینتیک آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی با 15 بار عصاره‌گیری 15 دقیقه‌ای با کلرید کلسیم 0/01 مولار بررسی شد. مدل‌های سینتیکی توصیف‌کننده سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی شامل مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، پخشیدگی سهموی، توانی و الوویچ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عصاره‌گیرهای استات آمونیم، اسید نیتریک 0/1 مولار، آب و کلرید سدیم همبستگی معنی‌داری با جذب پتاسیم ذرت دارند. مقدار پتاسیم آزاد شده در بین خاک‌های مورد مطالعه از 243 تا 814 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متفاوت بود. با توجه به مقادیر R^2 و SE، سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی به طور رضایت بخش با مدل‌های توانی، مرتبه اول، الوویچ و پخشیدگی سهموی توصیف شد. با توجه به اینکه ثابت سرعت معادلات الوویچ و پخشیدگی سهموی همبستگی بالایی با جذب پتاسیم گیاه نشان دادند توصیه می‌شود این دو معادله در خاک‌های مورد مطالعه به کار روند.

واژه‌های کلیدی: ذرت، عصاره گیر، کلرید کلسیم

مقدمه

را تشکیل می‌دهد، در ساختمان کانیهای اولیه دارای پتاسیم مثل میکاها و فلدسپارها نگه داشته می‌شود، این منبع به آرامی در خاک آزاد می‌شود و پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی را تجدید می‌کند (28). پتاسیم تبادلی به طور گسترده برای تعیین قابلیت‌استفاده پتاسیم خاک و تعیین نیاز کودی گیاهان زراعی به کار برده می‌شود، که کارایی و قابلیت اطمینان آن در خاک‌های حاوی سیلیکات‌های لایه‌ای 2:1 کافی نیست (12). وضعیت یک عنصر در یک خاک معین را نمی‌توان فقط با مقدار کل آن مشخص نمود چون عناصر در شکل‌ها و وضعیت‌های متفاوتی یافت می‌شوند و علاوه بر آن تبدیل از یک شکل به شکل دیگر سبب ایجاد نظام پویایی در خاک می‌شود (25). پژوهشگران مختلف بسته به محل تحقیق عصاره‌گیرهای مختلفی را برای بررسی قابلیت‌استفاده پتاسیم مورد استفاده قرار داده اند که رایج‌ترین آنها استات آمونیم، مهلیج 1، 3، 2، بی‌کربنات آمونیم - دی‌تی پی، کلرید کلسیم 0/01 مولار، کلرید سدیم، مورگان-ولف، تترا فنیل

پتاسیم در چهار منبع محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی وجود دارد که از لحاظ قابلیت استفاده برای گیاه متفاوت هستند و انتقال پتاسیم بین آنها به صورت برگشت پذیر صورت می‌گیرد (32). میزان پتاسیم محلول بسیار پایین است و حدود 5 درصد از کل نیاز گیاه را در طی فصل رشد گیاه تامین می‌کند. پتاسیم غیرتبادلی از مکان‌های گوه‌ای و بین‌لایه‌ای میکاها که یون پتاسیم را تثبیت می‌کنند آزاد می‌شود (23). پتاسیم ساختمانی که 90 تا 98 درصد کل پتاسیم خاک

1- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

(* - نویسنده مسئول: Email: Sabdi1100@yahoo.com)

2 و 3- به ترتیب دانشیار و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

4- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

دلوار را با رزین تبادل کاتیونی اشباع از کلسیم و اسید اگزالیک 0/1 مولار مورد بررسی قرار دادند. چون وجود کاتیون‌های مختلف در محلول خاک بر قابلیت استفاده پتاسیم خاک تاثیرگذار است، بنابراین بررسی روند آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در حضور کاتیون‌های غالب ضروری به نظر می‌رسد. در خاک‌های آهکی یون کلسیم در محلول خاک غالب است و روی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک تاثیر می‌گذارد، بنابراین برخی مطالعات مربوط به سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از محلول کلرید کلسیم انجام شده است (3، 15، 17 و 21). اطلاعات مربوط به قابلیت‌استفاده و سینتیک آزادسازی پتاسیم در خاک‌های آهکی استان فارس محدود است. بنابراین اهداف این مطالعه مقایسه تعدادی از عصاره‌گیرهای رایج برای پیش‌بینی قابلیت‌استفاده پتاسیم گیاه ذرت و همچنین بررسی سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از محلول کلرید کلسیم 0/01 مولار بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق تعدادی نمونه خاک از عمق 0-30 سانتی متری مناطق مختلف استان فارس جمع‌آوری شد و بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک 2 میلی‌متری، با استفاده از روش‌های استاندارد برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها به شرح زیر تعیین شد: بافت خاک به روش هیدرومتری، پ‌هش در خمیر اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک، کربن آلی به وسیله اکسایش با پتاسیم‌دی‌کرومات، کربنات کلسیم معادل به وسیله تیترو کردن با اسید و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با روش جانشین سازی کاتیون‌ها با استات سدیم مولار با پ‌هش برابر 8/2 (10). ده نمونه خاک که به لحاظ ویژگی‌های اندازه‌گیری شده دارای پراکندگی نسبتاً زیادی بودند انتخاب شدند. به منظور تعیین شکل‌های مختلف پتاسیم بومی و برای بررسی قابلیت‌استفاده پتاسیم از عصاره‌گیرهای ذکر شده در جدول 1 استفاده شد.

بوران سدیم و اسید نیتریک مولار جوشان هستند (5). حسین پور (6) به منظور ارزیابی چند عصاره‌گیر برای عصاره‌گیری پتاسیم قابل-استفاده برای گیاه سیر و انتخاب عصاره‌گیر مناسب در خاک‌های استان همدان 14 عصاره‌گیر را مورد ارزیابی قرار داد که از بین این عصاره‌گیرها استات آمونیوم، دی تی پی ای و اسید نیتریک جوشان با توجه همبستگی پایین با پارامترهای گیاهی عصاره‌گیرهای مناسبی تشخیص داده نشدند و بقیه عصاره‌گیرها برای گیاه سیر مناسب بودند. در مطالعه جلالی (16) روی خاک‌های آهکی استان همدان، پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسیدنیتریک 0/1 مولار، کلریدسدیم 2 مولار و استات سدیم مولار همبستگی بالایی را با جذب پتاسیم گیاه گندم نشان دادند. هنگامی که سهم پتاسیم غیرتبادلی در خاک، به واسطه وجود سیلیکات‌های لایه‌ای 2:1 که توانایی نگهداشت پتاسیم را دارند، افزایش پیدا می‌کند، قدرت پیش‌بینی این روش‌های عصاره‌گیری هم کاهش می‌یابد (33). قابلیت استفاده پتاسیم غیرتبادلی بستگی به سرعت تبدیل این نوع پتاسیم به شکل‌های قابل‌استفاده دارد (7). هنگامی که پتاسیم محلول و تبادلی به علت جذب گیاه و شستشو خارج می‌شوند، پتاسیم غیرتبادلی به شکل تبادلی آزاد می‌شود. بنابراین برای رشد حداکثر گیاه، پتاسیم محلول و تبادلی به طور مداوم نیاز به تجدید مجدد دارند که این کار از طریق آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی صورت می‌گیرد (21). مطالعه سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در جهت مدیریت و استفاده صحیح از منابع خاکی و همچنین در فراهمی و قدرت تامین پتاسیم به ویژه در خاک‌های حاوی کانی‌های دارای پتاسیم از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است (3). سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با روش‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است. به عنوان مثال مارتین و اسپارکس (22) سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های دلوار را با به کار بردن رزین تبادل کاتیونی اشباع از هیدروژن بررسی کردند. حسین پور و کاووسی (7) سینتیک آزادسازی پتاسیم در خاک‌های گیلان را با استفاده از اسید سیتریک 10 میلی مولار مورد بررسی قرار دادند. سادوسکی و همکاران (29) آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های

جدول 1- عصاره گیرهای استفاده شده جهت بررسی قابلیت استفاده پتاسیم

عصاره گیر	نسبت خاک به عصاره گیر	زمان تکان دادن	شکل قابل استخراج پتاسیم	منبع
کلرید سدیم 2 مولار	1:20	30 دقیقه	محلول و تبادلی	15
اسید نیتریک 0/1 مولار	1:20	30 دقیقه	محلول و تبادلی	15
استات آمونیوم مولار پ هاش 7	1:20	30 دقیقه	محلول، تبادلی و تا حدی از غیر تبادلی	۲
آب	1:20	30 دقیقه	محلول	18
اسید نیتریک مولار جوشان	1:10	25 دقیقه	محلول، تبادلی و قسمت عمده ای از غیر تبادلی	9

جدول 2- معادلات سینتیکی استفاده شده برای توصیف سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی

نام معادله	معادله	واحد ضریب a	واحد ضریب b
پخشیدگی سهموی	$q_t = a + b t^{0.5}$	mg kg^{-1}	$\text{mgkg}^{-1} \text{min}^{-1/2}$
تابع توانی	$\ln q_t = \ln a + b \ln t$	mg kg^{-1}	$\text{mg kg}^{-1} \text{min}^{-1}$
الوویج	$q_t = a + b \ln t$	mg kg^{-1}	$\text{mgkg}^{-1} \text{min}^{-1}$
مرتبه اول	$\ln (q_0 - q_t) = \ln q_0 - bt$	$\ln q_0 = a = \text{mgkg}^{-1} \text{min}^{-1}$	$(\text{mg kg}^{-1})^{-1}$
مرتبه دوم	$1/q_t = a - bt$	mg kg^{-1}	$\text{mgkg}^{-1} \text{min}^{-1}$
مرتبه صفر	$(q_t - q_0) = q_0 - bt$	$q_0 = a = \text{mg kg}^{-1}$	$\text{mgkg}^{-1} \text{min}^{-1}$

که در معادله بالا q و q^* به ترتیب پتاسیم غیرتبادلی اندازه گیری شده و پیش بینی شده هستند و n تعداد نقاط آزمایشی است. معادله‌هایی که کمترین SE و بیشترین R^2 را داشتند انتخاب و ضرایب آنها محاسبه شد.

مطالعه گلخانه‌ای

برای تعیین همبستگی مقدار پتاسیم استخراج شده با عصاره-گیرهای مورد مطالعه با میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه طی یک کشت گلخانه‌ای، گیاه ذرت رقم سینگل گراس 704 در ده خاک مورد مطالعه کشت شد. قبل از کشت گیاه، دو کیلوگرم از هر خاک در سه تکرار در کیسه های پلاستیکی وزن شد و عناصر غذایی ضروری (غیر از پتاسیم) براساس نتایج آزمون خاک به شرح زیر به آنها افزوده شد: 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم نیتروژن به صورت اوره (60 درصد قبل از کشت و 40 درصد در هفته چهارم)، 40 میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به صورت $\text{CaH}(\text{PO}_4)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، 5 میلی‌گرم بر کیلوگرم روی به صورت $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، 2/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم مس به صورت $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، 5 میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز به صورت $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، 5 میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن به صورت سوکستین (138-EDDHA) پس از کاهش رطوبت خاک‌ها، خاک کیسه‌ها به خوبی مخلوط و به درون گلدان‌ها منتقل شد و سپس تعداد شش عدد بذر ذرت در هر خاک با سه تکرار کشت شد و جمعاً 30 گلدان در یک طرح کاملاً تصادفی کشت گردید. دو هفته بعد از جوانه‌زنی تعداد بوته‌ها به سه عدد تقلیل یافت. در طول دوره رشد رطوبت گلدان‌ها به روش توزین در حدود ظرفیت مزرعه‌ای نگه داشته شد. هشت هفته بعد از کاشت، گیاهان از محل طوقه قطع شدند و به روش خشک سوزانی نمونه های گیاهی عصاره‌گیری شد و غلظت پتاسیم در آنها با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد (26). جهت تعیین بهترین عصاره‌گیر، ضریب همبستگی (r) بین مقدار پتاسیم عصاره-گیری شده توسط هر کدام از عصاره‌گیرها از خاک‌های مورد مطالعه و میزان جذب پتاسیم ذرت (جذب پتاسیم = غلظت پتاسیم در اندام هوایی \times وزن ماده خشک اندام هوایی) تعیین شد. عصاره‌گیری که بالاترین همبستگی را نشان داد به عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر در

پتاسیم غیرتبادلی از تفاوت بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک مولار جوشان و استات آمونیم مولار خنثی تعیین شد (16).

سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی: سینتیک آزادسازی

پتاسیم بومی به وسیله عصاره‌گیری متوالی با محلول کلرید کلسیم 0/01 مولار تعیین شد (5، 15، 16 و 21). برای این منظور قبل از شروع آزمایش برای خارج کردن پتاسیم محلول و تبادلی نمونه های خاک به مدت 24 ساعت با کلرید کلسیم 2 مولار به تعادل رسانده شدند تا با کلسیم اشباع شوند. سپس نمونه ها با مخلوط آب و الکل شسته شدند تا محلول کلرید کلسیم اضافی خارج شود (17). بعد از جدا کردن محلول رویی و خشک شدن خاک ها، 3 گرم از خاک اشباع-شده با کلسیم در یک لوله سانتریفیوژ ریخته شد و به آن 30 میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم 0/01 مولار اضافه شد و سپس در دمای 25 درجه سانتی‌گراد به مدت 15 دقیقه با دستگاه تکان دهنده (شیکر) تکان داده شد و سپس به مدت 5 دقیقه با 3000 دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و محلول رویی جمع‌آوری شد. این کار به صورت متوالی 15 بار انجام شد و محلول زلال رویی بعد از سانتریفیوژ در ظروف جداگانه برای هر خاک در سه تکرار جمع‌آوری شد و پتاسیم آنها با دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد (15). آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با زمان با معادلات سینتیکی آورده شده در جدول 2 برازش داده شد.

در این معادلات: q_t = مقدار پتاسیم غیرتبادلی آزاد شده (میلی گرم بر کیلوگرم) بوسیله کلرید کلسیم 0/01 مولار بعد از t دقیقه عصاره‌گیری، q_0 = پتاسیم عصاره‌گیری شده در آخرین مرحله عصاره‌گیری به صورت تجمعی یا پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک مولار جوشان، a و b = ثابت های معادلات هستند که b ثابت سرعت معادلات می باشد و سرعت آزادسازی پتاسیم را نشان می‌دهد. این معادلات سینتیکی به وسیله تجزیه رگرسیونی حداقل مجزورات بررسی شدند تا مشخص شود کدام معادله بهترین توصیف را در مورد آزاد سازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک دارد. جهت بررسی قدرت پیش-بینی معادله‌ها در تخمین روند آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی مقادیر ضریب تبیین (R^2) خطای استاندارد (SE) محاسبه شد. خطای استاندارد (SE) به وسیله معادله زیر محاسبه شد (15، 16 و 21):

$$SE = \sqrt{\sum \frac{(q - q_0)^2}{(n-2)}}^{\frac{1}{n}}$$

خاک ها می تواند باعث عدم پاسخ گیاه به اعمال کود های پتاسیمی شود (19). اندازه گیری پتاسیم تبادلی و پتاسیم قابل عصاره گیری با اسید نیتریک مولار جوشان می تواند شاخص بهتری از وضعیت پتاسیم خاک ها را ارائه دهد (16).

میانگین پاسخ های گیاه ذرت در جدول 5 آورده شده است. ایجاد ارتباط بین مقدار عنصر استخراج شده توسط عصاره گیر با مقدار جذب آن عنصر یکی از مراحل اصلی آزمون خاک می باشد که همبستگی نامیده می شود (9). یکی از مناسب ترین شواهد برای تایید هر معادله توصیف کننده سرعت آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی، تعیین همبستگی ثابت سرعت آن معادله با جذب پتاسیم گیاه است (14).

رابطه بین مقدار عنصر عصاره گیری شده توسط عصاره گیر و مقدار جذب عنصر غذایی توسط گیاه می تواند یک پارامتر مهم در انتخاب روش آزمون خاک باشد (18). همانطور که در جدول 6 نشان داده شده است عصاره گیرهای استات آمونیم مولار خنثی، اسید نیتریک 0/1 مولار، کلرید سدیم 2 مولار و آب با جذب پتاسیم ذرت همبستگی معنی داری در سطح پنج درصد را نشان داده اند. بنابراین هر چند استات آمونیم مولار خنثی عصاره گیر رایج در منطقه است و در اینجا هم به عنوان مناسب ترین عصاره گیر معرفی می شود اما بدلیل اینکه سه عصاره گیر دیگر هم همبستگی معنی داری با جذب پتاسیم ذرت نشان داده اند می توانند در این منطقه به کار روند که با توجه به ارزان بودن و سریع بودن می توان از بین آنها یکی را انتخاب کرد. در خاکهای شالیزاری استان های گیلان و مازندران استات آمونیم برای تعیین حد بحرانی پتاسیم به کار برده شده است (4).

خاک های مورد مطالعه معرفی شد. سپس همبستگی ضرایب معادله های سینتیکی با ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و پاسخ های گیاه تعیین شد. تجزیه های آماری با نرم افزارهای Excel و SPSS 19 انجام شد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک های مورد مطالعه در جدول 3 آورده شده است. همه خاک ها قلیایی بوده و مقدار EC آنها پایین است. مقدار کربنات کلسیم معادل خاکها بین 39/69 تا 55/15 درصد و میزان رس بین 7 تا 35 درصد متفاوت است. مقدار CEC از 9/06 تا 23/92 سانتی مول بر کیلوگرم خاک و مقدار ماده آلی بین 3/92-1/22 درصد متغیر است.

عصاره گیرها مقادیر متفاوتی پتاسیم را عصاره گیری کرده اند (جدول 4). به طور متوسط آب (35/03 میلی گرم بر کیلوگرم)، اسید نیتریک 0/1 مولار (170 میلی گرم بر کیلوگرم)، کلرید سدیم 2 مولار (177 میلی گرم بر کیلوگرم)، استات آمونیم 1 مولار خنثی (310/7 میلی گرم بر کیلوگرم)، اسید نیتریک 1 مولار جوشان (717/3 میلی گرم بر کیلوگرم) پتاسیم را از خاک های مورد مطالعه عصاره گیری کرده اند. یون سدیم به دلیل شعاع هیدراته بزرگ قادر به خارج کردن پتاسیم بین لایه های نیست اما اسید نیتریک به دلیل خاصیت اسیدی قادر به تخریب کانی هاست و مقدار پتاسیم بیشتری را عصاره گیری می کند (14). یون آمونیم قادر است تا حدودی پتاسیم بین لایه ای را هم خارج کند (25). این عصاره گیرها همبستگی خوبی را با هم نشان داده اند (جدول 6). بالا بودن مقدار پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی در

جدول 3- حدود تغییرات برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه

OM	Sand	Silt (%)	Clay	CCE	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	EC (dS m ⁻¹)	pH	خاک
1/67	31	38/56	30/44	50/15	15/87	0/71	7/71	کوشک
2/72	31	38/56	30/44	46/24	15/87	0/99	7/83	دانشکده
1/52	23	42/56	34/44	43/25	13/5	0/37	7/94	اکبرآباد
3/02	35	32/56	32/44	40/61	23/92	0/45	7/76	کامفیروز
1/22	7	78/44	14/56	47/85	9/06	0/52	8/08	داراب
1/97	27	44/56	28/44	39/69	13	0/56	8/01	حسین اباد
1/23	31	36/56	32/44	43/14	14/49	1/09	8/26	زرقان
1/43	13	46/56	40/44	55/9	10/15	0/53	7/97	چیتگر
3/92	31	44/56	24/44	39/8	16/04	1/04	7/96	فسا
2/03	23	48/56	28/44	44/29	14/49	0/44	7/96	رامجردی
2/1	25/2	45/15	29/65	45/09	14/64	0/67	7/95	میانگین
3/92	35	78/44	40/44	55/9	23/92	1/09	8/26	دامنه
1/22	7	32/56	14/56	39/69	9/06	0/37	7/71	حداکثر حداقل

جدول 4- مقادیر پتاسیم استخراج شده توسط عصاره گیر های مختلف در خاکهای مورد مطالعه

تبادلی (3)	غیر تبادلی (2)	غیر تبادلی (1)	کلرید سدیم 2 مولار	استات آمونیم	اسید نیتریک 0/1 مولار	اسید نیتریک جوشان	آب	خاک
(میلی گرم بر کیلوگرم)								
276	452	316	176	323	200	640	47	کوشک
562	814	520	370	640	393	1160	77/5	دانشکده
245	375	516	153	270	143	786	24/7	اکبرآباد
318	401	406	150	340	140	746	21/5	کامفیروز
72	243	166	100	100	90	266	27/5	داراب
240	299	340	133	260	107	600	19/8	حسین آباد
196	260	410	116	210	90	620	14	زرقان
182	383	66	166	220	160	386	38/3	چیتگر
315	443	756	200	350	180	1106	34/3	فسا
346	503	566	206	393	196	960	46/5	رامجردی
275/5	417/3	406/7	177	310/7	170	717/3	35/03	میانگین

غیر تبادلی (1): پتاسیم غیر تبادلی حاصل از تفاضل استات آمونیم از اسید نیتریک مولار جوشان، غیر تبادلی (2): پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده بعد از 15 بار عصاره گیری متوالی با کلرید کلسیم، (3): حاصل تفاضل آب از استات آمونیوم مولار خنثی

جدول 5- میانگین پاسخ های گیاه ذرت کشت شده در خاک های مورد مطالعه

خاک	غلظت پتاسیم در اندام هوایی ذرت (درصد)	ماده خشک ذرت (گرم بر گلدان)	جذب پتاسیم ذرت (میلی گرم بر گلدان)
کوشک	1/5	20/6	301
دانشکده	1/9	22/2	420
اکبرآباد	1/8	13/9	243
کامفیروز	1/7	17/2	289
داراب	0/8	15/6	124
حسین آباد	1/4	18/9	266
زرقان	1	13/9	140
چیتگر	1/6	17/2	277
فسا	1/5	5/58	83
رامجردی	1/8	20/6	363
میانگین	1/5	16/58	251/3

نشان داده شده است. آزادسازی پتاسیم در ابتدا سریع بوده (شیب تندتر) و سپس با یک سرعت کندتر (شیب کمتر) ادامه می یابد. آزادسازی سریع تا حدود 60 دقیقه ادامه می یابد و در ادامه پتاسیم غیر تبادلی با سرعت کمتر آزاد می شود. خاکهای مورد مطالعه دیگر روند مشابهی را نشان دادند. آزادسازی با سرعت بالا در مراحل اولیه را می توان به رهاسازی پتاسیم از مناطق با انرژی جذب کم نسبت داد و در مرحله دوم با پیشرفت رهاسازی و بالا رفتن انرژی جذب پتاسیم در بین لایه ها و از طرفی افزایش فاصله پتاسیم از لبه کانی ها و افزایش فاصله پخشیدگی سرعت رهاسازی کاهش می یابد (29). مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده از خاک ها در محدوده 243 میلی گرم بر کیلوگرم برای خاک داراب تا 814 میلی گرم بر کیلوگرم برای خاک دانشکده کشاورزی است.

بیگل و اوراک (9) در خاکهای پنسیلوانیا همبستگی بین پتاسیم استخراجی به وسیله عصاره گیر مهلیخ 3 و جذب پتاسیم ذرت را نشان دادند و این عصاره گیر را نسبت به استات آمونیم ترجیح دادند. ساتو (11) در خاکهای مجارستان عصاره گیر استات آمونیم را برای عصاره گیری پتاسیم قابل استفاده مناسب دانست. به طور کلی دلیل اینکه یک عصاره گیر در یک خاک ممکن است موفق و در خاک دیگر ناموفق باشد، احتمالا می تواند مربوط به نقش متفاوت شکل های مختلف پتاسیم خاک (با توجه به نوع و مقدار کانی های موجود در خاک) در تامین نیازهای گیاهی باشد (5).

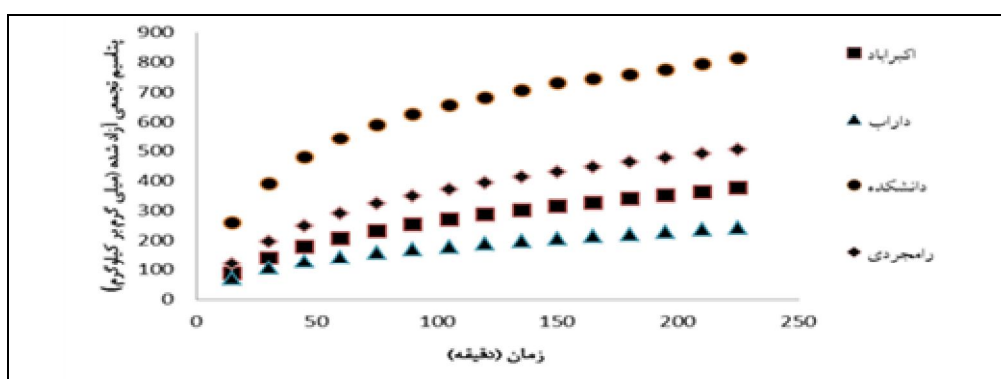
سینتیک آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی

روند آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی بوسیله عصاره گیری متوالی با کلرید کلسیم 0/01 مولار در برخی خاکهای مورد مطالعه در شکل 1

جدول 6- ضریب همبستگی خطی ساده بین عصاره گیرهای مورد مطالعه و جذب پتاسیم ذرت

آب	اسید نیتریک جوشان	اسید نیتریک 0/1 مولار	استات آمونیم	کلرید سدیم 2مولار	استات آمونیم
				0/95**	استات آمونیم
			0/93**	0/99**	اسید نیتریک 0/1 مولار
		0/66*	0/84**	0/72*	اسید نیتریک جوشان
	0/49	0/95**	0/80**	0/92**	آب
0/65*	0/30	0/68*	0/69*	0/64*	جذب پتاسیم ذرت

* و ** - به ترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد

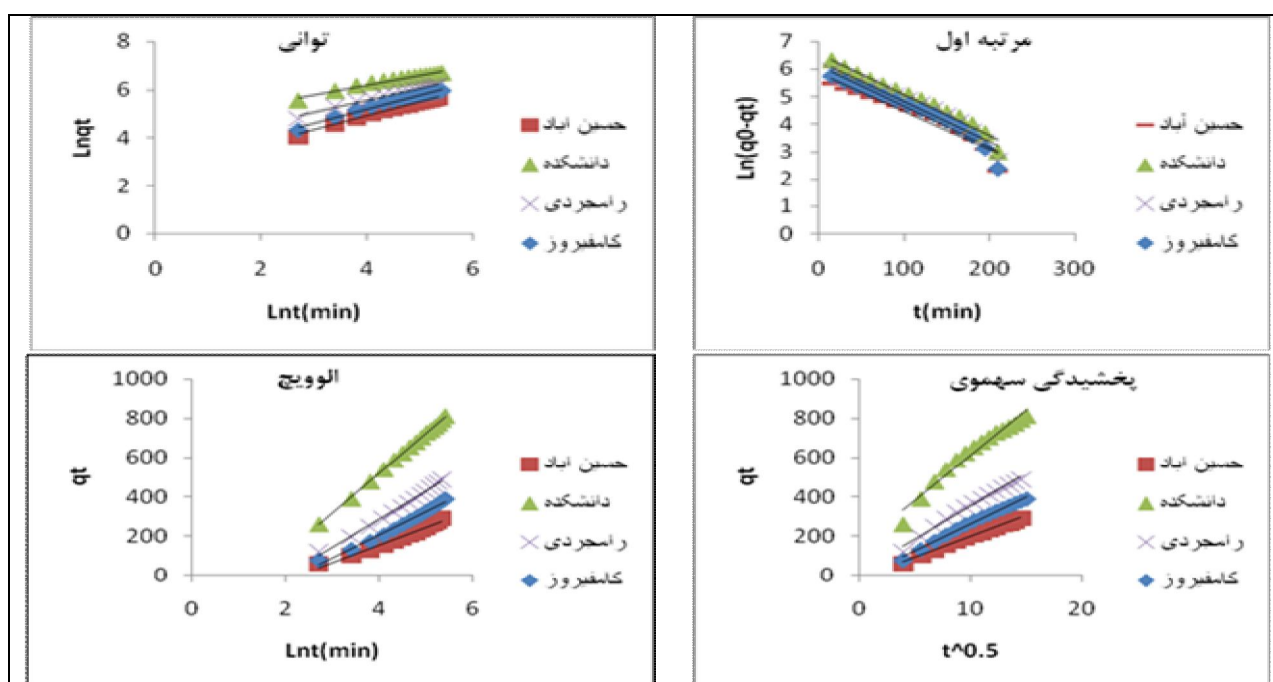


شکل 1- مقدار پتاسیم تجمعی آزاد شده در طی زمان با عصاره گیری متوالی با کلرید کلسیم

و ایلپیت در خاک‌های دانشکده و رامجردی، این دو خاک بالاترین میزان آزادسازی پتاسیم را نشان داده اند. احتمالاً مقدار این کانی‌ها در خاک‌های دیگر کمتر است.

رسم داده‌های اندازه‌گیری شده مربوط به آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌های سینتیکی مختلف در شکل 2 نشان داده شده است. در جدول 7 ضرایب تبیین و خطای استاندارد مدل‌های سینتیکی مختلف آورده شده است. مدل‌هایی که مقدار R^2 بالا و SE پایین داشته باشند به عنوان بهترین مدل سینتیکی انتخاب می‌شوند. با توجه به داده‌های جدول 7 و شکل 2 مدل توانی بالاترین R^2 و کمترین SE را نسبت به دیگر مدل‌های مورد بررسی دارد اما مدل‌های مرتبه اول، الوویچ و پخشیدگی سهموی هم می‌توانند تخمین درستی از آزادسازی پتاسیم داشته باشند. مدل مرتبه دوم و مرتبه صفر در این مطالعه برای خاک‌های مورد مطالعه مناسب تشخیص داده نشد، بنابراین در ادامه بررسی نمی‌شوند. در مطالعه جلالی و ضرابی (17) در تعدادی از خاک‌های آهکی استان همدان بهترین معادله توصیف کننده سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با کلرید کلسیم 0/01 مولار و اگزالیک اسید 0/01 مولار معادله توانی بود.

اختلاف در مقدار کل پتاسیم آزاد شده از نمونه‌های خاک مختلف می‌تواند ناشی از عوامل متعددی مانند اندازه ذرات کانی‌های دارای پتاسیم و شرایط محیطی باشد (28). گاهی هم تفاوت در طبیعت کانی‌های دارای پتاسیم شامل ساختمان کریستالی، ترکیب شیمیایی، درجه تخلیه و تغییر بار لایه‌ای باعث ایجاد این اختلاف‌ها می‌شود (13). مطالعه ابطحی و همکاران (1) در خاک رامجردی و دانشکده (دو نمونه از خاک‌های موجود در این مطالعه) نشان داد که کانی‌های غالب در این دو منطقه ایلپیت، کلریت، ورمی کولیت، اسمکتیت و پالیگورسکیت می‌باشند. مطالعه بادآهنگ (2) در خاک کوشک وجود کانی‌های ایلپیت، کلریت و پالیگورسکیت را نشان داد. اطلاعات مربوط به کانی‌شناسی سایر خاک‌ها در دست نیست و نیاز به تحقیق بیشتری دارد. در کانی‌های ایلپیت و ورمی کولیت مکان‌های سطحی، لبه‌ای و بین لایه‌ای وجود دارد که می‌تواند پتاسیم را نگه دارد. مکان‌های سطحی و لبه‌ای پتاسیم تبادلی را آزاد می‌کنند در صورتیکه پتاسیم غیر تبادلی از مکان‌های بین لایه‌ای آزاد می‌شود. هنگامی که یون کلسیم به مکان‌های بین لایه‌ای می‌رسد به علت اندازه هیدراته بزرگ آن باعث انبساط بیشتر کانی می‌شود و پتاسیم بین لایه‌ای آزاد می‌شود (18). با توجه به وجود کانی‌های ورمی کولیت



شکل 2- رابطه بین مقدار پتاسیم آزاد شده اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط مدل های سینتیکی انتخاب شده

جدول 7- مقادیر ضرایب تبیین (R^2) و خطای معیار (SE) مدل های سینتیکی انتخابی

خاک	الووچ		توانی		پخشیدگی سهموی		مرتبه اول	
	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE
کوشک	0/997	5/64	0/98	0/062	0/98	14/8	0/968	0/176
زرقان	0/975	10/38	0/994	0/038	0/998	2/45	0/929	0/248
دانشکده	0/999	4/09	0/973	0/054	0/962	32/01	0/974	0/158
کامفیروز	0/988	10/6	0/985	0/057	0/992	8/37	0/945	0/235
رامجردی	0/993	9/81	0/984	0/052	0/988	12/66	0/951	0/218
فسا	0/991	9/87	0/982	0/06	0/99	10/71	0/949	0/218
چیتگر	0/994	6/66	0/986	0/043	0/987	0/404	0/939	0/249
داراب	0/99	5/49	0/992	0/03	0/992	4/61	0/946	0/221
اکبرآباد	0/989	9/38	0/988	0/045	0/992	7/72	0/948	0/213
حسین آباد	0/981	10/23	0/99	0/047	0/997	4/23	0/937	0/236
میانگین	0/99	8/215	0/98	0/049	0/99	9/05	0/944	0/217
دامنه تغییرات	0/999	10/38	0/992	0/062	0/998	32/01	0/968	0/249
	0/975	5/49	0/973	0/03	0/962	0/309	0/929	0/158

پتاسیم بین لایه‌ای و عرض از مبدا آن نشان دهنده سرعت اولیه و فوری رها سازی پتاسیم می باشد (24).

در جدول 8 ضرایب a و b معادلات سینتیکی انتخاب شده آورده شده است. مقدار ثابت b که شیب معادله است و می تواند به عنوان معیاری از سرعت آزادسازی در نظر گرفته شود (15). تفاوت بین مقادیر b نشان می دهد که قدرت خاک ها در تامین پتاسیم برای گیاه متفاوت است.

الزبیدی و همکاران (8) معادلات مرتبه اول، پخشیدگی سهموی، الووچ و معادله توانی را به ترتیب به عنوان بهترین معادلات توصیف کننده سرعت آزادسازی پتاسیم در خاک‌های لبنان پیشنهاد کردند. مارتین و اسپارکس (20) معادله مرتبه اول را به عنوان معادله مناسب در دو خاک ساحلی در ایالات متحده پیشنهاد کردند. رابطه خطی با ضریب تبیین بالا و خطای استاندارد کم در مدل پخشیدگی سهموی نشان می دهد که آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی یک فرایند کنترل شده پخشیدگی است (18). شیب معادله الووچ بیانگر سرعت رها سازی

جدول 8- ثابت های معادلات سینتیکی انتخاب شده در مطالعه

خاک	پخشیدگی سهموی		الووچ		توانی		مرتبیه اول	
	b	a	b	a	b	a	b	a
کوشک	29/13	30/78	127/94	-249/25	0/49	3/52	6/14	0/014
دانشکده	45/99	155/36	204/04	-295/97	0/39	4/62	6/57	0/014
اکبرآباد	24/92	7/64	108/29	-226/32	0/51	3/18	6/01	0/014
کامفیروز	27/37	-13/05	118/88	-270/11	0/57	2/9	6/14	0/015
داراب	14/74	25/84	64/07	-112/79	0/43	3/16	5/49	0/014
حسین آباد	21/12	-14/29	91/2	-210/27	0/58	2/61	5/86	0/014
زرقان	18/56	-16/91	79/83	-187/64	0/59	2/41	5/74	0/014
چیتگر	23/74	36/76	103/73	-188/97	0/45	3/53	5/99	0/015
فسا	29/821	-2/21	129/93	-284/1	0/55	3/15	6/20	0/014
رامجردی	32/97	22/13	143/88	-290/59	0/5	3/55	6/31	0/015

جدول 9- ضریب همبستگی بین ثابت سرعت معادلات انتخابی و ویژگی های خاک و جذب پتاسیم گیاه ذرت

معادله	CCE	CEC	شن	سیلت	رس	ماده آلی	EC	pH	جذب پتاسیم ذرت
توانی	-0/68**	0/42	0/14	-0/44	0/51	0/17	0/07	0/23	-0/4
الووچ	-0/003	0/40	0/22	-0/45	0/47	0/54	0/27	0/11	0/70*
پخشیدگی سهموی	-0/01	0/41	0/23	-0/46	0/48	0/55	0/27	0/12	0/70*
مرتبیه اول	0/25	0/26	0/42	-0/14	-0/12	0/07	-0/50	-0/22	0/38

CCE=کربنات کلسیم معادل، * و ** - به ترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد

نشان نداده است. بنابراین هرچند معادله توانی نسبت به معادله الووچ و پخشیدگی سهموی برازش بهتری روی داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داده است اما بدلیل اینکه ثابت‌های سرعت معادلات الووچ و پخشیدگی سهموی همبستگی معنی‌داری را با جذب پتاسیم گیاه ذرت و شکل‌های شیمیایی پتاسیم نشان داده اند، لذا توصیه می‌شود این دو معادله در خاک‌های مورد مطالعه به کار روند. معادله مرتبه اول با هیچ‌کدام از این ویژگی‌ها همبستگی معنی‌داری نشان نداد، بنابراین در جدول نیامده است.

در مطالعه حسین پور و کاووسی (7) روی خاک‌های گیلان ضریب سرعت معادله توانی همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های رشد گیاه یونجه نشان نداد ولی ضرایب سرعت معادلات مرتبه اول و پخشیدگی سهموی همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های رشد گیاه یونجه نشان دادند. در تحقیق آنها ثابت سرعت معادله مرتبه اول همبستگی معنی‌داری با درصد رس (-0/59)، درصد شن (0/68)، ظرفیت تبادل کاتیونی (-0/63) و پ هاش (0/64) نشان داد و ثابت سرعت معادله پخشیدگی سهموی همبستگی معنی‌داری با درصد رس (-0/76)، درصد شن (0/64) و ظرفیت تبادل کاتیونی (-0/63) نشان داد و ثابت b معادله توانی همبستگی معنی‌داری با ویژگی‌های خاک نداشت.

در معادله توانی ضریب b در همه خاکها کوچکتر از یک است که نشان می‌دهد سرعت آزادسازی پتاسیم غیر تبادلی با زمان کاهش می‌یابد (16).

یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای مقایسه معادلات توصیف کننده آزادسازی پتاسیم، مقایسه میزان همبستگی ثابت سرعت آنها با شاخص‌های گیاهی و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها می‌باشد (14). همبستگی بین ثابت سرعت b معادلات انتخابی با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و جذب پتاسیم ذرت در جدول 9 آورده شده است.

ضریب معادله توانی با کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی معنی‌داری را نشان می‌دهد (-0/68) ولی با بقیه خصوصیات همبستگی معنی‌دار نشده است. ثابت سرعت معادلات الووچ و پخشیدگی سهموی با جذب پتاسیم ذرت همبستگی معنی‌داری را نشان داده است (0/7). ضریب همبستگی بین شکل‌های شیمیایی پتاسیم و ضرایب سرعت معادلات انتخابی در جدول 10 آورده شده است. مشاهده می‌شود که معادلات الووچ و پخشیدگی سهموی همبستگی معنی‌داری را با شکل‌های محلول و تبادلی پتاسیم که شکل‌های قابل استفاده پتاسیم می‌باشند نشان داده‌اند ولی معادله توانی که بالاترین R^2 و کمترین SE را داشت همبستگی معنی‌داری

جدول 10- ضریب همبستگی ساده بین شکل های مختلف پتاسیم و جذب پتاسیم ذرت با ثابت سرعت معادلات انتخاب شده

محلول	تبادلی	غیر تبادلی (1)	غیر تبادلی (2)	توانی	الووچ	پخشیدگی سهموی
تبادلی	0/75*					
غیر تبادلی (1)	0/17	0/59				
غیر تبادلی (2)	0/92**	0/94**	0/41			
توانی	-0/76*	-0/23	0/29	-0/54		
الووچ	0/88**	0/97**	0/51	0/99**	-0/42	
پخشیدگی سهموی	0/87**	0/98**	0/52	0/98**	-0/41	0/99**
جذب پتاسیم ذرت	0/66*	0/67*	-0/35	0/71*	-0/4	0/70*

1- پتاسیم غیر تبادلی حاصل از تفاضل استات آمونیم از اسید نیتریک مولار جوشان 2- پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده بعد از 15 بار عصاره گیری متوالی با کلرید کلسیم 0/01 مولار، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد

جدول 11- روابط رگرسیونی بین ثابت سرعت معادلات انتخابی و مقدار پتاسیم عصاره گیری شده با عصاره گیرهای مختلف

مدل	R ²	معادله رگرسیونی
توانی	0/95	b=0/565-0/005(آب)+(استات آمونیم)
الووچ	0/98	b=32/797+0/524(آب)+0/212(استات آمونیم)
پخشیدگی سهموی	0/98	b=8/045 + 0/106(آب) + 0/049(استات آمونیم)

سرعت آزاد سازی پتاسیم غیر تبادلی هم در آزمون خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نتایج این تحقیق نشان داد که عصاره گیر استات آمونیم بالاترین همبستگی را با جذب پتاسیم گیاه ذرت دارد که در حال حاضر این عصاره گیر در خاک های استان فارس رایج است. علاوه بر استات آمونیم 1 مولار خنثی، عصاره گیرهای اسید نیتریک 0/1 مولار و کلرید سدیم 2 مولار و آب هم با جذب پتاسیم گیاه ذرت همبستگی خوبی نشان دادند و می توانند در خاک های مورد مطالعه به کار روند. با توجه به مقادیر R² و SE، سینتیک آزاد سازی پتاسیم غیر تبادلی به طور رضایت بخش با مدل های توانی، مرتبه اول، الووچ و پخشیدگی سهموی توصیف شد. با توجه به اینکه ثابت های سرعت معادلات الووچ و پخشیدگی سهموی همبستگی بالایی با جذب پتاسیم گیاه نشان دادند توصیه می شود این دو معادله در خاک های مورد مطالعه به کار روند.

سپاسگزاری

از همه استادان و کارکنان محترم گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند تشکر و سپاسگزاری می شود.

همان طور که در جدول 9 مشاهده می شود جذب پتاسیم ذرت همبستگی معنی داری با پتاسیم غیر تبادلی آزاد شده توسط کلرید کلسیم نشان می دهد که نشان دهنده اهمیت سرعت آزاد سازی پتاسیم در تامین نیاز پتاسیم گیاه است.

با توجه به اینکه تعیین ثابت سرعت معادلات یک فرایند وقت گیر است، لازم است آن را به طریقی تخمین بزنیم. معادلات موجود در جدول 11، از طریق رگرسیون گام به گام بین ثابت سرعت معادلات انتخابی (متغیر وابسته) و مقدار پتاسیم عصاره گیری شده توسط عصاره گیرهای مختلف (متغیر مستقل) بدست آمده اند.

لوپز پینیرو و گارسیا ناوارو (21) معادله زیر را برای پیش بینی ثابت سرعت معادله الووچ در خاک های اسپانیا بدست آوردند:
 (اسید نیتریک 0/1 مولار) +0/2064 (کلرید سدیم) b=-39/34+0/6878
 R²=0/96

نتیجه گیری

گیاهان پتاسیم مورد نیاز خود را نه تنها از پتاسیم تبادلی بلکه از پتاسیم بین لایه ای کانی های رسی 2:1 هم کسب می کنند. با توجه به وجود کانی های رسی 2:1 در خاک های استان فارس، علاوه انتخاب عصاره گیر مناسب برای گیاه و منطقه مورد مطالعه، مطالعه

منابع

1- ابطحی س.ع.، کریمیان ن و صلحی م. 1370. گزارش مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی اراضی منطقه باجگاه استان فارس. صفحه 63.

- 2- بادآهنگ ک. 1383. بررسی روند تغییرات کانی های خاک های زراعی غرقابی و غیر غرقابی و آزاد سازی پتاسیم از کانی ها. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم خاک. دانشگاه شیراز.
- 3- بحرینی طوحان م.، دردی پور ا. و موحدی نائینی ع. 1389. 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 علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 14: 113-126.
- 4- توفیقی ح. 1377. بررسی پاسخ برنج به کود پتاسه در خاک های شالیزاری شمال ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. 29: 869-883.
- 5- شریفی م. و کلباسی م. 1380. انتخاب عصاره گیر مناسب برای استخراج پتاسیم قابل جذب ذرت در خاکهای منطقه مرکزی استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 5: 77-91.
- 6- حسین پور ع. 1383. کاربرد معادلات سینتیکی در توصیف سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی در شماری از خاک های همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 8: 85-93.
- 7- حسین پور ع. و کاوسی م. 1383. سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی و پاسخ گیاه در تعدادی از خاک های گیلان. مجله علوم کشاورزی ایران. 35: 347-355.
- 8- Al-Zubaidi A., Yanni S. and Bashour I. 2008. Potassium status in some Lebanese soils. *Lebanese Science Journal*, 9:81-97.
- 9- Beegle D.B. and Oravec D.C. 1990. Comparison of field calibration for Mehlich 3 P and K with Bray- Kurtz P1 and ammonium acetate K for corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21: 1025- 1036.
- 10- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 811-903. I. C.n A. Black. (ed.) *Methods of soil analysis*, Part II. 2nd ed. Agron Monogor. 9. ASA and SSSA Madison, WI., USA.
- 11- Csatho P. 1998. Correlation between two soil extractants and corn leaf potassium contents from Hungarian field trails. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29:2149-2160.
- 12- Dobermann A., Sta Cruz P.C. and Cassman C.G. 1996. Potassium balance and potassium supplying power in intensive irrigated rice systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46: 1-10.
- 13- Hosseinpur A.R. and Kalbasi M. 2002. Kinetics of nonexchangeable potassium from soils and separates in some central region soils of Iran. 17th World Congress of Soil Science. 14-21 Agust, Bangkok, Thailand.
- 14- Hosseinpur A.R., Motaghian H.R. and Salehi M.H. 2012. Potassium release kinetics and its correlation With Pinto bean (*Phaseolous vulgaris*) plant indices. *Plant and Soil Environment*, 58: 328-333.
- 15- Jalali M. 2005. Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36:1903-1917.
- 16- Jalali M. 2006. Kinetics of nonexchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 135: 63-71.
- 17- Jalali M. and Zarabi M. 2006. Kinetics of nonexchangeable-potassium release and plant response in some calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169:196-204.
- 18- Jardin P.M. and Sparks D.L. 1984. Potassium-calcium exchange in a multireactive soil system: 1. Kinetics. *Soil Science Society American Journal*, 47:39-45.
- 19- Knudsen D., Peterson G.A. and Pratt P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium, pp:225-245 In: A.L. Page(ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2*, 2nd ed. Agronomy monograph No 9. ASA. Madison, WI.
- 20- Larsen S. 1967. Soil phosphorus. *Advance Agronomy*, 19:151 – 210.
- 21- Lopez-Pineiro A., and Garcia Navarro A. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized vertisol of southwestern Spain. *Soil Science*, 162: 912-918.
- 22- Martin H.W. and Sparks D.L. 1983. Kinetics of non- exchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Science Society American Journal*, 47: 883- 887.
- 23- Mengel K. and Kirkby E.A. 2001. *Principles of plant nutrition*, 5th edn. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht, p. 849.
- 24- Mengel K. and Rahmatullah D.H. 1998. Release of Potassium from the silt and sand fraction of loess-driven soils. *Soil Science*, 163: 805-813.
- 25- Mutscher M. 1995. Measurement and assessment of soil potassium. IPI restop, no. 4. IPI, Basel. Switzerland.
- 26- Pratt P.F. 1965. Potassium. pp. 1022 – 1030 In: A.L. Page (ed.), Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2*, 2nd ed. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- 27- 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. *Journal of Applied Science*, 9(18):3335-3342.
- 28- Sharpley A.N. 1990. Reaction of fertilizer potassium in soils of different mineralogy. *Soil Science*, 149:44-51.
- 29- Sadosky M.C., Sparks D.L., Noll M.R. and Hendricks G.J. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy soils. *Soil Science Society American Journal*, 51: 1460-1465.
- 30- Sparks D.L. and Huang P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. p.201-276. In R.D. Munson (ed.)

- Potassium in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- 31- Srinivasarao C., Swarup A., Subba Rao A. and Raja Gopal V. 1999. Kinetics of nonexchangeable potassium release from a tropaepts as influenced by long-term cropping , fertilization and manuring. Australian Journal of Soil Research. 37:317-328.
 - 32- Syers J.K. 2003. Potassium in soils: current concepts. In:Johnston AE (ed) Proceedings of the IPI Golden Jubilee Congress 1952–2002 held at Basel Switzerland 8–10 Oct 2002. Feed the soil to feed the people. The role of potash in sustainable agriculture. International Potash Institute, Basel, pp 301–310.
 - 33- Volker Romheld E. and Kirkby A. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. Plant and Soil, 335:155-180.



Availability and Release Kinetics of Nonexchangeable Potassium in Some Calcareous Soils of Fars Province

S. Abdi^{1*} - R. Ghasemi Fasaee² - N.A. Karimian³ - M. Fezian⁴

Received: 03-06-2013

Accepted: 22-07-2014

Abstract

Sum of exchangeable and solution forms of soil potassium is widely used to determine potassium availability for plants. Reliability of these methods is not enough in soils that contain 2:1 phyllosilicates. Additional to exchangeable potassium, nonexchangeable potassium also has an important role in plant nutrition. Limited information about availability and release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils of Fars province is available. For this purpose, some extractants including ammonium acetate, boiling nitric acid, 0.1M nitric acid, 2M sodium chloride and water were evaluated to prediction of potassium availability for corn in 10 calcareous soils of Fars province. Release kinetics of nonexchangeable potassium was studied using 15 successive 15-min extraction with 0.01M calcium chloride. Kinetics models describing nonexchangeable potassium release rate including zero order, first order, second order, third order, parabolic diffusion, power function and ellovich were evaluated. Results showed that 1M neutral ammonium acetate, 0.1M nitric acid, water and 2M sodium chloride extractants had high correlation with corn potassium uptake. Amount of potassium released among studied soils was vary in the range of 243 to 814 mg kg⁻¹. According to R² and SE, kinetics of nonexchangeable potassium release was described with power function, parabolic diffusion and ellovich equations satisfactorily. According to this fact that constant rate of parabolic diffusion and ellovich models had significant correlations with corn potassium uptake, it is recommended that these two models are suitable for use in these studied soils.

Keywords: Corn, Extractant, Calcium Chloride

1- PhD Student of Soil Science Department, Colledge of Agriculture, Vali Asr University of Rafsanjan
(* - Corresponding Author Email: Sabdi1100@yahoo.com)

2- Associate Professor and Professor of Soil Science Department, Colledge of Agriculture, Shiraz University
Respectively

3- Assistant Professor of Soil Science Department, Colledge of Agriculture, Lorestan University