

سینتیک آزادسازی پتانسیم غیرتبادلی در افق‌های سطحی و زیرسطحی سری‌های غالب خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد

سیروس شاکری^{۱*}، سیدعلی ابطحی^۱، نجفعلی کریمیان^۱، مجید باقرنژاد^۱ و حمیدرضا اولیایی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۹)

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی سینتیک آزادسازی پتانسیم غیرتبادلی در افق‌های سطحی و زیرسطحی سری‌های غالب خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، با عصاره‌گیرهای معدنی و آلی انجام شد. عصاره‌گیری متواالی پتانسیم غیرتبادلی با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و اگزالیک اسید ۰/۰۱ مولار در ۱۷ مرحله و به مدت ۱۹۴۸ ساعت در دو تکرار بر روی ۶۴ نمونه سطحی و عمقی خاکرخ‌های انتخابی انجام شد. سپس برای بررسی سینتیک آزادسازی پتانسیم غیرتبادلی، داده‌های آزادسازی پتانسیم با معادلات مختلف سینتیکی شامل الوبیچ، مرتبه اول، تابع توانی و پخشیدگی پارابولیک برآراش داده شدند. نتایج نشان داد که میانگین پتانسیم غیرتبادلی (پتانسیم استخراج شده با اسید نیتریک) خاک‌های مطالعه شده ۳۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. کلرید کلسیم و اگزالیک اسید تنها بخش کوچکی از پتانسیم غیرتبادلی را آزاد کردند به‌طوری که اگزالیک اسید حدود ۵۲ درصد و کلرید کلسیم نیز حدود ۵۸ درصد از پتانسیم غیرتبادلی را آزاد کردند. مقدار پتانسیم غیرتبادلی آزاد شده توسط اگزالیک اسید تقریباً در همه نمونه‌ها کمتر از پتانسیم غیرتبادلی آزاد شده با کلرید کلسیم بود که دلیل اصلی آن می‌تواند ظرفیت بافری بالای خاک‌های آهکی و ختنی شدن اگزالیک اسید توسط آهک باشد. ضریب سرعت آزادسازی (b) معادله‌های الوبیچ و پخشیدگی پارابولیک همبستگی معنی‌داری با پتانسیم غیرتبادلی و تعدادی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک نشان دادند. همچنین با توجه به ضرایب تبیین و اشتباه استاندارد برآورد، به ترتیب معادله‌های الوبیچ، تابع توانی، مرتبه اول و پخشیدگی پارابولیک به عنوان بهترین معادله‌ها برای پیش‌بینی آزادسازی پتانسیم غیرتبادلی خاک‌های استان پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی: سینتیک آزادسازی پتانسیم غیرتبادلی، کهگیلویه و بویراحمد، اگزالیک اسید، کلرید کلسیم

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور

۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sirosp55@yahoo.com

مقدمه

دارند (۵۰). به علاوه، اسیدهای آلی در ریزوسفر تعداد زیادی گونه‌های درختی یافت شده که می‌توانند بر هوادیدگی پتابسیم غیرتبدالی خاک مؤثر باشند. (۴۴). اگزالیک اسید یک اسید آلی است که نقش مهمی در بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک دارد. این اسید ساده‌ترین دی کربوکسیلیک اسید با دو pK_a شامل $1/23$ و $4/19$ است و در رسوبات، جنگل‌ها و خاک‌های کشاورزی مخصوصاً در ریزوسفر گیاهان وجود دارد. (۱۷).

برای توصیف سیستیک آزادسازی پتابسیم غیرتبدالی معادلات مختلفی مانند الوریچ، مرتبه صفر، مرتبه اول، تابع توانی و پخشیدگی پارabolیک توسط محققان زیادی بررسی شده است (۲، ۴، ۲۶، ۳۲، ۳۹ و ۴۲). بحرینی طوحان و همکاران (۲) با مطالعه سرعت آزاد شدن پتابسیم غیرتبدالی در دوازده سری غالب خاک‌های زراعی استان گلستان، با استفاده از دو عصاره‌گیر اسید سیتریک و کلرید کلسیم گزارش دادند عصاره‌گیرهای مختلف میزان متفاوتی از پتابسیم غیرتبدالی را از خاک‌ها آزاد می‌کنند. آنها همچنین دریافتند که سرعت آزاد شدن پتابسیم غیرتبدالی توسط اسید سیتریک، با معادلات الوریچ و پخشیدگی و کلرید کلسیم با معادلات توانی، مرتبه اول و الوریچ تطابق بهتری دارند. جالی و خانلری (۲۷)، با بررسی سیستیک آزادسازی پتابسیم در تعدادی از خاک‌های آهکی با کاربری‌های مختلف گزارش کردند که معادلات ایلوویچ، پخشیدگی پارabolیک و تابع توانی در منطقه مورد مطالعه برازش بهتری دارند. حاتمی و همکاران (۳) با بررسی تأثیر اندازه ذرات و نوع عصاره‌گیر بر شکل‌های مختلف پتابسیم برخی از کانی‌های میکایی و فلدوپات‌های پتابسیم نشان دادند که فلدوپات‌ها، به اندازه میکاهای سه جایی (بیوتیت و فلوگوپیت) در تأمین پتابسیم محلول و تبدالی خاک مهم می‌باشند ولی کانی دوجایی موسکوویت، اهمیت کمتری حتی نسبت به فلدوپات‌ها دارد. هاولين و همکاران (۲۰) با مطالعه مدل‌های مختلف آماری برای بررسی سیستیک آزادسازی پتابسیم تبدالی در خاک‌های آهکی بیان کردند که معادله‌های ایلوویچ، تابع توانی، و پخشیدگی پارabolیک، آزادسازی تجمعی پتابسیم از

میانگین مقدار پتابسیم در پوسته زمین حدود ۲۳ گرم در کیلوگرم (۲/۳ درصد) است. بیشترین مقدار آن در کانی‌های اولیه و همچنین در کانی‌های رسی وجود دارد (۳۵). این عنصر برای گیاهان ضروری بوده و به چهار شکل در خاک وجود دارد که ترتیب قابلیت استفاده آنها برای گیاه به صورت محلول \rightarrow تبدالی \rightarrow غیرتبدالی \rightarrow ساختمانی می‌باشد (۴۶ و ۴۵). معمولاً تخمین پتابسیم قابل استفاده گیاهان و همچنین توصیه کودی براساس پتابسیم محلول و پتابسیم قابل تبدل بوده و پتابسیم غیرتبدالی مورد بررسی قرار نمی‌گیرد (۴۱ و ۲۳). اما پتابسیم غیرتبدالی خاک تأمین کننده پتابسیم تبدالی و محلول خاک بوده که توسط محققان مختلف و با عصاره‌گیرهای متفاوتی مانند کلرید کلسیم (۲۳ و ۴۷)، اسیدهای آلی (۶، ۲۶ و ۴۳) و نیتریک اسید (۱۹) استخراج شده است. قابلیت دسترسی پتابسیم و میزان متفاوت آزادسازی پتابسیم در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک یک مشکل بسیار اساسی به شمار می‌رود (۲۷). در خاک‌های آهکی، Ca^{2+} یک کاتیون بسیار معمول برای جایگزینی پتابسیم بین لایه‌ای است. وجود Ca^{2+} در آب آبیاری و همچنین خاک‌های معدنی که قادر به آزادسازی Ca^{2+} هستند در تعیین مقدار K^+ آبشویی شده در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت زیادی دارد و عصاره‌گیری متوالی K^+ با Ca^{2+} یکی از روش‌های مناسب ارزیابی سیستیک آزادسازی پتابسیم غیرتبدالی در خاک‌های آهکی است (۲۵). غلظت بحرانی که بیشتر از آن از آزادسازی پتابسیم جلوگیری می‌شود برای بیشتر خاک‌ها حدود ۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد، بنابراین غلظت پتابسیم در فاز محلول باید بسیار کم نگه داشته شود تا از آزادسازی پتابسیم جلوگیری نشود (۳۳).

خاک‌ها دارای انواعی از اسیدهای آلی هستند که می‌توانند از طریق تشکیل کمپلکس آلی عناصر سبب هوادیدگی کانی‌ها و سنگ‌ها شوند (۴۸). گیاهانی که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند در مقایسه با گیاهانی که در خاک‌های اسیدی هستند، ظرفیت بیشتری برای ترشح اسیدهای آلی از ریشه‌های خود

آزادسازی پتاسیم سریع‌تر از بقیه خاک‌ها بوده و خاک انتی‌سولز به‌دلیل ثابت سرعت کمتر، سرعت آزادسازی پایین‌تری نیز خواهد داشت.

تنوع آب و هوایی و مواد مادری و همچنین اختلاف ارتفاع و پوشش گیاهی در مناطق مختلف استان کهگیلویه و بویراحمد باعث ایجاد خاک‌های مختلف شده است. به جز تحقیقات محدود و منطقه‌ای، تاکنون تحقیق مدون و جامعی از وضعیت پتاسیم این استان انجام نشده است. لذا این تحقیق به منظور بررسی کاربرد معادلات سیتیکی در توصیف و پیش‌بینی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی و همچنین بررسی همبستگی ضرایب سرعت آزادسازی این معادلات با تعدادی از خصوصیات خاک در افق‌های سطحی و زیرسطحی سری‌های غالب خاک‌های استان با دو عصاره‌گیر معدنی و آلی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت و وسعت

استان کهگیلویه و بویراحمد با ۱۶۲۶۴ کیلومترمربع وسعت در جنوب غربی ایران، بین ۳۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است و سرزمینی کوهستانی و نسبتاً مرتفع است که کوه‌های زاگرس با رشته‌های موازی، مراسر شمال و شرق آن را در بر گرفته‌اند. بلندترین نقطه استان، قله دنا با ارتفاع ۴۴۰۹ متر و پست‌ترین ناحیه آن لیشتون با ارتفاع ۵۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. با توجه به شرایط جغرافیای استان، در امتداد اصلی کوه‌های زاگرس از شمال شرقی به جنوب غربی، ارتفاع کوه‌ها و مقدار بارندگی و رطوبت هوا به طور محسوسی کاهش می‌یابد. این وضعیت طبیعی، مشخصات اقلیمی دوگانه‌ای را پدید آورده و استان را به دو ناحیه سردسیری و گرم‌سیری تقسیم کرده است.

روش انجام مطالعه

ابتدا براساس اطلاعات به‌دست آمده از عکس‌های هوایی،

این خاک‌ها را به‌خوبی توصیف می‌کند.

بعضی از محققان ضریب سرعت آزادسازی را شاخص مناسی برای پتاسیم قابل استفاده گیاه می‌دانند. منگل و همکاران (۳۷)، اعلام کردند که شب معادله الوجیج (b) بیانگر سرعت رهاسازی پتاسیم بین لایه‌ای و عرض از مبدأ آن (a) نشان‌دهنده سرعت اولیه و فوری رهاسازی پتاسیم می‌باشد. منگل و اولن بکر (۳۶)، گزارش کردند که بین پارامتر b در معادله‌های پخشیدگی پارابولیک،تابع نمایی و الوجیج و پتاسیم خارج شده توسط گیاه ریگراس ارتباط وجود دارد. آنها بیان کردند که پارامتر b می‌تواند شاخص واقعی‌تری برای پتاسیم قابل استفاده گیاه باشد. لوپز و ناورو (۳۱)، نتیجه گرفتند که ضریب b در معادله الوجیج همبستگی بالایی با پتاسیم خارج شده توسط گیاهان علوفه‌ای دارد. حسین‌پور، (۴) گزارش داد که ضرایب سرعت در معادلات مرتبه اول، انتشار پارابولیک و تابع توانی با تعدادی از خصوصیات شیمیایی خاک و همچنین درصد اجزای خاک رابطه معنی‌داری دارند. سریوانسارئو و همکاران (۴۷)، گزارش دادند که بیشتر بودن سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های با کانی غالب اسماکتایت نشان‌دهنده این است که انسباط طبیعی اسماکتایت، آزادسازی پتاسیم در مکان‌های واقع در لبه کانی‌ها و مناطق گوهای را تسهیل کرده است. در حالی که آنها بالاترین ضریب سرعت آزادسازی معادله پخشیدگی پارابولیک را در خاک‌های با کانی غالب ایلیت گزارش کردند که نشان می‌دهد این کانی پتاسیم را با قدرت زیادی تثیت کرده و با سرعت کمتری آزاد می‌کند. با توجه به این نتایج آنها اعلام کردند که آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های با کانی غالب ایلیت از قانون پخشیدگی تبعیت می‌کند. اولیایی و همکاران (۱)، بالاترین ضریب سرعت آزادسازی معادله الوجیج در خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد را در آلفی‌سول‌ها و کمترین مقدار را در انتی‌سول‌ها گزارش کردند. آنها همچنین اعلام کردند با توجه به ثابت سرعت در معادله‌های الوجیج و پخشیدگی پارابولیک، خاک آلفی‌سولز به‌دلیل داشتن ثابت سرعت بالاتر، از لحاظ سرعت

تا از آزادسازی پتاسیم جلوگیری نشود(۳۳). در نتیجه نمونه‌ها به صورت متوالی در زمان‌های ۲، ۴، ۸، ۱۴، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۴۴ و ۱۹۲، ۲۶۸، ۴۳۶، ۵۰۴، ۹۴۰ و ۱۴۴۴ و ۱۹۴۸ ساعت عصاره‌گیری شدند و محلول زلال رویی برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم نگهداری و با روش شعله‌سنجدی با دستگاه شعله‌سنجد مدل 405 corning اندازه‌گیری گردید. در پایان، پتاسیم غیرتبدالی آزاد شده نسبت به زمان با استفاده از نرم‌افزار اکسل با معادلات مختلف سیتیکی برآش داده شد. این معادلات به شرح زیر می‌باشند.

$$\ln(Y^o - Y) = a - b t \quad [1]$$

$$Y = a + b \ln t \quad [2]$$

$$Y = a + b t^{1/2} \quad [3]$$

$$\ln Y = \ln a + b \ln t \quad [4]$$

Y: مقدار پتاسیم تجمیعی آزاد شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، در زمان t (ساعت)، Y^o حداکثر پتاسیم تجمیعی آزاد شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و a و b ثابت‌های معادلات می‌باشند. معادلات براساس ضرایب تبیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE) مقایسه شدند. خطای استاندارد برآورد با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SE = \{(q-q^*)^2/(n-2)\}^{1/2} \quad [5]$$

در این معادله q و q^* به ترتیب نشان دهنده مقدار پتاسیم غیرتبدالی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و n، تعداد داده‌های ارزیابی شده می‌باشد.

برای آماده‌سازی نمونه‌ها برای تعزیزه کانی‌های رسی ابتدا برای از بین رفتن عوامل شیمیایی سیمانی کننده و جدا شدن ذرات رس از یکدیگر روش مهرا و جکسون (۳۴)، کیتریک و هوپ (۲۹) و جکسون (۲۱) ملاک عمل قرار گرفت. ابتدا کربنات‌های خاک با استفاده از محلول نرم‌مال استات سدیم (پ-هاش ۵) در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد در حمام بخار خارج شدند. برای حذف ماده آلی، آب اکسیژنه ۳۰٪ مورد استفاده قرار گرفت. طی این مرحله دی‌اسید منگنز نیز حذف می‌شود

نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی، واحدهای فیزیوگرافی تفکیک و در هر واحد خاکرخ حفر شد. در مجموع ۵۴ خاکرخ شاهد انتخاب و از افق‌های مختلف این خاکرخ‌ها نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. تعدادی از آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱)، آهک به روش تیتراسیون برگشتی (۳۰)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (۱۴)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با بیکرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ و تیتراسیون بی کرومات پتاسیم باقی‌مانده با فرو آمونیوم سولفات (۲۱) و پتاسیم غیرتبدالی (پتاسیم استخراج شده با اسید نیتریک جوشان یک نرم‌مال منهای پتاسیم تبادلی و محلول) (۹) بر روی همه نمونه‌ها (۱۶۴ نمونه) انجام شد. پس از انجام آزمایش‌های فیزیکو شیمیایی بر روی همه نمونه‌ها، براساس خصوصیات خاک‌ها، ۳۲ خاکرخ انتخاب و ۶۴ نمونه شامل افق اول و دوم این خاکرخ‌ها برای انجام آزمایش‌های سیتیک آزادسازی پتاسیم آماده‌سازی شدند. ابتدا پتاسیم تبادلی و محلول نمونه‌ها با اشباع آنها توسط کلرید کلسیم ۱ مولار حذف شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با کلرید کلسیم ۱ مولار در حالت تعادل قرار گرفتند. سپس کلرید اضافی محلول با شستشو و سانتریفیوژ نمونه‌ها حذف شدند (۳۳). نمونه‌ها در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شده و به دلیل کلوخه شدن، مجدداً کوبیده شد و در مرحله بعد ۲ گرم از خاک اشباع با کلسیم را در لوله سانتریفیوژ ریخته و ۲۰ میلی‌لیتر از محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به آن اضافه شد. به همین ترتیب در لوله سانتریفیوژ دیگری نیز ۲ گرم خاک و ۲۰ میلی‌لیتر اسید اگزالیک ۰/۰۱ مولار اضافه شد. لازم به ذکر است که هر کدام از این دو عصاره‌گیر با دو تکرار انجام شد. به دلیل این که غلظت بحرانی که بالاتر از آن از آزادسازی پتاسیم جلوگیری می‌شود برای بیشتر خاک‌ها حدود ۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد، بنابراین غلظت پتاسیم در فاز محلول باید بسیار پایین نگه داشته شود

جدول ۱. تعدادی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک های مطالعه شده

۱۰۱	۱۰۳	۲۳۰	۱۶/۳	۱/۳۴	۷۰/۲	۳۶/۷	Fluventic Haplustepts	۳۰° ۴۶' ۲۹/۵" N	۲۹	Ap	۳۰
۱۶۸	۱۰۸	۱۷۵	۱۱/۸	۰/۶۰	۶۹/۹	۳۶/۷		۵۰° ۴۳' ۲۴/۳" E	۳۰	Bw1	
۳۰۵	۲۹۶	۶۹۹	۱۷/۷	۱/۵۰	۴۱/۸	۳۷/۴	Calcic Haplustalfs	۳۰° ۴۶' ۲۹/۷" N	۳۱	Ap	۳۳
۲۱۴	۲۰۳	۴۲۱	۱۰	۰/۷	۴۹/۴	۵۲/۷		۵۰° ۳۵' ۴۶/۸" E	۳۲	Btk1	
۲۰۷	۲۳۴	۳۸۱	۱۰	۰/۹	۴۰/۲	۳۱/۴	Typic Ustorthents	۳۰° ۵۰' ۲۲/۵" N	۳۳	Ap	۳۴
۱۳۶	۱۳۹	۱۴۲	۱۱/۱	۰/۷۸	۸۷/۲	۳۴/۷		۵۰° ۳۲' ۰/۹/۹" E	۳۴	C1	
۲۰۹	۲۴۳	۴۴۶	۲۱/۳	۰/۷۹	۴۴/۷	۴۴/۷	Typic Calciustepts	۳۱° ۱۷' ۴۱/۹" N	۳۵	Ap	۳۵
۱۸۸	۱۶۹	۲۵۱	۱۹/۸	۰/۵۶	۷۷/۸	۴۷/۴		۵۰° ۲۴' ۳۸/۲" E	۳۶	Bk1	
۵۱۳	۴۸۸	۶۹۰	۳۹	۰/۲۵	۳۷/۳	۲۷/۴	Typic Haplustolls	۳۱° ۱۱' ۰۵/۸" N	۳۷	Ap	۳۶
۲۱۵	۱۹۸	۳۸۹	۲۲	۱/۴۳	۵۴/۶	۳۰/۷		۵۰° ۲۸' ۱۷/۶" E	۳۸	Bw	
۲۳۶	۱۹۷	۴۰۵	۲۶/۷	۰/۶۹	۲۴/۹	۴۵/۴	Pachic Argixerolls	۳۰° ۳۴' ۲۱/۱" N	۳۹	Ap	۳۸
۲۱۱	۱۶۵	۳۷۳	۲۹/۲	۰/۸۷	۲۶/۸	۵۳/۴		۵۱° ۳۱' ۰/۴/۸" E	۴۰	Bt1	
۲۶۵	*-	۵۴۱	۳۰/۱	۱/۱۴	۹/۷	۴۵/۴	Chromic Calcixererts	۳۰° ۳۶' ۰/۷/۶" N	۴۱	Ap	۳۹
۱۹۳	-	۴۸۹	۲۹/۷	۰/۴	۱۷/۶	۴۹/۴		۵۱° ۳۰' ۱۲/۳" E	۴۲	Bkss	
۲۱۳	-	۴۰۵	۲۶/۷	۱/۲۶	/۷	۴۲/۷	Aquic Haploxerupts	۳۰° ۳۳' ۵۵/۸" N	۴۳	Ap	۴۰
۲۱۵	-	۵۱۰	۳۱/۸	۰/۴۷	۱۷/۳	۴۹/۴		۵۱° ۳۱' ۱۰/۳" E	۴۴	Bg1	
۲۴۳	۲۱۲	۴۹۷	۳۶/۴	۲/۲۰	۲۸/۱	۳۹/۴	Mollie Haploxeralfs	۳۰° ۳۲' ۲۱/۲" N	۴۵	Ap	۴۲
۲۱۰	۱۷۳	۴۲۱	۳۲/۶	۰/۷۸	۳۱	۴۸/۷		۵۱° ۳۱' ۲۶/۵" E	۴۶	Bt1	
۲۳۹	۲۰۹	۳۸۷	۲۶/۷	۱/۹۱	۴۲/۸	۴۵/۴	Mollie Haploxeralfs	۳۰° ۳۶' ۱۹/۶" N	۴۷	Ap	۴۴
۲۳۴	۲۰۶	۵۳۲	۲۲/۸	۰/۶۱	۴۳/۹	۵۱/۴		۵۱° ۳۴' ۴۹/۶" E	۴۸	Bt1	
۲۴۶	۲۳۱	۳۰۳	۲۴/۴	۱/۶۴	۵۲	۳۸/۷	Calcic Haploxeralfs	۳۰° ۳۷' ۳۵/۶" N	۴۹	Ap	۴۵
۲۳۱	۲۰۸	۲۳۰	۲۱/۳	۰/۷۶	۵۵/۲	۵۵/۴		۵۱° ۳۳' ۱۲/۷" E	۵۰	Btk1	
۲۶۱	۲۲۸	۴۹۲	۲۵/۹	۳/۱۱	۴۸/۱	۳۴/۷	Typic Haploixerolls	۳۰° ۵۱' ۲۴/۸" N	۵۱	Ap	۴۶
۲۴۱	۲۲۸	۲۰۹	۲۵/۱	۰/۷۹	۴۵/۴	۳۱/۴		۵۱° ۲۷' ۴۰/۱" E	۵۲	C1	
۱۵۰	۱۳۱	۲۳۶	۹/۹	۰/۶۰	۶۵/۹	۲۳/۴	Typic Xerorthents	۳۰° ۵۱' ۰/۲/۱" N	۵۳	Ap	۴۷
۱۳۹	۱۲۹	۱۴۸	۹/۴	۰/۵۱	۶۷/۸	۲۲/۷		۵۱° ۲۷' ۴۰/۰" E	۵۴	C	
۲۰۷	۲۴۹	۳۸۰	۲۵/۱	۲/۲۷	۳۲/۳	۳۵/۴	Calcic Haploxeralfs	۳۰° ۴۶' ۴۹/۰" N	۵۵	Ap	۴۹
۲۰۳	۱۸۰	۴۶۳	۱۸/۴	۰/۶۵	۵۹/۶	۴۱/۴		۵۱° ۲۹' ۵۷/۲" E	۵۶	Bt1	
۲۹۲	۲۴۷	۹۵۶	۳۰/۱	۰/۸۸	۲۰/۲	۴۶/۷	Mollie Haploxeralfs	۳۰° ۰۵۵' ۱۲/۸" N	۵۷	Ap	۵۱
۳۴۴	-	۸۹۲	۳۵/۳	۱/۱۶	۸/۱	۵۷/۴		۵۱° ۰۸' ۰/۱/۴" E	۵۸	Bt1	
۲۹۸	۲۶۷	۴۴۶	۲۵/۱	۱/۱۹	۴۷/۸	۲۵/۴	Calcic Haploxeralfs	۳۰° ۵۱' ۱۸/۴" N	۵۹	Ap	۵۲
۲۰۹	۲۳۱	۳۱۸	۲۴/۴	۰/۱۴	۴۱/۲	۵۰/۷		۵۱° ۱۳' ۲۸/۴" E	۶۰	Btk	
۲۵۲	۲۳۳	۴۸۹	۲۱/۳	۱/۳۷	۲۲/۶	۳۴/۷	Typic Xerorthents	۳۱° ۰۴' ۲۲/۷" N	۶۱	A	۵۳
۱۰۹	۱۹	۸۰	۰/۵	۰/۲۰	۸۲/۸	۱۳/۴		۵۱° ۱۲' ۲۳/۸" E	۶۲	C1	

۱۹۳	۱۷۲	۳۸۹	۱۶/۳	۱/۰۳	۴۷/۳	۵۱/۴	Typic Xerorthents	۳۰° ۵۷' ۳۵/۵" N	۶۳	Ap	۵۴
۱۴۵	۱۲۹	۳۴۱	۱۰/۵	۰/۸۵	۵۷	۲۲/۷		۵۱° ۱۵' ۳۴/۱" E	۶۴	C	
۲۰۴	۱۸۲	۳۵۶	۱۸/۱	۱	۵۱/۴	۳۵/۲				میانگین	

*: این نمونه‌ها در چند مرحله از مراحل عصاره‌گیری حتی با ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ هم صاف نشدند و بنابراین داده‌های آنها حذف گردید

است. آلفی‌سول‌ها نیز به صورت پراکنده در بخش‌های مرطوب و به میزان کمتر در مناطق نیمه‌خشک منطقه دیده می‌شود که منشاء این خاک‌ها در مناطق نیمه‌خشک با آهک بالا می‌تواند آب و هوای پرباران گذشته و یا تبدیل خاک‌های شور و سدیمی و انتقال رس توسط سدیم با دیسپرس کردن خاک باشد(۸). ورتی‌سول‌ها خاک‌هایی با درصد رس‌های انبساط‌پذیر بالا بوده و به مقدار کم در بخش‌های مرطوب دشت‌روم یاسوج دیده می‌شوند. نتایج آزمایش‌های فیزیکو‌شیمیایی (جدول ۱) نشان داد که درصد رس بین ۱۱/۴ در انتی‌سول‌ها تا ۵۷/۴ در آلفی‌سول‌ها متغیر بوده و میانگین آن حدود ۳۵/۲ درصد است. کمترین میزان آهک در خاک‌های مناطق مرطوب‌تر و تکامل یافته‌تر که آهک از سولوم خاک شسته شده است بوده و بالاترین مقدار نیز در خاک‌های درشت بافت و با تکامل کم که معمولاً در فیزیوگرافی رسوبات واریزه‌ای هستند وجود دارد و بین ۸/۱ تا ۹۰/۷ متغیر است. میانگین کربن آلی حدود یک درصد است که بین افق‌های مشخصه سطحی، افق‌های مالیک بیشترین مقدار و افق‌های اکریک مناطق خشک‌تر کمترین مقدار کربن آلی را دارند. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های منطقه بین ۵/۵ تا ۳۹ سانتی‌مول در کیلوگرم خاک متغیر است. بیشترین مقدار ظرفیت تبادلی خاک‌های منطقه مربوط به نمونه شماره ۳۷ (افق سطحی یک خاک مالی سول) و کمترین مقدار مربوط به نمونه شماره ۶۲ (افق دوم یک خاک انتی‌سول) است. ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های مطالعه شده ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار رس و ماده آلی نشان داد (جدول‌های ۴ و ۵).

سپس با استفاده از محلول دی‌تیونات‌سدیم، اکسیدهای آهن ذرات خاک نیز خارج شد. پس از جداسازی رس، نمونه‌ها با منیزیم و پتاسیم اشباع و این نمونه‌ها به ترتیب با گلیسرول و دمای ۵۵° درجه سلسیوس تیمار شده و جداگانه با پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین برای تشخیص کائولینیت از کلرایت، از هر منطقه یک یا دو نمونه (جمعاً ۲۰ نمونه) رس، با اسید کلریدریک ۱ مولار نیز اشباع و مطالعه شدند.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد در پنج راسته انتی‌سولز، اینسپتی‌سولز، مالی‌سولز، آلفی‌سولز و ورتی‌سولز قرار دارند(جدول ۱). افق‌های مشخصه سطحی شامل مالیک و اکریک و افق‌های زیر سطحی شامل کمبیک، کلیسیک، جیپسیک و آرجیلیک است. انتی‌سول‌ها خاک‌های تکامل نیافته بوده و بیشتر در مناطقی هستند که به دلیل شیب یا رسوب گذاری‌های متوالی فرصت تکامل پیدا نکرده‌اند. در منطقه مورد مطالعه، این خاک‌ها معمولاً در رسوبات واریزه‌ای بادبزنی شکل (ارتنت‌ها) و یا رسوبات آبرفتی (فلوونت‌ها) وجود دارند. اینسپتی‌سول‌ها نیز در منطقه در کنار انتی‌سول‌ها وجود دارد. این خاک از لحاظ تکامل حد واسطه بوده و با توجه به شرایط آب و هوایی و مواد مادری در طول زمان به سایر خاک‌ها تبدیل می‌شود. مالی‌سول‌ها در بخش‌های کمتری از منطقه وجود دارد، با توجه به شرایط آب و هوایی مناسب، شرایط تشکیل این خاک در پهنه وسیع تری وجود دارد ولی با توجه به بهره‌برداری‌های نامناسب و تبدیل جنگل و مرتع به اراضی کشاورزی، از سطح این خاک‌ها کاسته شده

غالب بودن کانی‌های پالیگورسکیت، کلریت و اسمکتایت با بار لایه‌ای کم، مقدار پتاویم غیرتبادلی کمتر از مناطق مرطوب می‌باشد که کانی‌های همراه ایلیت شامل ورمی‌کولیت، اسمکتایت با بار لایه‌ای بالا و کانی‌های مخلوط ایلیت-اسمکتایت هستند. به علاوه نوع کانی میکایی نیز در میزان آزادسازی پتاویم غیرتبادلی خاک‌ها تأثیر دارد. کانی‌های میکایی سه جایی می‌توانند نسبت به کانی‌های دو جایی و فلدسپارها، پتاویم غیرتبادلی بیشتری آزاد کنند.^(۳) توزیع اندازه ذرات بعضی کانی‌ها مثل میکا در خاک‌ها نیز ممکن است یکی از دلایل تفاوت آزادسازی پتاویم خاک‌ها باشد.^(۵) همچنین نتایج نشان داد که مقدار پتاویم غیرتبادلی افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های پایینی بود. به دلیل شرایط مناسب تجزیه و تخریب کانی‌های اولیه (شرایط حرارتی و رطوبتی و ماده آلی بیشتر) در سطح خاک نسبت به عمق، مقدار کانی‌های ۲:۱ شامل ایلیت، اسمکتایت و ورمی‌کولیت به عنوان منابع پتاویم غیرتبادلی در افق‌های سطحی بیشتر بوده و باعث آزادسازی بیشتر پتاویم غیرتبادلی در سطح خاک نسبت به عمق شده است. بویل و همکاران^(۱۲)، بیان کردند که آزادسازی پتاویم محلول و تبادلی کانی‌ها و در نتیجه افزایش غلظت پتاویم محلول و تبادلی خاک، با افزایش ماده آلی، بیشتر شده است که نشان دهنده اهمیت ماده آلی در توزیع شکل‌های مختلف پتاویم در خاک است.

عصاره‌گیری متواالی پتاویم غیرتبادلی با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و اگزالیک اسید ۰/۰۱ مولار در ۱۷ مرحله و به مدت ۱۹۴۸ ساعت در دو تکرار انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارایه شده است. همچنین شکل ۱، پتاویم تجمعی آزاد شده نسبت به زمان را در شش نمونه انتخابی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین پتاویم عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۲۰۴ و از ۱۰۹ تا ۵۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. همچنین میانگین پتاویم عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم در افق‌های سطحی ۲۲۵ و افق‌های زیر سطحی ۱۸۲

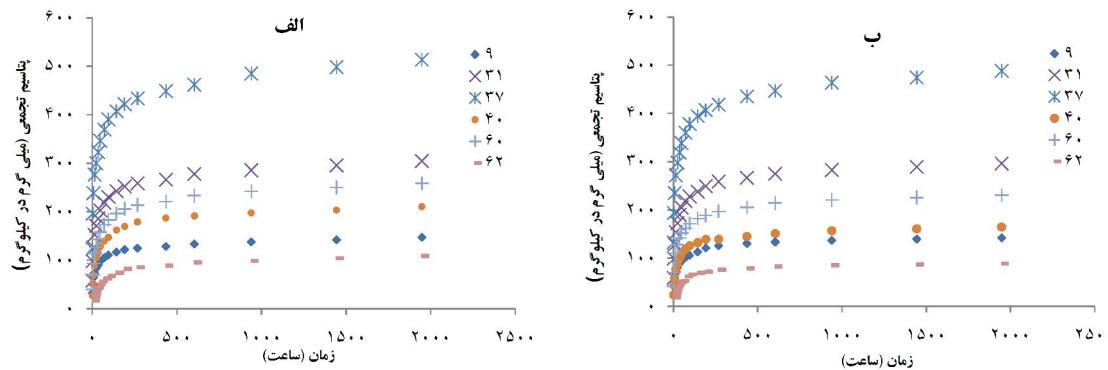
آزادسازی پتاویم غیرتبادلی با اسید نیتریک، کلرید پتاویم ۰/۰۱ مولار و اگزالیک اسید ۰/۰۱ مولار

میانگین پتاویم غیرتبادلی (پتاویم استخراج شده با اسید نیتریک منها پتاویم تبادلی و محلول) خاک‌های مطالعه شده ۳۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. بیشترین مقدار پتاویم غیرتبادلی به میزان ۹۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نمونه ۵۷ مشاهده شد که افق B یک خاک آلفی‌سولز می‌باشد. این خاک ظرفیت تبادل کاتیونی، رس و ماده آلی زیادی دارد و مقدار آهک آن نیز کم است. نمونه شماره ۶۲ که افق C یک انتی‌سولز با بافت بسیار سبک و ماده آلی کم و آهک زیاد است کمترین مقدار پتاویم غیرتبادلی را دارد. پتاویم غیرتبادلی ارتباط مثبت و معنی‌داری به ترتیب با ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان رس و کربن آلی و ارتباط منفی و معنی‌داری با آهک خاک نشان داد (جدول های ۴ و ۵). همبستگی منفی کربنات کلسیم با پتاویم غیرتبادلی آزادشده می‌تواند علاوه بر اثر رقت، به دلیل مصرف شدن بخشی از اسید نیتریک در ختی کردن آهک خاک باشد. میانگین پتاویم تبادلی خاک‌های مطالعه شده نیز ۱۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بین ۴۴ تا ۷۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج کانی‌شناسی (جدول ۲) نشان می‌دهد که کانی‌های غالب خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، پالیگورسکیت، کلریت و ایلیت و در مناطق مرطوب‌تر اسمکتایت، ایلیت و ورمیکولايت هستند که با نتایج خرمالی و ابطحی^(۲۸) و اولیایی و همکاران^(۴۰) همخوانی دارد. نتایج به دست آمده ارتباط پتاویم غیرتبادلی با نوع رس‌ها را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن مقدار رس و آهک خاک، در شرایط یکسان، خاک‌های با رس‌های غالب ورمی‌کولايت، ایلیت و اسمکتایت با بار لایه‌ای بالا، مقدار بیشتری پتاویم غیرتبادلی نسبت به خاک‌های با کانی‌های غالب کلریت، کائولینیت و پالیگورسکیت دارند. با توجه به مقدار نسبتاً ثابت ایلت در خاک‌های مطالعه شده استان، کانی‌های همراه ایلیت نقش مهمی در مقدار پتاویم غیرتبادلی ایفا می‌کنند. به طوری که در مناطق خشک‌تر به دلیل

جدول ۲. فراوانی کانی‌های رسی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد

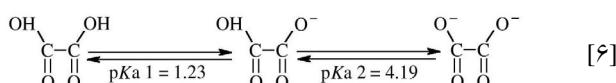
شماره نمونه	اسکلتات	ایزیت	کاربون	فرمی کولین	کافئین	پلی‌گورسکیت
۱	+	+	-	-	+	++++
۲	+	+	+	+	+	++++
۳	+	+	+	-	++	+++
۴	+	+	-	-	+	++++
۵	-	++	+	++	++	+++
۶	-	++	-	++	++	+++
۷	-	+	++	+	+	++++
۸	-	+	++	-	+	++++
۹	-	+	++	+	++	+++
۱۰	-	++	+	++	+	+++
۱۱	+	++	+	+	++++	۴۳
۱۲	-	++	+	-	++++	۴۴
۱۳	-	+	+++	+	+	+++
۱۴	-	+	++	+	+	++++
۱۵	-	+	++	-	+	++++
۱۶	-	+	++	-	+	++++
۱۷	-	++	++	+	++++	۴۹
۱۸	-	+	++	-	+	++++
۱۹	++	-	++	++	+++	۵۱
۲۰	-	-	++	+++	++	۵۲
۲۱	+	-	++	++	+++	۵۳
۲۲	++	-	+	++	+++	۵۴
۲۳	-	-	++	+++	++	۵۵
۲۴	++	-	+	++++	+	۵۶
۲۵	-	++	++	-	++++	۵۷
۲۶	-	+	+++	-	++	۵۸
۲۷	++	+	++	-	++	۵۹
۲۸	+	+	++	-	+	++++
۲۹	+	++	-	+++	+	۶۱
۳۰	++	++	+	+++	++	۶۲
۳۱	+++	+	+	+++	++	۶۳
۳۲	++	+	-	++	+++	۶۴

-: جزئی یا وجود ندارد، +: کمتر از ۱۵ درصد، ++: ۱۵-۳۰ درصد، +++: ۳۰-۵۰ درصد، ++++: بیشتر از ۵۰ درصد



شکل ۱. منحنی آزادسازی پتاسیم در (الف) با کلرید کلسیم ۱٪ و (ب) با اگزالیک اسید ۱٪ مولار در چند نمونه انتخابی

پتاسیم گوهای و بین لایه‌ای است (۶، ۱۰ و ۱۳). در کلیه نمونه‌ها، کلرید کلسیم و اگزالیک اسید تنها بخش کوچکی از پتاسیم غیرتبدالی را آزاد کردند و هنوز مقدار زیادی از پتاسیم غیرتبدالی آزاد نشده است. به طوری که اگزالیک اسید حدود ۵۲ درصد و کلرید پتاسیم نیز حدود ۵۸ درصد از پتاسیم غیرتبدالی را آزاد کرده اند. همچنین نتایج نشان داد که برخلاف تصور اولیه، مقدار پتاسیم غیرتبدالی آزاد شده با اگزالیک اسید تقریباً در همه نمونه‌ها کمتر از پتاسیم غیرتبدالی آزاد شده با کلرید کلسیم بود. اگزالیک اسید در pH ۳/۵ کمتر از ۴/۵ به صورت مولکول تفكیک نشده است. در pH بین ۳/۵ تا ۴/۵ یکی از هیدروژن‌های گروه هیدروکسیل آزاد شده و در pH بیشتر از ۴/۵ هر دو هیدروژن آزاد می‌شوند. (۴۹ و ۳۸). بنابراین دو بار منفی آزاد وجود دارد که می‌تواند کاتیون‌هایی مانند پتاسیم، کلسیم و سدیم را جذب کند.



mekanisim آزادسازی پتاسیم غیرتبدالی توسط اگزالیک اسید در خاک‌های مختلف می‌تواند به دو صورت تبادل و یا تخریب کانی باشد. در منطقه مطالعه شده، کربنات کلسیم خاک مخصوصاً در مناطق خشک‌تر استان زیاد است. از آنجایی که ثابت حلایت کربنات کلسیم (10×10^{-9}) بیشتر از ثابت حلایت اگزالات کلسیم (17×10^{-9}) است، مقدار زیادی کلسیم و معادل آن هم یون هیدروکسیل در خاک

میلی‌گرم بر کیلوگرم است. جلالی (۲۴) در خاک‌های استان همدان به طور متوسط حدود ۳۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و نجفی قیری و همکاران (۳۹) حدود ۱۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم غیرتبدالی با استفاده از کلرید کلسیم ۱٪ مولار استخراج کردند. دامنه تغییر میزان پتاسیم آزاد شده با عصاره‌گیری متواالی کردن. در همه نمونه‌ها کمتر از ۱۸۲ میلی‌گرم بر توسط اگزالیک اسید بین ۸۹ تا ۴۸۸ و میانگین ۲۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در افق‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۲۰۴ و ۱۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم غیرتبدالی استخراج شد. فرشادی راد و همکاران (۶) نیز در خاک‌های سطحی استان گلستان بین ۲۴۲ تا ۴۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم غیرتبدالی با استفاده از اگزالیک اسید ۱٪ مولار استخراج کردند. در همه نمونه‌ها و با هر دو عصاره‌گیری، روند آزادسازی پتاسیم تقریباً مشابه بوده و سرعت آزادسازی در ابتدا زیاد و به مرور زمان کاهش می‌یابد. از آنجایی که پتاسیم غیرتبدالی در لبه‌ها و در بین لایه‌ها قرار دارد، در مراحل اولیه ابتدا پتاسیم های واقع در لبه‌های کانی‌ها که در دسترس‌تر هستند آزاد می‌شوند. با گذشت زمان پتاسیم‌های واقع در بخش‌های گوهای شکل که استخراج آنها سخت‌تر است خارج می‌شوند. یون Ca^{+2} به دلیل شعاع آبپوشی بزرگ‌تر نسبت به K^{+} نمی‌تواند به راحتی بین لایه‌ها قرار گرفته و پتاسیم را آزاد کند و با گذشت زمان فاصله پتاسیم از لبه‌ها بیشتر و آزادسازی کندتر می‌شود (۱۸ و ۲۲)، در نتیجه قسمت اول منحنی تجمعی آزادسازی مربوط به پتاسیم لبه‌ای و قسمت دوم مربوط به

سطحی و عمقی خاک‌های منطقه، داده‌های مراحل آزادسازی پتابسیم با معادله‌های الویچ، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیک و تابع توانی برآش داده شدند که نتایج آنها در جدول ۳ آورده شده است. برای تعیین بهترین معادله، دو پارامتر ضریب تبیین و اشتباه استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. هر معادله‌ای که دارای ضریب تبیین بزرگ‌تر و اشتباه استاندارد کمتری باشد به عنوان بهترین معادله در نظر گرفته می‌شود. همان‌طوری که مشاهده می‌شود معادله الویچ دارای بیشترین ضریب تبیین برای هر دو عصاره‌گیر می‌باشد (میانگین ۰/۹۸) برای کلرید کلسیم و ۰/۹۷ برای آگزالیک اسید) و به عنوان بهترین معادله شناخته می‌شود. معادله تابع توانی برای کلرید کلسیم و آگزالیک اسید به ترتیب دارای ضریب تبیین بین ۰/۸۵-۰/۸۹ (میانگین ۰/۸۹) و ۰/۸۱-۰/۹۳ (میانگین ۰/۸۷) و اشتباه استاندارد بین ۰/۰۱-۰/۰۲ (میانگین ۰/۱۶) و ۰/۲۱-۰/۱۱ (میانگین ۰/۱۷) می‌باشد. این معادله با توجه به کوچک بودن اشتباه استاندارد و بزرگ بودن ضریب تبیین بعد از معادله ایلوویچ به عنوان بهترین معادله برای خاک‌های منطقه شناخته می‌شود. هالوین و همکاران (۲۰) نشان دادند که در صورت پیروی آزادسازی پتابسیم از معادله توانی، فرآیند انتشار کنترل کننده آزادسازی پتابسیم می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بعد از معادله‌های الویچ و تابع توانی، معادله مرتبه اول بهترین معادله می‌باشد. در این معادله میانگین ضریب تبیین برای کلرید کلسیم و آگزالیک اسید به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۷ است. میانگین اشتباه استاندارد این معادله نیز برای کلرید کلسیم و آگزالیک اسید به ترتیب ۰/۴۱ و ۰/۳۴ است. معادله پخشیدگی پارابولیک‌دار مورد هر دو عصاره‌گیر، دارای کمترین ضریب تبیین (میانگین ۰/۷۴) برای کلرید کلسیم و ۰/۶۸ برای آگزالیک اسید) و بزرگ‌ترین ضریب اشتباه (میانگین ۰/۶۶) برای کلرید کلسیم و ۰/۲۵ برای آگزالیک اسید) می‌باشد. با توجه به این دو ضریب به ترتیب معادله‌های الویچ، تابع توانی، مرتبه اول و پخشیدگی پارابولیک بهترین معادله‌ها برای توصیف آزادسازی پتابسیم

وجود دارد. در نتیجه هیدروژن‌های آزاد شده از آگزالیک اسید که احتمالاً در خاک‌های اسیدی باعث تخریب کانی‌ها می‌شوند به جای حمله به کانی‌ها، صرف خنثی‌سازی یون‌های هیدروکسیل خاک می‌شوند. همچنین کلسیم‌های موجود در محلول خاک نیز با یون کلسیم رسوب اگزالات کلسیم ایجاد می‌کند و مانع واکنش پتابسیم با اگزالات می‌شود. از آنجایی که خاک‌های آهکی سرشار از یون کلسیم هستند و ظرفیت بافری زیادی دارند مانع از تأثیر این اسید بر کانی‌ها شده و نسبت به خاک‌های اسیدی و خاک‌های با آهک کمتر پتابسیم کمتری آزاد می‌کنند. تو و همکاران (۴۹) و مشتاق (۳۸) ظرفیت بافری زیاد خاک را یکی از عوامل آزادسازی کمتر پتابسیم در خاک‌های با ماده آلی و آهک بیشتر نسبت به بقیه خاک‌ها اعلام کردند. در برخی از تحقیقات در خاک‌های اسیدی آگزالیک اسید در مقایسه با اسید قوی مانند کلریدریک اسید مقدار بیشتری پتابسیم آزاد کرده است (۱۲). جلالی و ضرابی (۲۶) با مقایسه دو عصاره گیر کلرید کلسیم و آگزالیک اسید اعلام کردند

که آگزالیک اسید مقدار بیشتری پتابسیم نسبت به کلرید کلسیم آزاد کرده است که علت آن می‌تواند مقدار کم آهک در خاک‌های مورد مطالعه (حدود ۵ تا ۲۰ درصد) باشد. همچنین موسوی و همکاران (۷)، با مقایسه کلرید کلسیم با عصاره گیرهای آلی شامل آگزالیک اسید و اسید سیتریک بر روی کانی‌های خالص فلدسپار و مسکویت، نتیجه گیری کردند که اسیدهای آلی بین ۲/۵ تا سه برابر نسبت به کلرید کلسیم، پتابسیم را بیشتر آزاد می‌کنند که آگزالیک اسید اسفاده از کانی خالص به جای خاک باشد که آگزالیک اسید توانسته است با تخریب کانی و بدون حضور یون‌های مزاحم مثل کلسیم، با تخریب کانی یا جایگزینی، به راحتی پتابسیم را آزاد کند.

معادلات سیتیکی

برای بررسی سرعت آزادسازی پتابسیم غیرتبادلی نمونه‌های

جدول ۳. میانگین، بیشینه و کمینه ضرایب تبیین، اشتباہ استاندارد برآورد و ضرایب معادلات سیتیکی عصاره‌گیرهای
کلرید کلسیم ۰٪ مولار و اگزالیک اسید ۰٪ مولار

عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم ۰٪ مولار																
الوویچ				مرتبه اول				پخشیدگی پارابولیک				تابع توانی				
a	b	R ^r	SE	a	b	R ^r	SE	a	b	R ^r	SE	a	b	R ^r	SE	
۳۰/۷	۲۴	۰/۹۸۵	۶/۴	۴/۵	-۰/۰۰۲	۰/۸۷	۰/۳	۹۱/۱	۳/۳	۰/۷۴	۲۶/۶	۳/۸	۰/۲۲	۰/۸۹	۰/۱۶	میانگین
۱۲۵/۵	۵۴	۰/۹۹۹	۱۵/۹	۵/۳	-۰/۰۰۲	۰/۹۴	۰/۴	۲۶۱/۳	۷/۳	۰/۸۲	۶۰/۸	۵/۱	۰/۲۵	۰/۹۶	۰/۲۱	بیشینه
۴/۲	۱۴	۰/۹۶۴	۱/۳	۴/۰	-۰/۰۰۲	۰/۸۱	۰/۲	۳۷/۷	۱/۹	۰/۶۷	۱۲/۶	۲/۹	۰/۱۷	۰/۸۵	۰/۰۱	کمینه

عصاره‌گیری شده با اگزالیک اسید ۰٪ مولار																
الوویچ				مرتبه اول				پخشیدگی پارابولیک				تابع توانی				
a	b	R ^r	SE	a	b	R ^r	SE	a	b	R ^r	SE	a	b	R ^r	SE	
۳۵/۴	۲۱/۰	۰/۹۷۲	۷/۵	۴/۲	-۰/۰۰۲	۰/۸۶	۰/۴	۸۹/۳	۲/۸	۰/۶۹	۲۵/۳	۳/۸	۰/۲	۰/۸۷	۰/۱۷	میانگین
۱۳۳/۷	۴۹/۶	۰/۹۹۰	۱۵/۳	۵/۲	-۰/۰۰۲	۰/۹۱	۰/۵	۲۵۹/۶	۶/۷	۰/۷۴	۵۷/۳	۵/۱	۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۲۱	بیشینه
۱۲/۴	۱۰/۶	۰/۹۵۱	۲/۷	۳/۷	-۰/۰۰۳	۰/۸۰	۰/۳	۴۰/۰	۱/۵	۰/۶۱	۱۱/۵	۳/۱	۰/۱۶	۰/۸۲	۰/۱۲	کمینه

اگزالیک اسید) در جدول های ۴ و ۵ ارائه شده است. ضریب سرعت آزادسازی (کلرید کلسیم ۰٪ مولار) در معادله الوویچ ارتباط معنی‌داری با پتابسیم غیرتبدالی (**۰/۷۸۷)، پتابسیم عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم (**۰/۹۹۰)، پتابسیم عصاره‌گیری شده با اگزالیک اسید (**۰/۹۶۱)، رس (**۰/۴۲۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی (**۰/۸۳۸)، کربن آلی (**۰/۶۴۶) و آهک (**۰/۷۳۹) نشان داد. ضریب سرعت آزادسازی (اگزالیک اسید ۰٪ مولار) در معادله الوویچ نیز ارتباط معنی‌داری با پتابسیم غیرتبدالی (**۰/۷۷۸)، پتابسیم عصاره‌گیری شده با کلرید کلسیم (**۰/۹۸۲)، پتابسیم عصاره‌گیری شده با اگزالیک اسید (**۰/۹۸۵)، رس (**۰/۳۹۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی (**۰/۷۹۵)، کربن آلی (**۰/۶۶۸) و آهک (**۰/۶۶۸) نشان داد.

شیب معادله الوویچ (b) بیانگر سرعت رهاسازی پتابسیم بین لایه‌ای و عرض از مبدأ آن (a) نشان دهنده سرعت اولیه و فوری رهاسازی پتابسیم می‌باشد (۳۷). میانگین ضریب سرعت

غیرتبدالی از خاک‌های استان شناخته شدند. سرینیواسارائو و همکاران (۴۷) معادلات پارابولیک و مرتبه اول، فرشادی راد و همکاران (۶) الوویچ، پخشیدگی و تابع توانی، جلالی (۲۳)، الوویچ، تابع توانی و پارابولیک، حسین پور (۴) مرتبه اول، پارابولیک و تابع توانی را به عنوان بهترین معادله در خاک‌های مطالعه شده ذکر کرده اند. جلالی و ضرایبی (۲۶) برای خاک‌های استان همدان معادله تابع توانی را برای دو عصاره‌گیر کلرید کلسیم و اگزالیک اسید پیشنهاد دادند. موسوی و همکاران (۷)، بهترین معادله برای کلرید کلسیم و عصاره‌گیرهای آلی اگزالیک اسید و سیتریک اسید را معادله تابع توانی ذکر کردند. کوکس و همکاران (۱۵) نیز معادله تابع نمایی را به عنوان بهترین معادله در خاک‌های موردنظر مطالعه ذکر کردند.

ضریب سرعت آزادسازی معادلات
همبستگی بین تعدادی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شیب خط (b) معادلات سیتیکی آزادسازی پتابسیم (کلرید کلسیم و

جدول ۴. همبستگی بین تعدادی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شب خط

(b) معادلات سیتیکی آزادسازی پتاسیم (کلرید کلسیم ۱٪ مولار)

معنی دار در سطح یک درصد،^{*} معنی دار در سطح پنج درصد^{}:**

حدود ۲۱ میلی گرم در کیلوگرم بر ساعت می باشد. کمترین ضریب سرعت آزادسازی مربوط به نمونه های ۱۸، ۶۲ و ۲۸ بوده که به ترتیب افق های C، By و C خاکرخ های ۵۳، ۱۳ و ۲۹ بوده و بیشترین مقدار آن در افق های سطحی خاکرخ های ۳۶ (مالی سولز)، ۵۱ (آلفی سولز) و ۵۲ (آلفی سولز) مشاهده شد. همان طوری که مشاهده می شود کمترین مقدار ضریب آزادسازی معادله الوریچ عمدتاً در افق های C خاک های انتانی سولز و بیشترین مقدار آن در خاک های آلفی سولز و

آزادسازی برای کلرید کلسیم در معادله الیوویچ حدود میلی‌گرم در کیلوگرم بر ساعت بوده و کمترین آن در نمونه‌های ۲۸، ۳۴ و ۶۲ است که افق‌های C خاکرخ‌های ۲۹، ۳۴ و ۵۳ می‌باشند. بیشترین ضریب سرعت آزادسازی معادله الیوویچ در نمونه‌های ۳۷ (افق A خاکرخ^(۳۶))، ۵۸ (افق Bt خاکرخ^(۵۱)) و ۵۵ (افق A خاکرخ^(۴۹)) مشاهده شد که خاکرخ ۳۶ در رده مالی سولز و خاکرخ‌های ۵۷ و ۴۹ در رده آلمی سولز قرار دارد. میانگین این ضریب برای اگزالیک اسد

جدول ۵. همبستگی بین تعدادی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی و شیب خط معادلات سیستمی آزادسازی پتاسیم (اگزالیک اسید ۰/۱۰ مولار)

b (پارابولیک)	b (مرتبہ اول)	b (الرویج)	آمک	کا	ٹیفٹ تبادل	کاٹیونی	ر	بیزلک	اسید	برکلا	نیٹ	لیڈ
٠/٠٢٨	-٠/١٢٨	-٠/٠١٩	-٠/٢١٤	-٠/٤١٧**	٠/١٣٧	٠/١٤١	-٠/١٦٥	-٠/١١٨	٠/١٣٢	(توانی)	b	(پارابولیک)
٠/١٩٦	٠/٩٨٩**	-٠/٨٤٨**	٠/٦٤٣**	٠/٧٨٣**	٠/٣٨٦**	٠/٩٧١**	٠/٩٦٣**	٠/٧٨٤**	٠/٧٨٤**	b	b (پارابولیک)	
٠/٢٣٦	-٠/٣٥٩**	٠/٢٢١	٠/٣٢٦*	٠/١٢٦	٠/٢٥٠	٠/٣٠٤*	٠/١٨١	٠/١٨١	٠/١٨١	b (مرتبہ اول)	b	b (الرویج)
-٠/٢٦٣**	-٠/٨٢٤	-٠/٦١٤	-٠/٦١١	-٠/٦٨٥	-٠/٧٦١	-٠/٤٢٥**	کربن آلی	آمک	کاتیونی	ظرفیت	رس	اسید
-٠/٦٣٠**	٠/٦٣٠**	٠/٧٦٢**	٠/٨١٤**	٠/٧٣٢**	٠/٢٧٩*	٠/٣٢٥*	٠/٤٤٨**	اگزالیک	پتاسیم	کلرید	٠/٧٦١**	پتاسیم کلرید
-٠/٦٦٨**	٠/٦٦٨**	٠/٧٩٥**	٠/٣٩٥**	٠/٩٨٥**	٠/٩٨٢**	٠/٣٢٥*	٠/٤٤٨**	اسید	پتاسیم	کلرید	٠/٧٦١**	کلرید
-٠/٢٣٦	-٠/٣٥٩**	٠/٢٢١	٠/٣٢٦*	٠/١٢٦	٠/٢٥٠	٠/٣٠٤*	٠/١٨١	اگزالیک	پتاسیم	کلرید	٠/٧٦١**	پتاسیم

معنی دار در سطح یک درصد: معنی دار در سطح پنج درصد

آلفی سولز به دلیل داشتن ثابت سرعت بالاتر، از لحاظ سرعت آزادسازی پتاسیم سریع‌تر از بقیه خاک‌ها بوده و خاک انتی‌سولز به دلیل ثابت سرعت کمتر، سرعت آزادسازی پایین‌تری نیز خواهد داشت. مقدار، نوع و اندازه رس‌ها تأثیر مهمی روی ضریب سرعت آزادسازی دارند. نمونه‌های دارای بیشترین ضریب آزادسازی، دارای رس و همچنین کانی اسماکتایت بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشند. اسماکتایت‌ها رس‌های ۲: با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و فاصله بین لایه‌ای متغیر هستند. جانشینی همسکلا، باعث ایجاد بار دائمی منفی در این

مالی سولز می باشد که همبستگی مثبت و معنی دار مقدار رس، کرین آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی با ضریب سرعت آزادسازی نیز آن را تأیید می کند. به طوری که نمونه های دارای کمترین مقدار ضریب آزادسازی در رده انتی سول ها قرار دارند که دارای بافت سبک، کانی های اولیه فراوان و ماده آلی کم می باشند. اولیابی و همکاران (۱)، بالاترین ضریب سرعت آزادسازی در خاک های مطالعه شده را در آلفی سول ها و کمترین مقدار را در انتی سول ها گزارش کردند. آنها همچنین اعلام کردند با توجه به ثابت سرعت در معادله های الیوپیج و پخشیدگی، بارابولیک، خاک

الوویچ و پتاسیم خارج شده توسط گیاه ریگراس ارتباط وجود دارد. آنها بیان کردند که پارامتر b می‌تواند شاخص واقعی تری برای پتاسیم قابل استفاده گیاه باشد. لوپز و ناوارو (۳۱)، نتیجه گرفتند که ضریب b در معادله الوویچ همبستگی بالایی با پتاسیم خارج شده توسط گیاهان علوفه‌ای دارد. ضریب سرعت آزادسازی پتاسیم در معادله پارابولیک برای هر دو عصاره‌گیر کلرید کلسیم و اگزالیک اسید نیز مانند معادله الوویچ با همه خصوصیات بررسی شده همبستگی معنی‌داری نشان داد.

همچنین ضریب سرعت آزادسازی در معادله پارابولیک، با ضریب سرعت آزادسازی معادله الوویچ همبستگی بالایی ($999^{\circ}/989^{\circ}$ کلرید پتاسیم و $989^{\circ}/989^{\circ}$ اگزالیک اسید) نشان داد. مهم‌ترین دلیل همبستگی بالای ضریب سرعت آزادسازی معادله پارابولیک با خصوصیات خاک می‌تواند علاوه‌بر مقدار ماده آلی، میزان و اندازه رس، وجود کانی ایلیت در خاک‌ها باشد که پتاسیم را با سرعت کم آزاد می‌کنند. ایلیت در خاک‌های مطالعه شده یک کانی موروثی بوده و بهدلیل منابع غنی این کانی در سازندهای اطراف و انتقال آن به خاکرخ‌ها، با وجود تجزیه و تخریب و تبدیل این کانی به کانی‌های دیگر مثل اسمکتایت، مقدار آن در نمونه‌ها زیاد است. در نتیجه در خاک‌های دارای کانی غالب اسمکتایت، مقدار کانی ایلیت نیز زیاد می‌باشد. سریوانسارئو و همکاران (۴۷)، بالاترین ضریب سرعت آزادسازی معادله پخشیدگی پارابولیک را در خاک‌های با کانی غالب ایلیت گزارش کردند که نشان می‌دهد این کانی پتاسیم را با قدرت زیادی ثبت کرده و با سرعت کمتری آزاد می‌کند. با توجه به این نتایج آنها اعلام کردند که آزادسازی پتاسیم غیرتبدالی در خاک‌های با کانی غالب ایلیت از قانون پخشیدگی تبعیت می‌کند. این ضریب در معادله تابع توانی برای کلرید کلسیم و اگزالیک اسید با کرین آلی همبستگی معنی‌داری نشان داد (به ترتیب 0.530^{**} و 0.417^{**}). میانگین ضریب سرعت آزادسازی در معادله تابع توانی برای کلرید کلسیم 0.22^{**} و بین $0.16-0.25$ و در اگزالیک اسید حدود 0.20 و بین $0.17-0.25$ می‌باشد که در هر دو عصاره‌گیر کمتر از ۱ می‌باشد. وقتی که

رس‌ها شده است که توسط کاتیون‌هایی مانند پتاسیم ختنی می‌شود. بهدلیل انبساط پذیری و بار لایه‌ای کمتر (بهخصوص در اسمکتایت‌های با بار لایه‌ای کم)، اسمکتایت‌ها به راحتی پتاسیم بین لایه‌ای را آزاد می‌کنند. سریوانسارئو و همکاران (۴۷)، گزارش دادند که بیشتر بودن سرعت آزادسازی پتاسیم غیرتبدالی در خاک‌های با کانی غالب اسمکتایت نشان دهنده این است که انبساط طبیعی اسمکتایت، آزادسازی پتاسیم در مکان‌های واقع در لبه کانی‌ها و مناطق گوهای را تسهیل کرده است. همچنین همبستگی بالای ماده آلی با ضریب آزادسازی معادله الوویچ می‌تواند بهدلیل ایجاد شرایط تجزیه و تخریب کانی‌ها و در نتیجه تبدیل کانی‌هایی مانند ایلیت به اسمکتایت توسط ماده آلی می‌باشد. بویل و همکاران (۱۲)، بیان کردند که آزادسازی پتاسیم غیرتبدالی از کانی‌ها و در نتیجه افزایش غلظت پتاسیم محلول و تبدالی خاک، با افزایش ماده آلی، بیشتر شده است. کانی کائولینیت بهصورت موروثی و به مقدار کم در منطقه مطالعه شده مشاهده شد. این کانی نیز به راحتی می‌تواند از سطوح خارجی خود پتاسیم را آزاد کنند ولی بهدلیل اینکه فقط سطح خارجی آن در دسترس بوده و همچنین بهدلیل پایین بودن ظرفیت تبدل کاتیونی، مقدار کمی پتاسیم بهصورت قابل تبدال دارد که قابل چشم‌پوشی است. کانی‌های ورمی کولیت و ایلیت بهدلیل بار لایه‌ای زیاد، قابلیت انبساط کمی داشته و در نتیجه تبدل یون‌ها به راحتی انجام نشده و با وجود مقدار زیاد پتاسیم بین لایه‌ای و ساختمانی، سرعت آزادسازی کمتری نسبت به اسمکتایت‌ها دارند (۴۵). سانگ و هانگ (۴۳)، تفاوت در سرعت و مقدار آزادشدن پتاسیم غیرتبدالی در خاک را به عواملی مانند درصد متفاوت کانی‌های پتاسیم‌دار، ریزی و درشتی و درجه هوادیدگی کانی‌ها و در کانی‌های میکائی تفاوت در میزان جهت‌یابی هیدروکسیل ساختمانی، درجه چرخش چهار و جهی، مکان بار لایه‌ای، میزان تخلیه پتاسیم، درجه کج شدگی چهار و جهی، تفاوت در ترکیب شیمیایی و نقایص ساختمانی نسبت می‌دهند. منگل و اولن بکر (۳۶)، بیان کردند که بین پارامتر b در معادله‌های پخشیدگی پارابولیک، تابع نمایی و

لایه‌ای کم، مقدار پتانسیم غیرتبدالی کمتر از مناطق مرطوب می‌باشد که کانی‌های همراه ایلیت شامل ورمی‌کولیت، اسمکتایت با بار لایه‌ای بالا و کانی‌های مخلوط ایلیت-اسمکتایت هستند. همچنین نتایج نشان داد که برخلاف تصور اولیه، مقدار پتانسیم تبدالی آزاد شده توسط اگزالیک اسید تقریباً در همه نمونه‌ها کمتر از پتانسیم غیرتبدالی آزاد شده با کلرید کلسیم بود که دلیل اصلی آن می‌تواند ظرفیت بافری بالای خاک‌های آهکی و ختنی شدن اگزالیک اسید توسط آهک باشد. ضریب سرعت آزادسازی (b) معادله‌های الوریچ و پخشیدگی پارابولیک همبستگی معنی‌داری با پتانسیم غیرتبدالی و تعدادی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک نشان دادند. همچنین کمترین مقدار ضریب آزادسازی معادله الوریچ و پخشیدگی پارابولیک در انتی‌سولزها و بیشترین آن در آلفی‌سولزها مشاهده شد. برای بررسی سرعت آزادسازی پتانسیم غیرتبدالی نمونه‌های سطحی و عمقی خاک‌های منطقه، داده‌های مراحل آزادسازی پتانسیم با معادله‌های الوریچ، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیک و تابع توانی استاندارد برآورد، به ترتیب معادله‌های الوریچ، تابع توانی، مرتبه اول و پخشیدگی پارابولیک بهترین معادله‌ها برای پیش‌بینی پتانسیم غیرتبدالی آزاد شده در خاک‌های استان می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش، بخشی از رساله دکتری است که با امکانات بخش علوم خاک دانشگاه شیراز انجام شده و بدین‌وسیله قدردانی و تشکر می‌شود.

ضریب سرعت آزادسازی پتانسیم معادله تابع توانی کمتر از ۱ باشد نشان دهنده این است که سرعت آزادسازی پتانسیم غیرتبدالی با زمان کاهش می‌یابد^(۱۶). ضریب آزادسازی پتانسیم در معادله مرتبه اول ارتباط معنی‌داری با خصوصیات مهم خاک و همچنین پتانسیم غیرتبدالی نشان نداد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که خاک‌های استان در پنج راسته انتی‌سولز، اینسپتی‌سولز، مالی‌سولز، آلفی‌سولز و ورتی‌سولز قرار دارند. همچنین مانند بسیاری از مناطق کشور، خاک‌های استان مخصوصاً در مناطق با بارندگی کمتر دارای آهک زیادی است، گرچه در مناطق با بارندگی بیشتر استان، خاک‌هایی با آهک کمتر از ۱۰ درصد هم وجود دارد و آهک زیاد بسیاری از خصوصیات خاک‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. کمترین مقدار پتانسیم غیرتبدالی در خاک‌های جوان با بافت سبک و ماده آلی پایین که آهک بالایی هم دارند یافت شد و بیشترین مقدار پتانسیم تبدالی نیز در خاک‌های با تکامل پروفیلی بیشتر که رس بالاتر و آهک کمتری داشت مشاهده شد. پتانسیم غیرتبدالی ارتباط مثبت و معنی‌داری به ترتیب با ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان رس و کربن آلی و ارتباط منفی و معنی‌داری با آهک خاک نشان داد. همبستگی منفی کربنات کلسیم با پتانسیم غیرتبدالی آزادشده می‌تواند علاوه‌بر اثر رقت، به دلیل مصرف شدن بخشی از اسید نیتریک در ختنی کردن آهک خاک باشد. با توجه به مقدار نسبتاً ثابت ایلت در خاک‌خای مطالعه شده استان، کانی‌های همراه ایلیت نقش مهمی در مقدار پتانسیم غیرتبدالی ایفا می‌کنند. به طوری که در مناطق خشک‌تر به دلیل غالب بودن کانی‌های پالیگورسکیت، کلریت و اسمکتایت با بار

منابع مورد استفاده

۱. اولیانی، ح. ر.، ص. حیدرماه، ا. ادھمی و م. نجفی قیری. ۱۳۹۳. سیتیک آزادسازی پتانسیم غیرتبدالی در ارتباط با کانی‌شناسی رس برخی از خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک (۶۸)۱۸:

.۹۹-۱۰۹

۲. بحرینی طوحان، م.، ا. دردی پور و ع. موحدی نایینی. ۱۳۸۹. سرعت رهاسازی پتابیم غیرتبادلی با استفاده از اسید سیتریک و کلرید کلسیم رقیق در خاک‌های زراعی سری‌های غالب استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۴(۵۳): ۱۱۳-۱۲۶.
۳. حاتمی، ح، ع. کریمی، ا. فتوت و ح. خادمی. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر اندازه ذرات و نوع عصاره‌گیر بر شکل‌های مختلف پتابیم برخی کانی‌های میکایی و فلدسپات پتابیم. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۰(۱): ۱۱۵-۱۲۲.
۴. حسین‌پور، ع. ۱۳۸۳. کاربرد معادلات سنتیکی در توصیف سرعت آزاد شدن پتابیم غیرتبادلی در شماری از خاک‌های همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۸(۳): ۸۵-۹۳.
۵. حسینی فرد، س. ج، ح. خادمی و م. کلباسی. ۱۳۸۸. اثر نوع عصاره‌گیر و دفعات عصاره‌گیری بر آزادسازی پتابیم غیرتبادلی خاک‌ها. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۳(۵۰): ۱۱۷-۱۰۵.
۶. فرشادی‌راد، ا.، ف. خرمالی و ا. دردی‌پور. ۱۳۹۲. سرعت رهاسازی پتابیم غیرتبادلی با استفاده از کلرید کلسیم در خاک‌ها و اجزای آن. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار ۱(۱): ۱۲۹-۱۱۳.
۷. موسوی، ع.، ف. خیامیم، ح. خادمی و ح. شریعتمداری. ۱۳۹۳. سیتیک رهاسازی پتابیم از فلدسپار پتابیم در مقایسه با موسکویت تحت تأثیر عصاره‌گیرهای مختلف. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۸(۶۷): ۲۴۰-۲۲۹.
8. Abtahi, A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent material under semiarid conditions in Iran. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 329-336.
9. AL-Kanani, T., A. F. Mackenzi and G. J. Ross. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenyl boron as related to particle size and mineralogy. *Can. J. Soil Sci.* 64: 99-106.
10. Benipal, D. S., N. S. Pasricha and R. Singh. 2006. Potassium release to proton saturated resin and its diffusion characteristics in some alluvial soils. *Geoderma* 132: 464-470.
11. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 57: 464-465.
12. Boyle, J. R., G. K. Voigt and B. L. Sawhney. 1974. Chemical weathering of biotite by organic acids. *Soil Sci.* 117 (1): 42-45.
13. Carey, P. L and A. K. Metherell. 2003. Rates of release of nonexchangeable potassium in New Zealand soils measured by a modified sodium tetraphenyl boron method. *New Zeal. J. Agr. Res.* 46: 185-197.
14. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. In: Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, part 2. American Society of Agronomy, Madison WI.
15. Cox, A. E., B. C. Joern and C. B. Roth. 1996. Nonexchangeable ammonium and potassium in soils with a modified sodium tetraphenyl boron method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:114-120.
16. Feigenbaum, S., R. Edelstein and I. Shainberg. 1981. Release rate of potassium and structural cations from micas to ion exchangers in dilute solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 501-506.
17. Fox, T. R and N. B. Comerford. 1990. Low-molecular-weight organic acids in selected forest soils of the southeastern USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1139-1144.
18. Ghosh, B. N and R. D. Singh. 2001. Potassium release characteristics of some soils of Utter Pradesh hills varying in altitude and their relationship with forms of soil K and clay mineralogy. *Geoderma* 104: 135-144.
19. Gil-Sotres, F and B. Rubio. 1992. Kinetics and structural effects of the extraction of non-exchangeable potassium from the clay fraction of soils of Galicia (N.W.Spain). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 143-156
20. 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.
21. Jackson, M. L. 1975. *Soil Chemical Analysis Advanced Course*. Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison, WI.
22. Jalali, M. 2005. Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1917-1930.
23. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 135: 63-71.
24. Jalali, M. 2007. Spatial variability in potassium release among calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 140: 42-51.

25. Jalali, M and D. L. Rowell. 2003. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. *Expl. Agric.* 39: 379-394.
26. Jalali, M and M. Zarabi. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and plant response in some calcareous soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169: 196-204.
27. Jalali, M and Z. Varasteh Khanlari. 2014. Kinetics of Potassium Release from Calcareous Soils Under Different Land Use. *Arid Land Res. Manage.* 28:1-13.
28. Khormali, F and A. Abtahi. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semiarid soils of Fars province, southern Iran. *Clay Miner.* 38: 511-527.
29. 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.
30. Loepert , R. H and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. In: Sparks D. L. (Ed.), Methods of soil analysis, SSSA Book Series, Part 3, Madison, WI.
31. Lopez-Pineiro, A and A. G. Navarro. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized Vertisols of southwestern Spain. *Soil Sci.* 162: 912-918.
32. Martin, H. W and D. L. Sparks. 1985. On the behavior of non-exchangeable potassium in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16: 133-162.
33. Martin, H. W and D. L. Sparks. 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 371-376.
34. Mehra, O. P and M. L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system with sodium bicarbonate. *Clay Miner.* 7: 317-327.
35. Mengel, K and E. A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th ed.: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
36. Mengel, K and K. Uhlenbecker. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by Reyegrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 761-766.
37. Mengel, K., B. Rahmtullah and H. Dou. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-driven soils. *Soil Sci.* 163: 805-813.
38. Mushtaq. A. W. 2012. Oxalic Acid Effect on Potassium Release from Typical Rice Soils of Kashmir. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43:1136-1148.
39. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi and F. Jaberian. 2011. Factors affecting potassium release in calcareous soils of southern Iran. *Soil Res.* 49: 529-537.
40. Owliaie, H. R., A. Abtahi and R.J. Heck. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. *Geoderma* 134: 62-81.
41. Parker, D. R., D. L. Sparks., G. H. Hendricks and M. C. Sadusky. 1989. Potassium in Atlantic coastal plain soils: II. Soil characterization and distribution of potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 392-396.
42. Sharma R. R and B. N. Swami. 2000. Studies on kinetics of potassium release in surface horizons of three soil series of Rajasthan. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 48: 472-477.
43. Song, S. K and P. M. Huang. 1988. Dynamics of Potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 383-390.
44. Spakhov, Y. M and A. S. Sparkhova. 1970. Composition of free water-soluble organic compounds in the rhizosphere of some tree species. *Sov. Soil Sci.* 2: 703-710.
45. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil. Sci.* 6: 1- 63
46. Sparks, D. L. 2000. Bioavailability of soil potassium. In: Sumner, M. E. (Ed.), Handbook of Soil Science, CRC Press, Boca Raton, FL.
47. 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.
48. Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry. John Wiley & Sons, Inc. New York.
49. Tu, S. X., Z. F. Guo and J. H. Sun. 2007. Effect of oxalic acid on potassium release from typical Chinese soils and minerals. *Pedosphere.* 17: 457-466.
50. Tyler, G. and L. Strom. 1995. Differeing organic- acid exudation pattern explain calcifuge and acidifuge behavior of plants. *Annals of Botany.* 75: 75-78.