

تأثیر اسیدهای آلی و ورمی کمپوست بر تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های آهکی جنوب ایران

نیلوفر صدری^۱ - حمیدرضا اولیایی^{۲*} - ابراهیم ادهمی^۳ - مهدی نجفی قیری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲

چکیده

مواد و اسیدهای آلی، نقش مهمی در افزایش زیستی عناصر غذایی خاک به ویژه پتاسیم بازی می‌نمایند. در این مطالعه ۹ خاک با تیپ‌های متنوع از مناطق مختلف استان فارس انتخاب گردید. آزمایش‌های مربوطه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ زمان خوابانیدن (۵، ۱۵ و ۶۰ روز) با ۴ تیمار ترکیبات آلی (شامل ورمی کمپوست ۲ درصد، ۳ نوع اسید آلی شامل اسیدهای سیتریک، مالیک و اگزالیک با غلظت ۲۵۰ میلی‌مول بر کیلوگرم و یک تیمار شاهد) در سه تکرار انجام گرفت. پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی خاک‌ها به ترتیب در دامنه ۱۶۶ تا ۳۷۸ و ۲۸۲ تا ۱۶۹۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده‌اند. کانی‌های غالب در خاک‌ها شامل ایلیت، پالیگورسکیت، کلریت و اسمکتیت بودند. نتایج نشان داد که تیمار اسیدهای آلی و ورمی کمپوست همگی موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم محلول (از ۲۵ به ۷۸، ۵۸، ۹۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب برای اسیدهای سیتریک، مالیک و اگزالیک و ورمی کمپوست) در زمان ۶۰ روز نسبت به تیمار شاهد شدند. همچنین این تیمارها موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم تبادلی نسبت به تیمار شاهد (از ۲۳۵ به ۴۰۰، ۴۳۰، ۴۴۵ و ۴۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) شده‌اند. تفاوت معنی‌داری بین پتاسیم تبادلی در تیمارهای اسیدهای آلی و ورمی کمپوست در زمان‌های ۵ و ۱۵ مشاهده نشد، اما بین تیمارهای اسید مالیک و اسید اگزالیک در زمان ۶۰ روز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. میزان پتاسیم غیرتبادلی در تیمارهای اسید سیتریک، مالیک و اگزالیک و ورمی کمپوست افزایش معنی‌داری در زمان ۶۰ روز (به ترتیب از ۷۱۲ به ۱۱۴۰، ۹۹۲، ۱۲۱۰ و ۱۰۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به تیمار شاهد نشان داد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیر تبادلی، کانی‌های رسی

مقدمه

کربوکسیل می‌باشند. بسته به ویژگی‌های تفکیک‌پذیری و تعداد گروه‌های کربوکسیلی که بارهای منفی متفاوتی را دارا می‌باشند، فرایندهای کمپلکس شدن کاتیون‌های فلزی در محلول و جایگزینی آنیون‌ها از ماتریکس خاک روی می‌دهند (۹). اسیدهای آلی، مانند مالات، سیترات و اگزالات، در بسیاری از فرایندهای صورت گرفته در ریزوسفر از جمله کمپلکس شدن عناصر غذایی و سم‌زدایی فلزات، کاهش تنش در شرایط غرقابی ریشه و هوازگی مواد معدنی تأثیر گذارند؛ ارزیابی نقش آن‌ها با آگاهی از راهکار دقیق انتشار اسیدهای آلی و سرنوشت این ترکیبات در خاک میسر می‌باشد (۲۸).

فعالیت ریشه گیاهان، متابولیسم موجودات زنده خاک، تجزیه مواد هموموسی و بقایای گیاهی و جانوری در خاک منجر به تولید اسیدهای آلی می‌شود (۲۸ و ۲). غلظت این اسیدها در ریزوسفر ناشی از ترشح گیاهان و ریزجانداران، ۰/۰۵ تا ۵ مول بر متر مکعب می‌باشد (۳۴) و (۳). از جمله اسیدهای آلی آلیفاتیک موجود در خاک، اسید اگزالیک، اسید سیتریک، اسید فوماریک، اسید تارتاریک، اسید مالیک و اسید سوکسنیک می‌باشند (۳۰). از بین این اسیدها، اسید اگزالیک

مقدار پتاسیم در خاک‌های معدنی در محدوده ۳-۰/۰۴ درصد قرار دارد. محتوای پتاسیم کل در لایه ۲۰ سانتی‌متری خاک در بیشتر زمین‌های کشاورزی در محدوده بین ۲۰-۱۰ گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد (۸ و ۲۹). با این وجود، بیشتر پتاسیم خاک (۹۸-۹۰ درصد) در ساختمان کانی‌ها وجود دارد. قابلیت استفاده پتاسیم با توجه به نوع خاک تفاوت زیادی داشته و متأثر از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد. پتاسیم در چهار گروه محلول در آب، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی تقسیم‌بندی می‌شود.

اسیدهای آلی ترکیبات CHO با وزن ملکولی پایین می‌باشند که در تمامی موجودات زنده یافت شده و دارای یک یا بیشتر گروه عاملی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(Email: owliaie@gmail.com)

*- نویسنده مسئول:

۴- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

آلی اگزالیک و سیتریک بر مقدار تجمعی پتاسیم آزاد شده در ۱۷ نمونه خاک در استان فارس گزارش نمودند که اگزالیک اسید میزان بیشتری پتاسیم در مقایسه با سیتریک اسید آزاد نموده است (۲۲۵) در برابر ۱۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم).

ورمی کمپوست، کود آلی بیولوژیکی است که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی در حال پوسیدن از دستگاه گوارش کرم خاکی و دفع این مواد از بدن کرم حاصل می‌شود (۱۳). ورمی کمپوست‌ها ترکیبات آلی به‌ساز خاک بوده و به طور موفقیت‌آمیزی جهت بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و افزایش عملکرد گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۶).

نجفی‌قیری و اولیایی (۱۶) بیان داشتند که کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها شده‌است. با توجه به غلظت بالای پتاسیم محلول در ورمی کمپوست، یون‌های پتاسیم بر اثر پخشیدگی به فضای بین لایه‌های کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم (اسمکتیت و میکاهای هوا دیده) وارد شده و به شکل غیرتبادلی در می‌آیند و کاربرد ورمی کمپوست، پتاسیم خاک را به سمت شکل محلول متمایل می‌کند. رودریگز و همکاران (۲۵)، بیان داشتند که افزایش در مقدار پتاسیم قابل دسترس در خاک‌های تیمار شده با ورمی کمپوست بیشتر از خاک‌های بدون ورمی کمپوست بوده است.

در مدیریت حاصلخیزی خاک‌ها در ارتباط با پتاسیم به خصوص در کشت‌های فشرده و متوالی که فرصت آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها فراهم نیست، یکی از راهکارها می‌تواند افزودن مواد آلی و یا اسیدهای آلی به منظور تسریع در فرایند آزادسازی پتاسیم از کانی‌های باشد. در ارتباط با اثر افزودن مواد و اسیدهای آلی بر آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی مطالعات نسبتاً زیادی انجام گرفته اما در مورد اثر این مواد بر تغییر شکل‌های پتاسیم مطالعات بسیار کم بوده است. بنابراین هدف از این پژوهش، مطالعه تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم تحت تاثیر سه نوع اسید آلی شامل اسیدهای سیتریک، مالیک و اگزالیک و ورمی کمپوست در برخی خاک‌های انتخابی جنوب ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در انتخاب خاک‌ها با توجه به مطالعات نجفی‌قیری و همکاران (۱۴) سعی گردید خاک‌هایی انتخاب گردند که دارای تنوع نسبی از نظر ویژگی‌های ژنتیکی، تکاملی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی باشند و تا حدودی با دامنه‌ی نسبتاً وسیع خاک‌های استان فارس همخوانی داشته باشند. بر این اساس ۹ نمونه خاک از عمق‌های ۳۰-۰ سانتی‌متری انتخاب گردیدند و پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک و سپس کوبیده شده و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر (۵) انجام شد، از نمونه‌ها گل اشباع

(C₂H₂O₄, 90 g/mole)، سیتریک (C₆H₈O₇, 192 g/mole) و مالیک (C₄H₆O₅, 134 g/mole) معمول‌تر می‌باشند و به مقدار زیادتری نسبت به سایر اسیدها در محلول خاک وجود دارند و بر حرکت و وضعیت پتاسیم در خاک‌ها اثر می‌گذارند (۲۸). از بین این اسیدها، اسید سیتریک دارای ۳ گروه کربوکسیل و دو اسید دیگر دارای ۲ گروه کربوکسیل می‌باشند.

آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها تحت تأثیر اسیدهای آلی به عوامل مختلفی شامل نوع اسید آلی، خصوصیات شیمیایی، پیوند بین اتم‌های موجود در کانی، ساختمان بلور و ترتیب تشکیل کانی‌های حاوی پتاسیم بستگی دارد. راسل (۲۶) بیان داشت که چندین عامل مهم در درجه یا سرعت انحلال کانی‌های خاک و به تبع آن، آزادسازی پتاسیم مهم می‌باشند که عبارتند از: سرعت پخشیدگی اسیدهای آلی از محلول به محل واکنش و سرعت انتشار محصولات از محل انجام واکنش به توده محلول، زمان تماس بین اسیدهای آلی و سطح کانی، درجه تفکیک اسیدهای آلی، موقعیت و نوع گروه‌های عاملی و مقدار تمایل جذب شیمیایی عوامل کلات‌کننده برای فلزات لیگاندهایی نظیر اسیدهای آلی کمپلکس‌کننده نقش مهمی در آزاد کردن عناصر غذایی در خاک بازی می‌کنند.

از میان عوامل مؤثر در آزادسازی پتاسیم، اسیدهای آلی از طریق تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی، هوایدگی کانی‌ها و سنگ‌ها را آسان می‌سازند (۳۴). توانایی خارج کردن پتاسیم و سایر کاتیون‌های ساختمانی توسط اسیدها را می‌توان به H⁺ و لیگاند‌های آلی حاصل از تفکیک اسیدها نسبت داد (۱۲). اسیدها، پتاسیم تبادلی و بخشی از پتاسیم غیرتبادلی را استخراج می‌کنند. یون هیدرونیوم (H₃O⁺) قادر است پتاسیم جذب شده در موقعیت‌های سطحی و مقداری از پتاسیم نگه‌داری شده در موقعیت‌های گوه‌ای را آزاد کند (۲۴).

اسماعیل‌پور فرد و گیوی (۶)، در بررسی آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از کانی‌های میکایی موجود در ذرات مختلف خاک، تحت تأثیر سه نوع اسید آلی در یک دوره ۲۰۰۰ ساعته، گزارش کردند که حداکثر سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در ۲۴ ساعت اولیه شروع آزمایش می‌باشد. مقدار پتاسیم غیرتبادلی تجمعی آزاد شده از ذرات سیلت نسبت به ذرات دیگر بیشتر بود، اسید اگزالیک نیز نسبت به اسیدهای دیگر، بیشترین میزان پتاسیم غیرتبادلی را آزاد نمود و در مرحله بعد اسیدهای مالیک و سیتریک قرار گرفتند.

مطالعات نوروزی و خادمی (۱۸)، آزادسازی پتاسیم از دو کانی فلوگوپیت و موسکویت را به وسیله اسیدهای آلی سیتریک، اگزالیک و مالیک (در ۳ غلظت ۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار) به روش عصاره‌گیری معمولی در زمان‌های ۵ ساعت تا ۱۲۰ روز را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که سرعت آزادسازی پتاسیم توسط اسید سیتریک، بیشتر از سایر اسیدها و در کانی فلوگوپیت بیش از موسکویت بوده است. غلامی و همکاران (۷) در مطالعه اثر اسیدهای

بر کیلوگرم اضافه گردید. سپس نمونه‌های موجود در ظروف پلاستیکی در رطوبت ظرفیت زراعی (۵۰ درصد رطوبت اشباع) و دمای ۲۲ درجه سلسیوس نگهداری شدند و در پایان نمونه‌ها هوا خشک شد و پس از خرد کردن کاملاً مخلوط گشتند و شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبدلی و غیرتبدلی در آن‌ها اندازه‌گیری شد. با توجه به مقدار کم خاک جهت عصاره‌گیری از خاک اشباع، پتاسیم محلول در این ۵ تیمار با افزودن ۲ گرم نمونه خاک به ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و تکان دادن به مدت یک ساعت و در نهایت صاف نمودن اندازه‌گیری شد (۱۱). جهت یافتن بهترین غلظت اسید آلی، یک پیش‌آزمایش به این شرح انجام شد. ۲ نمونه از خاک‌ها که دارای کمترین و بیشترین پتاسیم غیرتبدلی بودند، انتخاب و اسیدهای آلی مورد نظر با غلظت‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مول بر کیلوگرم با سه تکرار در مدت یک ماه انجام شد. سپس شکل‌های پتاسیم مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند تا غلظت مناسب و موثر اسید آلی تعیین شود. نتایج حاصل نشان داد که غلظت ۲۵۰ میلی‌مول بر کیلوگرم سبب تغییرات معنی‌دار در شکل‌های پتاسیم در نمونه‌های تحت آزمایش گردید. جهت تجزیه آماری نمونه‌ها از نرم افزارهای SPSS و MSTATC و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

تهیه و پهاش آن‌ها به وسیله پهاش متر اندازه‌گیری شد (۲۷). عصاره اشباع به وسیله دستگاه پمپ مکش تهیه شد و میزان شوری در عصاره اشباع به وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (۲۷). به دست آمد. کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۲۷)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با بی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید کرومیک غلیظ و تیتراسیون با فرسولفات آمونیوم (۱۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم ۱ نرمال در $pH=8/2$ (۴) و پتاسیم به روش شعله‌سنجی با دستگاه شعله‌سنج مدل JenwayPFP7 ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد.

شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبدلی، غیرتبدلی و کل به ترتیب در عصاره اشباع، عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال با پهاش ۷، عصاره‌گیری با اسید نیتریک ۱ نرمال جوشان، و هضم با اسید فلوریدریک و مخلوط اسیدهای غلیظ تعیین شدند (۲۱). آزمایش‌های مربوطه به تأثیر افزودن اسیدهای آلی و ورمی‌کمپوست بر توزیع شکل‌های پتاسیم خاک به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (۳×۳×۵×۹) در ۹ خاک و تحت ۳ زمان ۵، ۱۵ و ۶۰ روز با ۵ تیمار ترکیبات آلی شامل ورمی‌کمپوست ۲ درصد، نوع اسید آلی ۰/۰۱ مولار شامل اسید سیتریک، مالیک و اگزالیک و یک تیمار شاهد در سه تکرار انجام گرفت. به ۳۰ گرم خاک، ۱ گرم ورمی‌کمپوست و اسیدهای آلی با غلظت ۲۵۰ میلی‌مول

جدول ۱- اطلاعات عمومی خاک‌های مطالعه شده
Table 1- General information of the soils studied

شماره خاک Soil no.	منطقه Location	رژیم رطوبتی-حرارتی Moist-Temp. Regime	ارتفاع (متر) Elevation (m)	فیزیوگرافی Physiography	طبقه‌بندی خاک، کلید تاکسونومی خاک، ۲۰۱۴ Soil classification Taxonomy, 2014
1	شیراز Shiraz	Xeric-Thermic	1848	واریزه بادبزی Colluvial fan	Typic Xerorthents
2	شیراز Shiraz	Xeric-Thermic	1789	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	Typic Xerorthents
3	فسا Fasa	Xeric-Thermic	1450	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	Typic Calcixerepts
4	داراب Darab	Aridic- Hyperthermic	1105	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	Typic Haplocalcids
5	نورآباد Noorabad	Ustic-Hyperthermic	1436	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	Typic Calcixerepts
6	سپیدان Sepidan	Xeric-Mesic	2204	دشت مرتفع Plateau	Calcic Haploxeralfs
7	لار Lar	Aridic- Hyperthermic	1100	دشت مرتفع Plateau	Typic Haplocambid
8	آباده Abadeh	Aridic-Mesic	1998	دشت دامنه‌ای Piedmont plain	Typic Haplocalcids
9	دژکرد Dezhkord	Xeric-Thermic	2231	دشت مرتفع Plateau	Typic Calcixerepts

نتایج و بحث

آلی در این خاک‌ها است. دامنه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها از ۱۵ تا ۳۹ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم (میانگین ۲۶/۲ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) خاک می‌باشد که می‌توان به نوع و میزان رس و ماده آلی آن‌ها نسبت داد. بیشترین و کمترین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها به ترتیب مربوط به خاک‌های آلفی‌سولز و اریدی‌سولز است که می‌تواند به دلیل تکامل بالاتر آلفی‌سول‌ها و مقدار رس بالاتر و کربنات کلسیم کمتر نسبت به اریدی‌سول‌ها باشد. رضاپور و صمدی (۲۲ و ۲۳) در مطالعات مرتبط با اثر کاربری اراضی بر خصوصیات خاک در راسته‌های مختلف خاک در منطقه ارومیه نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

اطلاعات عمومی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. منشاء خاک‌های مورد مطالعه همگی از مواد مادری آهکی می‌باشد. کاربری خاک‌ها شامل مرتع، باغ مرکبات و مزرعه گندم می‌باشد.

جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. خاک‌های مورد مطالعه در چهار راسته انتی‌سولز، اینسی‌سولز، اریدی‌سولز و آلفی‌سولز قرار گرفته‌اند. مقادیر کربنات کلسیم معادل در این خاک‌ها در دامنه ۱۴ تا ۷۳ (میانگین ۴۲/۴ درصد) می‌باشد. مقدار بیشینه کربن آلی در این خاک‌ها به ۲/۳ درصد می‌رسد، اما میانگین این جزء ۱/۳ درصد که نشان دهنده کمبود مواد

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 2- Physical and chemical properties of the soils studied

شماره خاک Soil no.	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	پ‌هاش pH	کربن آلی OC (%)	کربنات کلسیم معادل CCE (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	کانی‌شناسی Mineralogy
1	37	25	38	7.30	2.2	55.1	18.4	2.1	C>P>I>S>K
2	27	49	24	7.94	1.4	66.3	22.1	0.9	P>C>I>S>K
3	26	49	25	7.93	1.2	48.0	19.1	1.2	P>I=C>S>K
4	31	29	40	8.18	2.1	53.6	24.3	1.2	P>C=S>I>K
5	43	22	35	7.83	0.4	22.5	32.6	1.8	C>I=P>S>K
6	45	26	29	8.02	1.3	14.0	39.1	1.0	S>C>I>K
7	27	42	31	7.74	2.0	73.1	15.2	2.0	P>C>I>S>K
8	40	31	29	8.34	2.3	22.5	28.7	0.9	I>P>C>S=K
9	37	27	36	7.99	1.9	28	33.1	1.0	S>I=C>P>K
میانگین Average	35	33	32	7.90	1.3	42.4	26.2	1.3	

S: Smectite; I: Illite; K: Kaolinite; P: Palygorskite; C: Chlorite.

این کانی نیز کم می‌شود و مقدار کانی‌های کلریت و ایلیت (که به عنوان کانی‌های اولیه برای تشکیل پدوژنیک بیشتر کانی‌ها در خاک‌های مناطق خشک در نظر گرفته می‌شوند) و همچنین مقدار کانی پالی‌گورسکیت افزایش می‌یابد (۱۰). کانی پالی‌گورسکیت در مناطق خشک‌تر وجود دارد و در مناطق با بارندگی بیشتر این کانی وجود ندارد و یا مقدار آن ناچیز است. این کانی‌ها در محیط‌های مختلفی مانند رسوبات دریایی و دریاچه‌ای، در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و در مناطق نزدیک به فعالیت‌های گرمایی وجود دارد (۱۹).

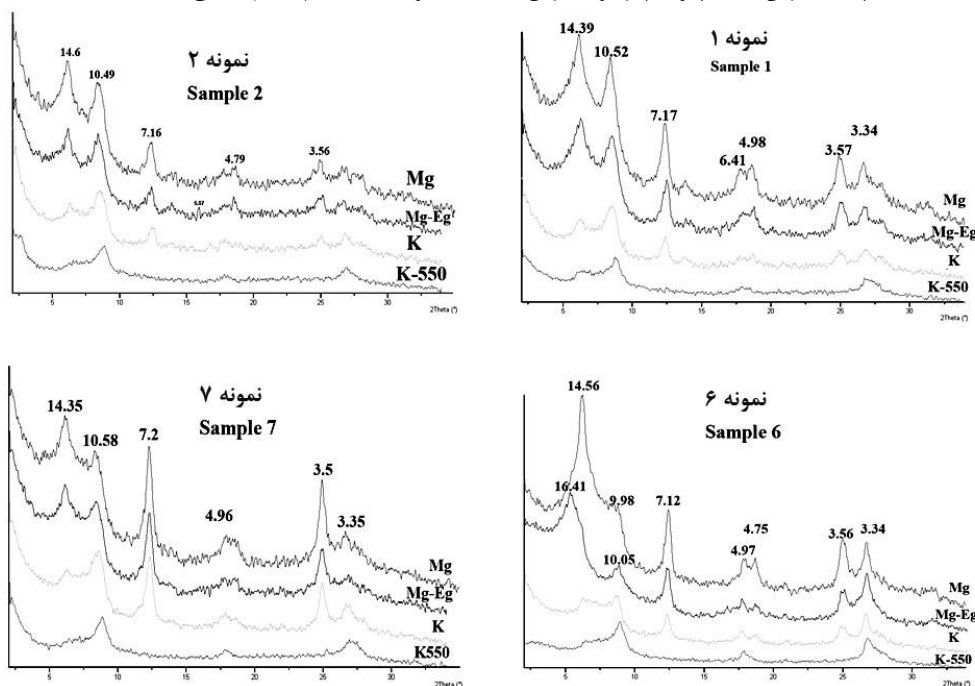
دامنه تغییرات درصد رس خاک‌ها از ۲۶ تا ۴۵ درصد، سیلت در دامنه ۲۴ تا ۴۰ درصد و شن خاک‌های مورد بررسی بین ۲۲ تا ۴۹ درصد می‌باشد. مهم‌ترین کانی‌های بخش رس خاک شامل ایلیت، کلریت، پالی‌گورسکیت، اسمکتیت و کائولینیت می‌باشند. کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان می‌دهد که غالب‌ترین کانی در خاک‌های شماره ۱ و ۵، کلریت، در خاک‌های شماره ۲، ۳، ۴ و ۷، پالی‌گورسکیت، در خاک‌های شماره ۶ و ۹، اسمکتیت و در خاک شماره ۸، ایلیت می‌باشد (شکل ۱). فراوانی کانی اسمکتیت در مناطق با بارندگی زیاد و تبخیر و تعرق پایین (رژیم رطوبتی و حرارتی زیریک و مزیک) زیاد می‌باشد (۱۵)، در حالی که در مناطق کم باران مقدار

جدول ۳- شکل‌های مختلف پتاسیم و درصد نسبی آن‌ها در خاک‌های مورد مطالعه
Table 3- Different forms of potassium and their relative percentage in the soils studied

شماره خاک Soil no.	شکل‌های مختلف پتاسیم K forms (mg kg ⁻¹)				توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم Distribution of K forms(%)				
	محلول Solution	تبادلی Exch.	غیر تبادلی Non-exch.	ساختمانی Structural	کل Total	محلول Solution	تبادلی Exch.	غیر تبادلی Non-exch.	ساختمانی Structural
2	10.5	185	312	1778	2354	0.29	10.9	13.2	75.5
3	6.9	166	282	2008	2523	0.18	9.1	11.1	79.5
4	9.7	172	367	2644	3256	0.19	7.3	11.2	81.2
5	9.9	171	445	3223	3912	0.16	6.0	11.3	82.3
6	13.3	360	984	1490	2981	0.29	16.7	33.0	50.0
7	4.5	304	1107	6906	8437	0.03	4.9	13.1	81.8
8	13.6	216	401	1598	2312	0.58	12.9	17.3	69.1
9	5.5	378	1694	2221	4443	0.07	11.7	38.1	50.0
میانگین Average	14.0	232	623	2608	3561	0.26	9.0	17.4	73.2
میانگین Average	10.5	243	691	2720	3753	0.22	9.8	18.4	71.4

منطقه) وجود دارد. پتاسیم تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۳۷۸-۱۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود و بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم تبادلی به ترتیب مربوط به خاک‌های شماره ۸ (کانی غالب ایلیت) و ۲ (کانی غالب پالیگورسکیت) بود. مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱۶۹۴-۲۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۶۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود و کمترین و بیشترین آن مربوط به خاک‌های شماره ۲ و ۸ بود که مشابه پتاسیم تبادلی است.

مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل و درصد نسبی هر کدام در جدول ۳ نشان داده شده است. از مقدار پتاسیم کل موجود در خاک، حدود ۸۲/۳-۵۰ درصد آن در ساختمان کانی‌ها وجود داشته و به عنوان پتاسیم ساختمانی در نظر گرفته می‌شود. پتاسیم محلول در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱۴-۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. کمترین و بیشترین مقدار پتاسیم محلول بترتیب در خاک‌های شماره ۶ (خشک‌ترین منطقه) و ۹ (مرطوب‌ترین



شکل ۱- نمودارهای پراش پرتو ایکس برخی نمونه‌های رس مربوط به خاک‌های شماره ۱، ۲، ۶ و ۷
Figure 1- X-ray diffraction nomographs in some clay samples of the soils no. 1, 2, 6 and 7

(۱۶). کمترین مقدار افزایش در خاک ۶ (از ۷/۳ در تیمار شاهد به ۱۰/۲ میلی‌گرم بر گیلوگرم) و ۹ (از ۱۲/۶ به ۳۸/۲ میلی‌گرم بر گیلوگرم) مشاهده شد که این امر می‌تواند در نتیجه تثبیت پتاسیم توسط کانی غالب اسمکتیت در این خاک‌ها باشد.

در خاک‌های جنوب ایران، مهم‌ترین کانی تثبیت کننده پتاسیم در خاک‌های آهکی، اسمکتیت‌ها هستند و مشاهده شده که خاک‌های رسی دارای اسمکتیت بالا می‌توانند حتی تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم اضافه شده به خاک را تثبیت کنند (۱۶). بیشترین میزان افزایش هم در خاک ۱ با کانی‌های غالب کلریت و پالیگورسکیت مشاهده شد (از ۱۰ به ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که میزان تثبیت در این خاک اندک بوده است. ارتباط منفی و معنی‌داری (ضریب همبستگی = ۰/۵۹)، بین مقدار افزایش پتاسیم محلول با کاربرد ورمی کمپوست و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به دست آمد که این امر می‌تواند بیانگر همبستگی نقش بار منفی خاک در جذب پتاسیم محلول باشد. کاربرد توأم کانی‌های با جذب بالا مانند زئولیت می‌تواند موجب کاهش پتاسیم محلول و همچنین کاهش آبشویی این عنصر در پی استفاده از مواد آلی چون ورمی کمپوست شود (۱). واکنش اسیدهای آلی با کربنات کلسیم موجود در خاک‌های آهکی موجب آزادسازی کلسیم (میانگین ۴۲ درصد در خاک‌های مورد مطالعه) موجب آزادسازی یون دو ظرفیتی کلسیم در محلول خاک می‌شود که با توجه به جذب ترجیحی کلسیم نسبت به پتاسیم، انتظار آزاد شدن بخشی از پتاسیم تبادلی و انتقال به فاز محلول خاک می‌رود. افزایش غلظت پتاسیم محلول در نتیجه افزودن ورمی-کمپوست می‌تواند سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک، تحت تاثیر قرار دادن جذب سایر کاتیون‌ها توسط گیاه، تثبیت پتاسیم و افزایش احتمال آبشویی پتاسیم به ویژه در خاک‌های بافت درشت می‌شود.

پتاسیم تبادلی

میزان پتاسیم تبادلی خاک‌ها تحت تاثیر ورمی کمپوست در طول زمان به ترتیب ۳۲۹، ۳۶۰ و ۴۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که یک روند افزایشی در مقدار پتاسیم تبادلی را نشان می‌دهد. این افزایش در تیمارهای ۵ و ۱۵ روز معنی‌دار نبوده اما در تیمار ۶۰ روز معنی‌دار بوده است (شکل ۲). همچنین میزان پتاسیم تبادلی در تیمار ورمی کمپوست در هر سه زمان نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشته است. مقدار پتاسیم تبادلی تحت تاثیر تیمار اسید مالیک به ترتیب ۳۳۹، ۳۶۷ و ۴۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که با گذشت زمان مقدار پتاسیم تبادلی افزایش معنی‌داری با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. در این مورد نیز افزایش در تیمارهای ۵ و ۱۵ روز معنی‌دار نبوده اما در

رضاپور و صمدی (۲۳) در مطالعه انجام گرفته در منطقه ارومیه بر روی ۴۲ نمونه خاک سطحی و دو گروه مرجع خاک کمبی‌سولز و ورتی‌سولز در کاربری‌های زراعی، مرتع و جنگل مقادیر پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی را به ترتیب در دامنه ۲۲-۴، ۵۵۸-۱۴۰ و ۷۴۵-۱۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند، ضمن آنکه مقادیر بیشتری از پتاسیم محلول و تبادلی در کاربری جنگل و مقادیر بیشتر پتاسیم غیرتبادلی را در کاربری مرتع در هر دو گروه مرجع خاک مشاهده نمودند.

مقایسه تأثیر اسیدهای آلی و ورمی کمپوست بر شکل‌های

پتاسیم در طی زمان

پتاسیم محلول

مقدار پتاسیم محلول در نتیجه تیمار ورمی کمپوست در کلیه زمان‌ها نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد. مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های تیمار شده با ورمی کمپوست در زمان‌های ۵، ۱۵ و ۶۰ روز به میزان ۱۲۴، ۱۶۰ و ۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که بیانگر یک روند افزایشی تا روز ۱۵ و سپس یک روند کاهش در ۶۰ روز بوده است (شکل ۲). به نظر می‌رسد که روند آزادسازی پتاسیم ناشی از تجزیه ورمی کمپوست تا روز ۱۵ بر روند جذب در سطوح تبادلی و غیر تبادلی پیشی گرفته و پس از آن با کاهش سرعت تجزیه، میزان جذب در سطوح کلوییدها افزایش که موجب کاهش پتاسیم محلول شده است. این امر با توجه به عدم آبشویی و یا جذب گیاهی در تیمارها بیان می‌شود.

مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های تحت تیمار اسید مالیک در زمان‌های ۵، ۱۵ و ۶۰ روز به ترتیب با اختلاف معنی‌داری، ۹۸، ۱۲۳ و ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است که بیانگر روند مشابه با ورمی کمپوست در مقادیر کمتر می‌باشد. مقدار پتاسیم محلول در تیمار اسید اگزالیک به ترتیب به میزان ۸۳، ۱۲۵ و ۹۲ و در تیمار سیتریک به ترتیب ۷۸، ۱۰۱ و ۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. همانگونه که مشخص است مقدار بیشینه پتاسیم محلول تحت تیمارهای اسید آلی و ورمی کمپوست در زمان ۱۵ روز بوده که در زمان ۶۰ روز کاهش یافته است. اختلاف پتاسیم محلول در تیمارهای ورمی کمپوست و اسید مالیک در زمان‌های ۵ و ۶۰ روزه معنی‌دار بوده است (شکل ۲). نجفی و اولیایی (۱۶) گزارش نمودند که کاربرد ۲ درصد ورمی کمپوست در یک تیمار ۹۰ روزه به ۱۰ نمونه خاک موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم محلول از حدود ۴۰ به ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم شده است. به هر حال با توجه به مقدار بالای پتاسیم محلول موجود در ورمی کمپوست (حدود ۱۳۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) این افزایش قابل انتظار می‌باشد

آزادسازی پتاسیم از خاک و کانی‌ها به عوامل زیر بستگی دارد: سرعت پخشیدگی اسیدهای آلی در خاک، توانایی پخشیدگی کمپلکس اسید آلی - عنصر مورد نظر، زمان تماس اسیدهای آلی روی سطح کانی، یونیزه شدن اسیدهای آلی، گروه‌های عاملی اسیدهای آلی، موقعیت آن‌ها و تمایل شیمیایی بین اسیدهای آلی و عنصر موجود در کانی‌ها. هر چه یون‌های H^+ و لیگاندهای آلی جدا شده در محلول بیشتر باشند مقدار بیشتری از کانی مورد حمله هیدرونیوم و کمپلکس‌های لیگاندهای آلی قرار می‌گیرند (۲۸).

پتاسیم غیرتبادلی

میزان پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها تحت تأثیر ورمی کمپوست در طول زمان به ترتیب ۶۵۵، ۹۹۱ و ۱۰۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که یک روند افزایشی در مقدار پتاسیم غیرتبادلی را نشان می‌دهد. این افزایش در تیمارهای ۵ و ۱۵ روز معنی‌دار نبوده اما در تیمار ۶۰ روز معنی‌دار بوده است. همچنین میزان پتاسیم غیرتبادلی در تیمار ورمی کمپوست در زمان‌های ۱۵ و ۶۰ نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشته است. مقادیر پتاسیم غیرتبادلی در ۳ زمان در تیمارهای اسید مالیک، اگزالیک و سیتریک به ترتیب ۶۳۸، ۸۹۲ و ۱۱۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۶۷۹، ۹۱۶ و ۱۲۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۶۵۱، ۸۴۳ و ۱۰۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است که در اینجا نیز روند افزایشی است. میزان پتاسیم غیرتبادلی در تیمارهای هر سه اسید ورمی کمپوست افزایش معنی‌داری در زمان‌های ۱۵ و ۶۰ روز نسبت به تیمار شاهد داشته‌اند (شکل ۲). افزایش اسیدهای آلی نیز در مجموع به طور میانگین موجب افزایش ۱/۶۶ برابری پتاسیم غیرتبادلی در تیمار ۶۰ روز شدند، که این میزان افزایش نسبت به پتاسیم تبادلی (۱/۷۸ برابر) کمتر است. ورمی کمپوست نیز افزایش کمتری نسبت به اسیدهای آلی در پتاسیم غیرتبادلی در تیمار ۶۰ روز داشت (۱/۴۶ برابر). میزان افزایش پتاسیم غیر تبادلی در خاک‌های مطالعه شده روند مشابهی با پتاسیم تبادلی داشت و در خاک‌های با کانی غالب ایلیت میزان افزایش پتاسیم غیرتبادلی بیشتر بوده است.

در تحقیق انجام گرفته توسط اسماعیل‌پور و گیوی (۶) پیرامون اثر ۳ اسید آلی بر آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در دو خاک دانشگاه شهرکرد و فارسان نتیجه گرفتند که در خاک دانشگاه به ترتیب اسیدهای اگزالیک، سیتریک و مالیک و در خاک فارسان به ترتیب اسیدهای اگزالیک، مالیک و سیتریک مقدار بیشتری پتاسیم غیرتبادلی آزاد نموده‌اند. نامبردگان بیان نمودند که علاوه بر نوع اسید، ویژگی‌های خاک، به ویژه نوع کانی‌ها، بر اثرگذاری اسید بر آزادسازی پتاسیم موثر می‌باشد.

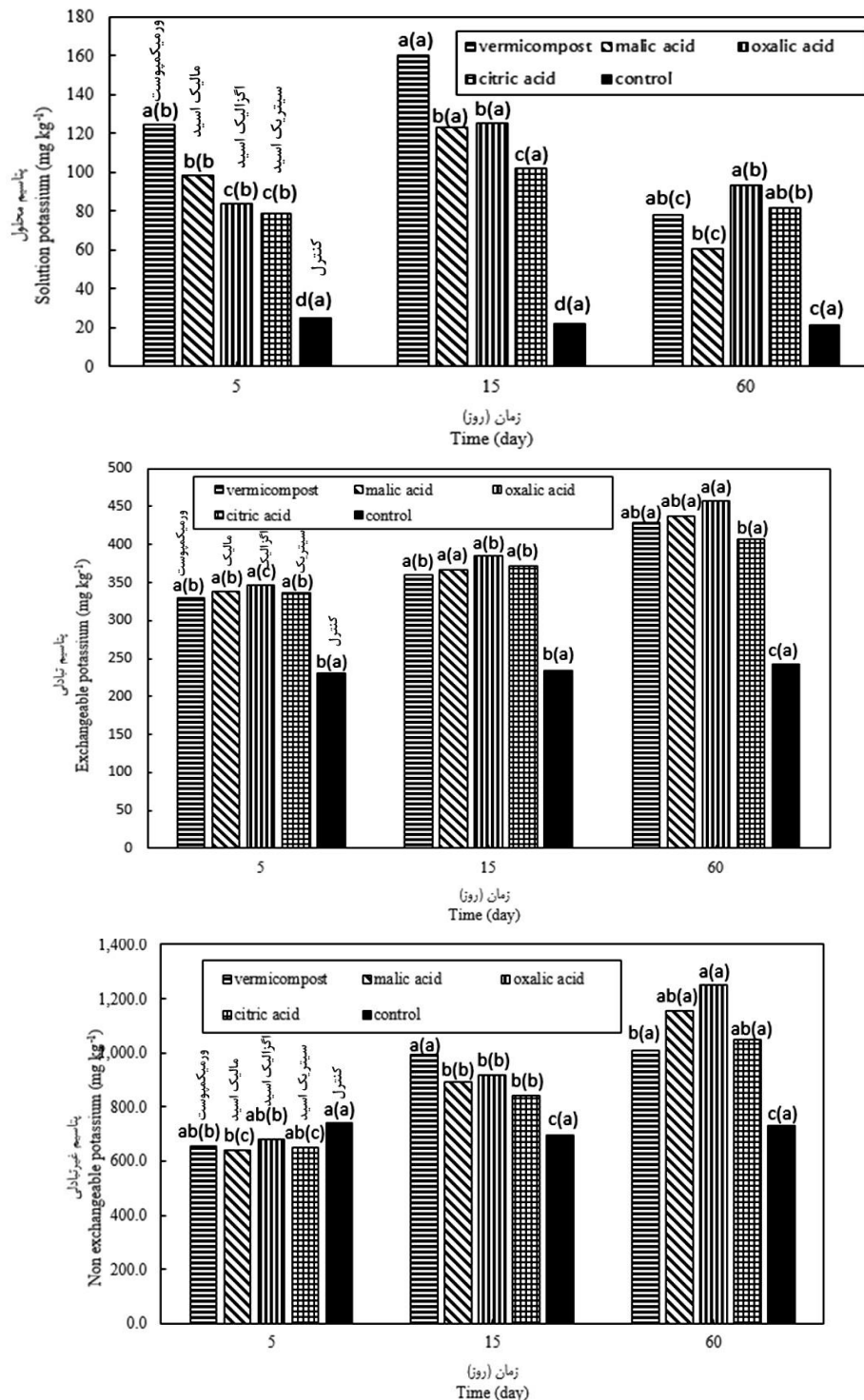
تو و همکاران (۳۳)، با بررسی تأثیر اسید اگزالیک با غلظت‌های مختلف در آزادسازی پتاسیم از کانی‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت اسید، مقدار پتاسیم رها شده از کانی‌ها نیز افزایش می‌یابد.

تیمار ۶۰ روز معنی‌دار بوده است، اما افزایش، نسبت به شاهد معنی‌دار بوده است. مقدار پتاسیم تبادلی تحت تأثیر اسید اگزالیک در طول ۳ زمان به ترتیب به میزان ۳۴۷، ۳۸۵ و ۴۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که در هر سه زمان نسبت به یکدیگر و همچنین نسبت به شاهد معنی‌دار بوده است (شکل ۲). تغییرات پتاسیم تبادلی تحت تأثیر اسید سیتریک در طول زمان به میزان ۳۳۶، ۳۷۲ و ۴۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است که روند مشابهی با اسید سیتریک و ورمی-کمپوست داشته است. در مجموع میزان پتاسیم تبادلی به ترتیب در تیمارهای اگزالیک اسید، مالیک اسید، ورمی کمپوست و سیتریک اسید یک روند کاهشی را نشان دادند که اختلاف فقط در تیمار ۶۰ روز بین اسید مالیک و سه تیمار دیگر معنی‌دار بوده است. ضمن آنکه هر چهار تیمار در هر ۳ زمان اثر معنی‌داری بر پتاسیم تبادلی نسبت به تیمار شاهد نشان داده‌اند. خاک‌های شماره ۸ و ۵ با رس غالب ایلیت بیشترین افزایش را در میزان پتاسیم تبادلی در تیمار ۶۰ روز نسبت به شاهد نشان دادند (به ترتیب از میانگین ۳۷۸ به ۸۳۱ برای خاک ۸ و از ۳۶۰ به ۷۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای خاک ۵). در حالی که خاک‌های ۲ و ۷ با رس غالب پالیگورسکیت کمترین افزایش را در پتاسیم تبادلی نشان دادند (به ترتیب از میانگین ۱۶۶ به ۲۲۲ برای خاک ۲ و از ۲۱۵ به ۳۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای خاک ۷). این در حالی است اسیدهای آلی در مجموع موجب افزایش ۱/۷۸ برابری پتاسیم تبادلی در تیمار ۶۰ روز شدند (از ۲۴۲/۷ به ۴۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم).

نجفی و اولیایی (۱۶) اعلام نمودند که کاربرد ۲ درصد ورمی کمپوست در یک تیمار ۹۰ روزه موجب افزایش پتاسیم تبادلی در ۱۰ خاک استان فارس از ۲۲۷ به ۴۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم شده است. استروم و همکاران (۳۱) رفتار اسیدهای آلی مالیک، اگزالیک و سیتریک را در یک خاک آهکی از نظر واکنش‌های جذبی و سرعت تجزیه زیستی مقایسه نمودند. بر اساس نتایج ارائه شده، اگزالات در خاک آهکی بسیار پایدارتر از مالات و سترات بوده و توسط ریزمواد خاک دیرتر تجزیه شده است که دلیل آن احتمالاً حفاظت لایه‌ای صورت گرفته توسط رسوب اگزالات کلسیم بیان شده است.

په‌هاش اسیدهای اگزالیک، مالیک و سیتریک با غلظت ۱۰۰ میلی‌مول به ترتیب ۱/۳۱، ۲/۰۸ و ۲/۲۱ می‌باشد که بیانگر میزان فعالیت یون هیدروژن می‌باشد. این مورد می‌تواند از دلایل اثرات بیشتر اسید اگزالیک بر آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی نسبت به دو اسید دیگر باشد. تفاوت بین توانایی این اسیدها در آزادسازی پتاسیم از کانی در اثر وجود برخی اختلافات در مقادیر لیگاندهای آلی و یون‌های H^+ تولید شده توسط اسیدهای آلی و توانایی لیگاندها در تشکیل کمپلکس می‌باشد (۳۲).

طبق نظریه پولمن و مک‌کول (۲۰)، توانایی اسیدهای آلی در



شکل ۲- تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم تحت تأثیر اسیدهای آلی و ورمی کمپوست، حروف متفاوت بالای ستون‌ها در هر زمان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد. حروف متفاوت داخل پرانتزها در بالای ستون‌ها نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در زمان‌های مختلف در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد

Figure 2- Changes in different forms of potassium, as affected by organic acids and vermicompost. Different letters indicate significant differences at any time of the columns means at 5% level by Duncan's test. Different letters in parentheses on the top of the column indicate significant differences in the averages at different times are at 5% level by Duncan's test

سانگ و هوآنگ (۲۸) با استفاده از اسیدهای آلی سیتریک و اگزالیک با غلظت ۰/۰۱ مولار، پتاسیم کانی‌های بیوتیت، موسکویت، میکروکلین و ارتوکلاز را آزاد نموده و نتیجه گرفتند که اسید اگزالیک توانسته بیشترین مقدار پتاسیم را در هر چهار نوع کانی آزاد نماید.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در حالی که پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی، روند مشخصی در تیمارهای اعمال شده نشان دادند، پتاسیم محلول خاک ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهش را نشان داد که ناشی از تغییرات سریعتر در فاز محلول نسبت به فاز جامد می‌باشد. کلیه تیمارها موجب افزایش معنی‌دار پتاسیم محلول در هر ۳ زمان شدند. بیشترین افزایش پتاسیم محلول مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست بوده است. در مجموع اسید اگزالیک < اسید مالیک < ورمی‌کمپوست < اسید سیتریک موجب افزایش پتاسیم تبادلی و اسید اگزالیک < اسید

منابع

مالیک < اسید سیتریک < ورمی‌کمپوست موجب افزایش پتاسیم غیرتبادلی شدند. همه تیمارهای چهارگانه در کلیه زمان‌ها (به جز تیمار ۵ روز مربوط به پتاسیم غیرتبادلی)، افزایش معنی‌داری را در پتاسیم‌های تبادلی و غیرتبادلی نسبت به شاهد نشان دادند. نتایج همچنین بیانگر اثر نوع کانی رسی غالب خاک در میزان تغییرات شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی پتاسیم بود، به گونه‌ای که بیشترین کمترین میزان افزایش به ترتیب مربوط به خاک‌های با رس غالب ایلیت و پالیگورسکیت بوده است. در مجموع به نظر می‌رسد که استفاده از اسیدهای آلی و مواد آلی موجب افزایش سریع پتاسیم محلول می‌شوند که باید با مدیریت صحیح آن‌ها را در خاک‌های با آبشویی زیاد به کار برد. با توجه به پیچیده‌بودن محیط خاک از نظر فیزیکی، شیمیایی و زیستی و نقش عوامل متعدد در تغییرات میزان شکل‌های پتاسیم، تکرار این آزمایش در سایر خاک‌ها به منظور مقایسه نتایج توصیه می‌شود.

- 1- Al-Busaidi A., Yamamoto T., Inoue M., Eneji E., Mori Y., and Irshad M. 2008. Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrition*. 31 (7): 1159-1173.
- 2- Bahraini Tvhan M., Dardipur E., and Khormali F. 2009. Compare the ability of organic acid and inorganic salts nonexchangeable K release kinetics Series dominant in agricultural soils of Golestan province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 16: 59-81. (in Persian with English abstract)
- 3- Bahraini Tvhan M., Dardipur E., and Movahedi Naini A. 2010. Non exchangeable K release rate by using citric acid and calcium chloride diluted dominant agricultural soil series in Golestan province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 53: 113-126. (in Persian with English abstract)
- 4- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. in: Black, C.A. (ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Madison (WI): America Society of Agronomy, 891-901.
- 5- Day R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. in: C.A. Black et al. (ed). *Methods of soil analysis*. Part 1. P: 545-566. Ser. No. 9. ASA. Madison. WI.
- 6- Esmailpur Fard N., and Givi J. 2007. Release of non-exchangeable potassium from mica minerals of different soil fractions under the influence of organic acids. *Proceedings of the 15th Congress of the Association of Crystallography and Mineralogy University Ferdowsi Mashhad*: 79-84. (in Persian with English abstract)
- 7- Gholami A., Abtahi A., Safarzadeh S., and Najafi Ghiri M. 2015. Release of NEK in soils of Fars Province as affected by organic acids and choose the best kinetic equation. *Proceedings of 14th Congress of Soil Science*. Rafsanjan University. (in Persian with English abstract)
- 8- Jackson ML. 1964. Chemical composition of soils. in: Bear FE, editor. *Chemistry of the soil*. New York: Van Nostrand Reinhold, 71-141.
- 9- Johnes D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere- a critical review. *Plant and Soil*, 205 (1): 25-44.
- 10- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran. *Clay Minerals*, 33: 561-575.
- 11- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. in: Page, A.L., et al. (Ed.), *Lithium, sodium and potassium*. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. ASA Monogr. 9, Madison, WI, pp. 225-246.
- 12- Kononova M.M., Aleksandrova I.V., and Titova N.A. 1964. Decomposition of silicates by organic substances in the soil. *Soviet Soil Science*, 1005-1014.
- 13- Mahboub khomami A. 2008. The effect of vermicompost on the substrate type and amount of seed and plant pot ficus Benjamin Carrion, *Journal of Soil and Water*, 24(2): 333-346. (in Persian with English abstract).
- 14- Najafi Ghiri M. 2010. Morphological and mineralogical characteristics of soil potassium status of the province. PhD thesis. Shiraz university. (in Persian with English abstract)

- 15- Najafi Ghiri M., Abtahi A., Jaberian F., and Owliaie H.R. 2011. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 4(3): 434-441.
- 16- Najafi Ghiri M., and Owliaie H.R. 2014. The effects of adding vermicompost and zeolite on different forms of potassium change in calcareous soils of Fars Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, water and soil*, 69: 61-72. (in Persian with English abstract)
- 17- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. in: Page, A.L. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*, pp, 53: 9-579.
- 18- Norouzi S., and Khademi H. 2009. Potassium release from muscovite and phlogopite as influenced by selected organic acids. *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)*, 23(1): 263-273. (in Persian with English abstract)
- 19- Owliaie H.R., Abtahi A., and Heck R.J. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern iran. *Geoderma*, 134: 62-81.
- 20- Pohlman A., and McColl J. 1986. Kinetics of metal dissolution from forest soils soluble organic acids. *J. Environ. Qual.* 15 (1): 86-92.
- 21- Pratt P.F. 1965. Potassium. in: Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI*, pp, 1022-1030.
- 22- Rezapour S., and Samadi A. 2012. Assessment of Inceptisols soil quality following long-term cropping in a calcareous environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 1311-1323.
- 23- Rezapour S., and Samadi A. 2014. The spatial distribution of potassium status and clay mineralogy in relation to different land-use types in a calcareous Mediterranean environment. *Arabian Journal of Geoscience*, 7: 1037-1047.
- 24- Richards J.E., and Bates T.E. 1989. Studies on the potassium-supplying capacities of southern Ontario soils. III. Measurement of available K. *Canadian Journal of Soil Science*, 69 (3): 597-610.
- 25- Rodriguez Felipe., Cesar G., Moral R., Ayguade H., and Mataix-Beneyto J. 2005. Effects of Composted and Non-composted Solid Phase of Pig Slurry on N, P, and K Contents in Two Mediterranean Soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (4-6): 635-647.
- 26- Russel E.W. 1961. *Soil Conditions and Plant Growth*. Longman. London. 1014 pages.
- 27- Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook No. 60. Washington (DC): United States Department of Agriculture (USDA)*.
- 28- Song S.K., and Huang P.M. 1988. Dynamics of potassium release from potassium bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 390-397.
- 29- Sparks D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sciences*, 6:1-63.
- 30- Strobel W. 2001. Influence of vegetation on low molecular-weight carboxylic acids in soil solution- A review. *Geoderma*, 99 (3-4):169-198.
- 31- Strom L., Owen A.G., Godbold D.L., and Jones D.L. 2001. Organic acid behavior in a calcareous soil: sorption reactions and biodegradation rates. *Soil biology and biochemistry*, 33: 2125-2133.
- 32- Stumm W., Furrer G., Wieland E., and Zinder B. 1985. The effects of complex-forming ligands on the dissolution of oxides and alumino silicates. *The Chemistry of Weathering*, 149: 55-74.
- 33- Tu S.X., Guo Z.F., and Sun J.H. 2007. Effect of oxalic acid on potassium release from typical Chinese soils and minerals. *Pedosphere*, 17 (4): 457-466.
- 34- Zarabi M., Jalali M., and Mahdavi Hajylvy Sh. 2006. Study of non-exchangeable potassium release rate and absorption capability by using acid malic in some soils of Hamadan province. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 37(6): 951-964. (in Persian with English abstract)

Effect of Organic Acids and Vermicompost on Potassium Transformations in Calcareous Soils of Southern Iran

N. Sadri¹- H.R. Owliaie^{2*}- E. Adhami³- M. Najafi Ghiri⁴

Received: 21-10-2015

Accepted: 01-02-2016

Introduction: Potassium is an essential element for plant growth and exists as four forms in soils: soluble, exchangeable, non-exchangeable, and mineral. Soluble and exchangeable K are considered as readily available and non-exchangeable K as slowly available. Organic matters and acids play an important role in increasing the bioavailability of nutrients especially potassium in the soils. Organic acids are low-molecular weight CHO containing compounds which are found in all organisms and which are characterized by the possession of one or more carboxyl groups. Depending on the dissociation properties and number of these carboxylic groups, organic acids can carry varying negative charge, thereby allowing the complexation of metal cations in solution and the displacement of anions from the soil matrix. The ability of an organic acid to release K from soils depends on some factors such as: diffusion rate of the organic acid in soil, the diffusion capability of organic acid-element complexes, the contact time of the organic acid on a mineral surface, the ionization of the organic acid, the functional group of the organic acid and its position, and the chemical affinity between the organic acid and the mineral elements. This study was conducted in order to evaluate the effect of organic acids and vermicompost on transformation of K in some selected soils of Fars Province, southern Iran.

Materials and Methods: In this study, nine soils with enough diversity were selected from different parts of Fars Province. The experiment was done as a completely randomized design with three replications, consisting of three incubation times (5, 15 and 60 days) and four organic compounds (including 2% vermicompost, three acids of citric, malic and oxalic acid each at a concentration of 250 mmolkg⁻¹ and one control). The samples were incubated at 50% of saturation moisture at 22°C. Routine physicochemical analyses and clay mineralogy were performed on soil samples. Soil reaction, texture, electrical conductivity, calcium carbonate, and gypsum were identified. Soluble, exchangeable, non-exchangeable and mineral potassium were measured. The amounts of K forms in each sample were determined. Total K was determined following digestion of soil (110°C) with 48 % HF and 6 M HCl. Water soluble K was measured in the saturated extract. Exchangeable K was extracted with 20 ml 1.0 M NH₄OAc (pH 7.0) for 5 min. Nitric acid-extractable K was measured by extraction of a soil sample with boiling 1.0 M HNO₃ for 1 h. Potassium was measured on all filtrated extracts by flame photometer. The content of clay minerals was determined semi-quantitatively, using peak areas on the diffractograms of ethylene glycol solvated specimens. Statistical analysis was accomplished using the SPSS 16.0 software and the comparison of mean values was done using the Duncan test at the 5% level of significance.

Results and Discussion: The amount of different forms of K including water soluble, exchangeable, HNO₃-extractable, and mineral K are relatively high in the studied soils. Mineralogical analysis indicated that smectite, illite, palygorskite and chlorite were the major minerals in the clay fractions. The results also showed that exchangeable, non-exchangeable and total potassium were in the range of 166 to 378, 282 to 1694, and 2312 to 8437 mg/kg⁻¹, respectively. Organic acids and vermicompost were led to a significant increase in soluble K at all times compared to control and vermicompost treatment exhibited greater effect. These treatments also significantly increased exchangeable potassium compared to control. Significant differences between exchangeable potassium of organic acids and vermicompost treatments were not observed at 5 and 15 days, but significant differences were observed between treatments of malic and oxalic acids at 60 days. Compared to the control, the non exchangeable K showed significant increase in all three organic acid treatments and vermicompost at 15 and 60 days.

Conclusion: Based on the results, while exchangeable and non-exchangeable (NEK) potassium showed a clear trend in treatments, solution potassium was first increased and then showed a decreasing trend due to the

1, 2 and 3- M.Sc. Student and Associate Professors, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Respectively

(*- Corresponding Author Email: owliaie@gmail.com)

4- Associate Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Darab University, Darab

rapid changes in liquid phase compared to the solid phase. All treatments significantly increased soluble potassium in each 3 times. The greatest potassium increase associated with vermicompost. In general, oxalic acid > malic acid > vermicompost > citric acid, were increased exchangeable potassium, while the trend for NEK was in the order of oxalic acid > malic acid > citric acid > vermicompost, respectively. All treatments at all times (except for treatment 5 days of NEK), showed a significant increase in the exchange and NEK potassium compared to the control. The results also reflect the effect of the dominant soil clay mineral on transformation of exchangeable and NEK, so that the highest and lowest rate of increase was related to the soils with dominant palygorskite and illite, respectively. In general, it seems that the use of organic acids and organic matter leads to a rapid increase of potassium, which must be properly managed in the soils with high leaching. Due to the complexity of soil environment in terms of soil physical, chemical and biological aspects and the role of these factors on potassium transformation, repeating of this experiment in other soils is recommended.

Keywords: Clay minerals, Exchangeable potassium, Fars province, Non-exchangeable potassium