



اثر حذف ماده آلی بر قابلیت دسترسی و رهاسازی پتاسیم

غیرتبادلی در خاک‌های لسی استان گلستان

*اسماعیل دردی‌پور^۱ و مهدی بحرینی‌طوحان^۲

^۱استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۱۶

چکیده

همانند اجزای معدنی خاک، مواد آلی خاک^۱ نیز نقش مهمی را در شیمی خاک ایفا می‌کند. رفتار خاک‌ها تحت تأثیر نوع و میزان ماده آلی موجود در آن‌هاست، تجزیه مواد آلی موجود در خاک‌ها مهم‌ترین عامل تولید اسیدهای آلی در خاک، که باعث هوازگی کانی‌های رسی (منبع عمده پتاسیم غیرتبادلی) و رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی می‌شوند، می‌باشد. علاوه بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی، سرعت رهاسازی و در دسترس قرار گرفتن این جزء از پتاسیم در طول دوره رشد گیاه نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. این آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل ۴ سری خاک غالب استان گلستان و فاکتور دوم شامل تیمار شاهد، حذف ماده آلی با آب اکسیژنه و هیپوکلریت سدیم بود. نتایج نشان داد که هیپوکلریت سدیم (NaOCl) ماده آلی بیش‌تری را نسبت به آب اکسیژنه حذف کرد، که بیانگر توانایی کم‌تر آب اکسیژنه در حذف ماده آلی می‌باشد. میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌ها، در حضور و بدون حضور ماده آلی تعیین شد. نتایج آزمایش‌های سیستیکی نشان داد که میزان کل پتاسیم غیرتبادلی رها شده از خاک‌ها در هر سه تیمار پس از پایان زمان عصاره‌گیری در سری علی‌آباد بیش‌ترین بود. کم‌ترین میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در تیمار شاهد مربوط به سری کردکوی و در دو تیمار حذف ماده آلی مربوط به سری دلند

* مسئول مکاتبه: e.dordipour@yahoo.com

1- Soil Organic Matter=SOM

بود. در تیمار حذف ماده آلی با آب اکسیژنه در مقایسه با تیمار شاهد، پتاسیم بیش‌تری از همه خاک‌ها رها شد، برعکس در تیمار حذف با هیپوکلریت سدیم نسبت به شاهد، پتاسیم کم‌تری رهاسازی شد. بنابراین ماده آلی اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر میزان شکل‌های شیمیایی پتاسیم و همچنین سینتیک رهاسازی آن دارد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، ماده آلی، اسیدهای آلی، سینتیک رهاسازی

مقدمه

پتاسیم در خاک معمولاً به اشکال ساختاری، تثبیت شده، تبادل و محلول یافت می‌شود و بین این شکل‌ها رابطه تعادلی وجود دارد و این روابط تعادلی در تغذیه گیاه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند (اسپارکس و هوانگ، ۱۹۸۵؛ اسپارکس، ۱۹۸۷؛ پارکر و همکاران، ۱۹۸۹). نقش پتاسیم غیرتبادل‌ی خاک در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه به عوامل مختلفی مانند نوع، میزان پتاسیم در کانی و فراوانی کانی‌های پتاسیم‌دار و اندازه ذرات آن‌ها، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک، غلظت پتاسیم در آب آبیاری، میزان پتاسیم آزاد شده از بقایای گیاهی (ماده آلی) و غیره بستگی دارد (جلالی، ۲۰۰۵).

همانند اجزای معدنی خاک، مواد آلی نیز نقش مهمی را در شیمی خاک ایفا می‌کند. مقدار مواد آلی خاک‌ها در افق سطحی خاک‌های معدنی از ۵-۰/۵ درصد وزنی و در خاک‌های آلی تا ۱۰۰ درصد وزنی تغییر می‌کند. رنگ، نگهداری آب، امتزاج با کانی‌های رسی، تشکیل کلات، انحلال‌پذیری در آب، تبادل کاتیونی و معدنی شدن از جمله ویژگی‌های مواد آلی می‌باشد که اهمیت مواد آلی را بیان می‌کند. مواد آلی یکی از منابع اصلی عناصر غذایی بومی در خاک است. در حقیقت بخش اعظم ظرفیت تبادل کاتیونی^۱ خاک سطحی اختصاص به مواد آلی خاک دارد. مواد آلی خاک، به واسطه سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، جذب‌کننده مهم عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز گیاه، کاتیون‌های فلزی سنگین و ترکیبات آلی نظیر علف‌کش‌ها می‌باشد (حق‌نیا، ۱۹۹۵).

حذف ماده آلی به‌عنوان یک پیش‌تیمار در تجزیه‌های خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های متعددی برای حذف ماده آلی وجود دارد که از بین آن‌ها می‌توان به حذف با آب اکسیژنه (تنگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ کیتریک و هوپ، ۱۹۶۳) و هیپوکلریت سدیم (اندرسون، ۱۹۶۳؛ میکوتا و

1- Cation Exchange Capacity=CEC

همکاران، ۲۰۰۵) اشاره کرد. عواملی مانند شرایط واکنش (pH، دما و مدت زمان تماس) و خصوصیات خاک (نوع کانی‌های و میزان ماده آلی) بر میزان حذف ماده آلی مؤثرند. خادمی و آروسینا (۲۰۰۸) در پژوهشی تأثیر ریزوسفر گیاه را در حضور و بدون حضور ماده آلی (پیت) بر آزادسازی منیزیم از کانی‌های سیپولایت و پالیکورسکایت بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در حضور ماده آلی ایجاد اسیدیته بالا ناشی از فعالیت ریشه، تجزیه ماده آلی و جذب منیزیم بیش‌تر توسط گیاه نسبت به شرایط بدون حضور ماده آلی، تولید کانی کائولینیت می‌کند.

فرآیند زراعت در خاک‌های بومی به‌طور تقریبی در همه موارد همراه با از دست دادن کربن آلی است، به‌طوری‌که ماده آلی محافظت شده در خاک پس از قرار گرفتن در معرض هوا اکسید می‌شود (دیویدسون و آکرمن، ۱۹۹۳؛ گریگوریچ و همکاران، ۱۹۹۸). اثر شیمیایی و تغذیه‌ای ماده آلی شامل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، مخزن عناصر غذایی برای گیاهان، تشکیل کلات عناصر غذایی که سبب می‌شود بسیاری از عناصر معدنی از حالت غیرقابل دسترسی برای گیاهان، به فرم قابل دسترسی تبدیل شوند، می‌باشد (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۵).

کانی‌های رسی دارای موقعیت‌های مختلفی برای نگهداری پتاسیم می‌باشند و شامل سطح، لبه‌ها و لایه‌های داخلی هستند که رهاسازی پتاسیم از هر کدام از این موقعیت‌ها با توجه به نوع عصاره‌گیر متفاوت می‌باشد. تاکنون عصاره‌گیرهای مختلفی جهت بررسی سرعت و روند رهاسازی پتاسیم از خاک‌ها، اجزای خاک و کانی‌های رسی توسط محققان مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (منگل و اوهلن‌بکر، ۱۹۹۳). از میان این عصاره‌گیرها می‌توان به اسیدهای معدنی، اسیدهای آلی، رزین تبادل کاتیونی، جریان الکتریسیته، ترا فنیل بران سدیم و نمک‌های معدنی اشاره نمود (لوپزپینریو و گارسیا ناوارو، ۱۹۹۷؛ دیلون و دیلون، ۱۹۹۰؛ جلالی، ۲۰۰۵؛ کوکس و همکاران، ۱۹۹۹).

رهاسازی پتاسیم در مناطقی که پاسخ گیاهان به کود پتاسیمی ضعیف است از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از میان فاکتورهای مؤثر در رهاسازی پتاسیم، اسیدهای آلی که کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند، از طریق تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی، هوادیدگی کانی‌ها و سنگ‌ها را آسان می‌سازند. توانایی خارج کردن پتاسیم و سایر کاتیون‌های ساختمانی توسط اسیدها را می‌توان به یون H^+ و لیگاند‌های آلی به‌دست آمده از تجزیه اسیدها نسبت داد (اوگلینی و سلتن، ۱۹۹۱؛ کلی و همکاران، ۱۹۹۸؛ راسموسن و همکاران، ۱۹۹۸). اسیدهای آلی از آنجایی‌که دارای قدرت هم‌تافت‌کنندگی بالایی می‌باشند، در بعضی موارد نقش آشکاری در رهاسازی پتاسیم تثبیت شده دارند. غلظت این اسیدها در محلول خاک بین ۵-۰/۰۵ مول بر مترمکعب می‌باشد (کانونوا و همکاران،

۱۹۶۴). اسیدهای آلی در خاک در نتیجه فرایندهایی مانند فعالیت‌های ریزوسفری، متابولیسم میکروبی، تجزیه بقایای حیوانی و گیاهی و مواد هومیکی خاک به وجود می‌آیند. از اسیدهای آلی مهم موجود در خاک‌ها می‌توان به اسیدهای اگزالیک، سیتریک، تارتاریک، فورماریک و گلیکولیک اشاره نمود که به احتمال قوی بر حرکت و وضعیت پتاسیم در خاک‌ها مؤثر می‌باشند (سانگ و هوانگ، ۱۹۸۸). همچنین آن‌ها در مطالعه‌ای که بر روی اثر اسیدهای آلی سیتریک و اگزالیک بر رهاسازی پتاسیم از بیوتیت، ارتوکلاز، مسکوویت و میکروکلین انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که میزان رهاسازی پتاسیم به ترتیب زیر کاهش می‌یابد: بیوتیت < میکروکلین \approx ارتوکلاز < مسکوویت.

پلمن و مک‌کول (۱۹۸۶) دریافتند که سرعت رهاسازی عناصری مثل منیزیم، پتاسیم و آلومینیوم توسط موادی با عوامل کمپلکس‌کننده با فلزات (اسیدهای آلی) در مقایسه با عوامل فاقد کمپلکس‌کننده بیش‌تر می‌باشد. همچنین گزارش کردند که توانایی مختلف اسیدهای آلی در رهاسازی پتاسیم به میزان پخشیدگی اسیدهای آلی در خاک، توانایی پخشیدگی کمپلکس فلز با اسید آلی، زمان تماس اسید با سطح کانی و غلظت اسید در خاک بستگی دارد. pH خاک هم در میزان رهاسازی پتاسیم توسط اسیدها تأثیرگذار است. سرینوآسارائو و همکاران (۱۹۹۷) در مطالعات خود بر روی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از اسید سیتریک و کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار نشان دادند که در خاک‌های ورتی‌سول با کانی غالب اسمکتیت، مقدار پتاسیم آزاد شده بیش‌تر از خاک‌های آلفی‌سول با کانی غالب کائولینیت و خاک‌های اینسپتی‌سول با کانی غالب ایلیت بود اگرچه در ابتدا سرعت آزادسازی در آلفی‌سول‌ها بیش‌تر بوده است.

در خاک‌هایی که سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از معادله مرتبه اول و پخشیدگی پیروی می‌کند، آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی از فرآیند پخشیدگی پیروی می‌نماید (مارتین و اسپارکس، ۱۹۸۳؛ فانینگ و همکاران، ۱۹۸۹؛ سرینوآسارائو و همکاران، ۲۰۰۰). شیب معادله الویچ بیانگر سرعت رهاسازی پتاسیم بین لایه‌ای و عرض از مبدأ آن نشان‌دهنده سرعت اولیه و فوری رهاسازی پتاسیم می‌باشد (منگل و همکاران، ۱۹۹۸). معادله توانی نیز یکی از معادلات نشان‌دهنده فرآیندهای کنترل‌شونده با پخشیدگی است (هاولین و همکاران، ۱۹۸۵). مهدوی (۲۰۰۲) در بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط اسید سیتریک ۰/۰۱ مولار در برخی خاک‌های استان همدان به این نتیجه رسید که معادلات پخشیدگی و مرتبه اول به بهترین شکل فرآیند رهاسازی پتاسیم را توجیه می‌کنند و فرآیند رهاسازی به وسیله اسید سیتریک متأثر از پدیده پخشیدگی و میزان و نوع ذخایر پتاسیم غیرتبادلی می‌باشد.

زائرنوملی (۲۰۰۷) طی آزمایش‌های کانی‌شناسی، در رژیم‌های مختلف رطوبتی استان گلستان، گزارش کرد که کانی‌های غالب در این خاک‌ها ایلیت، کلریت، اسمکتیت و کائولینیت می‌باشد. همچنین وی طی آزمایش‌های خود به این نتیجه رسید که میزان پتاسیم غیرتبادلی عصاره‌گیری شده به وسیله اسید نیتریک جوشان موجود در خاک‌ها، از ۸۴۸/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک Typic Hapludalfs به دلیل غالب بودن کانی ایلیت و ورمی‌کولیت تا ۱۰۹/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک Lithic Xerorthents متغیر بود. اثر شیمیایی و تغذیه‌ای ماده آلی شامل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، مخزن عناصر غذایی برای گیاهان، تشکیل کلات عناصر غذایی که باعث می‌شود بسیاری از عناصر معدنی از حالت غیرقابل دسترسی برای گیاهان، به فرم قابل دسترسی تبدیل شوند می‌باشد، یا به بیان دیگر عملکرد خاک‌ها تحت تأثیر ماده آلی موجود در آن‌هاست. علاوه بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی که در بیش‌تر خاک‌ها فراوان است، عامل عمده در اهمیت فوق‌العاده پتاسیم غیرتبادلی، سرعت رهاسازی و در دسترس قرار گرفتن این جزء از پتاسیم در طول دوره رشد گیاه می‌باشد. بنابراین بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌ها در حضور و بدون حضور ماده آلی می‌تواند در مدیریت حاصل‌خیزی این خاک‌ها در رابطه با پتاسیم بسیار مفید باشد.

مواد و روش‌ها

در راستای اهداف این پژوهش، ۴ سری خاک سطحی لسی با درصد ماده آلی متفاوت از مناطق زراعی جنوب استان گلستان انتخاب گردید. سپس همه پروفیل‌های حفر شده براساس راهنمای رده‌بندی خاک آمریکایی (Soil Survey Staff, ۲۰۰۶) تشریح و طبقه‌بندی شدند. نمونه‌ها از افق سطحی پروفیل‌ها تهیه، و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (۱۹۶۲) اندازه‌گیری شد. pH و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۲ (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم با pH ۸/۲ (چاپمن، ۱۹۶۵)، مقدار پتاسیم تبادلی به روش استات آمونیوم نرمال، پتاسیم غیرتبادلی به روش اسید نیتریک (کنادسن و همکاران، ۱۹۸۲)، رطوبت اشباع و کربنات کلسیم به روش راول (۱۹۹۴)، اندازه‌گیری شدند. ماده آلی خاک نیز به روش اصلاح شده والکی و بلاک (۱۹۳۴) تعیین گردید. مرحله خالص‌سازی کانی‌های رسی به منظور کانی‌شناسی به روش کیتریک و هوپ (۱۹۶۳) انجام گرفت.

این آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام گردید. فاکتور اول شامل ۴ سری خاک غالب استان گلستان و فاکتور دوم شامل تیمار شاهد، حذف ماده آلی با آب اکسیژنه و هیپوکلریت سدیم بود. ابتدا اکسیداسیون ماده آلی خاک‌ها به دو روش آب اکسیژنه (کتیریک و هوپ، ۱۹۶۳) و هیپوکلریت سدیم (سیرگار و همکاران، ۲۰۰۵) انجام شد. برای خارج کردن پتاسیم تبدلی و محلول قبل از شروع آزمایش‌های سینتیکی، خاک‌ها با کلرید کلسیم ۱ مولار اشباع و هوا خشک گردید. از خاک‌های اشباع شده با کلرید کلسیم در ۳ تکرار در لوله‌های سانتریفوژ، ۱ گرم توزین و ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیر اسید اگزالیک اضافه شده و پس از ۳۰ دقیقه به هم زدن، نمونه‌ها به انکوباتور با دمای ثابت ۲۷ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از گذشت ۲ ساعت از افزودن عصاره‌گیر به نمونه خاک، نمونه‌ها از انکوباتور خارج شده و با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد و عصاره رویی برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم رها شده جمع‌آوری گردید. سپس بلافاصله ۱۰ میلی‌لیتر دیگر عصاره اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده و به انکوباتور منتقل شدند. عصاره‌گیری در فواصل زمانی ۲، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۲۰، ۱۶۸، ۳۱۲، ۳۸۴ و ۴۵۶ ساعت به ترتیب یاد شده، انجام گرفت و غلظت پتاسیم در آن‌ها با استفاده از فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (حسین‌پور، ۲۰۰۴). ۵ مدل سینتیکی مرتبه اول، الویچ ساده شده، انتشار هذلولی و تابع نمایی برای برازش داده‌ها، مورد استفاده قرار گرفتند. برای انتخاب بهترین معادله، با مقایسه ضریب تبیین (r^2) و خطای معیار تخمین (SE) محاسبه شده برای هر معادله، معادله‌ای که بیش‌ترین ضریب تبیین و کم‌ترین خطای معیار تخمین را دارا باشد به‌عنوان بهترین معادله در توجیه رهاسازی پتاسیم از خاک شناخته می‌شود (مارتین و اسپارکس، ۱۹۸۳؛ حسین‌پور، ۲۰۰۴). شکل کلی معادلات سینتیکی به‌کار رفته عبارت بودند از:

$$\ln (K_0 - K_t) = a - b t \quad \text{۱- مرتبه اول}$$

$$K_t = a + b \ln t \quad \text{۲- الویچ ساده شده}$$

$$K_t / K_0 = a + b t^{1/n} \quad \text{۳- پخشیدگی}$$

$$\ln K_t = a + b \ln t \quad \text{۴- توانی}$$

که در آن، K_t : مقدار پتاسیم غیرتبادلی و یا تبادلی آزاد شده در زمان t و K : پتاسیم غیرتبادلی و یا تبادلی که در حال تعادل در زمان انتهایی آزمایش (حداکثر پتاسیم آزاد شده) هستند. a و b ثابت‌ها و t زمان است. معادلاتی که سرعت رهاسازی پتاسیم تبادلی را توضیح می‌دهند براساس ضرایب تبیین و اشتباه استاندارد برآورد، انتخاب می‌شوند. اشتباه استاندارد برآورد (SE) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SE = [\sum(K_t - K^*)^2 / (n-2)]^{1/2} \quad \text{۵- اشتباه استاندارد برآورد}$$

در این رابطه، K_t و K^* به ترتیب نشان‌دهنده مقدار پتاسیم تبادلی و یا غیرتبادلی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به وسیله مدل در زمان t و n تعداد عصاره‌گیری‌ها ($n=12$) می‌باشد.

نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و نتایج آزمایش‌های کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه در جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده است. دامنه تغییرات درصد رس خاک‌ها از ۴۳-۳۰ درصد، سیلت خاک‌ها بین ۶۵-۴۰ درصد و شن خاک‌های مورد بررسی بین ۱۸-۶ درصد می‌باشد. میزان pH خاک‌ها ۷/۲ است، خاک‌های مورد مطالعه از لحاظ شوری مشکلی نداشته و در محدوده مناسبی قرار دارند. دامنه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها از ۲۷-۲۵ سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک می‌باشد. درصد ماده آلی خاک‌های مورد مطالعه متفاوت بود به طوری که در محدوده ۷-۳/۳ قرار داشتند (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منتخب خاک‌های مورد مطالعه.

شماره نمونه	نام سری (رده‌بندی)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	pH	EC (dS/m)	CEC (Cmol/l) (kg soil)	ماده آلی (درصد)	آهک (درصد)
۱	رامیان (Typic Haploxerolls)	۳۶/۷	۴۴/۹	۱۸/۴	۷/۱	۰/۸	۲۷	۱/۸	۴
۲	دلند (Typic Clacixerepts)	۴۲/۹	۴۹/۰	۸/۲	۷/۲	۱/۳	۲۵/۳	۳	۴/۵
۳	علی‌آباد (Typic Haploxerepts)	۴۰/۸	۴۲/۹	۱۶/۳	۷/۲	۰/۷	۲۶	۲/۹	۴/۵
۴	کردکوی (Typic Endoaquepts)	۳۰/۶	۶۳/۳	۶/۱	۷/۲	۱	۲۶/۷	۳/۷	۸/۵

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های کانی‌شناسی.

شماره نمونه	نام سری	کانی‌شناسی
۱	رامیان (Typic Haploxerolls)	میگا < اسمکتیت < ورمی‌کولیت < کلرایت < کائولینیت
۲	دلند (Typic Clacixerepts)	اسمکتیت < ورمی‌کولیت < میگا-ورمی‌کولیت < میگا < کائولینیت
۳	علی‌آباد (Typic Haploxerepts)	میگا < اسمکتیت < ورمی‌کولیت < کلرایت < کائولینیت
۴	کردکوی (Typic Endoaquepts)	اسمکتیت < کلرایت < میگا < کائولینیت

اکسیداسیون مواد آلی خاک‌ها: افزودن هر گونه مواد آلی به خاک ممکن است بر قابلیت جذب پتاسیم به وسیله گیاه بیافزاید. به طوری که ترکیبات گاز کربنیک تولید شده از تجزیه مواد آلی با آب تولید اسید کربنیک می‌نماید. این اسید در خاک‌های دارای کانی‌هایی پتاسیم‌دار احتمالاً باعث دگرگونی ساختمان کانی‌هایی شده و به این ترتیب قابلیت جذب آن‌ها افزایش می‌یابد. یون هومات سبب جذب سطحی پتاسیم می‌شود و به راحتی آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. هوموس، سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم را پوشانده و از ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک می‌کاهد (اوانگلو و همکاران، ۱۹۸۶؛ اوانگلو و بلوینس، ۱۹۸۸). همان‌طور که ایجاد پوشش مواد آلی بر سطح خاک‌دانه‌ها امکان جذب فسفات را تقلیل می‌دهد (ملکوتی و همایی، ۲۰۰۵)، این احتمال برای پتاسیم هم وجود دارد به این صورت که پتاسیم در فاز تبادلی باقی‌مانده و از احتمال تثبیت آن کاسته شود، عکس این موضوع نیز صادق است به این ترتیب که ایجاد پوشش مواد آلی بر سطح خاک‌دانه‌ها می‌تواند باعث به دام افتادن پتاسیمی که وارد فضای بین لایه‌های کانی‌های رسی شده، شود. همچنین ممکن است به دلیل تمایل بیش‌تر ماده آلی برای تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های دو ظرفیتی نسبت به تک‌ظرفیتی‌ها در دهانه رس‌ها، باعث کاهش فعالیت پتاسیم شود (ایوانگلو و همکاران، ۱۹۸۶؛ ایوانگلو و بلوینس، ۱۹۸۸).

نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود دارد و تیمار آب اکسیژنه، نسبت به تیمار هیپوکلریت سدیم (NaOCl) ماده آلی کم‌تری از خاک‌ها حذف کرد، که بیانگر توانایی کم‌تر آب اکسیژنه در حذف ماده آلی نسبت به هیپوکلریت سدیم می‌باشد (جدول ۳). توانایی بیش‌تر هیپوکلریت سدیم در حذف مواد آلی را می‌توان به pH بالای محلول آن و ایجاد شرایط قلیایی و در نهایت وجود یون سدیم که باعث پراکنش ذرات کانی‌های رسی و آزاد شدن مواد آلی محبوس بین آن‌ها می‌شود،

ربط داد. برعکس آب اکسیژنه به دلیل pH پایین تر نسبت به هیپوکلریت و حرارت دادن بر ساختمان کانی‌ها مؤثر است (میکوتا و همکاران، ۲۰۰۵؛ چشیر و همکاران، ۲۰۰۰؛ اندرسون، ۱۹۶۳). ماده آلی ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد و در نتیجه تلفات عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم در اثر آب‌شویی کاهش می‌یابد. تغییر کاربری اراضی و به‌دنبال آن کاهش مواد آلی خاک از جمله عوامل اصلی در افزایش میزان هدررفت پتاسیم از خاک‌ها است (طلائی و عظیمی، ۲۰۰۷).

رهاسازی پتاسیم - بدون حذف ماده آلی: روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی از خاک‌های بدون حذف ماده آلی (تیمار شاهد)، توسط عصاره‌گیری پی در پی با اسید اگزالیک در پایان مدت آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان کل پتاسیم غیرتبادلی رها شده از خاک‌ها در تیمار شاهد پس از اتمام زمان عصاره‌گیری در سری علی‌آباد بیش‌ترین بود، در حالی که کم‌ترین میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در تیمار شاهد مربوط به سری کردکوی بوده است (جدول ۴). اختلاف در میزان رهاسازی پتاسیم در خاک‌ها را می‌توان به نوع، میزان و اندازه ذرات کانی‌های دارای پتاسیم موجود در بخش رس، سیلت و شن و همچنین نوع و میزان ماده آلی خاک‌ها نسبت داد. رهاسازی بیش‌تر در سری علی‌آباد را می‌توان به درصد بالای رس، سیلت، ماده آلی و احتمالاً حضور کانی غالب میکای سه‌جایی در آن نسبت داد. زیرا پتاسیم با سرعت بیش‌تری از کانی‌های سه‌جایی در مقایسه با دو جایی آزاد می‌شود. سه‌جایی‌ها در مقابل انحلال با اسید حساسیت بیش‌تری دارند، به‌طوری‌که مورتلند (۱۹۵۸) گزارش کرد که در یک دوره ۱۰ روزه به‌وسیله رزین اسیدی، همه بیوتیت‌ها تخریب شده که این عامل، ضریب سرعت رهاسازی بالاتری را ایجاد می‌کند. کم‌ترین میزان رهاسازی در تیمار شاهد مربوط به سری کردکوی با کم‌ترین درصد رس می‌باشد، هر چند مقدار ماده آلی در این سری بیش‌ترین است. با توجه به نتایج کانی‌شناسی، در این سری کانی اسمکتیت وجود دارد که بدون پتاسیم بین لایه‌ای می‌باشند، چرا که یکی از عوامل مهم در افزایش ثابت سرعت رهاسازی مقدار کانی‌های ایلیت سه‌جایی در خاک است.

شاید درصد بالای کربنات کلسیم معادل که ممکن است مقداری از اسید را مصرف کند، بتواند دلیل دیگری بر رهاسازی کم‌تر در این سری باشد (ضرابی و همکاران، ۲۰۰۶). بنا بر اعتقاد هوندال و پاسریکا (۱۹۹۳) ثابت رهاسازی بالا در خاک‌های مورد مطالعه او بیش‌تر به‌علت حضور ایلیت تری‌اکتا هدرال است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، روند رهاسازی تجمعی پتاسیم در خاک‌ها با

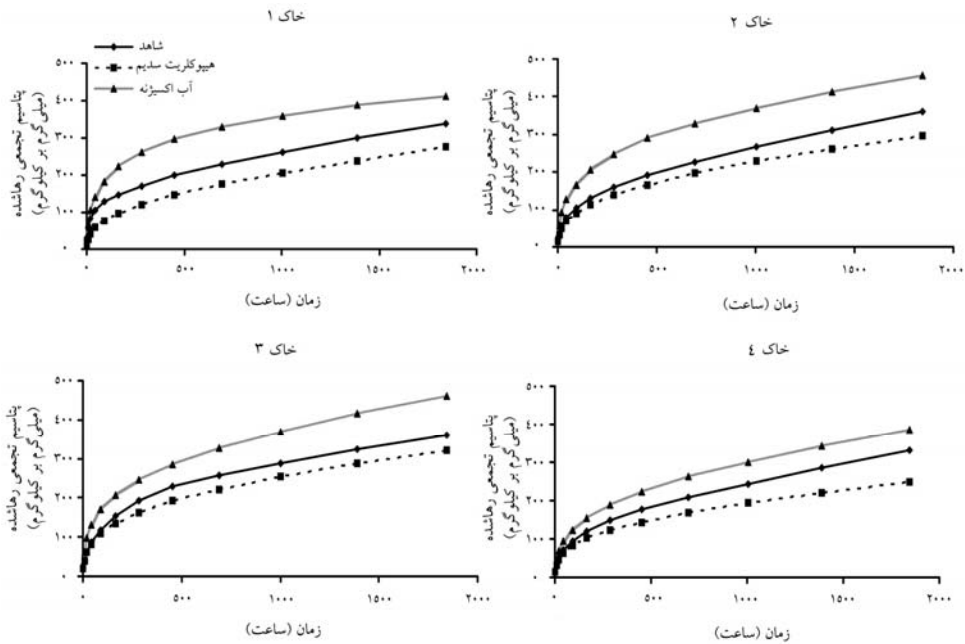
زمان در هر سه تیمار در مراحل اولیه (تا ۱۶۴ ساعت) بالا و در مراحل نهایی با سرعت کم‌تر ادامه می‌یابد. رهاسازی سریع اولیه را می‌توان به آزاد شدن پتاسیم از مناطق لبه‌ای و گوه‌ای شکل کانی‌های پتاسیم‌دار نسبت داد. با پیشروی رهاسازی، لبه‌های کانی از هم جدا شده و پتاسیم‌های بین لایه‌ای موجود در ساختمان کانی رها می‌شوند، به‌علت افزایش فاصله پتاسیم‌های درونی از لبه‌ها و قدرت جذب پتاسیم، رهاسازی با سرعت و پخشیدگی کم‌تری صورت می‌گیرد (بولت و همکاران، ۱۹۶۳؛ گولدینگ، ۱۹۸۴).

تالیپودن و همکاران (۱۹۷۸) نیز با بررسی رهاسازی تجمعی پتاسیم با جذر زمان، رهاسازی سه مرحله‌ای را گزارش نمودند. آن‌ها مرحله اول رهاسازی را به رهاسازی پتاسیم تبدلی، مرحله دوم را به رهاسازی پتاسیم تثبیت شده و مرحله سوم را به رهاسازی پتاسیم ساختمانی نسبت دادند. به عقیده آن‌ها فرآیند پخشیدگی کنترل‌کننده رهاسازی می‌باشد. توفیقی (۱۹۹۷) نیز با مطالعه سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبدلی در خاک‌ها توسط تترا فنیل بران سدیم گزارش نمود که سرعت رهاسازی در ابتدا زیاد و سپس به تدریج کم می‌شود. توانایی اسید اگزالیک در رهاسازی پتاسیم را می‌توان به یون‌های هیدروژن و کمپلکس لیگاندهای آلی تولید شده به‌دست آمده از تجزیه آن در محلول خاک نسبت داد. در مورد مکانیزم عمل اسید اگزالیک دو احتمال تبادل و یا تخریب کانی وجود دارد (ضرابی و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۳- درصد ماده آلی خاک‌ها به روش والکلی و بلاک[†].

نمونه	نام سری	ماده آلی (درصد)		
		شاهد	NaOCl	H ₂ O ₂
۱	رامیان (Typic Haploxerolls)	۱/۸۰ ^d	۰/۸۰ ^f	۱/۱۰ ^e
۲	دلند (Typic Clacixerepts)	۰/۳۳ ^g	۰/۱۳ ^h	۰/۲۰ ^{gh}
۳	علی‌آباد (Typic Haploxerepts)	۲/۹۰ ^b	۱/۲۰ ^e	۲/۱۰ ^c
۴	کردکوی (Typic Endoaquepts)	۳/۷۰ ^a	۱/۹۰ ^d	۲/۸۰ ^b
	میانگین تیمارها	۲/۱۸ ^A	۱/۰۱ ^C	۱/۵۵ ^B

[†] حروف مشابه در سطح آماری (Lsd, α=۵ درصد) معنی‌دار نیست.



شکل ۱- منحنی رهاسازی تجمعی پتاسیم با عصاره گیری متوالی با اسید اگزالیک در خاک‌های مورد مطالعه.

رهاسازی پتاسیم- حذف ماده آلی با آب اکسیژنه: روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها در تیمار حذف ماده آلی با آب اکسیژنه، توسط عصاره‌گیری پی در پی با اسید اگزالیک در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان کل پتاسیم غیرتبادلی رها شده از خاک‌ها همانند تیمار شاهد، پس از اتمام زمان عصاره‌گیری در سری علی‌آباد بیش‌ترین بود ولی کم‌ترین میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی مربوط به سری دلند بوده است (جدول ۵). همچنین، همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد در تمام خاک‌ها، رهاسازی پتاسیم از مکان‌های لبه‌ای و بین لابه‌ای در تیمار آب اکسیژنه بیش‌تر بود. رهاسازی بیش‌تر در اینجا نیز به همان دلایلی است که پیش‌تر برای تیمار شاهد ذکر شد. با این تفاوت که در اینجا احتمال دارد که حذف ماده آلی در تیمار آب اکسیژنه که با حرارت دادن همراه بود، باعث از بین رفتن پوشش‌های ماده آلی که دهانه رس‌ها را مسدود می‌کند (اوانگلو و همکاران، ۱۹۸۶)، شده و از طرفی سبب تضعیف پیوندهای بین کانی‌ها و حتی متلاشی شدن ساختمان کانی‌های شده باشد. همچنین آب اکسیژنه ممکن است باعث تبدیل ماده آلی به شکل‌های دیگری که تولید H^+ و اسیدهای آلی (خادمی و آروسنا، ۲۰۰۸) بیش‌تری می‌کنند، شده باشد. بنابراین در زمان عصاره‌گیری، پتاسیم علاوه بر این که از

لبه‌ها خارج شده، از بین لایه‌ها هم به راحتی خارج شده است. تنگ و همکاران (۱۹۹۹) و سیرگار و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که استفاده از آب اکسیژنه ممکن است باعث تخریب ساختمان برخی کانی‌های شود. کم‌ترین میزان رهاسازی مربوط به سری دلند با کم‌ترین درصد ماده آلی بود، هر چند درصد رس در این سری بیش‌ترین است. با توجه به نتایج کانی‌شناسی، همانند سری کردکوی که کم‌ترین رهاسازی را در تیمار شاهد داشت در این سری نیز کانی غالب اسمکتیت می‌باشد که بدون پتاسیم بین لایه‌ای است. رهاسازی کم این سری را می‌توان علاوه بر نوع کانی، به درصد کم ماده آلی آن نسبت داد. چرا که یکی از عوامل تولید اسیدهای آلی ماده آلی می‌باشد.

رهاسازی پتاسیم - حذف ماده آلی با هیپوکلریت سدیم: روند رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها در تیمار حذف ماده آلی با هیپوکلریت سدیم، توسط عصاره‌گیری پی در پی با اسید اگزالیک در پایان مدت آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان کل پتاسیم غیرتبادلی رها شده از خاک‌ها همانند تیمارهای شاهد و حذف با آب اکسیژنه پس از اتمام زمان عصاره‌گیری، در سری علی‌آباد بیش‌ترین بود. ولی کم‌ترین میزان مربوط به سری دلند بوده است (جدول ۴). رهاسازی کم‌تر در تیمار هیپوکلریت سدیم را نسبت به تیمار شاهد و آب اکسیژنه، می‌توان به حذف شدن بیش‌تر ماده آلی نسبت داد. زیرا مقداری از پتاسیمی که جذب مکان‌های تبادلی ماده آلی و محصور بین ماده آلی و لبه کانی‌ها بوده در مرحله حذف ماده آلی و شستشو از خاک خارج شده است. pH بالا و یون سدیم (در تیمار NaOCl) با ایجاد شرایط قلیایی و پراکنش ذرات کانی‌های رسی می‌تواند موجب در دسترس قرار گرفتن مواد آلی محبوس شده در برابر اکسیژن و حذف بیش‌تر آن شود. سیرگار و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که در تیمار حذف ماده آلی با هیپوکلریت سدیم، مقداری از پتاسیم که در سطوح کانی‌ها و سطوح مواد آلی وجود دارد به‌وسیله سدیم جابه‌جا شده و خارج می‌شود. همچنین یون سدیم شعاع هیدراته بزرگ‌تری نسبت به پتاسیم دارد. بنابراین به‌علت افزایش فاصله پتاسیم‌های درونی از لبه‌ها و قدرت جذب پتاسیم، رهاسازی با سرعت و پخشیدگی کم‌تری نسبت به دو تیمار دیگر (جدول ۵) صورت می‌گیرد (بولت و همکاران، ۱۹۶۳؛ گولدینگ، ۱۹۸۴). مقداری از پتاسیم که از فضای بین لایه‌ای رها می‌شود به‌دلیل غلظت بالای فاز محلول به‌طور مستقیم وارد فاز محلول نمی‌شود و در سایت‌های تبادلی رس و ماده آلی جذب می‌گردد. ماده آلی ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش می‌دهد (طلائی و عظیمی، ۲۰۰۷) از این‌رو با حذف ماده آلی مکان‌های تبادلی کاهش یافته و در نتیجه رهاسازی کم‌تر صورت گرفته است. به‌طورکلی اگر غلظت پتاسیم در محلول خاک از حدود ۰/۱ مول بر لیتر بیش‌تر شود، از آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی جلوگیری خواهد کرد، (اسپارکس، ۱۹۸۷؛ حسین پور، ۲۰۰۴).

جدول ۴- مقدار کل پتاسیم غیر تبادلی رها شده از خاکها در هر سه تیمار توسط اسید اگزالیک پس از ۱۸۴۴ ساعت[†].

نمونه	نام سری	شاهد	NaOCl	H ₂ O ₂	میانگین خاکها
۱	رامیان (Typic Haploxerolls)	۳۳۷ ^c	۲۷۶ ^h	۴۱۳ ^b	۳۴۱/۹ ^C
۲	دلند (Typic Clacixerepts)	۳۵۹ ^d	۲۴۷ ⁱ	۳۸۶ ^c	۳۳۰/۷ ^D
۳	علی آباد (Typic Haploxerepts)	۳۶۱ ^d	۳۲۱ ^f	۴۶۱ ^a	۳۸۰/۹ ^A
۴	کردکوی (Typic Endoaquepts)	۳۳۱ ^{ef}	۲۹۷ ^g	۴۵۷ ^a	۳۶۱/۶ ^B
میانگین تیمارها		۳۴۶/۹ ^B	۲۸۵/۱ ^C	۴۲۹/۳ ^A	

[†] حروف مشابه در سطح آماری (Lsd, $\alpha=5$ درصد) معنی دار نیست.

جدول ۵- میزان رهاسازی پتاسیم از خاکها در هر سه تیمار در دو مرحله (میلی گرم در کیلوگرم خاک).

شماره خاک	تیمار شاهد		تیمار NaOCl		تیمار H ₂ O ₂	
	پتاسیم لبه ای	پتاسیم بین لایه ای	پتاسیم لبه ای	پتاسیم بین لایه ای	پتاسیم لبه ای	پتاسیم بین لایه ای
۱	۱۴۷	۱۹۰	۱۲۵	۱۵۱	۱۹۰	۲۲۲
۲	۱۳۰	۲۲۹	۱۰۲	۱۴۵	۱۴۹	۲۳۷
۳	۱۵۵	۲۰۶	۱۳۵	۱۸۶	۲۰۷	۲۵۵
۴	۱۲۰	۲۱۱	۱۱۳	۱۸۴	۲۰۶	۲۵۱

بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم غیر تبادلی از خاکها با استفاده از معادلات سینتیکی: چهار معادله سینتیکی شامل معادله مرتبه اول، توانی، الویچ ساده شده و پخشیدگی پارابولیکی جهت بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم از خاکها مورد برازش قرار گرفتند.

خطای معیار تخمین و ضرایب تبیین مربوط به معادلات مختلف برازش شده جهت بررسی سرعت رهاسازی پتاسیم در خاکهای مختلف در هر سه تیمار توسط اسید اگزالیک در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می دهند که در هر سه تیمار، معادلات پارابولیک و الویچ دارای ضریب تبیین بیشتر و خطای معیار تخمین کمتری بود و در نتیجه به طور رضایت بخشی روند رهاسازی را توجیه کردند.

در خاکهایی که سرعت آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی از معادله مرتبه اول و پخشیدگی پیروی می کند، آزاد شدن پتاسیم غیر تبادلی از فرآیند پخشیدگی پیروی می نماید (مارتین و اسپارکس، ۱۹۸۳؛

فانینگ و همکاران، ۱۹۸۹؛ سرینواسارائو و همکاران، ۲۰۰۰). شیب معادله الوویچ بیانگر سرعت رهاسازی پتاسیم بین لایه‌ای می‌باشد (منگل و همکاران، ۱۹۹۸). جلالی (۲۰۰۶) نشان داد که معادلات الوویچ، نمائی و انتشار هذلولی آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی را در برخی خاک‌های آهکی غرب ایران بهتر توصیف می‌کنند. همان‌طور که ذکر شد میزان کل پتاسیم رها شده از خاک‌های تیمار شاهد در مقایسه با تیمار حذف ماده آلی با آب اکسیژنه کم‌تر و در مقایسه با حذف ماده آلی با هیپوکلریت سدیم بیش‌تر بود. از طرفی معادلات پارابولیک و الوویچ بهترین معادلات بودند. روند تغییرات شیب این معادلات که همان سرعت رهاسازی پتاسیم می‌باشد، تأکید بر روند بالا دارد. به این صورت که بیش‌ترین شیب مربوط به تیمار حذف ماده آلی با آب اکسیژنه و کم‌ترین شیب مربوط به حذف ماده آلی با هیپوکلریت سدیم می‌باشد. همچنین بیش‌ترین شیب معادلات در بین خاک‌ها مربوط به سری علی‌آباد و کم‌ترین مربوط به سری دلند می‌باشد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

آب اکسیژنه توان کمی برای حذف ماده آلی داشت و هیپوکلریت سدیم در این زمینه بهتر عمل کرد. ماده آلی نقش معنی‌داری در آزاد شدن پتاسیم داشت. زیرا وقتی ماده آلی حذف گردید، میزان پتاسیم رها شده کاهش یافت. این امر نشان می‌دهد که پتاسیم قابل ملاحظه‌ای در این بخش نگهداری می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که ماده آلی اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر میزان شکل‌های شیمیایی پتاسیم و همچنین سینتیک رهاسازی پتاسیم دارد. اثر مستقیم ماده آلی شامل جذب سطحی پتاسیم رها شده از شکل غیرتبادلی و پتاسیمی که از طریق کوددهی به خاک اضافه می‌شود، بر روی سطوح تبادلی این مواد و تشکیل کمپلکس‌های پتاسیم-ماده آلی محلول در آب می‌باشد. اثرات غیرمستقیم ماده آلی بر پتاسیم می‌تواند از طریق تأثیر آن بر pH و تولید اسیدهای آلی که نقش بسیار مهمی در جذب و رهاسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار ایفا می‌کنند، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی که باعث افزایش سطوح جذب پتاسیم و میزان پتاسیم رها شده می‌شوند، بسته شدن دهانه رس‌ها و کاهش تثبیت (گاهی افزایش تثبیت) و رهاسازی پتاسیم از فرم غیرتبادلی باشند. همچنین میزان ماده آلی بیش‌تر، جمعیت میکروبی فعال‌تری را موجب خواهد شد و به‌دنبال آن تولید اسیدهای آلی (خادمی و آروسنا، ۲۰۰۸) که باعث می‌شود که پتاسیم به فرم قابل دسترس‌تری در ریزوسفر برای گیاه تبدیل شود. موریس و همکاران (۱۹۹۰) نیز چنین نظریه‌ای را درباره آهن گزارش کردند.

جدول ۶- ثابت‌های معادلات رها سازی پتاسیم در خاک‌های عصاره‌گیری شده با اسید آزتالیک.

شماره خاک	تیمار	معادله پخشیدگی						معادله الوریج						معادله مرتبه اول						معادله توانی	
		a	b	SE	R ²	a	b	SE	R ²	a	b	SE	R ²	a	b	SE	R ²				
۱	شاهد	۰/۹۸	۱۲/۵	۰/۹۸	۱۲/۵	۰/۹۱	۴۸/۵	۶/۸	۱۲/۵	۰/۹۱	۴۸/۵	۳۹/۹	-۳۹/۹	۰/۹۹	۲۰۸۳	۱۰۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰
	NaOCl	۰/۹۹	۵/۲	۰/۹۹	۱۳/۹	۰/۹۹	۳۷/۲	۳/۷	۳/۱۳	۰/۹۹	۳۷/۲	۳/۷	-۳/۷	۰/۹۹	۶/۸۱	۱۰۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰
۲	شاهد	۰/۹۹	۷/۲	۰/۹۹	۱۹/۷	۰/۹۹	۴۰/۳	۳/۷	۳/۱۳	۰/۹۹	۳۷/۲	۳/۷	-۳/۷	۰/۹۹	۶/۸۱	۱۰۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰
	NaOCl	۰/۹۹	۷/۲	۰/۹۹	۱۹/۷	۰/۹۹	۴۰/۳	۳/۷	۳/۱۳	۰/۹۹	۳۷/۲	۳/۷	-۳/۷	۰/۹۹	۶/۸۱	۱۰۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰
۳	شاهد	۰/۹۹	۱۷/۵	۰/۹۹	۳۲/۵	۰/۹۹	۳۳/۶	۱/۷	۳۳/۶	۰/۹۹	۳۳/۶	۱/۷	-۱/۷	۰/۹۹	۲۲/۴	۵۱۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰
	NaOCl	۰/۹۹	۱۷/۵	۰/۹۹	۳۲/۵	۰/۹۹	۳۳/۶	۱/۷	۳۳/۶	۰/۹۹	۳۳/۶	۱/۷	-۱/۷	۰/۹۹	۲۲/۴	۵۱۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰
۴	شاهد	۰/۹۹	۶/۶	۰/۹۹	۱۷/۵	۰/۹۹	۳۲/۵	۱/۷	۳۳/۶	۰/۹۹	۳۳/۶	۱/۷	-۱/۷	۰/۹۹	۲۲/۴	۵۱۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰
	NaOCl	۰/۹۹	۶/۶	۰/۹۹	۱۷/۵	۰/۹۹	۳۲/۵	۱/۷	۳۳/۶	۰/۹۹	۳۳/۶	۱/۷	-۱/۷	۰/۹۹	۲۲/۴	۵۱۰۰/-	۰/۹۹	۵/۵۶	۲۰۳۳	۶/۸۱	۳۳/۰

منابع

1. Anderson, J.U. 1963. An improved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. *Clays Clay Miner.* 10: 380-388.
2. Bolt, G.A., Summer, M.E. and Kamphorst, A. 1963. A study of the equilibria between three categories of potassium in an illitic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 27: 294-299.
3. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
4. Chapman, H.D. 1965. Cation Exchange Capacity, P 891-901. In: Black, C.A. (ed.). *Method of soil analysis, Part 2.* American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
5. Cheshire, M.V., Dumat, C., Fraser, A.R., Hiller, S. and Staunton, S. 2000. The interaction between SOM and soil clay minerals by selective removal and controlled addition of organic matter. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 497-509.
6. Cox, A.E., Joern, B.C., Brouder, S.M. and Gao, D. 1999. Plant- available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 902-911.
7. Davidson, E.A. and Ackerman, I.L. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20: 161-193.
8. Dhillon, S.K. and Dhillon, K.S. 1990. Kinetics of release of non-exchangeable potassium by cation-saturated resins from Red (Alfisols), Black (Vertisols) and Alluvial (Inceptisols) soils of India. *Geoderma.* 47: 283-300.
9. Ebrahimi, S., Bahrami, H.A. and Malakouti, M.J. 2005. The role of organic matters on the improvement of soil C/N ratio. Technical Bulletin No. 448. Sana Pub. Iran, 21p. (In Persian)
10. Evangelou, V.P. and Blevins, R.L. 1988. Effect of long-term tillage systems and nitrogen addition on potassium Quantity-Intensity relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1047-1054.
11. Evangelou, V.P., Karathanasis, A.D. and Blevins, R.L. 1986. Effect of soil organic matter accumulation on potassium and ammonium quantity-intensity relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 378-382.
12. Fanning, D.S., Keramidase, V.Z. and EI-Desoky, M.A. 1989. Mica, P 551-634. In: J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.). *Mineral in Soil Environment.* SSSA, Madison, WI.
13. Goulding, K.W.T. 1984. The availability of potassium in soil to crops as measured by its release to a calcium-saturated cation exchange resin. *J. Agric. Sci. Camb.* 103: 265-275.
14. Gregorich, E.G., Greer, K.J., Anderson, D.W. and Liang, B.C. 1998. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil Tillage Res.* 47: 291-302.

15. Haghnia, Gh.H. 1995. Soils an introduction. Ferdusi University Press, Mashhad, Iran, 630p. (In Persian)
16. Havlin, J.L., Westfall, D.G. and Olsen, S.R. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 371-376.
17. Hosseinpour, A. 2004. Application of kinetic models in describing non-exchangeable potassium release in some soils of Hamadan. *J. Sci. Technol. Agric. Nat. Resour. (JSTNAR)*, 8: 85-93. (In Persian)
18. Hundal, I.S. and Pasricha, N.S. 1993. Non-exchangeable potassium release kinetics in illitic soil profiles. *Soil Sci.* 156: 34-41.
19. Jalali, M. 2005. Release kinetics of non-exchangeable potassium in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1903-1917.
20. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma.* 135: 63-71.
21. Kelly, E.F., Chadwick, O.A. and Hilinski, T.E. 1998. The effect of plants on mineral weathering. *Biogeochemistry*, 42: 21-53.
22. Khademi, H. and Arocena, J.M. 2008. Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils. *Clays Clay Miner.* 56: 429-436.
23. Kittrick, J.A. and Hope, E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 37: 201-205.
24. Knudsen, D., Peterson, G.A. and Partt, P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium, P 403-429. In: A.L. Page et al. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2., 2nd. ed., Agronomy. No. 9, ASA-SSA, Madison, WI.*
25. Kononova, M.M., Aleksandrova, I.V. and Titova, N.A. 1964. Decomposition of silicates by organic substances in the soil. *Pochovovedenie*, 10: 1-12. (English translation, *Soviet Soil Science*: 10: 1005-1014)
26. Lopez-Pineiro, A. and Garcia Navarro, A. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized Vertisols of southwestern Spain. *Soil Sci.* 162: 912-918.
27. Mahdavi, Sh. 2002. Kinetics of non-exchangeable potassium release and it's correlation with plant uptake in dominant soils series in Hamedan Province. M. Sc. Thesis in Soil Science. Soil Science Department. University of Tehran, 140p. (In Persian)
28. Malakouti, M.J. and Homae, M. 2005. Soil fertility of arid and semi-arid regions " Difficulties and Solutions. 2nd ed. Tarbiat Modarres University. 508p. (In Persian)
29. Martin, H.W. and Sparks, D.L. 1983. Kinetics of non-exchangeable potassium release from two coastal plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 883-887.
30. Mengel, K. and Uhlenbecker, K. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by reye grass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 761-766.
31. Mengel, K., Rahmtullah and Dou, H. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of loess-driven soils. *Soil Sci.* 163: 805-813.

32. Mikutta, R., Kleber, M., Kaiser, K. and Jahn, R. 2005. Review: organic matter removal from soils using Hydrogen peroxide, Sodium hypochlorite, and Disodium peroxodisulfate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 120-135.
33. Morris, D.R., Loeppert, R.H. and Moore, T.J. 1990. Indigenous soil factors influencing iron chlorosis of soybean in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1329-1336.
34. Mortland, M. 1958. Kinetics of potassium release from biotite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 22: 503-508.
35. Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed., Agronomy Monographs, No. 9. ASA-SSA, Madison, WI. USA, 1159p.
36. Parker, D.R., Sparks, D.L., Hendricks, G.Y. and Sadosky, M.C. 1989. Potassium in Atlantic coastal plain soil. I: Soil characterization and distribution of potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 392-396.
37. Pohlman, A.A. and Mccoll, J. 1986. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic Acids. *J. Environ. Qual.* 15: 86-92.
38. Rasmussen, R.A., Borggaard, O.K., Hansen, H.C.B. and Olsson, M. 1998. Effect of natural organic soil solutes on weathering rates of soil minerals. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 397-406.
39. Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and application*. Longman Scientific and Technical. Harlow, Essex, UK, 350p.
40. Siregar, A., Kleber, M., Mikutta, R. and John, R. 2005. Sodium hypochlorite oxidation reduces soil organic matter concentrations without affecting inorganic soil constituents. *Eur. J. Soil Sci.* 56: 481-490.
41. Soil survey staff. 2006. *Keys to soil taxonomy*. 10th ed. USDA and NRCS, USA, 332p.
42. Song, S.K. and Huang, P.M. 1988. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 383-390.
43. Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil. Sci.* 6: 1-63.
44. Sparks, D.L. and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium, P 201-276. In: R. Munson (ed.). *Potassium in Agriculture*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wis. USA.
45. Srinivasa Rao, C., Datta, S.P., Subba Rao, A., Sing, S.P. and Takkar, P.N. 1997. Kinetics of non-exchangeable potassium release by organic acids from mineralogically different soils. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 45: 728-734.
46. Srinivasa Rao, C., Subba Rao, A. and Rupa, T.R. 2000. Plant mobilization of soil reserve potassium from fifteen smectitic soils in relation to soil test potassium and mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 165: 578-586.

47. Talaei, R. and Azimi, F. 2007. Investigation on Land use and farm and range lands effect in Sabalan sub-watersheds on K leaching, P 1234-1235. In: Proceeding of 10th. Iranian Soil Sciences Congress. Karaj, Iran. (In Persian)
48. Talibudeen, O., Beasley, J.D., Lane, P. and Rajendran, N. 1978. Assessment of soil potassium reservoirs available to plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 29: 207-218.
49. Theng, B.K.G., Ristori, G.G., Santi, C.A. and Percival, H.J. 1999. An improved method for determining the specific surface areas of topsoils with varied organic matter content, texture and clay mineral composition. *European J. Soil Sci.* 50: 309-316.
50. Tofiqi, H. 1997. Potassium kinetics release from rice field soils of Iran North. Comparison and assessment first order, zero order and parabolic diffusion kinetics model. *Iranian J. Agric. Sci.* 26: 27-41. (In Persian)
51. Ugolini, F.C. and Sletten, R.S. 1991. The role of proton donors in pedogenesis as revealed by soil solution studies. *Soil Sci.* 151: 51-75.
52. Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
53. Zarabi, M., Jalali, M. and Mahdavi-Hajiloyi, Sh. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release by malic acid in selected soils of Hamadan Province. *Iranian J. Agric. Sci.* 27: 951-964. (In Persian)
54. Zaernomeli, S. 2007. Distribution of the different k pools and its relation with soil profile development and clay mineralogy in some selected soils of Golestan province. M.Sc. Thesis in Soil Science. Soil Science Department. Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, 132p. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 17(3), 2010

www.gau.ac.ir/journals

The impact of soil organic matter (SOM) removal on availability and release of non-exchangeable potassium (NEK) in loessial soils of Golestan province

***E. Dordipour¹ and M. Bahreini Touhan²**

¹Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of

Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2009/06/29; Accepted: 2010/08/07

Abstract

Soil organic matters (SOM) like soil mineral components also play an important role in soil chemistry. Soils responses are affected by the type and quantity of SOM. Decomposition of SOM is the most important factor in the production of acids in soil, which cause weathering of clay minerals (main resource of NEK) and releasing NEK. Besides the NEK quantity, the rate of potassium release and its availability in plant growth period are significantly important. The experiment was carried out as a factorial in completely randomized design including two factors, with three replications. First factor included four dominant soil series of Golestan province and the second factor contained blank, removal of SOM through H₂O₂ and NaOCl treatments. The results showed that NaOCl removed more SOM than H₂O₂. This means that H₂O₂ has less ability in the removal of SOM. The rate of NEK release was determined in soils with and without SOM. Kinetic experiments results indicated that total quantity of NEK from the soils in all treatments was maximum in Aliabad series at the end of extraction. The rates of NEK release were minimum at blank in Kordkoy series and in both SOM removed treatments in Daland series. More K was released in all soils in H₂O₂ removed treatment; whereas less K was released in NaOCl treatment. Consequently, SOM has direct and indirect effects on the chemical forms of K quantity and its kinetic release.

Keywords: Potassium, SOM, Organic acids, Kinetic release

* Corresponding Author; Email: e.dordipour@yahoo.com