

تثبیت پتاسیم و ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌های رسی خاک‌های آهکی دشت کاکان، استان کهگیلویه و بویراحمد

سیروس شاکری^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷)

چکیده

تثبیت پتاسیم از جمله مهم‌ترین فرایندهایی است که بر قابلیت دسترسی این عنصر برای گیاهان تأثیر دارد. این پژوهش به منظور بررسی ارتباط تثبیت پتاسیم با برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و کانی‌های رسی و همچنین اثر تری و خشکی متناوب بر میزان تثبیت پتاسیم در اراضی دشت کاکان استان کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار تثبیت پتاسیم، چهار سطح پتاسیم به نمونه‌ها اضافه شد و این نمونه‌ها به صورت متوالی ۲۴ ساعت تکان و پس از آن، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شدند. این عمل سه بار تکرار شد. دسته دیگری از نمونه‌ها نیز به همین روش مورد تیمار قرار گرفتند اما به جای قرار گرفتن در آون و خشک شدن، در دمای اتاق به حالت تعادل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح پتاسیم افزوده شده به خاک، مقدار تثبیت افزایش ولی درصد تثبیت پتاسیم کاهش می‌یابد. همچنین تثبیت پتاسیم در حالت عادی و تری و خشکی با ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار رس همبستگی مثبت و با کربن آلی در هر دو حالت همبستگی منفی نشان داد. این نتایج همچنین نشان داد که با افزایش مقدار اسمکتایت، میزان تثبیت پتاسیم در هر دو حالت عادی و تری و خشکی افزایش می‌یابد. همچنین افق‌های سطحی به دلیل داشتن ماده آلی بیشتر و اسمکتایت کمتر، مقدار کمتری پتاسیم تثبیت کردند.

واژه‌های کلیدی: اسمکتایت، تثبیت پتاسیم، تری و خشکی، دشت کاکان، کربن آلی

۱. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: shakeri@pnu.ac.ir

مقدمه

یکی از اولین مشاهدات ثبت شده در مورد تثبیت پتاسیم مربوط به مطالعات دیر در روتامستد است (۱۲). وی شکل‌های قابل استفاده پتاسیم گیاه را استخراج و مشاهده کرد که بخشی از پتاسیم اضافه شده به خاک به‌عنوان کود، به شکل‌های دیگر تبدیل شده و در محلول اسید سیتریک یک درصد حل نشده و خارج نمی‌شود. تثبیت پتاسیم توسط محققان مختلف تعریف شده است. ترو و تامسون، بیان می‌کنند که تثبیت پتاسیم، تغییر مکان یون‌های پتاسیم از محلول خاک به شکل‌های معدنی است (۳۶). گریم تثبیت پتاسیم را قرار گرفتن پتاسیم در فضای بین لایه‌ای کانی‌های سیلیکاتی ۲:۱ می‌داند که این فرایند با از دست دادن آب یون‌هایی نظیر پتاسیم به هنگام نزدیک شدن به لایه‌های مجاور سیلیکات‌های لایه‌ای فعال می‌شود (۱۴). بعضی از پژوهشگران محدودیت‌های بیشتری را برای تعریف پتاسیم تثبیت شده ارائه می‌دهند، مثل تفاوت بین پتاسیم بین لایه‌ای بومی خاک (مثل پتاسیم موجود در میکای اولیه) و پتاسیم بین لایه‌ای غیربومی (مثل پتاسیم تثبیت شده از محلول خاک). دلایل آنها برای این تعاریف، سینتیک آزادسازی این دو نوع پتاسیم است؛ زیرا مشاهدات نشان داده که پتاسیم بین لایه‌ای بومی خاک تمایل کمتری به آزاد شدن، نسبت به پتاسیم بین لایه‌ای غیربومی خاک‌ها، نشان می‌دهد (۴).

عوامل متعددی بر روی تثبیت پتاسیم مؤثرند. این عوامل شامل نوع و مقدار رس در خاک، تری و خشکی، یخ زدن و ذوب شدن، pH خاک، کاربرد کودهای پتاسیمی، مقدار رطوبت خاک و غلظت پتاسیم در مقایسه با سایر کاتیون‌ها مانند کلسیم و منیزیم هستند (۳۳ و ۸). همچنین اثر ماده آلی خاک بر فرایند تثبیت پتاسیم در خاک‌ها نیز اثبات شده است. مکانیسم تأثیر ماده آلی به‌طور کامل مشخص نشده است و نظرات مختلفی توسط محققان مختلف ارایه شده است. جانشین پتاسیم بین لایه‌ای توسط بخش آمونیمی ملکول‌های آلی (۲۴)، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (۲۰) و نهایتاً انحلال کانی‌های حاوی پتاسیم و آزادسازی این عنصر از آنها (۳۵) از جمله

نظریه‌های پژوهشگران در مورد چگونگی تأثیر مواد آلی بر کاهش تثبیت پتاسیم خاک‌ها است. از سه کانی مسؤل تثبیت پتاسیم در خاک معمولاً ورمی‌کولیت، مسؤل تثبیت پتاسیم در خاک‌های اسیدی است و میکاهای هوا دیده هم در شرایط خشکی و هم مرطوب پتاسیم را تثبیت می‌کند؛ درحالی‌که اسمکتایت‌ها فقط در شرایط خشکی باعث تثبیت پتاسیم می‌شوند (۳۳). مشخص شده است که کانی‌های ورمی‌کولیت و اسمکتایت، به دلیل دارا بودن سطح ویژه بیشتر و همچنین بار منفی لایه‌ای بیشتر در مقایسه با سایر کانی‌های ۲:۱ توانایی تثبیت پتاسیم بیشتری را دارند (۸).

پژوهشگران زیادی ارتباط بین دهیدراتاسیون فضا‌های بین لایه‌ای کانی‌ها و تثبیت پتاسیم را گزارش کرده‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که نمونه‌هایی که دائماً مرطوب بودند نسبت به نمونه‌هایی که تیمار خشکی یا حرارت داشتند، تمایل کمتری برای تثبیت پتاسیم نشان دادند. این الگو برای خاک‌های گوناگون و کانی‌های رسی متفاوت برای پتاسیم و آمونیم انجام و نتایج آنها اثبات شده است (۶ و ۵). مارتین و همکاران این باور را داشتند که علت افزایش تثبیت پتاسیم در تیمار خشکی به دلیل افزایش غلظت نمک‌های محلول است (۲۱). ولی محققان دیگر از جمله ولک، با انجام آزمایشی مبنی بر افزایش پتاسیم در محلول خاک، مشاهده کردند که بدون تیمار خشکی تثبیتی انجام نمی‌شود و نتیجه گرفتند که تأثیر تیمار خشکی بر تثبیت پتاسیم بسیار بیشتر از افزایش غلظت پتاسیم محلول خاک است (۳۷). همچنین تری و خشکی متناوب نمونه‌ها باعث افزایش تثبیت پتاسیم اضافه‌شده به خاک می‌شود؛ به طوری‌که با افزایش تعداد چرخه تری و خشکی، مقدار تثبیت نیز افزایش می‌یابد. درحالی‌که دهیدراتاسیون برای تثبیت پتاسیم لازم است، حضور آب نیز برای فراهم کردن شرایط پخشیدگی پتاسیم به درون لایه‌های کانی‌ها مورد نیاز است. رس و همکاران، با خوابانیدن نمونه‌ها و بررسی اثر تری و خشکی بر تثبیت، گزارش کردند که در خاک‌های مطالعه شده، خشک شدن باعث افزایش پتانسیل تثبیت پتاسیم شده است (۳۰). در ایران نیز پدیده تثبیت پتاسیم و همچنین

عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و پیمایش میدانی، اقدام به تفکیک واحدهای فیزیوگرافی شد و بر روی هر واحد، یک خاک‌رخ حفر و از افق‌های مختلف 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 (۷)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۱۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم (۳۴)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با بیکرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ و تیتراسیون بی‌کرومات پتاسیم باقی‌مانده با فروآمونوم سولفات (۲۵)، بر روی نمونه‌ها انجام شد. همچنین، پتاسیم تبدالی از طریق عصاره‌گیری با استات آمونیم یک مولار در pH هفت (۲۲) و پتاسیم اسید نیتریک با اسید نیتریک جوشان یک مولار (۲۹) انجام شد.

برای اندازه‌گیری مقدار تثبیت پتاسیم، پنج گرم از نمونه‌های خاک در لوله‌های سانتریفوژ ریخته شد و پس از افزودن چهار سطح پتاسیم (۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) نمونه‌ها به‌صورت متوالی ۲۴ ساعت تکان داده و سپس ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شدند. این عمل سه بار تکرار شد. دسته دیگری از نمونه‌ها نیز به همین روش مورد تیمار قرار گرفتند اما به‌جای قرار گرفتن در آون و خشک شدن، در دمای اتاق به حالت تعادل قرار گرفتند و سعی شد تبخیری از آنها صورت نگیرد (۱۳ و ۱۰). سپس نمونه‌ها با استات آمونوم یک مولار سه مرتبه عصاره‌گیری شدند و عصاره‌های حاصل پس از به حجم رسیدن، برای اندازه‌گیری پتاسیم به روش شعله‌سنجی نگاه‌داری شد. مقدار پتاسیم تثبیت شده نیز از رابطه زیر محاسبه شد.

پتاسیم تثبیت شده = (پتاسیم اضافه شده + پتاسیم بومی خاک) - پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم

برای آماده سازی نمونه‌ها برای تجزیه کانی‌های رسی، روش‌های مهرا و جکسون (۲۳)، کیتریک و هوپ (۱۸) و جکسون (۱۶) برای از بین بردن عوامل شیمیایی سیمانی کننده و جدا شدن ذرات رس از یکدیگر مبنای عمل قرار گرفت. ابتدا

عوامل مؤثر بر آن در بعضی از نقاط کشور توسط محققان مختلف بررسی شده است (۱، ۲، ۳، ۱۳).

با توجه به اینکه تثبیت پتاسیم از جمله مهم‌ترین فرایندهایی است که بر قابلیت دسترسی این عنصر برای گیاهان تأثیر دارد و شرایط محیطی مانند تری و خشکی و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و نوع کانی‌های رسی می‌توانند بر فرایند تثبیت تأثیر داشته باشند، بنابراین این پژوهش، به‌منظور بررسی ارتباط تثبیت پتاسیم با برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و کانی‌های رسی و همچنین اثر تری و خشکی متناوب بر میزان تثبیت پتاسیم در دشت کاکان استان کهگیلویه و بویراحمد انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و ویژگی‌های منطقه

دشت کاکان به وسعت ۲۸۰۰ هکتار و به فاصله تقریبی ۳۵ کیلومتر از شرق شهرستان یاسوج و در محدوده جغرافیایی "۳۱° ۴۷' ۵۱" تا "۴۵° ۵۰' ۵۱" طول شرقی و "۳۱° ۳۳' ۳۰" تا "۴۰° ۱۲' ۳۸" عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۲۲۳۰ متر، حداکثر ارتفاع ۲۳۷۵ متر و حداقل ارتفاع ۲۲۰۸ متر از سطح دریا، با عرض متوسط دو کیلومتر و طول ۱۲/۵ کیلومتر است. بررسی وضعیت آب و هوایی منطقه با استفاده از آمار هواشناسی ایستگاه‌های تبخیرسنجی کهمر (واقع در دشت کاکان) و سینوپتیک یاسوج انجام شد. براساس اطلاعات هواشناسی، دشت مورد مطالعه دارای زمستان‌های مرطوب و خیلی سرد و یخبندان و تابستان‌های خشک و معتدل است که طبقه‌بندی اقلیم آن براساس دومارتن بسیار مرطوب و به روش آمبرژه مرطوب است. میانگین بارندگی سالانه حدود ۱۰۰۹ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی منطقه به‌ترتیب زیریک و مزیک است.

روش انجام مطالعه

برای انجام این مطالعه، ابتدا براساس اطلاعات به‌دست آمده از

جدول ۱. موقعیت و طبقه‌بندی خاک‌های منطقه براساس سیستم جامع طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) و فانو (WRB)

USDA (2014)	WRB (2014)	فیزیوگرافی	شماره خاک‌رخ
Fine, carbonatic, mesic, Typic Calcixeralfs	Haplic Calcisols	دشت مرتفع	۱
Fine, smectitic(calcareous), mesic, Calcic Haploxeralfs	Fluvisol Calcic Luvisols	دشت مرتفع	۲
Fine, carbonatic, mesic, Typic Haploxeralfs	Clayic Haplic Luvisols	دشت دامنه‌ای	۳
Fine, carbonatic, mesic, Aquic Haploxeralfs	Gleyic Haplic Luvisols	دشت دامنه‌ای	۴
Fine, smectitic(calcareous), mesic, Typic Haploxerolls	Cambic Loamic Haplic Kastanozems	دشت دامنه‌ای	۵
Fine, smectitic(calcareous), mesic, Typic Argixerolls	Luvic Chernozems	دشت دامنه‌ای	۶

مقابل هوادیدگی، خاک‌های متنوعی تشکیل شده است. با توجه به آمارهای هواشناسی، میزان ریزش‌های جوی به اندازه‌ای است که می‌تواند در شست‌وشوی املاح محلول و انتقال کربنات‌ها، سولفات‌ها و رس‌های ریز و تجمع مواد آلی و در نتیجه در تکامل خاک‌ها مؤثر باشد. البته با وجود ریزش‌های جوی قابل توجه، میزان آن به اندازه‌ای نیست که بتواند خاک‌ها را اسیدی و کربنات‌ها را از نیم‌رخ خاک خارج کند. لذا خصوصیات خاک‌ها تا حدی از ترکیبات مواد مادری تبعیت می‌کند. به نظر می‌رسد میزان زیاد آهک مانع تکامل و اسیدی شدن خاک‌ها شده است. در تشکیل خاک‌های این منطقه عامل اقلیم بیش از سایر عوامل تشکیل دهنده خاک مؤثر بوده و عامل توپوگرافی تا اندازه‌ای در اندازه ذرات، نوع و توزیع مواد آلی، نوع افق‌های مشخصه و درجه تکامل خاک‌رخی مؤثر بوده است. در حقیقت، نسبت به سایر مناطق مدیترانه‌ای جنوب ایران، عامل توپوگرافی اهمیت کمتری دارد. تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه در جدول (۲) آورده شده است.

کانی شناسی

فراوانی نسبی کانی‌های رسی در خاک‌های منطقه کاکان در جدول (۳) آورده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، کانی اسمکتیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی موجود در خاک‌های منطقه است. منطقه مورد مطالعه دارای بارندگی زیاد است و شرایط برای تغییرات کانی‌های اولیه و تبدیل آنها به کانی‌هایی مانند اسمکتایت کافی به نظر می‌رسد. خاک‌رخی‌های واقع در بخش‌های پست منطقه دارای بافت ریز و شرایط زهکشی نامناسب هستند. بنابراین، می‌توان منشأ نوتشکیلی را با توجه به شرایط زهکشی و

کربنات‌های خاک با استفاده از محلول نرمال استات سدیم (۵ pH) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در حمام بخار خارج شدند. برای حذف ماده آلی، آب اکسیژنه ۳۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت. طی این مرحله دی‌اکسید منگنز نیز حذف می‌شود. سپس با استفاده از محلول دی‌تیونات سدیم، اکسیدهای آهن ذرات خاک نیز خارج شد. پس از جداسازی رس (۷۵۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه و سی‌ثانیه)، نمونه‌ها با منیزیم و پتاسیم اشباع و این نمونه‌ها به ترتیب با اتیلن گلیکول و دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تیمار شده و جداگانه با پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

رده‌بندی خاک‌های منطقه

به‌طور کلی، خاک‌های منطقه با توجه به افق‌های مشخصه سطحی و عمقی و همچنین رژیم‌های رطوبتی و حرارتی منطقه، در سه راسته آلفی سول‌ها، اینسپتی سول‌ها و مالی سول‌ها قرار دارند (جدول ۱). افق‌های مشخصه شامل افق‌های مشخصه سطحی اکریک و مالیک و افق‌های زیرسطحی کمبیک، کلسیک و آرجیلیک است. خاک‌های اراضی دشت کاکان با مواد مادری شدیداً آهکی و از تجزیه و هوازدهی سنگ‌های اولیه آهکی کرتاسه، دولومیت، سنگ‌های آهکی رسی، شیل و مارن در تاق‌دیس‌های سلسله کوه‌های زاگرس به‌وجود آمده‌اند و تحت تأثیر نیروی آب و ثقل به دشت منتقل و رسوب کرده‌اند. این رسوبات تحت تأثیر آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان‌های مرطوب و خیلی سرد و یخبندان و تابستان‌های خشک و معتدل با رژیم‌های رطوبتی زیریک و حرارتی مزیک و سایر عوامل خاک‌سازی قرار گرفته و بسته به جنس و مقاومت مواد مادری در

جدول ۲. تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه کاکان

شماره خاک‌رخ	افق	شماره نمونه	رس	شن	کربنات کلسیم (%)	کربن آلی	CEC (cmolc kg ⁻¹)	پتاسیم تبادلی (mg Kg ⁻¹)	پتاسیم غیر تبادلی (mg Kg ⁻¹)
۱	Ap	۱	۴۴	۲۴	۴۸	۱/۶۸	۳۰	۲۵۱	۳۴۱
	Bk ₁	۲	۳۷	۲۹	۳۷	۱/۰۸	۲۲	۹۱	۱۱۶
۲	Ap	۵	۵۳	۱۷	۲۴	۱/۲۶	۳۹	۴۰۴	۵۲۳
	Btk ₁	۷	۴۵	۲۱	۴۰	۰/۷۵	۳۱	۱۰۳	۱۴۱
۴	Ap	۱۳	۵۵	۷	۵۲	۱/۵۳	۳۵	۱۸۱	۲۳۷
	Btkg ₁	۱۴	۶۸	۴	۵۷	۰/۶	۳۴	۱۱۶	۱۸۱
	Bw ₁	۱۸	۴۵	۱۸	۴۵	۰/۸۸	۳۴	۱۶۷	۲۹۵
۵	Bw ₃	۲۰	۴۹	۸	۴۵	۰/۵۴	۴۰	۱۵۹	۲۵۱

جدول ۳. فراوانی نسبی (درصد) کانی‌های رسی در خاک‌های منطقه کاکان

خاک‌رخ	افق	کائولینیت	ایلیت	کلریت	اسمکتیت	ورمی‌کولایت	کوارتز
۱	Ap	+	+	++	+++	+	+
۱	Bk ₁	+	+	++	++++	+	+
۲	Ap	+	+	++	+++	+	+
۲	Bw	+	+	++	++++	+	+
۳	Ap	+	+	++	+++	+	+
۳	Btkg ₁	-	+	++	++++	+	+

- : جزئی یا وجود ندارد، + : کمتر از ۱۰ درصد، ++ : ۱۰-۳۰ درصد، +++ : ۳۰-۶۰ درصد، ++++ : بیشتر از ۶۰ درصد

از سطح به عمق به دلیل آب‌وهوای مرطوب منطقه عنوان نمود. در سطح خاک شرایط برای تبدیل کانی‌های دیگر مانند ایلیت و پالیگورسکیت به اسمکتیت مهیوتر است، ولی بارندگی منطقه و ریز بودن این کانی باعث انتقال آن به بخش‌های پایین‌تر خاک‌رخ شده است. مقدار کانی ورمی‌کولایت در خاک‌های منطقه کمتر از ۵ درصد است و اختلاف معنی‌داری در میزان این کانی بین افق‌های سطحی و عمقی وجود ندارد. دلیل کم بودن میزان ورمی‌کولایت در خاک‌های منطقه را می‌توان ناپایداری آن در شرایط منیزیم زیاد و pH قلیایی خاک دانست که باعث ناپایداری این کانی در شرایط تشکیل از میکا شده است و باعث می‌شود که این کانی به سرعت به اسمکتیت تبدیل شود (۱۷). برخلاف بسیاری از خاک‌های جنوب ایران که مقادیر فراوانی کانی ایلیت دارند، میزان این کانی در منطقه بسیار کم است که دلیل آن تبدیل این کانی به اسمکتیت بر اثر هوازدگی و در

همچنین pH بالا و فعالیت بالای یون سیلیس در این شرایط، یکی از مهم‌ترین دلایل فراوانی اسمکتیت در این خاک‌رخ‌ها دانست. منشأ دیگری که برای درصد بالای این کانی در اراضی پست منطقه می‌توان عنوان کرد، تبدیل کانی پالیگورسکیت به اسمکتیت است که در مناطق با بارندگی بالا این کانی تبدیل به اسمکتیت می‌شود. در این منطقه نیز در هیچ کدام از خاک‌رخ‌ها کانی پالیگورسکیت مشاهده نشد. اولیایی و همکاران در بررسی خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، زیادی اسمکتیت در خاک‌های مناطق با بارندگی کم تا متوسط را مواد مادری و سنگ مادر و در مناطق با بارندگی بیشتر، نوتشکیلی و تجزیه و تخریب سایر کانی‌ها و همچنین تبدیل پالیگورسکیت به مونت موریلونایت دانسته‌اند (۲۷). تقریباً در همه خاک‌رخ‌های مطالعه شده، میزان اسمکتیت از سطح به عمق افزایش یافته است. علت بیشتر بودن این کانی در عمق را می‌توان انتقال این کانی

جدول ۴. مقادیر و درصد پتاسیم تثبیت شده در دو حالت عادی و تری و خشکی در منطقه کاکان (mg Kg^{-1})

شماره خاکریز	شماره نمونه	پتاسیم اضافه شده (mg Kg^{-1})	عادی (mg Kg^{-1})	میانگین چهار تیمار (mg Kg^{-1})	درصد تثبیت	میانگین درصد	تری و خشکی (mg Kg^{-1})	میانگین چهار تیمار (mg Kg^{-1})	درصد تثبیت	میانگین درصد	میانگین دو تیمار (mg Kg^{-1})	درصد افزایش تثبیت تری و خشکی نسبت به عادی
	۱	۱۵۰	۷۶		۵۰		۱۲۱		۸۱		۹۸	۶۰
	۱	۳۰۰	۱۳۰		۴۲		۲۱۰		۷۰		۱۷۰	۶۲
	۱	۶۰۰	۲۱۹	۱۸۸	۳۵	۴۰	۳۹۷	۳۴۶	۶۵	۷۰	۳۰۸	۸۱
	۱	۱۰۰۰	۳۲۷		۳۳		۶۵۶		۶۵		۴۹۲	۱۰۰
۱	۲	۱۵۰	۹۳		۶۲		۱۱۳		۷۵		۱۰۳	۲۱
	۲	۳۰۰	۱۵۵		۵۲		۲۱۰		۷۰		۱۸۲	۳۶
	۲	۶۰۰	۳۰۳	۲۶۲	۵۱	۵۳	۴۱۱	۳۴۷	۶۹	۷۰	۳۵۷	۳۶
	۲	۱۰۰۰	۴۹۶		۵۰		۶۵۴		۶۵		۵۷۵	۳۲
	۵	۱۵۰	۶۶		۴۴		۱۳۴		۸۹		۱۰۰	۱۰۲
	۵	۳۰۰	۱۲۸		۴۳		۲۵۰		۸۳		۱۸۹	۹۶
	۵	۶۰۰	۲۴۷	۱۹۵	۴۱	۴۰	۴۶۴	۳۹۱	۷۷	۸۰	۳۳۵	۸۸
	۵	۱۰۰۰	۳۳۸		۳۴		۷۱۵		۷۲		۵۲۷	۱۱۲
۲	۷	۱۵۰	۱۱۲		۷۵		۱۳۱		۸۷		۱۲۲	۱۷
	۷	۳۰۰	۱۷۴		۵۸		۲۳۶		۷۹		۲۰۵	۳۵
	۷	۶۰۰	۳۲۷	۲۸۵	۵۴	۶۰	۴۶۷	۳۹۵	۷۸	۸۰	۳۹۷	۴۳
	۷	۱۰۰۰	۵۲۷		۵۳		۷۴۷		۷۵		۶۳۷	۴۲
	۱۳	۱۵۰	۸۰		۵۳		۱۲۳		۸۲		۱۰۱	۵۳
	۱۳	۳۰۰	۱۵۶		۵۲		۲۳۰		۷۷		۱۹۳	۴۸
	۱۳	۶۰۰	۲۹۳	۲۴۵	۴۹	۵۰	۴۲۵	۳۵۹	۷۱	۷۴	۳۵۹	۴۵
	۱۳	۱۰۰۰	۴۵۳		۴۵		۶۵۸		۶۶		۵۵۵	۴۵
۴	۱۴	۱۵۰	۱۲۵		۸۳		۱۳۷		۹۲		۱۳۱	۱۰
	۱۴	۳۰۰	۲۳۵		۷۸		۲۴۸		۸۳		۲۴۲	۶
	۱۴	۶۰۰	۳۹۱	۳۳۶	۶۵	۷۱	۴۷۹	۴۱۰	۸۰	۸۳	۴۳۵	۲۳
	۱۴	۱۰۰۰	۵۹۳		۵۹		۷۷۵		۷۸		۶۸۴	۳۱
	۱۸	۱۵۰	۱۱۶		۷۷		۱۳۷		۹۱		۱۳۶	۱۸
	۱۸	۳۰۰	۲۱۷		۷۲		۲۴۵		۸۲		۲۳۱	۱۳
	۱۸	۶۰۰	۳۴۷	۳۰۴	۵۸	۶۵	۴۵۸	۳۸۰	۷۶	۷۹	۴۰۲	۳۲
	۱۸	۱۰۰۰	۵۳۶		۵۴		۶۷۹		۶۸		۶۰۷	۲۷
۵	۲۰	۱۵۰	۱۲۳		۸۲		۱۳۰		۸۷		۱۲۶	۶
	۲۰	۳۰۰	۲۱۸		۷۲		۲۳۱		۷۷		۲۲۴	۷
	۲۰	۶۰۰	۴۲۷	۳۵۵	۷۱	۷۳	۴۴۲	۳۷۹	۷۴	۷۷	۴۳۵	۴
	۲۰	۱۰۰۰	۶۵۳		۶۵		۷۱۴		۷۱		۶۸۳	۹
	میانگین		۲۷۱	۲۷۱	۵۷		۳۷۶	۳۷۶	۷۷		۳۲۴	۴۲

تثبیت پتاسیم

نتایج مقدار و درصد پتاسیم تثبیت شده در تیمار عادی و تر و خشکی در جدول (۴) آورده شده است. همان طوری که مشاهده می شود، کمترین و بیشترین مقدار تثبیت پتاسیم در تیمار عادی به ترتیب در نمونه های ۱ (۱۸۸ میلی گرم در کیلوگرم) و ۲۰

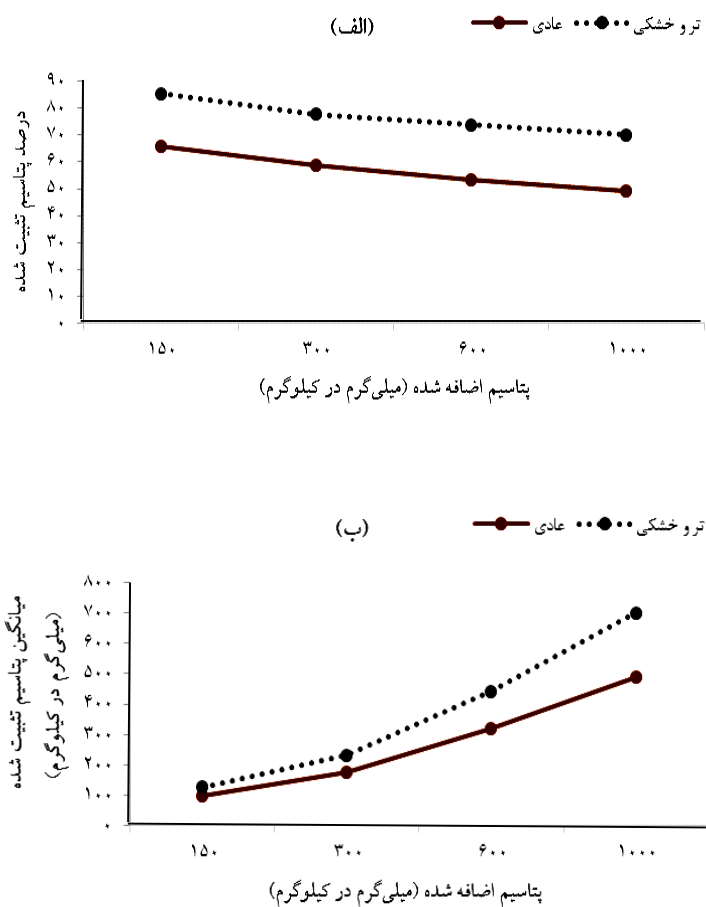
نتیجه خارج شدن پتاسیم و تبدیل شدن آن به کانی اسمکتایت است. شستشوی زیاد شرایط را برای آزاد شدن پتاسیم از میکا مساعد می کند و باعث هوادیدگی آن به کانی های ۱:۲ می شود (۱۱). منشأ کانی کلرایت و کائولینیت خاک های منطقه مانند سایر خاک های مناطق جنوب ایران ارثی است.

سیلیکات‌های لایه‌ای ظرفیت تثبیت محدودی دارند که این ظرفیت می‌تواند با برداشتن و یا اضافه کردن کاتیون‌ها در محل‌های تثبیت، افزایش و یا کاهش یابد، درصد تثبیت نیز با افزایش مقدار پتاسیم به دلیل این ظرفیت محدود کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال، خاک‌های کود داده شده وقتی به آزمایشگاه آورده می‌شوند، تمایل کمتری نسبت به خاک‌های کود داده نشده برای تثبیت پتاسیم دارند. سیمونسون و همکاران، با بررسی نقش افزودن پتاسیم از طریق کوددهی بر تثبیت پتاسیم نتیجه گرفتند که مقدار ایلیت (هم ایلیت جدا و هم ایلیت موجود در ساختار کانی‌های لایه‌ای مخلوط) در جزء رس خاک‌ها، در خاک‌هایی که کود پتاسیم بیشتری دریافت کرده بودند، نسبت به خاک‌هایی که پتاسیم کمتری به آنها اضافه شده بود، بیشتر بود (۳۲). همچنین آنها دریافتند که کانی‌های رسی در خاک‌های حاوی کلسیت و یا خاک‌های محتوی کانی‌های اولیه قابل تجزیه و تخریب در بخش رس از شرایط متلاطم و پویا محافظت شده و پتاسیم را به‌راحتی و به‌طور برگشت‌پذیر آزاد و تثبیت می‌کنند. درحالی‌که در خاک‌های فاقد این شرایط، این فرایند برگشت‌ناپذیر است. بستانی و ثوابی با بررسی ظرفیت تثبیت پتاسیم در منطقه خوزستان، برخلاف سایر پژوهشگران، گزارش کردند که با افزایش غلظت پتاسیم افزوده شده به خاک هم مقدار و هم درصد تثبیت افزایش یافته است (۱). آنها بیان کردند که کاهش درصد تثبیت پتاسیم اغلب در آزمایش‌های کوتاه‌مدت حداکثر چند روز حاصل شده است و با توجه به اینکه مراحل تثبیت پتاسیم با مهاجرت یون‌های پتاسیم از لبه‌ها و سطوح به طرف قسمت‌های درونی کانی گسترش می‌یابد و به‌علت کندی این مراحل، مقدار یونی که تثبیت می‌شود، بسته به مقدار مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم و درصد اشباع پتاسیم خاک با زمان، افزایش می‌یابد. با اضافه نمودن پتاسیم به یک خاک تخلیه شده، یون‌های پتاسیم بلافاصله در لبه‌ها و سطوح قرار می‌گیرند. در نتیجه، در کوتاه‌مدت، مانع ورود یون‌های پتاسیم به قسمت‌های درونی کانی می‌شوند.

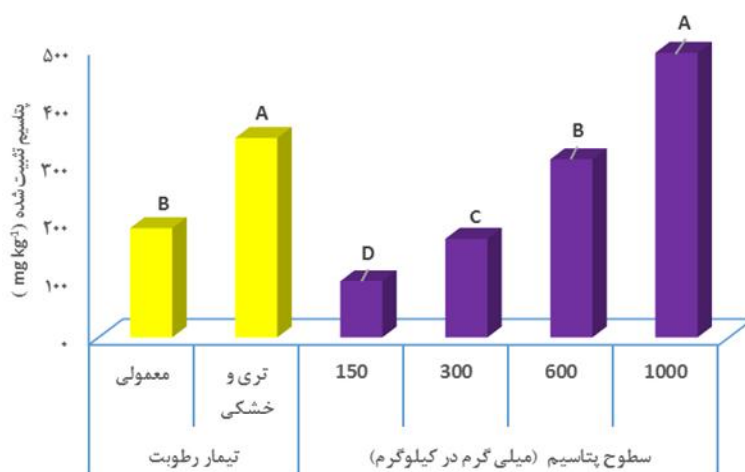
(۳۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. در تیمار تری و خشکی، به ترتیب نمونه‌های ۱ (۳۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ۱۴ (۴۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کمترین و بیشترین مقدار تثبیت را داشتند. میانگین تثبیت نمونه‌ها در تیمار عادی ۲۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و در تیمار خشکی و تری ۳۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که ۴۲ درصد بیشتر از حالت عادی تثبیت پتاسیم انجام شده است. خاک‌های منطقه دارای ایلیت بسیار کمی است و اسمکتایت کانی غالب منطقه است. وجود اسمکتایت‌های با بار لایه‌ای بالا باعث شده است که خاک‌های حاوی اسمکتایت بیشتر، مقدار بیشتری از پتاسیم را بین لایه‌های خود جذب کنند. نمونه‌های ۲۰، ۱۴ و ۱۸ که بیشترین تثبیت را در حالت عادی داشته‌اند، افق‌های زیرسطحی هستند که اسمکتایت بیشتری نسبت به افق‌های سطحی دارند.

تأثیر سطوح مختلف پتاسیم بر مقدار تثبیت

جدول (۴) و شکل (۱) نشان می‌دهند که با افزایش سطح پتاسیم افزوده شده به خاک، مقدار تثبیت افزایش ولی درصد تثبیت پتاسیم کاهش دارند. همچنین نتایج تجزیه آماری نیز نشان داد که بین سطوح پتاسیم افزوده شده با تثبیت پتاسیم و همچنین تیمار عادی و تری و خشکی با مقدار تثبیت، اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲). این نتایج نشان می‌دهد که در همه نمونه‌ها کاربرد متفاوت سطوح پتاسیم باعث افزایش تثبیت شده است. در واقع با افزایش مقدار پتاسیم در خاک، تعادل پتاسیم به سمت چپ پیش می‌رود و مقدار بیشتری پتاسیم تثبیت می‌شود که این در نتیجه پتاسیم اضافی است که به مکان‌های بین لایه‌ای تحمیل می‌شود و همچنین پتاسیم افزوده شده سبب اشباع محل‌های ویژه تثبیت پتاسیم می‌شود. دالیوال و همکاران در بررسی وضعیت تثبیت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های منطقه‌ای در شمال غربی هند، سطوح مختلف پتاسیم را به خاک اضافه کردند و نتیجه گرفتند که تثبیت پتاسیم با افزایش مقدار پتاسیم افزوده شده به خاک، بدون در نظر گرفتن نوع کانی‌ها و عمق، بیشتر می‌شود (۱۰). از آنجایی که



شکل ۱. الف) درصد و ب) میانگین پتاسیم تثبیت شده در مقادیر مختلف پتاسیم افزوده شده



شکل ۲. مقدار پتاسیم تثبیت شده در تیمارهای معمولی و تری و خشکی و با کاربرد مقادیر مختلف پتاسیم (حروف غیر یکسان نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد از آزمون دانکن می باشند)

جدول ۵. همبستگی بین تعدادی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی با تثبیت پتاسیم در حالت عادی و تر و خشکی منطقه کاکان

تثبیت عادی	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	کربن آلی	کربنات کلسیم	رس	شن	رس
				۰/۰۳۹	-۰/۰۷۹	رس
			۰/۰۳۸	-۰/۳۵۹	۰/۴۹۱	کربنات کلسیم
		-۰/۴۶۵	-۰/۴۹۳	۰/۶۷۳	-۰/۷۹۳*	کربن آلی
	۰/۲۷۸	-۰/۸۸۳**	۰/۰۷۱	۰/۲۸۶	-۰/۵۳۱	ظرفیت تبادل کاتیونی
			-۰/۳۴۲	۰/۶۶۵	-۰/۵۶۱	تثبیت عادی
۰/۴۹۵	۰/۶۱۹	-۰/۷۹*				تثبیت تری و خشکی

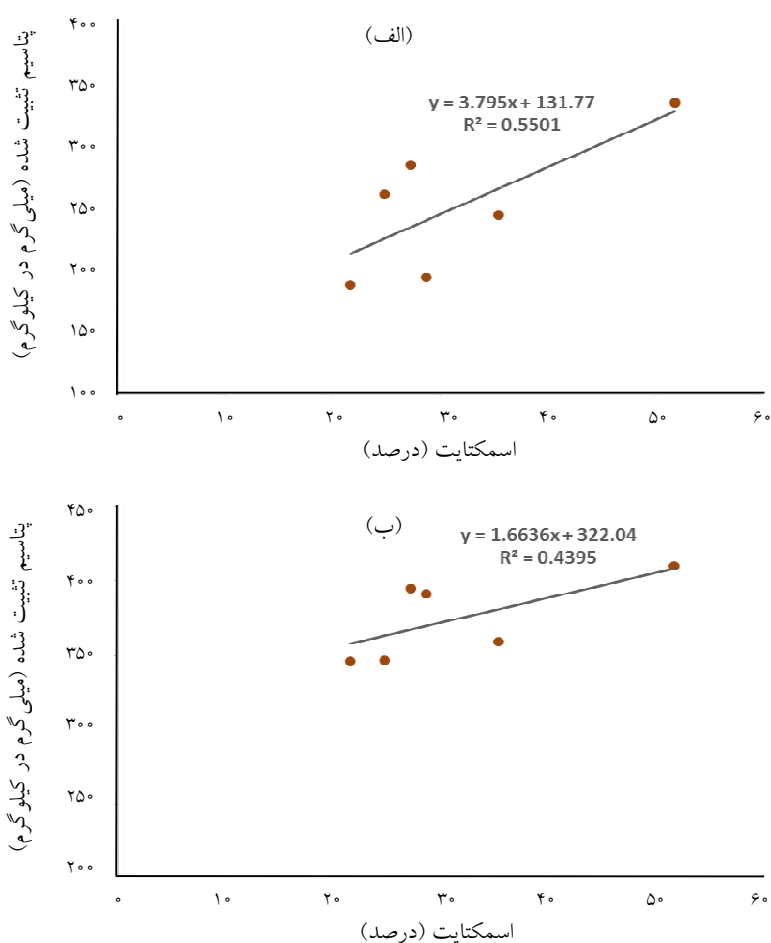
** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد

ارتباط تثبیت پتاسیم با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، کانی‌های رسی و تری و خشکی

جدول (۵) همبستگی بین تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در حالت عادی و تری و خشکی بر تثبیت پتاسیم افق‌های سطحی و زیرسطحی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تثبیت پتاسیم در حالت عادی و تری و خشکی با ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار رس همبستگی مثبت دارد. همچنین تثبیت پتاسیم با کربن آلی در حالت عادی در سطح یک درصد و در حالت تری و خشکی در سطح پنج درصد همبستگی منفی نشان داد.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از عوامل مؤثر بر مقدار تثبیت پتاسیم است. به دلیل ارتباط تثبیت پتاسیم با بار لایه‌ای، می‌توان استنباط کرد که تثبیت پتاسیم با ظرفیت تبادل کاتیونی نیز مرتبط است. در واقع، مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی، نشان‌دهنده قدرت جذب کاتیون‌های مختلف از جمله پتاسیم توسط کلوییدهای خاک است و با افزایش آن، قدرت جذب کاتیون‌ها به وسیله کلوییدها افزایش می‌یابد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها و مقدار تثبیت پتاسیم در حالت عادی ارتباط مثبت و ضعیف و در حالت تری و خشکی ارتباط مثبت و قوی‌تری وجود دارد. این ارتباط بیانگر این است که با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مقدار تثبیت پتاسیم نیز افزایش می‌یابد. بوعبید و همکاران، با انجام آزمایشی بر روی تعدادی از رس‌ها مشاهده کردند که بین مقدار تثبیت پتاسیم و

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد (۶). این در حالی است که چیتامارت و همکاران، اعلام کردند که بین ظرفیت تثبیت پتاسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی ارتباط بسیار ضعیفی وجود دارد (۹). با توجه به اینکه ظرفیت تبادل کاتیونی متأثر از عوامل دیگر مانند نوع و مقدار رس و همچنین میزان ماده آلی است، اثر این عامل باید با بررسی این فاکتورها و برآیند آنها بررسی شود. در بعضی از نمونه‌ها (نمونه‌های ۱ و ۵) با وجود ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، به دلیل وجود ماده آلی بیشتر، مقدار تثبیت کم است؛ در صورتی که در نمونه‌های دیگر (نمونه‌های ۱۴ و ۲۰) با ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر، به دلیل اینکه ظرفیت تبادل کاتیونی ناشی از مقدار و نوع رس است، میزان تثبیت زیاد است. اغلب مکان و جایگاه بار لایه‌ای یک فاکتور بسیار مهم در قدرت آن برای کنترل تثبیت و آزادسازی در نظر گرفته می‌شود. بار منفی با منشأ صفحه چهار وجهی مقدار کاتیون بیشتری، نسبت به همان مقدار بار منفی معادل که منشأ آن صفحه هشت وجهی است، تثبیت می‌کند که دلیل آن نزدیکی بارها به سطح بین لایه‌ای کانی‌ها است (۳۱). این موضوع توسط بوعبید و همکاران نیز تأیید شده است (۶). آنها دریافتند که ظرفیت تثبیت پتاسیم ارتباط خوبی با ظرفیت تبادل کاتیونی لایه چهاروجهی دارد، درحالی‌که ارتباط ضعیفی با ظرفیت تبادل کاتیونی لایه هشت وجهی نشان داد. حسین‌پور و کلباسی (۳)، با بررسی تثبیت پتاسیم در خاک‌های منطقه‌های گیلان، چهارمحال و بختیاری و اصفهان گزارش دادند تثبیت



شکل ۳. ارتباط بین تثبیت پتاسیم و مقدار اسمکتایت خاک حالت الف) عادی و ب) تری و خشکی

مطالعه شده دارای کانی اسمکتایت به مقدار زیاد بودند. شکل (۳) ارتباط بین تثبیت پتاسیم و مقدار اسمکتایت در حالت عادی و تری و خشکی نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار اسمکتایت خاک‌ها، میزان تثبیت پتاسیم هم در هر دو حالت افزایش داشته است. قیری و ابطحی، با بررسی وضعیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های آهکی استان فارس، مشاهده کردند که میزان تثبیت در خاک‌های مطالعه شده بین ۸/۵ تا ۵۵ درصد پتاسیم اضافه شده به خاک است (۱۳). آنها اعلام کردند که ظرفیت تثبیت پتاسیم با مقدار اسمکتایت، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی ارتباط مستقیم دارد. در منطقه کاکان اسمکتایت‌های با بار لایه‌ای متفاوت کانی رسی غالب منطقه بوده و مقدار کمی نیز ایلیت و ورمی‌کولایت در نمونه‌های مطالعه شده، یافت شد. نمونه شماره یک که دارای

پتاسیم در رس‌های منطقه اصفهان با گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی همبستگی معنی‌داری نشان داد؛ درحالی‌که در منطقه‌های گیلان و چهارمحال و بختیاری این ارتباط مشاهده نشد. جعفری و باقرنژاد نیز همبستگی بین میزان تثبیت پتاسیم و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های استان خوزستان را گزارش کردند (۲).

نوع و میزان رس در اغلب خاک‌ها بیشترین تأثیر را روی تثبیت پتاسیم دارد. همان‌گونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، بین مقدار رس خاک‌ها و تثبیت پتاسیم در حالت عادی ارتباط وجود دارد. این ارتباط نشانه این است که با افزایش رس خاک، مقدار تثبیت پتاسیم نیز افزایش می‌یابد. بررسی توأم نوع و میزان رس خاک در تثبیت پتاسیم، برای درک بهتر اثر این دو فاکتور در تثبیت پتاسیم ضروری است. همه خاک‌رخ‌های

لایه‌ای و انبساط لایه‌ها، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تولید اسیدهای آلی و در نتیجه انحلال کانی‌ها و آزادسازی پتاسیم درون آنها می‌تواند سبب کاهش تثبیت پتاسیم شود. مواد آلی خاک و همچنین مواد ترشح شده از ریشه خاک‌ها دارای اسیدهای آلی هستند. به‌طور کلی، توانایی این اسیدها در آزادسازی پتاسیم از کانی‌های خاک بستگی به میزان انتشار اسیدهای آلی در خاک، قابلیت انتشار ترکیب اسید آلی- عنصر، زمان تماس اسید آلی و سطح کانی خاک، درجه یونیزاسیون اسید آلی، گروه‌های عاملی اسید آلی و موقعیت آنها و وابستگی شیمیایی بین اسید آلی و عناصر کانی دارد (۲۸). اولک و کاسمن، در بررسی تأثیر مواد آلی بر تثبیت پتاسیم گزارش کردند که اضافه کردن اسید هیومیک به خاک‌های دارای کانی غالب ورمیکولیت باعث کاهش ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک و در نتیجه افزایش پتاسیم قابل استفاده شده است (۲۶). آنها اعلام کردند که این آزادسازی پتاسیم با افزایش ماده آلی به دلیل واکنش سریع بین مواد آلی و پتاسیم است و نه تجزیه و تخریب کانی‌ها. آنها همچنین نتیجه گرفتند که ماده آلی در خاک‌های جوان که حاوی کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم بوده و ظرفیت تثبیت بالایی نیز دارند موجب کاهش تثبیت پتاسیم شده و دسترسی گیاه به پتاسیم را افزایش می‌دهند. مورتلند، نیز جانشینی پتاسیم بین لایه‌ای توسط بخش آمونیومی ملکول‌های آلی را از جمله مکانیسم‌های اثر ماده آلی بر تثبیت پتاسیم عنوان می‌کند (۲۴). به‌نظر می‌رسد در منطقه مطالعه شده، شرایط محیطی به‌همراه تأثیر مواد آلی در دراز مدت باعث تجزیه و تخریب کانی‌های اولیه مانند ایلیت و تبدیل آنها به اسمکتایت شده است. همچنین، بارندگی زیاد نیز شرایط را برای تبدیل کانی پالیگوراسکیت به اسمکتایت مهیا کرده است. در نتیجه، تجزیه و تخریب کانی‌ها توسط ماده آلی خاک در دراز مدت می‌تواند از عوامل کاهش تثبیت پتاسیم محسوب گردد. ولی با توجه به مدت کم افزودن تیمارهای پتاسیم به این نمونه‌ها، نمی‌تواند عامل تأثیرگذاری در کاهش ظرفیت تثبیت پتاسیم این نمونه‌ها باشد. در منطقه مطالعه شده، مهم‌ترین عاملی که باعث

کمترین میزان اسمکتایت و همچنین رس کمتری است کمترین میزان تثبیت را دارد. نمونه ۲۰ نیز که دارای بیشترین مقدار اسمکتایت بوده و فاقد ایلیت است، هم بیشترین تثبیت را دارد. در تعداد زیادی از نمونه‌ها این ارتباط بین مقدار و نوع رس با میزان تثبیت به دلیل دخالت سایر عوامل مثل ماده آلی وجود نداشت. از سه کانی مسؤوّل تثبیت پتاسیم در خاک، معمولاً ورمی‌کولیت مسؤوّل تثبیت پتاسیم در خاک‌های اسیدی است و میکاهای هواپدیده هم در شرایط خشکی و هم مرطوب پتاسیم را تثبیت می‌کند. این در حالی است که بعضی محققان بیان می‌کنند که اسمکتایت‌ها فقط در شرایط خشکی باعث تثبیت پتاسیم می‌شوند و در حالت مرطوب نمی‌توانند پتاسیم را تثبیت کنند (۳۳). اما این موضوع مربوط به اسمکتایت‌های با بار لایه‌ای کم هستند. اسمکتایت‌های دارای بار لایه‌ای زیاد قدرت زیادی در تثبیت پتاسیم خاک حتی در حالت مرطوب دارند. یکی از عوامل افزایش مقدار تثبیت پتاسیم با افزایش مقدار اسمکتایت می‌تواند به‌طور غیرمستقیم مربوط به ارتباط افزایش میزان رس خاک‌ها و اسمکتایت است؛ به‌طوری‌که در منطقه مطالعه شده با افزایش مقدار رس، مقدار کانی اسمکتایت نیز افزایش یافت.

کربن آلی با تثبیت پتاسیم در حالت عادی ($0/883^{**}$) و در حالت تری و خشکی ($0/790^*$) ارتباط معنی‌داری نشان داد. با توجه به اینکه منطقه مطالعه شده از نظر کانی غالب و مقدار رس وضعیت تقریباً مشابهی دارد، به‌نظر می‌رسد مقدار ماده آلی نقش بیشتری را در میزان تثبیت پتاسیم ایفا می‌کند. نمونه‌های ۱، ۱۳ و ۱۵ که دارای بیشترین مقدار کربن آلی هستند (به ترتیب ۱/۶۸، ۱/۲۶ و ۱/۵۳ درصد) کمترین مقدار تثبیت پتاسیم را نیز دارند (به ترتیب ۱۸۸، ۱۹۵ و ۲۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم). هر سه نمونه، افق‌های سطحی (Ap) خاک‌رخ‌های مطالعه شده هستند. افق‌های سطحی بیشتر در معرض عوامل محیطی بوده و تجزیه و تخریب در آنها بیشتر است. با وجود این، به دلایلی که در بخش کانی‌شناسی اشاره شد، مقدار اسمکتایت افق‌های سطحی، کمتر از افق‌های پایینی است. ماده آلی، با ورود به محل‌های بین

تبادل کاتیونی با میزان تثبیت، این نتایج قابل پیش‌بینی است. ارتباط بین تثبیت پتاسیم در حالت تر و خشکی با کانی اسمکتایت در شکل (۳) آورده شده است. از آنجایی که واکنش اسمکتایت‌ها به تری و خشکی بیشتر از سایر کانی‌های رسی است و باعث انقباض و انبساط این کانی می‌شود، در طی این فرایند، کانی‌هایی مثل پتاسیم می‌توانند بین لایه‌های آن تثبیت شوند. اینو (۱۵) بیان می‌کند که مقدار پتاسیم تثبیت شده در مونت‌موریلونیت با افزایش دما افزایش می‌یابد که این در نتیجه افزایش بار لایه‌ای در نتیجه جانشینی هم شکل سیلیسیم به وسیله آلومینیم در مونت‌موریلونیت در دماهای بالا است. البته افزایش بار در مونت‌موریلونیت‌های اشباع با پتاسیم بیشتر از مونت‌موریلونیت‌های اشباع با کلسیم است؛ زیرا یون کلسیم از جانشینی هم شکل سیلیسیم به وسیله آلومینیم جلوگیری می‌کند. بعضی از محققان نیز افزایش مقدار تثبیت در تیمار خشکی را نتیجه افزایش غلظت نمک‌های محلول می‌دانند (۲۱). قیری و ابطحی (۱۳)، با اعمال تیمار خشکی بر روی نمونه‌های مورد مطالعه در استان فارس، گزارش کردند که میزان تثبیت پتاسیم با این تیمار در افق‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۲۴ درصد و ۳۰ درصد بود و آنها نتیجه گرفتند که به دلیل تبعیت تثبیت پتاسیم از فرایند پخشیدگی، افزایش زمان انکوباسیون و همچنین شرایط تری و خشکی، میزان پخشیدگی پتاسیم از محلول خاک به مکان‌های بین لایه‌ای کانی‌های ۲:۱ را افزایش می‌دهند. همان‌طوری که مشاهده شد، خاک‌های دارای اسمکتایت بیشتر، نسبت به دیگر خاک‌ها در تیمار تری و خشکی مقدار بیشتری پتاسیم تثبیت کرده است. در نمونه‌هایی که ماده آلی بیشتر بوده است اثر اسمکتایت تا حدی تعدیل شده و مقدار تثبیت کمتر شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کانی اسمکتیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی خاک‌های منطقه است. منطقه مورد مطالعه دارای بارندگی زیاد است و شرایط برای تغییرات کانی‌های اولیه و تبدیل آنها به

کاهش ظرفیت تثبیت پتاسیم شده است می‌تواند واکنش بین مواد آلی و پتاسیم خاک و نگهداری آنها و آزادسازی به موقع آن باشد. اگرچه بعضی از محققان انحلال کانی‌های حاوی پتاسیم و آزادسازی این عنصر از آنها را دلیل کاهش ظرفیت تثبیت خاک عنوان می‌کند (۳۵). با وجود اثبات اثر ماده آلی خاک بر فرایند تثبیت پتاسیم در خاک‌ها، هنوز مکانیسم دقیق چگونگی تأثیر آن به‌طور کامل مشخص نشده است. با توجه به پیچیده بودن سیستم خاک، یک عامل به تنهایی نمی‌تواند بر مقدار تثبیت پتاسیم مؤثر باشد. نمونه‌های ۱۴ و ۲۰ که بیشترین مقدار تثبیت در حالت عادی را داشتند (به ترتیب ۳۵۵ و ۳۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، دارای کمترین میزان ماده آلی بودند (به ترتیب ۵۴/۰ و ۶/۰ درصد کربن آلی). این دو نمونه، نمونه‌های عمقی بوده که کمتر تحت شرایط محیطی قرار گرفته و دارای ماده آلی کمتر و همچنین به دلیل انتقال کانی اسمکتایت از افق‌های بالایی دارای اسمکتایت زیادتری نسبت به افق‌های بالایی هستند.

تری و خشکی متناوب از عوامل مؤثر بر تثبیت پتاسیم در خاک‌ها است. نتایج نشان داد که در همه خاک‌ها بین تیمار تری و خشکی و تثبیت پتاسیم اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲). کمترین مقدار پتاسیم تثبیت شده در تیمار تری و خشکی در نمونه ۱ که افق سطحی (Ap) یک خاک اینسپتی‌سولز بود، مشاهده شد. این خاک دارای رس کمتر نسبت به بقیه نمونه‌ها (به جز نمونه ۲)، بیشترین مقدار شن (۲۴ درصد)، بیشترین مقدار کربن آلی (۱/۶۸ درصد) و کمترین مقدار کانی اسمکتایت است. بیشترین مقدار تثبیت نیز در نمونه ۱۴ که افق زیرسطحی (Bt) یک خاک آلفی‌سولز هستند، مشاهده شد. این خاک دارای بیشترین مقدار رس (۶۸ درصد)، کمترین مقدار شن (۴ درصد)، کمترین مقدار ماده آلی (۶/۰ درصد) و بیشترین مقدار اسمکتایت بین نمونه‌های مورد مطالعه بود. در مورد ارتباط تثبیت پتاسیم با ظرفیت تبادل کاتیونی قبلاً بحث شد. از آنجایی که مقدار رس و همچنین ماده آلی بیشترین تأثیر را در مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی دارند و همچنین ارتباط ظرفیت

قوی‌تر است.

در مورد اینکه آیا فرایند تثبیت پتاسیم پدیده‌ای مفید و یا مضر است به‌طور مطلق نمی‌توان پاسخ گفت. همان‌گونه که در این تحقیق مشاهده شد، مقدار تثبیت در خاک‌های سطحی کمتر از خاک‌های عمقی است که دلیل آن، مواد آلی بیشتر و همچنین کمتر بودن کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم در سطح خاک است. بنابراین، افزودن کودهای پتاسیمی به‌همراه کودهای آلی و همچنین کود دهی در لایه سطحی خاک برای جلوگیری از تثبیت مفید است. همچنین، در صورت افزودن کودهای پتاسیمی قبل از کشت، باید تا حد امکان از تر و خشک شدن متناوب زمین به‌دلیل افزایش تثبیت جلوگیری شود. البته، پدیده تثبیت در خاک‌های درشت بافت و همچنین مناطق زیر کشت برنج و یا با بارندگی زیاد، به‌دلیل جلوگیری از هدر رفت پتاسیم افزوده به خاک، پدیده‌ای مفید محسوب می‌شود. همچنین، از آنجایی که در بسیاری از زمین‌های کشاورزی کشور، در طول سالیان گذشته، بدون افزودن کودهای پتاسیمی، کشاورزی انجام شده است، در نتیجه، پتاسیم این خاک‌ها تخلیه شده و با افزودن کودهای پتاسیمی، به‌دلیل برگشت‌پذیر بودن فرایند آزادسازی پتاسیم، عمل تثبیت پتاسیم انجام شده که منجر به تشکیل کانی ایلیت از اسمکتایت شده و در نتیجه ممکن است پاسخی از طرف گیاه نسبت به افزودن این کودها داده نشود.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از طرح تحقیقاتی در قالب پژوهانه (شماره ۲ / ۲۳۶۷۱ / ۲۴۵ / ۹۶ / د) است که هزینه آن توسط دانشگاه پیام نور تأمین شده است و بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

کانی‌هایی مانند اسمکتایت کافی به‌نظر می‌رسد. با افزایش سطح پتاسیم افزوده شده به خاک، مقدار تثبیت افزایش، ولی درصد تثبیت پتاسیم کاهش داشت. نتایج تجزیه آماری نیز نشان داد که بین سطوح پتاسیم افزوده شده و تثبیت پتاسیم اختلاف معنی‌داری وجود دارد که نشان می‌دهد در همه نمونه‌ها کاربرد متفاوت سطوح پتاسیم باعث افزایش میزان تثبیت شده است. تثبیت پتاسیم در حالت عادی و تری و خشکی با ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار رس همبستگی مثبت نشان داد. این در حالی است که تثبیت پتاسیم با کربن آلی در حالت عادی در سطح یک درصد و در حالت تری و خشکی در سطح پنج درصد همبستگی منفی نشان داد. این نتایج همچنین نشان داد که با افزایش مقدار اسمکتایت، میزان تثبیت پتاسیم در هر دو حالت عادی و تری و خشکی افزایش می‌یابد. همچنین افق‌های سطحی، به‌دلیل داشتن ماده آلی بیشتر و اسمکتایت کمتر، مقدار کمتری پتاسیم تثبیت کردند. مهم‌ترین عاملی که باعث کاهش ظرفیت تثبیت پتاسیم توسط ماده آلی شده است می‌تواند واکنش بین مواد آلی و پتاسیم خاک و نگهداری آنها و آزادسازی به موقع آن باشد. بعضی از پژوهشگران ارتباط قوی و بعضی دیگر ارتباط ضعیف بین ظرفیت تبادل کاتیونی و تثبیت پتاسیم گزارش کرده‌اند. در این پژوهش مشخص شد در صورتی که بخش زیادی از ظرفیت تبادل کاتیونی مربوط به ماده آلی خاک باشد، این ارتباط ضعیف ولی در صورتی که ماده آلی خاک کم (مانند افق‌های پایینی خاک و یا افق‌های سطحی خاک‌های مناطق خشک) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مربوط به کانی‌هایی مانند اسمکتایت باشد، به‌دلیل تأثیرپذیری این کانی به خشکی و تری و در نتیجه تثبیت بیشتر پتاسیم، این ارتباط

منابع مورد استفاده

۱. بستانی، ع. و غ. ثوابی فیروزآبادی. ۱۳۹۰. بررسی ظرفیت تثبیت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان، نشریه آب و خاک، علوم و صنایع کشاورزی ۲۵ (۵): ۹۹۳-۹۸۲.
۲. جعفری، س. و م. باقرنژاد. ۱۳۸۶. اثرات تر و خشک شدن و سیستم‌های کشت بر تثبیت پتاسیم در برخی از خاک‌ها و رس‌های خوزستان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱ (۴۱): ۷۵-۸۹.

۳. حسین پور، ع. و م. کلباسی. ۱۳۸۰. تثبیت پتاسیم و ویژگی های بار الکتریکی رس خاک در شماری از خاک های مناطق مرکزی و شمال ایران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵ (۳): ۹۲-۷۹.
4. Arnold, P. W. and B. M. Close. 1961. Potassium-releasing power of soils from the Agdell rotation experiment assessed by glasshouse cropping. *J. Agric. Sci.* 57(3): 381-386.
 5. Barshad, I. and F. M. Kishk. 1970. Factors affecting potassium fixation and cation exchange capacities of soil vermiculite clays. *Clays Clay Miner.* 18: 127-137.
 6. Bouabid, R., M. Badraoui and P. R. Bloom. 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55(5): 1493-1498.
 7. Bouyoucos, C. J. 1962. Hydrometer method for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 57: 464-465.
 8. Brady, N. C. and R. R. Weil. 2008. *The nature and properties of soils* (No. Ed. 15), Prentice-Hall Inc. Washington.
 9. Chittamart, N., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne and R. J. Gilkes. 2010. Charge properties and potassium fixation by clay from Thai Vertisols. *In: Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil Solutions for A Changing World, Brisbane, Australia.* PP. 26-29.
 10. Dhaliwal, A. K., R. K. Gupta, Y. Singh and B. Singh. 2006. Potassium fixation and release characteristics of some benchmark soil series under rice-wheat cropping system in the Indo-Gangetic plains of northwestern India. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 827-845.
 11. Dixon, J. B. and S. B. Weed. 1992. *Minerals in soil environments*. 2nd Edition. SSSA. Madison, Wisconsin, U.S.A.
 12. Dyer, B. 1894. XV.—On the analytical determination of probably available “mineral” plant food in soils. *J. Chem. Soc. Trans.* 65: 115-167.
 13. Ghiri, M. N. and A. Abtahi. 2012. Factors affecting potassium fixation in calcareous soils of southern Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.* 58(3): 335-352.
 14. Grim, R. E. 1968. *Clay mineralogy*. International Series in the Earth and Planetary Sciences. McGraw-Hill, New York.
 15. Inoue, A. 1983. Potassium fixation by clay minerals during hydrothermal treatment. *Clays Clay Miner.* 31: 81-91.
 16. Jackson, M. L. 1975. *Soil Chemical Analysis Advanced Course*. Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison.
 17. 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.
 18. 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.
 19. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum, PP: 437-474. *In: D. L. Sparks (Ed.) Methods of Soil Analysis, SSSA Book Series, Part 3, Madison, WI.*
 20. Malavolta, E. 1985. Potassium status of tropical and subtropical region soils. pp. 163-200. *In: R. D. Munson (Ed.) Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
 21. Martin, J. C., R. Overstreet and D. R. Hoagland. 1945. Potassium fixation in soils in replaceable and non-replaceable forms in relation to chemical reactions in the soil. *Soil Sci. Soc. Am J.* 10:94-101.
 22. Mc Lean, E. O. and M. E. Watson. 1985. Soil measurements of plant-available potassium. *Potassium in agriculture, (Potassiuminagri)* 277-308.
 23. Mehra, O. P. and M. L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionate citrate system with sodium bicarbonate. *Clay Miner.* 7: 317-327.
 24. Mortland, M. M. 1986. Mechanism of adsorption on nonhumic organic species by clays. pp. 59-76. *In: P. M. Huans and M. Schnitzer (Eds.), Interaction of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. SSSA Spec. Publ. 17. SSSA, Madison, WI.*
 25. Nelson, D. W. and L. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (Methodsofsoilan2),* 539-579.
 26. Olk, D. C., K. G. Cassman and R. M. Carlson. 1995. Kinetics of potassium fixation in vermiculite soils under different moisture regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 423-429.
 27. 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.
 28. Pohlman, A. A. and J. G. Mc Coll. 1986. Kinetics of metal dissolution from forest soils by soluble organic acids. *J. Environ. Qual* 15(1): 86-92.
 29. Pratt, P. F. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. *In: C. A. Black. Methods of Soil Analysis, part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
 30. Rees, G. L., G. S. Pettygrove and R. J. Southard. 2013. Estimating plant-available potassium in potassium-fixing soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 44(1-4): 741-748.

31. Reid-Soukup, D. A. and A. L. Ulery. 2002. Smectites. pp. 467-499. *In*: J. B. Dixon and D. G. Schulze (Ed.). Soil Mineralogy with Environmental Application, SSSA, Inc., Madison, WI, USA.
32. Simonsson, M., S. Hillier and I. Öborn. 2009. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. *Geoderma* 151(3): 109-120.
33. Sparks, D. L. 2000. Bioavailability of soil potassium. PP: 301-319. *In*: M. E. Sumner (Ed.), Handbook of Soil Science, CRC Press, Boca Raton, FL.
34. Sumner, M. E., W. P. Miller, D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert and C. T. Johnston. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods. University of Georgia, Athens, Georgia. 1201-1229.
35. Tan, K. H. 1980. The release of silicon, aluminum, and potassium during decomposition of soil minerals by humic acid. *Soil Sci.* 129: 5-11.
36. Troeh, F. R. and L. M. Thompson. 2005. Soils and Soil Fertility. Iowa, Blackwell.
37. Volk, N. J. 1934. The fixation of potash in difficultly available form in soils. *Soil Sci.* 37(4): 267-288.

Potassium Fixation and its Relationship with Physico-Chemical Properties and Clay Minerals in the Calcareous Soils of Kakan Plain, Kohgilouye & Boyerahmad Province

S. Shakeri^{1*}

(Received: Aug. 25-2016; Accepted: March. 7-2017)

Abstract

Potassium fixation is one of the most important factors influencing the availability of this ion for plants. This research was carried out to evaluate the relationship between potassium (K) fixation with some physical and chemical characteristics of soils and clay minerals and to investigate the effect of the dry and wet cycle on potassium fixation in Kakan Plain, in Kohgilouye & Boyerahmad Province. To measure the amount of Potassium fixation, four levels of K were added to the samples and the samples were shaken for 24 h and then dried in the oven at 50°C for 24 h. The drying and wetting cycle was repeated three times. Another set of soil samples was similarly incubated for a period similar to the previous treatment, but drying was performed at room temperature in an equilibrium state. The results showed that potassium fixation was increased with the potassium concentration increment, whereas K fixation percentage was reduced. Also, potassium fixation showed a positive significant relationship with cation exchange capacity (CEC) as well as clay content, in both normal and dry and wet treatments, and a negative significant relationship with organic carbon. Moreover, potassium fixation was enhanced with the increase of smectite content in both normal and dry and wet treatments. Besides, due to more organic carbon and less smectite, surface horizons fixed K less than the subsurface horizons.

Keywords: Smectite, Potassium fixation, Drying and wetting, Organic carbon, Kakan plain.

1. Dept. of Agric., Payame Noor Univ., Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: shakeri@pnu.ac.ir