

بررسی گنجایش تثبیت پتاسیم و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در شماری از خاک‌های چهارمحال و بختیاری

علیرضا حسین پور^۱، محمدحسن صالحی^۲ و فروغ خائفی^{۳*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۲۱)

چکیده

تثبیت پتاسیم در خاک فرآیند مهمی است که قابلیت دسترسی پتاسیم توسط گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اطلاعات درباره تثبیت پتاسیم در خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری محدود است. این پژوهش با هدف تعیین گنجایش تثبیت پتاسیم و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در ۱۰ نمونه از خاک‌های سطحی استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. گنجایش تثبیت پتاسیم با افزودن شش غلظت مختلف پتاسیم با استفاده از نمک کلرید پتاسیم و اندازه‌گیری گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی، آلی و رس خاک‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی، آلی و رس خاک‌ها به ترتیب ۱۶/۲ تا ۱۹/۳۸ و ۱/۷۱ تا ۳/۲۷ و ۲۹/۳ تا ۳۹/۸ سانتی‌متر بار بر کیلوگرم بود. دامنه تغییرات شاخص قابلیت استفاده پتاسیم در خاک‌ها ۰/۳۶ تا ۰/۷۰ و شاخص تثبیت پتاسیم ۰/۲۹ تا ۰/۶۳ بود. نتایج نشان داد که شاخص تثبیت و شاخص قابلیت استفاده پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک و بخش معدنی، درصد رس، pH و درصد کربنات کلسیم معادل همبستگی معنی‌داری داشتند. نتایج پژوهش نشان داد که تثبیت کود پتاسیمی در خاک‌های مطالعه شده نقش مهمی در دینامیک پتاسیم خاک و قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاهان دارد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تثبیت، ویژگی‌های خاک

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

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

مقدمه

نقش پتاسیم به عنوان یک عنصر کلیدی پرنیاز و ضروری برای رشد گیاه در کشاورزی به خوبی شناخته شده است (۲۵). ذخیره پتاسیم در خاک معمولاً زیاد و غیرقابل دسترس برای جذب، توسط گیاه می‌باشد. پتاسیم به چهار شکل محلول، تبادل، غیرتبادلی (ثبیت شده) و ساختمانی در خاک یافت می‌شود که تعادل موجود بین این شکل‌ها باعث تداوم تأمین پتاسیم می‌گردد. اهمیت نسبی چهار شکل ذکر شده به ترکیب کانی‌های خاک بستگی داشته و خاک‌هایی که دارای رس‌های سیلیکاتی ۲:۱ نظیر میکاها و ایلات هستند از پتاسیم غنی می‌باشند (۹). قسمت عمده پتاسیم قابل دسترس برای گیاه به دو شکل تبادل و غیر تبادل می‌باشد و نقش پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه کاملاً به اثبات رسیده و برخی آن را منبع عمده تأمین پتاسیم برای گیاه دانسته‌اند (۲۸). قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاهان، به وسیله فرآیندهای مختلفی کنترل می‌شود از جمله فرایند تثبیت پتاسیم که از بیشترین اهمیت برخوردار است و پدیده مهم و مؤثر در تعیین اشکال پتاسیم خاک و میزان پتاسیم قابل استفاده برای گیاه می‌باشد (۲۳). تثبیت پتاسیم، به دام افتادن یون پتاسیم آب‌زدایی شده در فضاهای بین لایه‌ای رس‌های فیلسیلیکاتی تعریف می‌شود (۷ و ۱۲). برخی از ویژگی‌های خاک از جمله نوع کانی‌های رسی، گنجایش تبادل کاتیونی، درصد رس و واکنش خاک بر تثبیت پتاسیم تأثیرگذارند (۲۹). ظرفیت تثبیت پتاسیم به دلیل تفاوت در مقدار و ماهیت رس، نوع کانی تشکیل دهنده، گنجایش تبادل کاتیونی، واکنش خاک، کربنات کلسیم، کربن آلی و کود اضافه شده در خاک‌های مختلف متفاوت است (۹). تأثیر مقدار رس بر تثبیت توسط محققان مختلف متغیر گزارش شده است (۵، ۶، ۱۹ و ۲۶). به نظر می‌رسد متغیر بودن هم‌بستگی‌های گزارش شده بین درصد رس و تثبیت پتاسیم به دلیل تفاوت در اندازه و نوع رس در خاک‌های مختلف باشد. زیاد شدن مقدار رس ممکن است سبب افزایش تثبیت پتاسیم شود ولی از آنجایی که تثبیت پتاسیم به ویژگی‌های کانی‌شناسی رس‌ها نیز وابسته است بنابراین در همه

خاک‌ها الزاماً نبایستی بین درصد رس و تثبیت پتاسیم هم‌بستگی بالایی دیده شود (۱۹). به دلیل اهمیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های زراعی، بررسی ویژگی‌های این فرآیند باعث درک بهتر از رفتار خاک در رابطه با کاربرد کود می‌شود بنابراین قبل از انجام توصیه کودی، بهتر است توانایی خاک در غیرقابل جذب نمودن پتاسیم برای گیاه در نظر گرفته شود (۲۷). در مواردی ممکن است خاک سال‌ها بدون کاربرد کود پتاسیم برای کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد بدین ترتیب با خارج شدن مقادیر قابل توجهی پتاسیم از خاک، پتاسیم قابل استفاده برای رشد گیاه ناکافی بوده و با کاربرد کود پتاسیم گیاه پاسخ ناچیزی می‌دهد، زیرا افزایش غلظت پتاسیم در محلول منجر به ورود آن در نقاط تخلیه شده بین شبکه‌ای و در نتیجه بسته شدن شبکه و خارج شدن پتاسیم از حالت قابل استفاده برای گیاه می‌شود (۱). تحقیقات مرتبط با بحث‌های فوق به مدیریت بهتر پتاسیم و استفاده از کودهای پتاسیمی در طول دوره رشد گیاهان کمک شایانی خواهد کرد. به دلیل استفاده از کود پتاسیم در خاک‌های کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری لازم است در این خاک‌ها گنجایش تثبیت پتاسیم را تعیین نمود تا در توصیه‌های کودی مدیریت بهتری انجام شود. لذا تحقیق حاضر با هدف تعیین ظرفیت تثبیت پتاسیم، شاخص تثبیت و ارتباط آنها با ویژگی‌های خاک در تعدادی از خاک‌های چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش ۲۰ نمونه اولیه خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری از مناطق مختلف استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و بعد از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. پس از تعیین درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی، پتاسیم تبادل و همچنین کربنات کلسیم معادل، ۱۰ نمونه خاک از بین نمونه‌های اولیه که از لحاظ این ویژگی‌ها در گستره وسیعی قرار داشتند انتخاب شدند و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱)، PH و هدایت

برای محاسبه شاخص تثبیت پتاسیم بین پتاسیم تثبیت شده و پتاسیم اضافه شده یک معادله خطی برازش و شیب خط به‌عنوان شاخص تثبیت در نظر گرفته شد. در پایان همبستگی بین پتاسیم تثبیت شده در تیمارهای مختلف و شاخص تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های مختلف خاک مطالعه شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده در جدول (۱) نشان داده شده است. در خاک‌های مطالعه شده دامنه تغییرات رس و سیلت به ترتیب ۱۷/۹ تا ۴۵/۰ و ۳۸/۲ تا ۵۹/۲ درصد می‌باشد. دامنه تغییرات واکنش خاک ۷/۲ تا ۸ EC این خاک‌ها در دامنه ۰/۱۶ تا ۰/۲۸ دسی‌زیمنس بر متر، دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل و ماده آلی به ترتیب ۱۸ تا ۴۳/۵ و ۰/۷۰ تا ۲/۴۳ درصد است. دامنه تغییرات پتاسیم تبدلی ۱۲۴/۴ تا ۴۱۵/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و دامنه تغییرات پتاسیم غیرتبدلی ۱۳۲۵/۸ تا ۲۰۱۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است.

ویژگی‌های بار الکتریکی خاک در جدول (۲) نشان داده شده است. گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی سهم زیادی از گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک را دارا بود. به طوری که ۹۱/۲-۸۴/۳ درصد از گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک مربوط به این بخش است. گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی نقش زیادی در ۷ با بالاترین درصد رس و کمترین آن مربوط به خاک یک با کمترین درصد رس بود.

اثر کاربرد پتاسیم بر پتاسیم قابل استفاده در جدول (۳) آورده شده است. در تیمار شاهد دامنه تغییرات پتاسیم قابل استفاده ۴۹۶/۹-۱۴۷/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. با افزایش پتاسیم به کار برده شده از صفر تا ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم میزان پتاسیم قابل استفاده افزایش یافت. در تمامی تیمارها بیشترین افزایش مربوط به خاک شماره ۱۰ بود که دلیل آن می‌تواند بیشتر بودن سطح پتاسیم تبدلی در این خاک باشد (جدول ۱).

الکتریکی آن به ترتیب در سوسپانسیون و عصاره ۱:۲ آب به خاک (۲۱)، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک یک نرمال و تیتراسیون اسید اضافی با محلول استاندارد سود (۱۶)، درصد مواد آلی از روش هضم با بی‌کرومات پتاسیم و تیتراسیون برگشتی با فرسولفات آمونیوم (۱۸) اندازه‌گیری شد، گنجایش تبادل کاتیونی در کل خاک و گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی پس از حذف مواد آلی با آب‌اکسیژنه با روش استات سدیم در $pH=7$ (۳۰) تعیین و از کسر کردن آن از گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک، گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی محاسبه شد. بعد از جداسازی رس خاک (۱۴) گنجایش تبادل کاتیونی آن با روش استات سدیم در $pH=7$ (۳۰) تعیین شد. پتاسیم تبدلی با استات آمونیوم یک مولار (۱۵) و پتاسیم غیرتبدلی با اسید نیتریک مولار و جوشان (۴) استخراج و با استفاده از روش طیف‌سنج نشر اتمی خوانده شد. در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار ظرفیت تثبیت پتاسیم تعیین گردید. بدین منظور ۵ گرم از نمونه‌های خاک هوا خشک (در سه تکرار) در ظروف شیشه‌ای قرار داده و ۵ میلی‌لیتر محلول با غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم از نمک کلرید پتاسیم به نمونه‌ها اضافه شدند. برای برقراری تعادل نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه در انکوباتور نگاه‌داری شدند. به دنبال آن نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و دوباره با اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب و مجدداً در آون خشک شدند. سه مرتبه دیگر خشک و مرطوب شدن تکرار شد. سپس به نمونه‌ها ۵۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم یک مولار اضافه و به مدت یک ساعت با ۱۵۰ دور در دقیقه توسط دستگاه تکان دهنده برقی تکان داده شدند (۲۲). سپس سوسپانسیون‌ها صاف و غلظت پتاسیم عصاره‌ها با دستگاه طیف‌سنجی نشر اتمی قرائت شدند. پتاسیم تثبیت شده در هر تیمار با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

پتاسیم عصاره‌گیری شده در تیمار شاهد + (پتاسیم عصاره‌گیری شده در تیمار - پتاسیم اضافه شده) = مقدار پتاسیم تثبیت شده

جدول ۱. شماری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

پتاسیم غیر	پتاسیم	EC	pH	OM	۳CaCO	رس	سیلت	بافت	خاک
mgkg ⁻¹		dSm ⁻¹			%				
۱۳۷۸/۶	۱۳۸/۴	۰/۱۷	۷/۴	۱/۶۴	۲۲/۵	۱۷/۹	۵۶/۲	Si. L	۱
۱۳۲۵/۸	۱۲۴/۰	۰/۲۷	۷/۶	۱/۵۵	۲۲/۰	۲۴/۰	۴۷/۳	L	۲
۱۳۵۳/۸	۱۹۳/۳	۰/۲۰	۷/۲	۱/۹۰	۲۳/۸	۲۷/۹	۵۳/۲	S.C.L	۳
۱۵۰۴/۰	۱۶۹/۷	۰/۲۷	۷/۵	۲/۰۵	۲۴/۰	۲۲/۸	۵۹/۲	S.L	۴
۱۴۸۱/۳	۲۱۵/۰	۰/۱۸	۷/۶	۰/۷۰	۳۴/۰	۴۱/۰	۴۱/۲	S.C	۵
۱۹۳۸/۴	۲۱۱/۳	۰/۱۶	۷/۷	۱/۴۲	۲۸/۳	۳۹/۹	۳۸/۲	C.L	۶
۱۸۷۵/۶	۲۲۰/۴	۰/۱۷	۸	۱/۰۲	۴۳/۵	۴۵/۰	۴۲/۲	S.C	۷
۱۹۷۹/۳	۲۳۸/۴	۰/۱۹	۷/۹	۱/۸۳	۲۷/۸	۳۵/۹	۴۷/۲	S.C.L	۸
۱۸۰۰/۱	۲۸۱/۵	۰/۲۰	۷/۸	۱/۳۸	۳۳/۵	۴۰/۹	۴۰/۰	S.C	۹
۲۰۱۵/۴	۴۱۵/۲	۰/۲۸	۷/۳	۲/۴۳	۱۸/۰	۴۳/۹	۴۲/۱	S.C	۱۰
۱۶۶۵/۲	۲۲۰/۷	۰/۲۱	۷/۶	۱/۶۴	۲۷/۷	۳۴/۳	۴۶/۶	-	میانگین

جدول ۲. ظرفیت تبادل کاتیونی بخش‌های مختلف خاک‌های مطالعه شده (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)

بخش رس	بخش آلی	بخش معدنی	کل خاک	شماره خاک
۲۹/۳	۱/۸۸	۱۶/۲	۱۷/۹	۱
۳۱/۴	۲/۶	۱۶/۳	۱۸/۹	۲
۳۵/۶	۲/۹	۱۷/۵۱	۱۹/۶	۳
۳۰/۷	۱/۸۴	۱۶/۶۶	۱۸/۵	۴
۳۶/۲	۱/۷۱	۱۷/۸۹	۱۹/۶	۵
۳۷/۵	۳/۱۶	۱۷/۴	۲۰/۲	۶
۳۹/۸	۲/۷۲	۱۹/۳۸	۲۲/۱	۷
۳۶/۲	۲/۳۲	۱۷/۳۸	۱۸/۷	۸
۳۸/۰	۱/۹۸	۱۸/۶۲	۲۰/۶	۹
۳۹/۵	۳/۲۷	۱۸/۵۳	۲۱/۸	۱۰
۳۵/۴۱	۲/۲۵	۱۷/۵۴	۱۹/۷۵	میانگین

جدول ۳. اثر کاربرد پتاسیم بر پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

میانگین	میلی‌گرم بر کیلوگرم							تیمار پتاسیم خاک
	۸۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۰	
۳۱۴/۲	۷۱۷/۲ ^a	۴۷۱/۴ ^b	۲۶۷/۱ ^c	۲۳۷/۳ ^d	۱۹۹/۲ ^e	۱۸۹/۸ ^f	۱۶۷/۹ ^g	۱
۲۶۶/۷	۶۰۷/۰ ^a	۳۳۸/۶ ^b	۲۲۷/۰ ^c	۲۰۵/۶ ^d	۱۷۸/۲ ^e	۱۶۲/۴ ^f	۱۴۷/۷ ^g	۲
۳۰۹/۱	۶۲۵/۷ ^a	۳۷۵/۸ ^b	۲۹۹/۲ ^c	۲۴۹/۱ ^d	۲۲۱/۴ ^e	۲۰۷/۳ ^f	۱۸۵/۷ ^g	۳
۳۶۰/۹	۷۳۱/۱ ^a	۴۳۵/۱ ^b	۳۲۸/۱ ^c	۲۸۷/۷ ^d	۲۶۰/۴ ^e	۲۵۲/۶ ^f	۲۳۱/۸ ^g	۴
۳۸۲/۵	۶۷۱/۵ ^a	۴۳۴/۹ ^b	۳۶۹/۲ ^c	۳۳۸/۳ ^d	۳۰۱/۱ ^e	۲۸۹/۹ ^f	۲۷۲/۴ ^g	۵
۳۳۳/۱	۶۲۱/۸ ^a	۳۲۱/۷ ^b	۳۰۲/۸ ^c	۳۰۳/۷ ^{cd}	۲۷۷/۲ ^e	۲۶۱/۸ ^f	۲۴۲/۷ ^g	۶
۳۲۳/۹	۵۵۸/۵ ^a	۳۳۷/۳ ^b	۳۲۹/۳ ^c	۳۰۰/۲ ^d	۲۶۵/۱ ^e	۲۴۸/۳ ^f	۲۲۸/۷ ^g	۷
۳۳۱/۳	۶۰۴/۶ ^a	۴۰۱/۱ ^b	۲۷۶/۲ ^c	۲۸۵/۵ ^d	۲۶۴/۸ ^e	۲۵۲/۳ ^f	۲۳۴/۷ ^g	۸
۳۹۵/۳	۶۳۱/۶ ^a	۴۵۴/۰ ^b	۳۹۰/۷ ^c	۳۶۲/۸ ^d	۳۲۵/۵ ^e	۳۱۰/۲ ^f	۲۹۲/۵ ^g	۹
۶۲۸/۱	۹۹۵/۶ ^a	۷۳۶/۸ ^b	۵۹۵/۵ ^c	۵۴۴/۳ ^d	۵۱۶/۲ ^e	۵۱۱/۴ ^f	۴۹۶/۹ ^g	۱۰
-	۶۷۶/۵	۴۳۰/۱	۳۳۳/۶	۳۱۱/۴	۲۸۰/۹	۲۶۸/۶	۲۵۰/۱	میانگین

در هر ردیف میانگین‌های با یک حرف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

شاخص پتاسیم قابل استفاده در نظر گرفته شد نتایج در جدول (۴) آورده شده است. میانگین شاخص قابلیت استفاده پتاسیم ۵۱٪ است به این معنی که به‌طور میانگین به ازای کاربرد یک میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک، پتاسیم عصاره‌گیری شده با روش آمونیوم استات یک مولار ۵۱٪ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش می‌یابد. بیشترین شاخص قابلیت استفاده پتاسیم در خاک شماره ۱ و کمترین آن در خاک شماره ۷ می‌باشد.

کم بودن درصد رس و اندک بودن بار درکل خاک و در بخش رس نمونه شماره ۱ از عواملی هستند که باعث افزایش ۷۰ درصدی قابلیت استفاده پتاسیم در این خاک با کاربرد کود می‌شوند. با کاربرد پتاسیم در خاک شماره ۷ به‌دلیل زیاد بودن درصد رس و بار در کل خاک و در بخش رس، به‌طور متوسط ۳۶ درصد قابلیت استفاده پتاسیم افزایش یافت. در مطالعه خاک‌های خوزستان نتایج نشان داد که بخش قابل‌توجهی از پتاسیم اضافه شده به خاک می‌تواند به شکل قابل جذب باقی مانده و در اختیار گیاه قرار بگیرد (۱). نتایج همبستگی شاخص

کمترین مقدار پتاسیم قابل استفاده به‌جز در تیمارهای ۴۰۰ و ۸۰۰ مربوط به خاک شماره ۲ می‌باشد در این دو تیمار به ترتیب خاک شماره ۶ و ۸ کمترین مقدار پتاسیم قابل استفاده استخراج شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در جدول (۳) نیز نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در هر خاک وجود دارد. پتاسیم به‌کاربرده شده، بر روی مکان‌های تبدالی با بار منفی در نمونه‌های خاک جذب می‌شوند و پتاسیم جذب شده بر روی مکان‌های تبدالی به‌مقدار پتاسیم به‌کاربرده شده در نمونه‌های خاک بستگی دارد. مطالعه تثبیت و آزاد سازی پتاسیم در برخی از خاک‌ها نشان داد با افزایش کاربرد پتاسیم به خاک پتاسیم قابل استفاده افزایش و بیشترین سطح پتاسیم قابل استفاده مربوط به تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۹).

برای دستیابی به شاخص پتاسیم قابل استفاده بعد از افزایش پتاسیم به خاک، برای هر یک از خاک‌ها معادله خطی (۹۷/۰ - $r^2=۰/۹۴$) بر داده‌ها برازش داده شد و شیب خطوط به‌عنوان

جدول ۴. شاخص قابلیت استفاده پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	معادله برازش داده شده*	شاخص قابلیت استفاده پتاسیم	میزان کود پتاسیم لازم برای افزایش در یک واحد پتاسیم قابل استفاده
۱	$y = 0.70x + 156.7$	۰/۷۰	۱/۴
۲	$y = 0.56x + 140.3$	۰/۵۶	۱/۷
۳	$y = 0.53x + 189.6$	۰/۵۳	۱/۸
۴	$y = 0.60x + 223.7$	۰/۶۰	۱/۶
۵	$y = 0.47x + 274.8$	۰/۴۷	۲/۱
۶	$y = 0.43x + 237.0$	۰/۴۳	۲/۳
۷	$y = 0.36x + 239.6$	۰/۳۶	۲/۷
۸	$y = 0.45x + 229.5$	۰/۴۵	۲/۲
۹	$y = 0.39x + 303.9$	۰/۳۹	۲/۵
۱۰	$y = 0.63x + 486.4$	۰/۶۳	۱/۵

* $y =$ میزان پتاسیم قابل استفاده (mg/kg) و $x =$ مقدار پتاسیم اضافه شده به خاک (mg/kg)

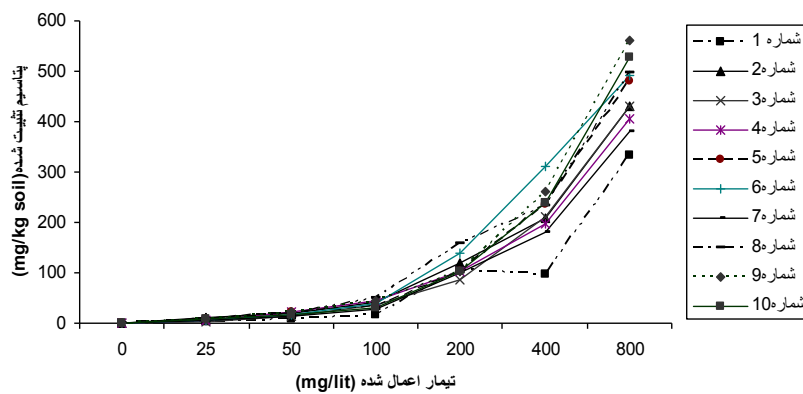
تبادل کاتیونی کل خاک و همچنین کم بودن گنجایش تبادل کاتیونی کل رس، پتاسیم کمتر در مکان‌های غیرتبادلی قرار می‌گیرد و کود پتاسیم کمتری برای افزایش پتاسیم قابل استفاده لازم است اما خاک شماره ۷ به دلیل زیاد بودن درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک و بخش رس، مکان‌های غیرتبادلی برای به دام انداختن یون پتاسیم بیشتر است؛ بنابراین برای افزایش یک واحد پتاسیم قابل استفاده در خاک، مقدار بیشتری کود پتاسه مورد نیاز است. همبستگی ویژگی‌های خاک با میزان کود مورد نیاز برای افزایش یک واحد پتاسیم نشان داد که این پارامتر با درصد رس ($r = 0.69$)، pH ($r = 0.7$) و کربنات کلسیم معادل ($r = 0.89$) رابطه مستقیم و معنی‌داری دارد. با افزایش رس و pH میزان کود مصرفی برای افزایش یک واحد پتاسیم در خاک افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز در بررسی خاک‌های دیگر گزارش شده است (۲۳). ارتباط میزان کود لازم برای افزایش یک واحد پتاسیم در خاک با ویژگی‌های بار خاک نشان داد که این پارامتر با گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک ($r = 0.73$)، گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی ($r = 0.65$) و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس ($r = 0.66$) همبستگی مستقیم و معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت. این نتایج بیانگر آن است که با زیاد شدن بار رس و بار خاک، برای افزایش یک واحد

پتاسیم قابل استفاده با ویژگی‌های بار خاک‌ها نشان داد که شاخص پتاسیم قابل استفاده با گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک ($r = -0.7$)، گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی ($r = -0.63$) و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس ($r = -0.68$) همبستگی معکوس و معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد؛ بنابراین با زیاد شدن بار خاک‌های مطالعه شده شاخص قابلیت استفاده پتاسیم کاهش می‌یابد. همبستگی ویژگی‌های خاک با شاخص پتاسیم قابل استفاده نیز نشان داد که شاخص پتاسیم قابل استفاده با درصد رس ($r = -0.7$)، کربنات کلسیم معادل ($r = -0.83$) و pH ($r = -0.65$) همبستگی معکوس و معنی‌داری دارد. این نتایج بیانگر آن است که با افزایش pH و درصد رس مکان‌های جذب پتاسیم در این خاک‌ها افزایش یافته است. عکس شیب خطوط به‌عنوان مقدار کود پتاسیم لازم برای افزایش پتاسیم قابل استفاده به اندازه یک میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد؛ که میانگین آن در خاک‌های مطالعه شده ۲/۳ می‌باشد به این معنی که برای افزایش یک میلی‌گرم پتاسیم عصاره‌گیری شده با آمونیوم استات یک مولار از خاک‌ها به‌طور میانگین باید ۲/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم به‌کاربرده شود. در خاک شماره ۷ بیشترین مقدار کود پتاسیم و در خاک شماره ۱ کمترین مقدار کود پتاسیم مورد نیاز است در خاک شماره ۱ به دلیل کم بودن درصد رس و گنجایش

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر مقدار پتاسیم اضافه شده و نوع خاک بر گنجایش تثبیت پتاسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
خاک	۹	۷۴۱۴۰۲*
تیمار	۵	۱۴۲۰۳۶۹*
تیمار×خاک	۴۵	۷۰۶۳۲*
خطا	۱۲۰	۳۱۵

*: در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.



شکل ۱. روند تغییرات پتاسیم تثبیت شده در تیمارهای اعمال شده بر خاک‌ها

اثر غلظت بر تثبیت پتاسیم به نوع خاک و مقدار پتاسیم اضافه شده بستگی دارد. در بررسی خاک‌های همدان نیز نتایج مشابهی گزارش شد (۲). شکل (۱) نتایج گنجایش تثبیت پتاسیم خاک‌های مطالعه شده در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. بررسی نتایج بیانگر افزایش پتاسیم تثبیت شده به دلیل افزایش غلظت پتاسیم اضافه شده است. در مطالعات انجام شده در نقاط مختلف ایران نیز نتایج مشابهی گزارش شد (۲، ۳ و ۱۳). همچنین با مطالعه ظرفیت تثبیت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های شالیزاری بنگلادش گزارش شد که با افزایش غلظت پتاسیم اضافه شده، مقدار پتاسیم تثبیت شده افزایش و ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده تفاوت زیادی داشت (۱۷). با افزایش پتاسیم به خاک، تعادل دینامیکی بین انواع پتاسیم به سمت پتاسیم غیر تبادلی جابه‌جا و مقدار تثبیت بیشتر می‌شود (۹).

پتاسیم در خاک میزان کود بیشتری، برای نمونه‌ها مطالعه شده مورد نیاز است. با کاربرد کود پتاسیمی در خاک تثبیت پتاسیم می‌تواند رخ دهد که این تثبیت بر پتاسیم قابل استفاده می‌تواند تأثیرگذار باشد. ظرفیت کاربرد کود به دلیل تفاوت در عوامل مؤثر بر تثبیت و آزاد سازی پتاسیم در خاک‌های مختلف متغیر است (۱۳). اختلاف در سرعت تثبیت پتاسیم بین دو خاک می‌تواند به دلیل به تخلیه پی‌درپی پتاسیم از خاک و عرضه پتاسیم به خاک باشد و از صفات مهم برای قضاوت در مورد وضع پتاسیم در خاک است (۸).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مقدار تثبیت پتاسیم (جدول ۵)، اثر غلظت پتاسیم اضافه شده، اثر خاک و همچنین اثر متقابل پتاسیم اضافه شده و نوع خاک بر پتاسیم تثبیت شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل خاک و پتاسیم اضافه شده،

جدول ۶. مقادیر شاخص تثبیت در خاک‌های مختلف

شاخص کلی تثبیت پتاسیم تمام غلظت‌ها	شاخص تثبیت در غلظت‌های زیاد (۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰)	شاخص تثبیت در غلظت‌های کم (۲۵، ۵۰، ۱۰۰)	خاک
۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۷	۱
۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۴۲	۲
۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۴	۳
۰/۳۹	۰/۳۱	۰/۵۲	۴
۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۳۴	۵
۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۴۵	۶
۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۳۰	۷
۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۵۶	۸
۰/۶	۰/۵۹	۰/۲۹	۹
۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۵۴	۱۰

میانگین با افزایش یک میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم به خاک ۰/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم تثبیت پتاسیم رخ داد. شاخص تثبیت در این خاک‌ها نسبتاً بالا است و با توجه به روند تغییرات تثبیت در تیمارهای مختلف (شکل ۱)، مقدار تثبیت در تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ نسبت به سه تیمار دیگر کمتر است به همین دلیل شاخص تثبیت در سه گروه تعیین شد: الف) غلظت‌های کم: ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ب) غلظت‌های زیاد: ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ ج) تمام غلظت‌ها.

بر اساس این شاخص‌ها می‌توان خاک‌ها مطالعه شده را گروه‌بندی کرد در کاربرد غلظت‌های کم پتاسیم، در ۶۰ درصد خاک‌های مطالعه شده بین ۳۰ تا ۵۰ درصد و در ۳۰ درصد خاک‌ها بیش از ۵۰ درصد پتاسیم اضافه شده به خاک تثبیت شد. در کاربرد غلظت‌های بالای پتاسیم، ۷۰ درصد خاک‌های مطالعه شده بین ۳۰ تا ۵۰ درصد و ۲۰ درصد خاک‌ها نیز بیش از ۵۰ درصد پتاسیم اضافه شده به خاک را تثبیت کردند. در کلیه تیمارها، نیمی از خاک‌های بیش از ۵۰ درصد و ۴۰ درصد از آنها بین ۳۰ تا ۵۰ درصد پتاسیم تثبیت شد.

نتایج همبستگی ویژگی‌های بار خاک و رس با شاخص تثبیت پتاسیم در سه گروه نشان داد که شاخص کل تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی کل ($r=0/7$)، گنجایش تبادل

در خاک شماره ۷ به دلیل درصد رس بالا و داشتن بیشترین گنجایش تبادل کاتیونیکل خاک، گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس نسبت به سایر نمونه‌ها تثبیت پتاسیم بی‌شتی صورت گرفت و در خاک شماره ۱ به علت کمتر بودن گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک، گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و پایین‌تر بودن درصد رس کمترین مقدار پتاسیم تثبیت شد. تثبیت و آزاد سازی پتاسیم توسط کانی‌های رسی فیلوسیلیکاتی بر پتاسیم قابل جذب گیاه تأثیر زیادی دارد. نوع و مقدار کانی‌های رسی در خاک فاکتورهای کنترل‌کننده فرایند تثبیت هستند (۲۴) و تثبیت پتاسیم با درصد رس در ارتباط است (۷ و ۱۰)؛ و با افزایش درصد رس تثبیت پتاسیم افزایش می‌یابد (۲۵). بین مقادیر پتاسیم اضافه شده و پتاسیم تثبیت شده در هر یک از نمونه‌های خاک معادله خطی ساده برازش و شیب خطوط به‌عنوان شاخص تثبیت در نظر گرفته شد. شاخص تثبیت پتاسیم نشان دهنده پتاسیم تثبیت شده در ازای واحد پتاسیم اضافه شده می‌باشد. شاخص کلی تثبیت (جدول ۶) خاک‌های مطالعه شده در دامنه ۰/۲۹ تا ۰/۶۳ متغیر است و با توجه به میانگین شاخص تثبیت در این خاک‌ها، حدود نیمی از پتاسیم ورودی به آنها تثبیت شد و به‌طور

سطح ۵ درصد داشتند. در مطالعه خاک‌های آذربایجان مقدار تثبیت پتاسیم بعد از هوا خشک شدن با مقدار رس رابطه معنی‌داری داشت. با افزایش ۱۰ درصدی محتوای رس تثبیت پتاسیم ۱۷ درصد بیشتر شد و این رابطه قوی به دلیل تنوع کم در اجزاء سازنده کانی‌های رسی در بین خاک‌ها گزارش شد (۲۰). در مطالعه خاک‌های هند نیز همبستگی مستقیم و معنی‌داری بین شاخص تثبیت و درصد رس، کربنات کلسیم معادل و pH گزارش کردند (۲۳). ترکیب، خصوصیات و محتوای کانی رسی در خاک فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده تثبیت پتاسیم در خاک هستند. با افزایش کود پتاسیم و ریزتر شدن بافت خاک مقدار تثبیت پتاسیم افزایش می‌یابد (۲۴).

نتیجه‌گیری

با کاربرد پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده قابلیت استفاده پتاسیم افزایش یافت و تأثیر مقدار کود بر پتاسیم قابل استفاده به نوع خاک بستگی داشت. بررسی‌ها نشان داد میزان کود مورد نیاز برای افزایش یک واحد پتاسیم به خاک، با زیاد شدن بار رس و بار خاک افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از شاخص تثبیت در سه گروه و کاربرد کم کود پتاسیم در این خاک‌ها، کاربرد غلظت‌های کم پتاسیم، کاربرد بیشتری در مدیریت کودهای پتاسه در خاک دارد. شاخص تثبیت و شاخص قابلیت استفاده پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک، بخش معدنی، گنجایش تبادل کاتیونی رس، درصد رس، pH، درصد کربنات کلسیم معادل همبستگی معنی‌داری داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که تثبیت کود پتاسیمی افزوده شده نقش مهمی در شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده دارد و در قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاهان مؤثر است.

کاتیونی بخش معدنی ($r=0/63$) و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس ($r=0/68$) همبستگی مستقیم و معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت. همبستگی شاخص تثبیت و بار خاک نشان می‌دهد گنجایش تبادل کاتیونی خاک به‌ویژه بار در بخش معدنی تأثیر به‌سزایی در تثبیت پتاسیم دارد با افزایش بار بخش معدنی تثبیت پتاسیم افزایش یافت. افزایش بار در بخش رس نیز باعث افزایش تثبیت پتاسیم در این خاک‌ها شده است. شاخص تثبیت پتاسیم در غلظت‌های کم کاربرد پتاسیم با ویژگی‌های بار خاک و ویژگی‌های بار بخش رس همبستگی معنی‌داری نداشت؛ اما شاخص تثبیت پتاسیم در غلظت‌های بالای کاربرد پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک ($r=0/76$)، گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی خاک ($r=0/71$) و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس ($r=0/71$) همبستگی مستقیم و معنی‌داری داشت. در مطالعه بر روی خاک‌های همدان نیز همبستگی معنی‌دار و مستقیم شاخص تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی کل خاک و بخش معدنی گزارش شد (۲). در بررسی تثبیت پتاسیم در خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان گزارش شد که با افزایش گنجایش تبادل کاتیونی تثبیت پتاسیم نیز افزایش یافت (۳). هیچیک از شاخص‌های تثبیت با گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی رابطه معنی‌داری نداشتند.

ارتباط شاخص تثبیت پتاسیم در سه گروه در خاک‌های مطالعه شده با برخی از ویژگی‌های خاک بررسی و نتایج نشان داد که شاخص تثبیت در غلظت‌های کم کاربرد پتاسیم با کربنات کلسیم معادل ($r=-0/68$) همبستگی معکوس و معنی‌داری دارد در حالی که شاخص تثبیت در غلظت‌های بالای کاربرد پتاسیم، با درصد رس ($r=0/67$) و کربنات کلسیم معادل ($r=0/85$) همبستگی معنی‌دار و مستقیم و همچنین شاخص کلی تثبیت پتاسیم نیز با درصد رس ($r=0/73$) و کربنات کلسیم معادل ($r=0/83$) و پ-اچ ($r=0/65$) همبستگی معنی‌دار و مستقیم در

منابع مورد استفاده

۱. بستانی، ع. و غ. ثواقبی فیروزآبادی. ۱۳۹۰. بررسی ظرفیت تثبیت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان. نشریه آب و خاک (۵): ۹۹۳-۹۸۲.
۲. حسین‌پور، ع. و م. ر. پناهی. ۱۳۸۹. گنجایش تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار در شماری از خاک‌های آهکی استان همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵۲: ۷۳-۶۵.
۳. جعفری، س. و م. باقرنژاد. ۱۳۸۵. تأثیر خشک و مرطوب شدن و سیستم‌های آبیاری بر تثبیت پتاسیم در برخی از خاک‌های خوزستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱: ۹۰-۷۵.
4. Al-Kanani, T., A. F. Mackenzi and G. J. Ross. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy. *Can. J. Soil Sci.* 64: 99-106.
5. Andrew, N. 1990. Reduction of fertilizer potassium in soils of different mineralogy. *Soil Sci.* 149:44-51.
6. Barber, G. R. 1979. Potassium fixation in some Kenyan soils. *J. Soil Sci.* 30:785-792.
7. Bouabid, R., M. Badraoui and P. R. Bloom. 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil Clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:149-1498.
8. Deshui, T., J. JiYun, H. ShaoWen, L. Zhao Hui and J. LiHua. 2010. Effect of long-term application of K fertilizer and wheat straw to soil on potassium fixation capacity of selected soils from northern China. *Sci. Agr. Sin.* 43: 2072-2079.
9. 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.* 7: 827-845.
10. Falk Øgaard, A. and T. Krogstad. 2005. Releases of interlayer potassium in Norwegian grassland soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 80-88.
11. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle analysis *In: A. Klute (Ed.), Method of soils analysis. Part 2, Physical and Mineralogical Methods.* SSSA. Madison, WI.
12. Grim, R. E. 1968. Clay Mineralogy. International Series in Earth and Planetary Science. McGraw-Hill Book Co., New York.
13. Jalali, M. and Z. Kolahchi. 2007. Short-term potassium release and fixation in some calcareous soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 50-57
14. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1960. A procedure for the particle-size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. *Soil Sci.* 95: 19-25.
15. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1986. Lithium, sodium and potassium. PP. 225-226. *In: A.L. Page, R. H. Miller and R. Keeney (Eds.), Method of soils analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.*
16. Loeppert, R. H. and D. L. Suars. 1996. Carbonate and Gypsum. PP. 437-474. *In: D. L. Sparks (Ed.), Method of soils analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
17. Moslehuddine, M. A. and K. Egashira. 1999. Potassium chemistry in some important paddy soils of Bangladesh. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 30: 329-344.
18. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic matter. PP. 961-1010. *In: Sparks D. L. (Ed.), Method of soils analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
19. Ningappa, N. and Vasuki. 1989. Potassium fixation in acid soils of Karnataka. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 37: 391-392.
20. Oustan, Sh., M. Asghari, M. R. Neyshabour and A. Bybordi. 2008. Potassium fixation as affected by moisture conditions in some soils of azerbaijan. Turkey, International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology PP. 619-625.
21. Rhodes, J. D. 1996. Salinity: Electrical: conductivity and total dissolved soils. PP. 417-435. *In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis. Part3, chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI.*
22. Sahu, S. and S. K. Gupta. 1986. Fixation and release of potassium in some alluvial soils. *J. India. Soc. Soil Sci.* 5: 29-40.
23. Seal, A., R. Bera, K. Mukhopadhyay and P. Bhattacharyya. 2006. Potassium fixation capability of some acid alfisols developed under tropical environment in Eastern India. *Inter. J. Soil Sci.* 1: 128-135.
24. Shaimukhametov, M. Sh. and V. L. Petrofanov. 2008. Effect of Long-Term Fertilization on the K-Fixing capacity of Soils. *Eurasian Soil Sci.* 41: 441-451.
25. Sharpley, A. N. 1990. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. *Soil Sci.* 149: 44-51.

26. Shaviv, A., M. Mohsine, P. F. Prat and S. V. Matigad. 1985. Potassium fixation characteristics of five southern California soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1105-1109.
27. Simonsson, M. A. S. A. Andersson, Y. A. B. Andrist-Rangle, S. B. Hillier, L. A. Mattsson and Oborn. 2007. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma*. 140: 188-198.
28. Sparks, D. L. and M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. pp. 123-223 *In*: R. D. Munson. (Ed.), Potassium in Agriculture. Soil Science Society of America. Madison, WI.
29. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* 6: 1-63.
30. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP. 1201-1231 *In*: D.L. Sparks (ED.), Methods of soil analysis. Part3, chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI.

Study of Potassium Fixation and its Relation to the Soil Characteristics in Some Chahar Mahal & Bakhtiary Soils

A. Hosseinpur, M. H. Salehi and F. Khaefi^{1*}

(Received: Aug 15-2011 ; Accepted : April 9-2016)

Abstract

Potassium (K) fixation in soil is an important process which affects the availability of K to plants. There is limited information on K fixation capacity (PFC) of soils in Chahar Mahal & Bakhtiary province. This study was carried out with the aim of determining PFC and its relation with soil characteristics in 10 samples of surface soils in Chahar Mahal & Bakhtiary province. PFC was determined by adding six different levels of K by using KCl salt and measuring cation exchange capacity (CEC) in mineral, organic and clay fraction of soils. The results showed that the CEC in the mineral, organic and clay soils changes from 16.02-19.38, 1.71-3.27 to 29.3-39.8 cmol⁺/kg consequently. Potassium availability index (PAI) in the soils changes from 0.36 to 0.7 and Potassium fixation index (PFI) changes from 0.29 to 0.63. According to the results PFI and PAI showed significant correlation with whole and mineral fraction of the soil CEC, clay percent, pH and CaCO₃ percent. The results of this study also showed that fixation of K fertilizer in the studied soils plays an important role in K dynamic of soil and K availability to plants.

Key words: Fixation, Potassium, Soil Characteristics.

1. Faculty of Agr., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

* Corresponding Author, Email: khaefif@yahoo.com