

## گنجایش تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار در شماری از خاک‌های آهکی استان همدان

علیرضا حسین پور<sup>۱\*</sup> و محمد رضا پناهی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۲)

### چکیده

تثبیت پتاسیم به وسیله کانی‌های رسی فرآیند مهمی است که قابلیت دسترسی پتاسیم توسط گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اطلاعات درباره تثبیت پتاسیم در خاک‌های همدان محدود است. هدف این پژوهش تعیین ظرفیت تثبیت پتاسیم و شاخص تثبیت پتاسیم در ۱۰ نمونه از خاک‌های سطحی استان همدان و ارتباط آنها با ویژگی‌های بار بود. بار صفحات چهار وجهی خاک‌ها پس از اشباع کردن خاک‌ها با کلرید لیتیم و حرارت دادن در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس برای کاهش بار صفحه هشت وجهی به نزدیک صفر تعیین شد. ظرفیت تثبیت پتاسیم با افزودن ۶ غلظت مختلف پتاسیم با استفاده از نمک کلرید پتاسیم و سه چرخه متناوب خشک و مرطوب شدن تعیین شد. نتایج نشان داد که دامنه گنجایش تبادل کاتیونی صفحات چهار وجهی و هشت وجهی به ترتیب ۰/۶-۱۶/۰ و ۰/۸-۴/۹ سانتی‌مول بار در کیلوگرم بود. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی و آلی به ترتیب ۰/۹-۲۰/۹ و ۶/۱-۹/۷ سانتی‌مول بار در کیلوگرم بود. گنجایش تثبیت پتاسیم با افزایش کاربرد پتاسیم افزایش یافت. میانگین ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک‌ها در دامنه ۵۸/۲-۱۷۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. شاخص تثبیت پتاسیم در دامنه ۰/۶۷-۰/۲۳ بود. شاخص تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی، گنجایش تبادل کاتیونی کل، گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی، گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی، پتاسیم تبدالی و پتاسیم غیر تبدالی هم‌بستگی معنی‌داری داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص تثبیت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده تغییرات زیادی داشت. بنابراین این ویژگی باید در آزمون خاک پتاسیم در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تثبیت، ویژگی‌های بار، خاک‌های آهکی

### مقدمه

۰/۰۴ تا ۳ درصد می‌باشد. پتاسیم یکی از سه عنصر غذایی پر نیاز برای گیاهان می‌باشد که از نظر مقدار جذب پس از نیتروژن در ردیف دوم قرار دارد. پتاسیم در خاک به چهار شکل وجود دارد، که به ترتیب افزایش قابلیت استفاده شامل پتاسیم ساختمانی، پتاسیم غیر تبدالی، پتاسیم تبدالی و پتاسیم محلول می‌باشند (۱۰). یک تعادلی پویا بین این چهار شکل پتاسیم

پتاسیم یک عنصر پر نیاز برای گیاهان و حیوانات است. این عنصر هم‌چنین جزء اصلی برخی از کانی‌های خاک است. یک هکتار خاک تا عمق نفوذ ریشه ممکن است بین چند تا چندین صد تن پتاسیم در کانی‌های میکایی یا فلدسپارهای حاوی پتاسیم داشته باشد (۲۱). مقدار پتاسیم کل در خاک‌ها در دامنه

۱. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

وجود دارد. اهمیت نسبی هر یک از این چهار شکل به ترکیب کانی‌های حاوی پتاسیم خاک بستگی دارد. پتاسیم تبادل‌ی و محلول سریعاً به تعادل می‌رسند ولی تغییر شکل پتاسیم ساختمانی به هر کدام از سه شکل دیگر بسیار کند می‌باشد.

قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاهان، به وسیله فرآیندهای مختلفی کنترل می‌شود. از میان این فرآیندها تثبیت پتاسیم از بیشترین اهمیت برخوردار است (۱۴ و ۱۸). تثبیت پتاسیم در خاک‌ها عبارت است از تغییر شکل‌های قابل دسترسی پتاسیم به شکل‌های غیر قابل دسترسی. بنابراین مطالعه ویژگی‌های مربوط به پدیده تثبیت پتاسیم در خاک‌ها از لحاظ زراعی حائز اهمیت است. بررسی ویژگی‌های تثبیت پتاسیم ما را قادر می‌سازد که درک بهتری از رفتار خاک در رابطه با کاربرد کود داشته باشیم. در نتیجه با شناخت ویژگی‌های تثبیت پتاسیم در خاک‌های مختلف می‌توان به یک توصیه منطقی در رابطه با کوه‌های پتاسه در این خاک‌ها رسید. به طوری که قبل از انجام توصیه کودی، توانایی خاک در رابطه با غیر قابل جذب نمودن پتاسیم برای گیاهان مد نظر قرار گیرد (۲۰).

تثبیت پتاسیم نتیجه گرفتار شدن یون‌های پتاسیم در بین لایه‌های کانی‌های ۲ به ۱ ایلیت، ورمی کولیت و لبه‌های هوادیده می‌کاه می‌باشد. در برخی از نواحی ممکن است خاک سال‌ها بدون کاربرد کود پتاسیمی برای کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. بدین ترتیب مقادیر قابل توجهی پتاسیم از خاک خارج شده و در نتیجه پتاسیم قابل استفاده در این خاک‌ها به مقدار پایینی رسیده و رس‌هایی همانند ایلات با ساختمان باز به وجود می‌آید. با افزایش فعالیت‌های کشاورزی، موجودی پتاسیم ممکن است برای رشد گیاه ناکافی باشد، ولی با کاربرد کود پتاسیم گیاه پاسخ ناچیزی می‌دهد، زیرا افزایش غلظت پتاسیم در محلول منجر به ورود پتاسیم در نقاط تخلیه شده بین شبکه‌ای و در نتیجه بسته شدن شبکه و خارج شدن پتاسیم از حالت قابل استفاده برای گیاه می‌شود.

از ویژگی‌های مهم خاک و مؤثر بر تثبیت پتاسیم نوع کانی‌های رسی، گنجایش تبادل کاتیونی، درصد رس و واکنش

خاک می‌باشد. کانی‌های رسی از نقطه نظر تراکم بار در واحد سطح، توزیع بار در صفحات چهار وجهی و هشت وجهی بر تثبیت پتاسیم تأثیر دارند (۲۲). بر طبق نظر اندرو (۳) در رس‌هایی با تراکم بالای بار در واحد سطح نظیر ایلیت و ورمی کولیت تثبیت پتاسیم بسیار بیشتر از رس‌هایی با تراکم پایین بار در واحد سطح می‌باشد.

بوآبید و همکاران (۵) دریافتند که در دو گروه از کانی‌های اسمکتیت با تراکم بار یکسان، در آنهایی که بار لایه چهار وجهی بیشتر بود، پتاسیم بیشتری را تثبیت کردند. راهلیک (۱۶) با بررسی تثبیت پتاسیم توسط ورمی کولیت و اسمکتیت، تفاوت در مقدار تثبیت را به تفاوت تراکم بار نسبت دادند.

بوآبید و همکاران (۵) با بررسی نقش گنجایش تبادل کاتیونی کل و گنجایش تبادل کاتیونی لایه‌های چهار وجهی و هشت وجهی بر فرآیند تثبیت پتاسیم هم بستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی کل و لایه چهار وجهی به دست آوردند.

تأثیر مقدار رس بر تثبیت پتاسیم توسط محققان مختلف متغیر گزارش شده است (۳، ۴، ۱۴ و ۱۹). به نظر می‌رسد متغیر بودن هم‌بستگی‌های گزارش شده بین درصد رس و تثبیت پتاسیم به دلیل متفاوت بودن اندازه و نوع رس در خاک‌های مختلف می‌باشد. زیاد شدن مقدار رس ممکن است سبب افزایش تثبیت پتاسیم شود ولی از آنجایی که تثبیت پتاسیم به ویژگی‌های کانی شناسی رس‌ها و نه به مقدار آنها بستگی دارد، لذا در همه خاک‌ها الزاماً نبایستی بین درصد رس و تثبیت پتاسیم هم بستگی بالایی دیده شود (۱۴).

در مورد ظرفیت تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار در خاک‌های همدان مطالعه‌ای انجام نشده است. لذا این مطالعه با هدف تعیین ظرفیت تثبیت پتاسیم، شاخص تثبیت پتاسیم و ارتباط آنها با ویژگی‌های بار در تعدادی از خاک‌های منطقه همدان انجام شد.

## مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش ۳۰ نمونه اولیه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و به صورت مرکب از مناطق مختلف اطراف شهر همدان و بخش‌های این استان طوری انتخاب گردید که از نظر جغرافیایی سطح وسیعی را در بر بگیرد. سپس نمونه‌ها هوا خشک شده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. سپس بر اساس درصد رس، کربنات کلسیم معادل، گنجایش تبادل کاتیونی و پتاسیم غیر تبادلی ۱۰ نمونه خاک به گونه‌ای انتخاب شدند که دامنه تغییرات این ویژگی‌ها زیاد باشد.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک با توجه به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شدند. pH و EC نمونه‌های خاک در عصاره دو به یک آب به خاک (۱۵ و ۲۴)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسیدکلریدریک نرمال (۹)، مقدار ماده آلی نمونه‌های خاک از روش اکسایش تر (۱۳)، بافت خاک به روش هیدرومتر (۶)، گنجایش تبادل کاتیونی خاک با روش استات سدیم در pH=۷ (۲۳)، پتاسیم تبادلی خاک‌ها با روش استات آمونیوم ۱ مولار (۷) و پتاسیم غیر تبادلی با روش الکنانی و مکنزی (۲) تعیین شد. گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی بعد از سوزاندن ماده آلی خاک‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت با روش استات سدیم با pH=۷ تعیین (۲۳) و به عنوان گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی در نظر گرفته شد. گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی از گنجایش تبادل کاتیونی کل کسر و به عنوان گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی در نظر گرفته شد. برای تعیین ویژگی‌های بار از روش بوآید و همکاران (۵) استفاده شد. پس از اشباع نمودن نمونه‌هایی که مواد آلی آنها با روش سوزاندن از بین برده شده بود با محلول کلرید لیتیم یک مولار نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شدند. در این صورت بار الکتریکی صفحه هشت وجهی کانی‌های رسی توسط لیتیم خنثی می‌شود. سپس گنجایش تبادل کاتیونی نمونه‌ها با روش

استات سدیم با pH=۷ (۲۳) تعیین و به عنوان گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی در نظر گرفته شد. با کسر کردن گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی از گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی، گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی تعیین شد.

جهت تعیین ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک‌ها از روش ساهو و گوپتا (۱۷) استفاده شد. بدین منظور ۵ گرم از نمونه‌های خاک هواخشک (در سه تکرار) به دقت توزین و سپس با استفاده از نمک کلرید پتاسیم مقادیر صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک به صورت محلول اضافه شد. نمونه‌ها جهت برقرار ساختن تعادل به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور در دمای  $30 \pm 1$  درجه سلسیوس نگه‌داری و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $70 \pm 1$  درجه سلسیوس در آن خشک شدند. در مرحله بعد نمونه‌های خشک شده با افزودن ۵ میلی‌لیتر آب مقطر مجدداً مرطوب و به ترتیب سه مرتبه دیگر چرخه خشک و مرطوب شدن تکرار شد. در مرحله بعد با افزودن ۵۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم ۱ مولار به نمونه‌ها و تکان دادن آنها با دستگاه تکان‌دهنده برقی به مدت ۱ ساعت با دور ۱۵۰ دور در دقیقه و سپس سانتریفیوژ کردن نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با ۲۵۰۰ دور در دقیقه پتاسیم موجود در نمونه‌ها عصاره‌گیری و غلظت پتاسیم عصاره‌ها با روش طیف‌سنجی نشر اتمی تعیین شدند. در پایان پتاسیم تثبیت شده در نمونه‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

پتاسیم عصاره‌گیری شده از تیمار شاهد + (پتاسیم عصاره‌گیری شده از تیمار - پتاسیم افزوده شده) = پتاسیم تثبیت شده  
برای محاسبه شاخص تثبیت پتاسیم بین پتاسیم تثبیت شده و پتاسیم افزوده شده یک معادله خطی برازش و شیب خط به عنوان شاخص تثبیت در نظر گرفته شد.

در پایان هم‌بستگی بین پتاسیم تثبیت شده در تیمارهای مختلف و شاخص تثبیت پتاسیم با ویژگی‌های بار و ویژگی‌های خاک مطالعه شد.

## نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج دامنه تغییرات واکنش خاک ۷/۴-۸/۱، دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۱۳-۰/۴۶ دسی‌زیمنس بر متر و دامنه تغییرات رس و سیلت به ترتیب ۱۹/۸-۳۸/۳ و ۱۰/۳-۳۲/۵ درصد بود. دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل و کربن آلی به ترتیب ۵/۰-۳۹/۵ و ۰/۴-۱/۰۸ در صد بود. دامنه تغییرات پتاسیم تبادل ۱۳۶/۸-۴۶۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم که کمترین مقدار در خاک ۳ و بیشترین مقدار در خاک ۴ بود. دامنه تغییرات پتاسیم غیر تبادل ۸۰۵/۷-۳۰۹۶/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم که کمترین مقدار آن در خاک ۳ و بیشترین مقدار آن در خاک ۴ بود. تغییرات پتاسیم غیر تبدالی در خاک‌ها نشان‌دهنده تنوع کانی‌های رسی است.

بر اساس نتایج ویژگی بار خاک‌ها (جدول ۲) دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی خاک‌ها ۱۰/۵-۲۷/۸ سانتی مول بار در کیلوگرم که بیشترین مقدار در خاک ۱ و کمترین مقدار در خاک ۹ بود. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی خاک ۶/۱-۲۰/۹ سانتی مول بار در کیلوگرم که بیشترین مقدار در خاک ۵ و کمترین مقدار در خاک‌های ۹ و ۱۰ بود. این ویژگی با در صد رس هم‌بستگی معنی‌داری نداشت ( $r^2=0/49 P>0/05$ )، که نشان‌دهنده متفاوت بودن نوع کانی‌های رسی در خاک‌ها مورد بررسی است. گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی خاک در دامنه ۵۶/۵-۹۴/۵ در صد از گنجایش تبادل کاتیونی کل می‌باشد. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی ۰/۹۷-۹/۷ سانتی مول بار در کیلوگرم خاک که بیشترین مقدار آن در خاک ۱ و کمترین مقدار آن در خاک ۸ بود. گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی خاک ۵/۴-۴۳/۵ درصد از کل گنجایش تبادل کاتیونی بود که با کربن آلی خاک هم‌بستگی معنی‌داری نداشت ( $r^2=0/49 P>0/05$ ). این نتیجه نشان می‌دهد که گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی علاوه بر مقدار مقدار ماده آلی با نوع ماده آلی نیز ارتباط دارد. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی ۴/۶-۱۶/۰

سانتی مول بار در کیلوگرم بود. کمترین مقدار آن در خاک ۱۰ و بیشترین مقدار آن در خاک ۵ بود. گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی ۷۰/۲-۸۸/۸ درصد از گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی بود. این ویژگی با گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی ( $r^2=0/98 P<0/01$ ) و گنجایش تبادل کاتیونی کل ( $r^2=0/87 P<0/01$ ) و در صد رس ( $r^2=0/68 P<0/05$ ) هم‌بستگی معنی‌داری داشت. برآورد گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهاروجهی پس از خنثی‌سازی بار صفحه هشت وجهی به وسیله لیتیم و حرارت دادن، شامل بار لایه صفحه هشت وجهی و بارهای لبه‌ای است. در رس‌هایی مانند ایلیت و کلریت، درجه خنثی شدن بار لایه هشت وجهی به وسیله لیتیم به درجه باز شدگی فضاهای بین لایه‌ای این کانی‌ها بستگی دارد.

بنابراین به استثنای این رس‌ها، کاهش گنجایش تبادل کاتیونی رس پس از تیمار با لیتیم و حرارت دادن، نشان‌دهنده مقدار بار لایه هشت وجهی است. اگر چه برآورد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی با این روش به دلیل تأثیر بارهای لبه‌ای بیشتر از مقدار واقعی نشان داده می‌شود، ولی برای رس‌های اسمکتیت و ورمی کولیت این اختلاف ناچیز است (۵). با توجه به مطالب فوق به دلیل حضور کانی‌های مختلف در بخش معدنی خاک‌های مطالعه شده گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی بیشتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی ۰/۸-۴/۹ سانتی مول بار در کیلوگرم بود. کمترین مقدار آن در خاک ۹ و بیشترین مقدار آن در خاک ۵ بود. گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی در دامنه ۱۱/۲-۲۹/۸ در صد از گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی بود. این ویژگی با گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی ( $r^2=0/75 P<0/05$ ) و گنجایش تبادل کاتیونی کل ( $r^2=0/75 P<0/05$ ) و در صد رس ( $r^2=0/61 P<0/05$ ) هم‌بستگی معنی‌داری داشت. با توجه به مطالب گفته شده در مورد گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی، گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی کمتر

جدول ۱. شماری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده

خاک	واکنش خاک	قابلیت هدایت الکتریکی	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیر تبادلی	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رس	سیلت
		dSm <sup>-1</sup>	mgkg <sup>-1</sup>		%			
۱	۷/۴	۰/۱۹	۱۵۷/۷	۱۲۳۷/۷	۰/۶۱	۲۲/۱	۳۲/۸	۲۲/۰
۲	۷/۹	۰/۲۱	۲۷۱/۳	۱۴۲۵/۳	۰/۴۸	۳۳/۵	۳۴/۲	۱۹/۱
۳	۷/۹	۰/۱۸	۱۳۶/۸	۸۰۵/۷	۰/۴۶	۱۷/۱	۲۲/۸	۲۳/۲
۴	۷/۹	۰/۳۵	۴۵۶/۱	۳۰۹۶/۲	۰/۹۶	۲۴/۰	۲۵/۷	۳۲/۰
۵	۷/۵	۰/۱۳	۲۵۸/۶	۱۴۰۲/۱	۰/۴۰	۵/۰	۳۸/۳	۱۰/۳
۶	۸/۱	۰/۴۶	۱۵۶/۴	۱۸۹۶/۴	۱/۰۸	۳۹/۵	۳۲/۶	۳۲/۵
۷	۷/۵	۰/۲۴	۳۵۵/۶	۲۰۳۲/۲	۰/۹۶	۱۳/۸	۳۷/۳	۱۴/۰
۸	۸/۱	۰/۳۱	۴۵۲/۴	۲۸۷۵/۲	۰/۶۰	۱۴/۱	۲۵/۴	۲۲/۶
۹	۷/۶	۰/۲۲	۲۴۷/۵	۲۵۶۴/۲	۰/۵۲	۱۱/۰	۲۱/۶	۱۲/۹
۱۰	۷/۸	۰/۳۳	۳۰۲/۲	۲۹۴۲/۴	۰/۸۲	۶/۱	۱۹/۸	۱۷/۲

جدول ۲. ویژگی‌های بار (سانتی مول بار در کیلوگرم) در خاک‌های مطالعه شده

خاک	گنجایش تبادل کاتیونی کل	گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی	گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی	گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی	گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی
۱	۲۷/۸	۱۸/۱	۹/۷	۱۴/۹	۳/۲
۲	۱۸/۴	۱۴/۷	۳/۶	۱۱/۷	۲/۷
۳	۱۷/۲	۱۳/۶	۳/۵	۹/۵	۱/۴
۴	۱۹/۷	۱۷/۱	۲/۶	۱۴/۲	۲/۹
۵	۲۶/۴	۲۰/۹	۵/۴	۱۶/۰	۴/۹
۶	۱۷/۴	۱۳/۱	۴/۲	۱۰/۶	۲/۵
۷	۱۹/۵	۱۵/۶	۳/۸	۱۳/۱	۲/۵
۸	۱۷/۸	۱۶/۸	۱/۰	۱۴/۹	۱/۹
۹	۱۰/۵	۶/۱	۴/۴	۵/۳	۰/۸
۱۰	۱۰/۸	۶/۱	۴/۷	۴/۶	۱/۵

از مقدار واقعی برآورد شده است.

نتایج تجزیه واریانس مقدار تثبیت پتاسیم در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج اثر غلظت پتاسیم اضافه شده و اثر خاک‌ها بر تثبیت پتاسیم در سطح احتمال ۱ در صد معنی دار بود. هم‌چنین اثر متقابل پتاسیم اضافه شده و نوع خاک بر پتاسیم تثبیت شده معنی دار بود.

تثبیت پتاسیم تبدیل شکل‌های قابل استفاده پتاسیم به شکل‌های غیر قابل استفاده پتاسیم بوده و تأثیر مستقیمی بر مصرف کود پتاسیم دارد (۲۰). نتایج پتاسیم تثبیت شده در خاک‌های مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است. دامنه تغییرات پتاسیم تثبیت شده در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک ۱۷/۰۳ تا ۲۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر مقدار پتاسیم اضافه شده و نوع خاک بر ظرفیت تثبیت پتاسیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
خاک	۹	۳۱۵۹/۸۶**
تیمار	۵	۴۶۵۲۵۴/۵۹**
تیمار × پتاسیم	۴۵	۸۱۷۱/۶۱**
خطا	۱۲۰	۲۸۵/۶۱

\*\* در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.

جدول ۴. ظرفیت تثبیت و شاخص تثبیت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده

تیمار پتاسیم خاک	K1	K2	K3	K4	K5	K6	میانگین	شاخص تثبیت
۱	۱۵/۳ <sup>c</sup>	۳۶/۲ <sup>de</sup>	۵۱/۲ <sup>d</sup>	۱۳۵/۴ <sup>c</sup>	۲۸۲/۷ <sup>b</sup>	۵۲۰/۲ <sup>a</sup>	۱۷۳/۵۰	۰/۶۶
۲	۱۰/۳ <sup>f</sup>	۳۹/۸ <sup>e</sup>	۶۱/۷ <sup>d</sup>	۱۱۵/۸ <sup>c</sup>	۱۸۴/۳ <sup>b</sup>	۳۱۱/۳ <sup>a</sup>	۱۲۰/۵۲	۰/۳۷
۳	۲۱/۷ <sup>f</sup>	۴۰/۳ <sup>e</sup>	۷۲/۷ <sup>d</sup>	۱۴۹/۷ <sup>c</sup>	۲۷۳/۰ <sup>b</sup>	۴۹۲/۸ <sup>a</sup>	۱۷۵/۰۳	۰/۶۰
۴	-۱۷/۳ <sup>e</sup>	۱۵/۵ <sup>d</sup>	۲۳/۸ <sup>d</sup>	۵۸/۴ <sup>c</sup>	۸۹/۷ <sup>b</sup>	۱۷۹/۲ <sup>a</sup>	۵۸/۲۰	۰/۲۳
۵	۱۸/۴ <sup>f</sup>	۴۰/۲ <sup>e</sup>	۶۰/۸ <sup>d</sup>	۱۰۲/۲ <sup>c</sup>	۲۸۲/۷ <sup>b</sup>	۵۳۵/۴ <sup>a</sup>	۱۷۳/۲۸	۰/۶۷
۶	۲۴/۲ <sup>e</sup>	۳۷/۰ <sup>d</sup>	۴۱/۴ <sup>d</sup>	۱۲۲/۰ <sup>c</sup>	۲۰۴/۸ <sup>b</sup>	۳۶۸/۹ <sup>a</sup>	۱۳۳/۰۵	۰/۴۵
۷	۱۵/۲ <sup>e</sup>	۴۳/۲ <sup>d</sup>	۵۱/۲ <sup>d</sup>	۸۱/۴ <sup>c</sup>	۱۴۵/۸ <sup>b</sup>	۲۷۰/۱ <sup>a</sup>	۱۰۱/۱۵	۰/۳۱
۸	۲۱/۶ <sup>e</sup>	۲۴/۸ <sup>e</sup>	۶۰/۸ <sup>d</sup>	۱۱۰/۵ <sup>c</sup>	۱۸۹/۴ <sup>b</sup>	۲۸۰/۷ <sup>a</sup>	۱۱۴/۶۳	۰/۳۴
۹	۸/۵ <sup>f</sup>	۱۸/۸ <sup>e</sup>	۴۸/۱ <sup>d</sup>	۷۶/۸ <sup>c</sup>	۱۵۲/۴ <sup>b</sup>	۲۳۳/۲ <sup>a</sup>	۸۹/۶۱	۰/۲۹
۱۰	۵/۷ <sup>d</sup>	۲۳/۳ <sup>c</sup>	۴۵/۲ <sup>b</sup>	۵۵/۸ <sup>b</sup>	۱۵۲/۷ <sup>a</sup>	۱۸۵/۸ <sup>a</sup>	۷۸/۰۸	۰/۲۳
میانگین	۱۲/۳۶	۳۱/۹۰	۵۱/۶۹	۱۰۰/۷۹	۱۹۵/۷۵	۳۳۷/۷۵	۰/۴۱۵	

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

K1: 25 mgkg<sup>-1</sup>  
K2: 50 mgkg<sup>-1</sup>

K3: 100 mgkg<sup>-1</sup>  
K4: 200 mgkg<sup>-1</sup>

K5: 400 mgkg<sup>-1</sup>  
K6: 800 mgkg<sup>-1</sup>

پتاسیم در خاک ۳ بود. دامنه تغییرات پتاسیم تثبیت شده در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک ۵۸/۳۵ تا ۱۴۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. کمترین مقدار تثبیت پتاسیم در خاک ۴ و بیشترین تثبیت پتاسیم در خاک ۳ بود. دامنه تغییرات پتاسیم تثبیت شده در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ۸۹/۷ تا ۲۸۲/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. کمترین مقدار تثبیت پتاسیم در خاک ۴ و بیشترین مقدار در خاک ۱ بود. دامنه تغییرات پتاسیم تثبیت شده در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ۱۷۹/۰ تا ۵۳۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در این

این غلظت از پتاسیم اضافه شده خاک ۶ بیشترین مقدار پتاسیم را تثبیت کرده است. در حالی که در خاک شماره ۴ پتاسیم آزاد شده است. دامنه تغییرات پتاسیم تثبیت شده در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ۱۵/۵ تا ۴۳/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. در این غلظت از پتاسیم اضافه شده بیشترین پتاسیم تثبیت شده در خاک ۷ و کمترین پتاسیم تثبیت شده در خاک ۴ بود. دامنه تغییرات پتاسیم تثبیت شده در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ۲۳/۸ تا ۴۲/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در این غلظت کمترین تثبیت پتاسیم در خاک ۴ و بیشترین تثبیت

۸ در این گروه قرار می‌گیرند. گروه سوم خاک‌هایی که در آنها کمتر از ۳۰ در صد پتاسیم اضافه شده تثبیت گردیده است. خاک‌های ۴، ۹ و ۱۰ در این گروه قرار می‌گیرند. مقایسه نتایج نشان می‌دهند که در خاک‌های با ظرفیت بالای تثبیت پتاسیم، پتاسیم غیر تبادلی کمترین مقدار می‌باشد. هم‌چنین در خاک‌هایی که تثبیت پتاسیم در آنها کمترین مقدار بوده است، پتاسیم غیر تبادلی بیشترین مقدار بوده است.

به منظور بررسی اثر ویژگی‌های خاک بر تثبیت پتاسیم از شاخص تثبیت پتاسیم استفاده شد. نتایج مطالعات هم بستگی نشان داد که شاخص تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی ( $r=0.72$   $P < 0.01$ )، گنجایش تبادل کاتیونی بخش آلی ( $r=0.58$   $P < 0.05$ )، گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی ( $r=0.55$   $P < 0.05$ ) و گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی ( $r=0.58$   $P < 0.05$ ) هم بستگی مستقیم و معنی‌داری داشت. هم‌چنین این شاخص با مقادیر پتاسیم تبادلی ( $r=-0.88$   $P < 0.01$ ) و پتاسیم غیر تبادلی خاک‌ها ( $r=-0.74$   $P < 0.01$ ) هم بستگی معکوس و معنی‌داری داشت. شاخص تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی ( $r=0.43$   $P > 0.05$ ) و در صد رس ( $P > 0.05$ )  $r=0.45$  هم بستگی معنی‌داری نداشت. عدم ارتباط شاخص تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی به معنی عدم نقش بار صفحه چهار وجهی بر تثبیت پتاسیم نیست. این عدم ارتباط را می‌توان به تغییرات زیاد گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی به دلیل تنوع کانی‌های رسی و برآورد گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی بیش از مقدار واقعی نسبت داد. حسین پور و کلباسی در مطالعه خود دریافتند که در جزء رس خاک‌های چهار محال و بختیاری بین میانگین تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی هم بستگی معنی‌داری وجود نداشت (۱). جوانگ و همکاران در مطالعه خود بر تثبیت آمونیوم دریافتند که هم‌بستگی بین گنجایش تثبیت آمونیوم و گنجایش تبادل کاتیونی صفحه هشت وجهی معنی‌دار ولی گنجایش تثبیت

تیمار کمترین تثبیت پتاسیم در خاک ۴ و بیشترین تثبیت پتاسیم در خاک ۵ بود.

نتایج ظرفیت تثبیت پتاسیم نشان داد که با افزایش پتاسیم اضافه شده مقدار پتاسیم تثبیت شده افزایش یافت. در تمام مقادیر اضافه شده پتاسیم، پتاسیم تثبیت شده در خاک ۴ کمترین مقدار بود و در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم اضافه شده، پتاسیم تثبیت شده در این خاک منفی بود. در این خاک به دلیل بالا بودن پتاسیم غیر تبادلی و پتاسیم تبادلی و احتمالاً اشباع مکان‌های تثبیت کننده پتاسیم در کانی‌های این خاک ظرفیت تثبیت پتاسیم حداقل می‌باشد. خاک‌های ۱، ۳، ۵، ۶ و ۷ بسته به غلظت پتاسیم اضافه شده بیشترین ظرفیت تثبیت پتاسیم را داشتند. با توجه به معنی‌دار شدن آثار متقابل خاک و پتاسیم اضافه شده اثر غلظت بر تثبیت پتاسیم به پتاسیم اضافه شده و نوع خاک بستگی دارد. میانگین تثبیت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده به ترتیب زیر بود:

خاک ۴ > خاک ۱۰ > خاک ۹ > خاک ۷ > خاک ۸ > خاک ۲ > خاک ۶ > خاک ۱ > خاک ۵ > خاک ۳

بین مقادیر پتاسیم اضافه شده و پتاسیم تثبیت شده معادله خطی ساده برازش داده شد. شیب این خطوط که به عنوان شاخص تثبیت پتاسیم در نظر گرفته شد (جدول ۴) نشان‌دهنده پتاسیم تثبیت شده در ازای واحد پتاسیم اضافه شده می‌باشد. شاخص تثبیت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده به ترتیب زیر بود:

خاک ۴ = خاک ۱۰ > خاک ۹ > خاک ۷ > خاک ۸ > خاک ۲ > خاک ۶ > خاک ۳ > خاک ۱ > خاک ۵

این نتایج با نتایج میانگین تثبیت پتاسیم در خاک‌ها همخوانی دارند. بر اساس شاخص تثبیت پتاسیم می‌توان خاک‌ها را در سه گروه قرار داد:

گروه اول خاک‌هایی که در آنها بیش از ۶۰ در صد پتاسیم اضافه شده تثبیت گردیده است. خاک‌های ۱، ۳ و ۵ در این گروه قرار می‌گیرند. گروه دوم خاک‌هایی که در آنها ۶۰-۳۰ در صد پتاسیم اضافه شده تثبیت گردیده است. خاک‌های ۲، ۶، ۷ و

### نتیجه گیری

نتایج تجزیه پتاسیم غیر تبادلی و گنجایش تبادل کاتیونی بخش معدنی خاک‌ها احتمالاً نشان دهنده تغییرات کانی‌های رسی در این خاک‌ها می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک‌ها با افزایش پتاسیم اضافه شده افزایش و در خاک‌ها تغییرات زیادی داشت. هم‌چنین شاخص تثبیت پتاسیم که مقدار پتاسیم تثبیت شده در هر واحد پتاسیم اضافه شده می‌باشد در خاک‌ها تغییرات زیادی داشت. این نتایج نشان می‌دهد که در مدیریت کاربردهای پتاسه و آزمون خاک پتاسیم باید به ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک‌ها توجه داشته باشیم. در پایان پیشنهاد می‌شود در هر منطقه ظرفیت تثبیت خاک‌ها تعیین و آنها را بر اساس ظرفیت تثبیت پتاسیم گروه‌بندی و در هر گروه مطالعات آزمون خاک پتاسیم انجام شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود ویژگی‌های بار در بخش‌های رس و سیلت خاک‌ها تعیین شود.

آمونوم با گنجایش تبادل کاتیونی صفحه چهار وجهی هم بستگی معنی‌داری نداشت (۸). این محققین این نتیجه را به نوع و ترکیب کانی شناسی موجود در خاک‌ها نسبت دادند آنها علت را به وجود مونت موریلونیت با جایگزینی در صفحه هشت وجهی در جزء رس این خاک‌ها نسبت دادند. شاخص تثبیت پتاسیم با درصد رس خاک هم بستگی معنی‌داری نداشت. موراشکینا و همکاران (۱۲) نیز در مطالعه خود دریافتند که تثبیت پتاسیم با درصد رس یا سیلت هم‌بستگی معنی‌داری نداشت. سردی و سیتاری (۱۸) در مطالعه خود بر تثبیت پتاسیم در خاک‌های مختلف و سطوح مختلف پتاسیم در یافتند که در بین فاکتورهای موثر بر ظرفیت تثبیت پتاسیم نوع و ترکیب کانی شناسی و مقدار رطوبت خاک از عوامل مؤثر بر تثبیت پتاسیم بودند. مصلح الدین و ایگاشیرا با مطالعه ظرفیت تثبیت تعدادی از خاک‌های شالیزاری بنگلادش دریافتند که با افزایش غلظت پتاسیم اضافه شده، مقدار پتاسیم تثبیت شده نیز افزایش یافت. و ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده تفاوت زیادی داشت (۱۱).

### منابع مورد استفاده

۱. حسین پور، ع. و م. کلباسی. ۱۳۸۰. تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس خاک در شماری از خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵(۳):۷۹-۹۵.
2. Al-Kanani, T., A.F. Mackenzie and G.J. Ross. 1983. Potassium status of some Quebec soils: K released by nitric acid and sodium tetraphenyl boron related to particle size and mineralogy. *Can. J. Soil Sci.* 64:99-106.
3. Andrew, N. 1990. Reduction of fertilizer potassium in soils of different mineralogy. *Soil Sci.* 149:44-51.
4. Barber, G.R. 1979. Potassium fixation in some Kenyan soils. *J. Soil Sci.* 30:785-792.
5. Bouabid, R., M. Badroui and R.P. Bloom. 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1493-1498.
6. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP.383-409. *In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Physical and Mineralogical Methods.* ASA. Madison, Wisconsin.
7. Helmek, P.A. and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium potassium, rubidium and cesium, PP. 551-575. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, chemical methods.* SSSA. Madison, Wisconsin.
8. Juang, T.C., M.K. Wang, H.J. Chen and C.C. Tan. 2001. Ammonium fixation by surface soils and clays. *Soil Sci.* 166:345-352.
9. Loeppert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP.437-475. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods.* SSSA. Madison, Wisconsin.
10. Martin, W.H. and D.L. Sparks. 1985. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 16: 133-162.
11. Moslehuddine, M.A. and K. Egashira. 1999. Potassium chemistry in some important paddy soils of Banladesh. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 30:329-344.
12. Murashkina, M.A., R.J. Southard and G.S. Pettygrove. 2007. Potassium fixation in San Joaquin valley soils derived

- from granitic and nongranitic alluvium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:135-132.
13. Nelson, D.W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, Organic carbon and organic matter. PP. 961-1011. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA, Madison, Wisconsin.*
  14. Ningappa, N. and N. Vasuki. 1989. Potassium fixation in acid soils of Karnataka. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 37:391-392.
  15. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-435. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin.*
  16. Ruhlicke, G. 1985. Layer charge of clay minerals in fixing sedimentary soils. PP.1-8. *In: potash rev. Subject 4.*
  17. Sahu, S. and S.K. Gupta. 1986. Fixation and release of potassium in some alluvial soils. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 35:29-34.
  18. Sardi, K. and G. Csitari. 1998. Potassium fixation of different soil types and nutrient levels. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 29: 1843-1850.
  19. 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.
  20. Simonis, A., H. Setatou and C. Tsadilas. 1998. Potassium fixation in soils and recovery of fertilizer potassium by plants. 16th WCSS. France.
  21. Sparks, D. L. and P. M. Huang. 1985. Physical Chemistry of soil potassium. PP. 201-276. *In: Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture. SSSA, Madison, Wisconsin.*
  22. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* 6:1-63.
  23. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. PP. 1201-1231. *In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. SSSA, Madison, Wisconsin.*
  24. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In: Sparks, D.L (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin.*