

## ثبتیت پتابسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس خاک در شماری از خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران

علیرضا حسین‌پور<sup>۱</sup> و محمود کلباسی<sup>۲</sup>

### چکیده

ثبتیت و آزادسازی پتابسیم به وسیله کانی‌های رسی فیلوسیلیکاتی بر پتابسیم قابل جذب گیاه تأثیر زیادی دارد. این پژوهش با هدف تعیین ظرفیت ثبتیت پتابسیم و ارتباط آن با ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌های خاک در ۱۵ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از مناطق مرکزی و شمال ایران انجام شد. پس از تفکیک اجزای ذرات خاک، گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لا یه چهار وجهی شبکه ساختمانی رس‌ها تعیین گردید. گنجایش تبادل کاتیونی لا یه چهار وجهی، پس از اشباع رس بالیتیم و حرارت دادن در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، برای کاهش بار لایه هشت وجهی به نزدیک صفر تعیین شد. ثبتیت پتابسیم در شرایط تر (نسبت ۱۰ به ۱ محلول به نمونه، و ۱۶ ساعت تکان دادن) و خشک (پس از خشک کردن نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از سه سطح پتابسیم اضافه شده اندازه‌گیری، و میانگین ثبتیت پتابسیم محاسبه گردید. هم‌چنین، همبستگی بین میانگین پتابسیم ثبتیت شده با ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌ها مطالعه شد. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی کل در رس‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و گیلان به ترتیب ۵۵/۵-۳۳/۰ و ۳۶/۰-۲۲/۱ و ۴۷/۹-۳۱/۰ سانتی‌مول در کیلوگرم بود. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی لا یه چهار وجهی در رس‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و گیلان به ترتیب ۹۵/۱-۵۸/۵، ۹۸/۴-۸۱/۰ و ۳۵/۰-۲۶/۲ و ۳۴/۰-۸/۱-۸/۳ سانتی‌مول در کیلوگرم بود، که به ترتیب ۹۵/۸-۸/۷ و ۷۲/۵-۲۴/۷ درصد از گنجایش تبادل کاتیونی کل رس را تشکیل می‌دهد. پتابسیم ثبتیت شده با افزایش پتابسیم به کار رفته و خشک شدن افزایش یافت. میانگین ثبتیت پتابسیم در رس‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و گیلان به ترتیب ۱۴/۶۷-۶/۶۳ و ۹/۱۳-۵/۴۲ و ۱۰/۳۶-۸/۸۷ سانتی‌مول در کیلوگرم بود. میانگین ثبتیت پتابسیم رس‌های خاک (بجز رس‌های گیلان) با گنجایش تبادل کاتیونی کل رس همبستگی معنی‌داری داشت. در رس‌های اصفهان، ثبتیت پتابسیم با گنجایش تبادل کاتیونی لا یه چهار وجهی همبستگی معنی‌داری داشت، در حالی که در دو استان دیگر چنین همبستگی دیده نشد. میانگین مقدار پتابسیم ثبتیت شده رس‌های خاک استان‌های بررسی شده به ترتیب زیر بود: رس‌های گیلان > رس‌های چهارمحال و بختیاری > رس‌های اصفهان

واژه‌های کلیدی: ثبتیت پتابسیم، بار رس، صفحات رس

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بولی سینا همدان

۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

## مقدمه

(۲۴) دریافت که تفاوت مقدار تثبیت پتابسیم توسط ورمی کولیت و اسمکتیت متناسب با بار کل است. هر چند ویر و وايت (۲۸) دریافتند که وقتی بار در صفحات چهار وجهی مرکز باشد، به دلیل نزدیکی منشأ بار به سطوح بین لایه‌ای، یون‌های پتابسیم با نیروهای الکترواستاتیک قوی‌تری نگهداری شده و پتابسیم بیشتری تثبیت می‌کنند. بارشاد و کیشک (۴) گزارش کردند که در دو گروه از کانی‌های اسمکتیت با تراکم بار یکسان، در کانی‌هایی که بار لایه جهار وجهی بیشتر بود پتابسیم بیشتری تثبیت گردید. در مورد ویژگی‌های بار الکتریکی رس خاک‌ها، و ارتباط تثبیت پتابسیم با ویژگی‌های بار رس‌های خاک در ایران تاکنون پژوهشی انجام نشده است.

هدف‌های این پژوهش عبارت بود از:

۱. تعیین ویژگی‌های بار رس‌های خاک.

۲. تعیین ظرفیت تثبیت پتابسیم رس‌های خاک در دو حالت خشک و تر.

۳. رابطه تثبیت پتابسیم این رس‌ها با ویژگی‌های بار الکتریکی در برخی از خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران.

## مواد و روش‌ها

پانزده نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) از گروه‌های بزرگ خاک (رده‌های آنتی‌سول، اریدی‌سول، اینسپیتی‌سول، آلفی‌سول و ورتی‌سول) در استان‌های اصفهان (شماره‌های ۱ تا ۵)، چهارمحال و بختیاری (شماره‌های ۶ تا ۱۰) و گیلان (شماره‌های ۱۱ تا ۱۵) انتخاب شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوا و عبور از الک دو میلی‌متری برای انجام آزمایش‌ها آماده شد. پ-هاش در نمونه‌های گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های گل اشباع (۱۸)، بافت خاک با روش پیپت (۱۰)، ماده آلی با روش اکسایش تر (۲۱)، گنجایش تبادل کاتیونی خاک و کل رس پس از جداسازی اجزا با روش استات سدیم در pH=۷ (۲۲)، پتابسیم محلول در عصاره‌های گل اشباع و پتابسیم تبادلی با روش استات آمونیوم یک مولار (۱۵)، و

تثبیت پتابسیم به وسیله کانی‌های رسی در خاک، بر پتابسیم قابل استفاده گیاه تأثیر دارد. تأثیر نوع کانی‌های رسی بر تثبیت پتابسیم توسط دانشمندان علوم خاک و کانی‌شناس مطالعه شده است (۳، ۱۹ و ۲۸). بررسی‌ها آشکارانشان می‌دهند که تثبیت پتابسیم عبارت از قرار گرفتن پتابسیم در فضاهای بین لایه‌ای کانی‌های سیلیکاتی ۲ به ۱ است. چنین به نظر می‌رسد که این فرآیند با از دست دادن آب یون‌های نظیر پتابسیم، به هنگام نزدیک شدن به لایه‌های مجاور سیلیکات‌های لایه‌ای فعال می‌گردد (۱۲). انرژی آب پوشی<sup>۱</sup> کم پتابسیم و اندازه شعاع آن، که هم اندازه حفرات شش ضلعی در صفحات چهار وجهی می‌باشد، این واقعیت را توضیح می‌دهد که پتابسیم به وسیله کانی‌های فیلوسیلیکاتی ۲ به ۱ تثبیت می‌شود (۱۱ و ۲۳). عمل تثبیت پتابسیم با کاهش فضای بین لایه‌ای در شبکه بلور همراه است، زیرا یون‌های پتابسیم یا نیروی کافی توسط دو لایه کنار هم جذب می‌شوند، و در نتیجه دو لایه را به هم نزدیک می‌کنند. تثبیت پتابسیم با مکانیسم فوق همراه با تشکیل کانی‌های شبه میکا است (۲).

کانی‌های ۲ به ۱ مانند ورمی‌کولیت و میکاهاي هودايده، از کانی‌های مهم در تثبیت پتابسیم می‌باشند (۲۷). در خاک‌های اسیدی کانی رسی تثبیت کننده پتابسیم عمدهاً ورمی‌کولیت دو جایی است، در حالی که در شرایط مرطوب و خشک میکاهاي هوازده پتابسیم را تثبیت می‌کنند (۷). کاملاً مشخص شده است که فرآیند تثبیت پتابسیم در میکاها پیچیده‌تر است، زیرا این کانی‌ها بسته به درجه هوازدگی، می‌توانند پتابسیم را تثبیت یا آزاد کنند (۵).

تراکم بار الکتریکی کل و توزیع آن در صفحات چهار و هشت وجهی از ویژگی‌های بسیار مهمی است که بر تثبیت پتابسیم به وسیله رس‌های ۲ به ۱ مؤثر هستند. در حال حاضر تأثیر و اهمیت نسبی تراکم بار الکتریکی کل و منشأ آن بر تثبیت پتابسیم به طور دقیق و کامل مشخص نیست (۷). راهلک

1. Hydration energy

### نتایج و بحث

بر پایه نتایج به دست آمده می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده دارای طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی می‌باشند (جدول ۱). دامنه تغییرات ویژگی‌های فیزیکی مانند درصد رس، سیلت و شن حتی در میان خاک‌های یک منطقه وسیع است به عنوان مثال، در خاک‌های استان اصفهان، در حالی که مقدار شن در خاک  $21/21$  درصد می‌باشد، در خاک  $3/3$  و  $4/4$  به ترتیب  $7/7$  و  $47/47$  درصد است. در خاک‌های دو استان دیگر نیز چنین شرایطی وجود دارد. به طور کلی، دامنه تغییرات رس، سیلت و شن در خاک‌های بررسی شده به ترتیب  $5/5-20/20$ ،  $5/5-8/8$  و  $5/5-7/7$  درصد است (جدول ۱).

بر پایه نتایج شیمیایی ارائه شده می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده، خاک‌های آهکی تا کمی اسیدی با پ-هاش  $4/4-7/7$  می‌باشند. این خاک‌ها دامنه نسبتاً گسترده‌ای از قابلیت هدایت الکتریکی  $7/7-4/4$  دسی زیمنس بر متر) دارند. دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل و مواد آلی به ترتیب  $40/40-56/56$  و  $7/7-45/45$  گرم در کیلوگرم خاک است. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی خاک  $11/11-34/34$  سانتی مول در کیلوگرم خاک می‌باشد. دامنه تغییرات پتابسیم تبادلی و محلول به ترتیب  $13/13-92/92$  و  $5/5-35/35$  سانتی مول در کیلوگرم خاک است (جدول ۱). دامنه تغییرات پتابسیم غیرتبادلی در خاک  $9/9-7/4$  سانتی مول در کیلوگرم است. دامنه تغییرات پتابسیم غیر تبادلی بخش رس و سیلت به ترتیب  $89/10-89/10$  و  $92/4-80/4$  سانتی مول در کیلوگرم می‌باشد. پتابسیم غیر تبادلی رس‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری از رس‌های گیلان بیشتر است، که نشان دهنده بیشتر بودن کانی‌های میکائی و رومی کولیت در این خاک‌ها می‌باشد. نتایج تجزیه‌های کانی‌شناسی این نظریه را تأیید می‌کند (جدول ۲). هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهند که در تمام خاک‌های مطالعه شده پتابسیم غیر تبادلی بخش رس از پتابسیم غیر تبادلی بخش سیلت کمتر است (جدول ۱). نتایج مشابهی به وسیله پژوهشگران دیگر گزارش شده است (۲۰).

پتابسیم غیر تبادلی با روش عصاره‌گیری با اسید نیتریک یک مولار جوشان (۱) تعیین شد. دیفاراکتوگرام پرتو ایکس بخش رس شماری از خاک‌ها، پس از جدا سازی اجزا (۱۰) و اعمال تیمارها (۲۹) تهیه گردید.

گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی رس پس از خشندی سازی بار لایه هشت وجهی به روش اشباع رس‌ها با کلرید لیتیم سه مولار، و حرارت دادن در دمای  $300^{\circ}\text{C}$  به مدت  $24$  ساعت (۱۶) اندازه‌گرفته شد. پس از اعمال تیمارهای بالا، نمونه‌های رس با استات سدیم یک مولار اشباع، و پس از پنج مرتبه شستشو با الكل اتیلیک (برای خارج کردن نمک‌های محلول اضافی) سدیم جانشین و اندازه‌گیری شد، و مقدار آن به عنوان شاخصی از گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی به کار رفت.

ظرفیت ثبتیت پتابسیم در دو حالت خشک و تر تعیین گردید. به این منظور، پنج میلی لیتر از محلول‌هایی با غلظت‌های  $5/5$ ،  $20/20$  و  $80/80$  میلی مولار پتابسیم (از کلرید پتابسیم) به  $70^{\circ}\text{C}$  رس‌های اشباع از کلسیم، در دو تکرار اضافه شد. تعلیق حاصل به مدت  $16$  ساعت در دستگاه به هم زن الکتریکی قرار گرفت، و سپس پتابسیم تبادلی در سه نوبت با  $10$  میلی لیتر استات منیزیم  $5/5$  مولار عصاره‌گیری گردید (۷).

مقدار پتابسیمی که توسط منیزیم عصاره‌گیری نمی‌شود به عنوان پتابسیم ثبتیت شده در نظر گرفته می‌شود، که اختلاف بین پتابسیم اولیه اضافه شده و پتابسیم عصاره‌گیری شده است. پتابسیم ثبتیت شده در این مرحله، ظرفیت ثبتیت پتابسیم حالت تر می‌باشد. روش عصاره‌گیری مشابهی پس از خشک کردن نمونه‌ها در  $70^{\circ}\text{C}$  به مدت  $24$  ساعت به کار رفت. پتابسیم ثبتیت شده در این مرحله، ظرفیت ثبتیت پتابسیم حالت خشک می‌باشد. سپس میانگین ظرفیت ثبتیت پتابسیم حالت تر، میانگین ظرفیت ثبتیت پتابسیم حالت خشک، و میانگین ظرفیت ثبتیت پتابسیم برای هر رس محاسبه گردید. بین میانگین ثبتیت پتابسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌های خاک، معادلات رگرسیون خطی برازش داده شد.



## ثبتیت پتانسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس خاک در شماری از خاک‌های.....

چهارمحال و بختیاری از ۰/۳۳-۵/۵۵ و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی از ۲/۲۶-۵/۳۴ سانتی مول در کیلوگرم می‌باشد(جدول ۱). بیشترین گنجایش تبادل کاتیونی کل رس در رس ۱۰ و کمترین آن در رس ۶، ولی بار لایه چهار وجهی در رس‌های ۷ و ۶ بیشترین و کمترین مقدار می‌باشد (جدول ۱). در صد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در خاک‌های چهارمحال و بختیاری (۹۵/۸-۵۸/۵) نشان می‌دهد که در این رس‌ها بخشی از بار رس از لایه هشت وجهی بوده، و کانی‌هایی که منشأ بار آنها از لایه هشت وجهی است نسبت به رس‌های اصفهان بیشتر است . با توجه به این مطلب که در کانی‌های ورمی‌کولیت هم مانند کانی‌های میکا منشأ بار عمدتاً از لایه هشت وجهی است (۸)، در رس‌های ۶ و ۷ کانی‌های ورمی‌کولیت و میکا غالباً هستند. منشأ بار در اسمکتیت‌های لایه هشت وجهی می‌باشد (۶)، به طوری که جانشینی هم‌شکل در مونت‌موریلوفیت در لایه هشت وجهی، و در کانی‌های بیدلت و نانترونیت در لایه چهار وجهی وجود دارد(۶). بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده، در رس‌های ۸، ۹ و ۱۰ مقدار کانی‌های مونت‌موریلوفیت افزایش یافته است . گنجایش تبادل کاتیونی بخش رس خاک‌های گیلان در دامنه ۳۱/۳-۴۷/۹، و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در دامنه ۲۸/۳-۲۸/۳ سانتی مول در کیلوگرم مستغیر می‌باشد(جدول ۱). بیشترین بار کل رس در رس ۱۴، و کمترین آن در رس ۱۵ وجود دارد، ولی بار لایه چهار وجهی در رس ۱۴ بیشترین، و در رس ۱۱ کمترین مقدار است (جدول ۱). در صد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در خاک‌های گیلان متوسط، و در دامنه ۷۲/۵-۲۴/۸ درصد قرار دارد (جدول ۱)، که بیشترین آن در رس ۱۵ و کمترین آن در رس ۱۱ می‌باشد. این نتایج گویای بیشتر بودن نسبی بار لایه هشت وجهی در رس‌های گیلان نسبت به رس‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری است. بنابراین، با توجه به این که منشأ بار در کانی مونت‌موریلوفیت لایه هشت وجهی است(۶)، در این رس‌ها این کانی از رس‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری بیشتر می‌

جدول ۲. کانی‌های غالب بخش رس در خاک‌های بررسی شده

شماره خاک	کانی‌های غالب <sup>۱</sup>
۱	M, Ch, K, V, Q
۴	Pa, M, Ch, Q
۵	M, K, Ch, (Sm+V), Q
۶	M, Ch, (Sm+V), Q, K
۸	M, V=Ch, K, Sm, Q
۹	M, Ch=V, Sm, K, Q
۱۰	(Sm+V), M, Ch, Q
۱۲	Sm, M, Mixed, Ch
۱۵	M, Ch, K, Q

۱. میکا=M، کلریت=Ch، کاتولینیت=K، پالیگورسکایت=Sm، ورمی‌کولیت=V، کوارتز=Q و کانی‌های درهم=Mixed

### ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌ها

دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی در رس‌های اصفهان ۱/۲۲-۰/۳۶، و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی بخش رس ۸۴/۸-۵/۳۵ سانتی مول در کیلوگرم می‌باشد (جدول ۱). بیشترین گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی رس در رس ۱ و کمترین آن در رس ۴ وجود دارد (جدول ۱). در صد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در خاک‌های اصفهان زیاد (۹۸/۴-۸۱/۰) و بخش زیادی از بار کل رس از لایه چهار وجهی منشأ می‌گیرد، و سهم لایه هشت وجهی در بار کل رس ناچیز است، به طوری که بیشترین درصد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در رس ۱ و کمترین آن در رس ۴ می‌باشد. این نتایج با نتایج تجزیه‌های کانی‌شناسی هم خوانی دارد(جدول ۲). کانی‌های غالب در این رس‌ها (بجز رس ۴ که کانی غالب آن پالیگورسکایت است) کانی‌های میکایی است. در کانی‌های میکایی جانشینی هم‌شکل عمدتاً مربوط به لایه چهار وجهی است، و مقدار جانشینی هم‌شکل در لایه هشت وجهی ناچیز است (۹).

دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی در رس‌های

است. اگرچه برآورده گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی با این روش به دلیل تأثیر بارهای لبه‌ای بیشتر از مقدار واقعی می‌باشد، ولی برای رس‌های اسمکتیت و ورمی‌کولیت این اثر ناچیز است<sup>(۷)</sup>.

باتوجه به مطالب گفته شده می‌توان دریافت که به دلیل وجود کانی‌های میکائی و کلریت در تمام رس‌های بررسی شده، گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی بیشتر از مقدار واقعی برآورده شده است. این خطا به ویژه در رس‌های اصفهان، که کانی‌های میکائی غالب می‌باشند، از خاک‌های چهارمحال و گیلان بیشتر است.

#### ثبتیت پتانسیم

ثبتیت پتانسیم به وسیله رس‌های خاک در حالت تر و خشک در سه مقدار پتانسیم به کار رفته در شکل‌های ۱ تا ۳، و میانگین ثابتیت پتانسیم در جدول ۳ آورده شده است. در رس‌های اصفهان پتانسیم ثابتیت شده در حالت تر و خشک با افزایش غلظت پتانسیم به کار رفته افزایش یافته است. میانگین‌های تعیین شده (جدول ۳) در رس ۱ با داشتن بیشترین گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی (جدول ۱) بیشترین مقدار، و در رس شماره ۴ با داشتن کمترین گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی کمترین مقدار می‌باشد، که نشان دهنده ارتباط ثابتیت پتانسیم بخش رس و ویژگی‌های بار بخش رس در این رس‌ها است.

نوع و مقدار رس بر ثابتیت پتانسیم تأثیر دارد. اختلاف مقدار ثابتیت پتانسیم در بخش رس خاک‌های اصفهان به دلیل تفاوت نوع و مقدار رس می‌باشد. نتایج تجزیه‌های کانی‌شناسی (جدول ۲) نشان می‌دهد که کانی‌های رسی در رس ۴ نسبت به دیگر خاک‌ها متفاوت بوده و دارای مقادیر چشمگیری کانی پالیگورسکایت (بیش از ۵۰ درصد) و میکا، ولی قادر ورمی‌کولیت و اسمکتیت می‌باشد<sup>(۱۴)</sup>. در بخش رس خاک‌های دیگر کانی‌های غالب از کانی‌های میکائی بوده، که

باشد. این نتایج با نتایج تجزیه‌های کانی‌شناسی (جدول ۲) همخوانی دارد.

گنجایش تبادل کاتیونی بخش رس مقدار باری است که برای تبادل در دسترس می‌باشد. این بار شامل بار بین لایه‌ای<sup>۱</sup>، بار لبه‌ای<sup>۲</sup> و بار سطوح پایه‌ای<sup>۳</sup> است. برای رس‌های نظری اسمکتیت و ورمی‌کولیت که فضاهای بین لایه‌ای کاملاً در دسترس است، گنجایش تبادل کاتیونی معادل بار بین لایه‌ای به علاوه بار لبه‌ای است. برای این رس‌ها بار بین لایه‌ای بیش از ۹۰ درصد کل بار می‌باشد (۱۷ و ۲۵٪). برای رس‌هایی با فضای بین لایه‌ای مسدود شده، مانند ایلیت و کلریت، به دلیل این که بیشتر فضاهای بین لایه‌ای در معرض تبادل یون قرار نمی‌گیرند، گنجایش تبادل کاتیونی همیشه از بار بین لایه‌ای کمتر است.

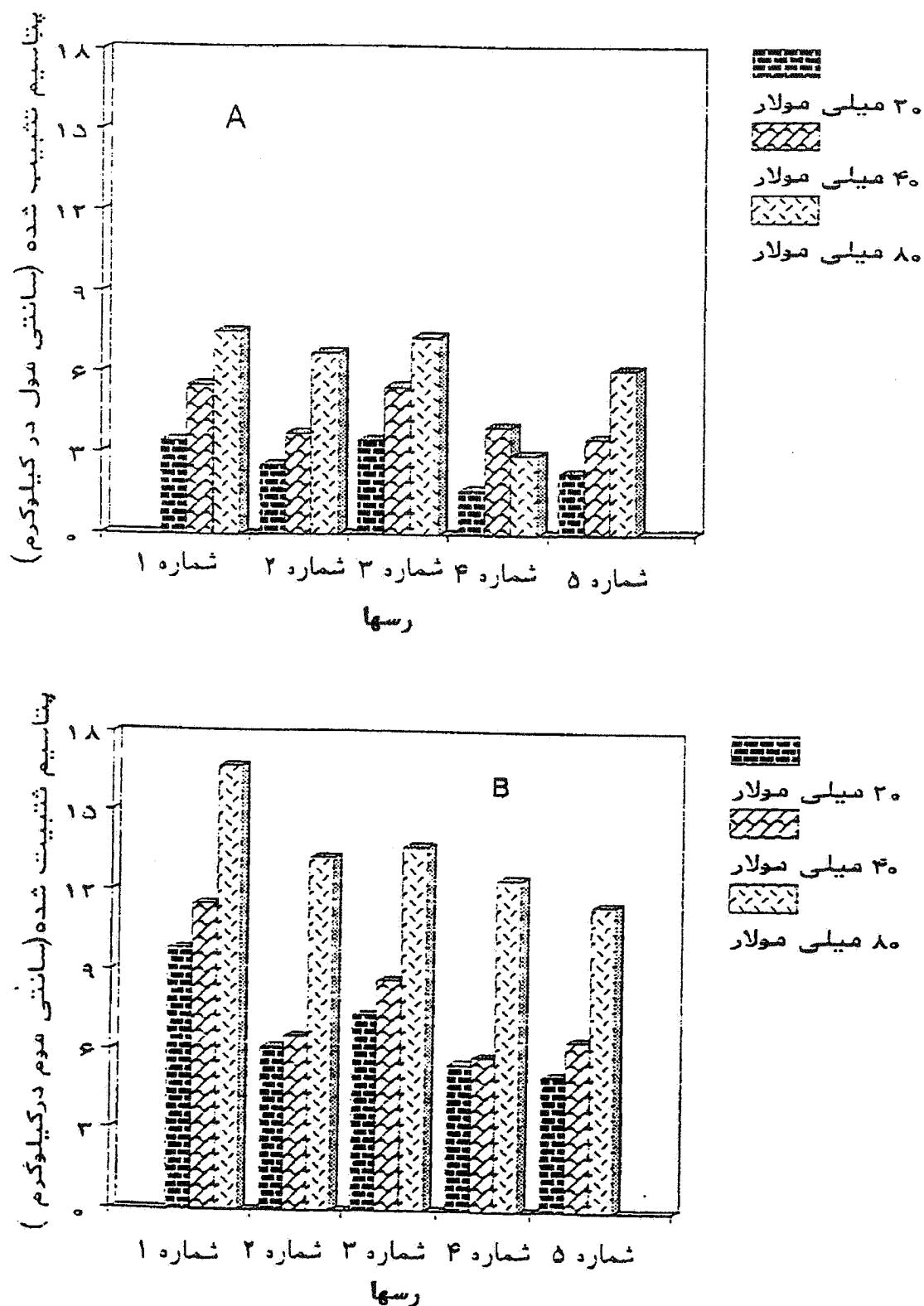
هنگامی که مونت‌موریلوفیت اشباع از لیتیم در دمای کم ( $200^{\circ}\text{C}$ -۳۰۰) حرارت داده شود، لیتیم ثابتیت و بار لایه‌ای کاهش می‌یابد. مکانیسم کاهش بار، مهاجرت یون‌های لیتیم به فضاهای خالی لایه هشت وجهی و خنثی کردن عدم توازن بار لایه هشت وجهی است<sup>(۱۳)</sup>. در پژوهش انجام شده توسط جینز و بیغم<sup>(۱۳)</sup> کاهش گنجایش تبادل کاتیونی رس‌های دوجایی در نتیجه اشباع با لیتیم و حرارت، معادل مقدار بار لایه هشت وجهی به دست آمده از فرمول ساختمانی کانی و بار بین لایه‌ای برآورده شده به روش الکلیم آمونیوم بود. این امر تأیید می‌کند که کاهش گنجایش تبادل کاتیونی پس از اشباع با لیتیم و دما، مربوط به کاهش بار در لایه هشت وجهی می‌باشد.

برآورده گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی، پس از خنثی سازی بار لایه هشت وجهی به وسیله اشباع با لیتیم و دما، شامل بار بین لایه‌ای لایه چهار وجهی و بار لبه‌ای است. در رس‌هایی مانند ایلیت و کلریت، درجه خنثی شدن بار لایه هشت وجهی به وسیله لیتیم، به درجه باز شدن فضاهای بین لایه‌ای کانی‌های ایلیت و کلریت بستگی دارد. بنابراین، به استثنای این رس‌ها، کاهش گنجایش تبادل کاتیونی رس پس از تیمار با لیتیم و دما، نشان دهنده مقدار بار لایه هشت وجهی

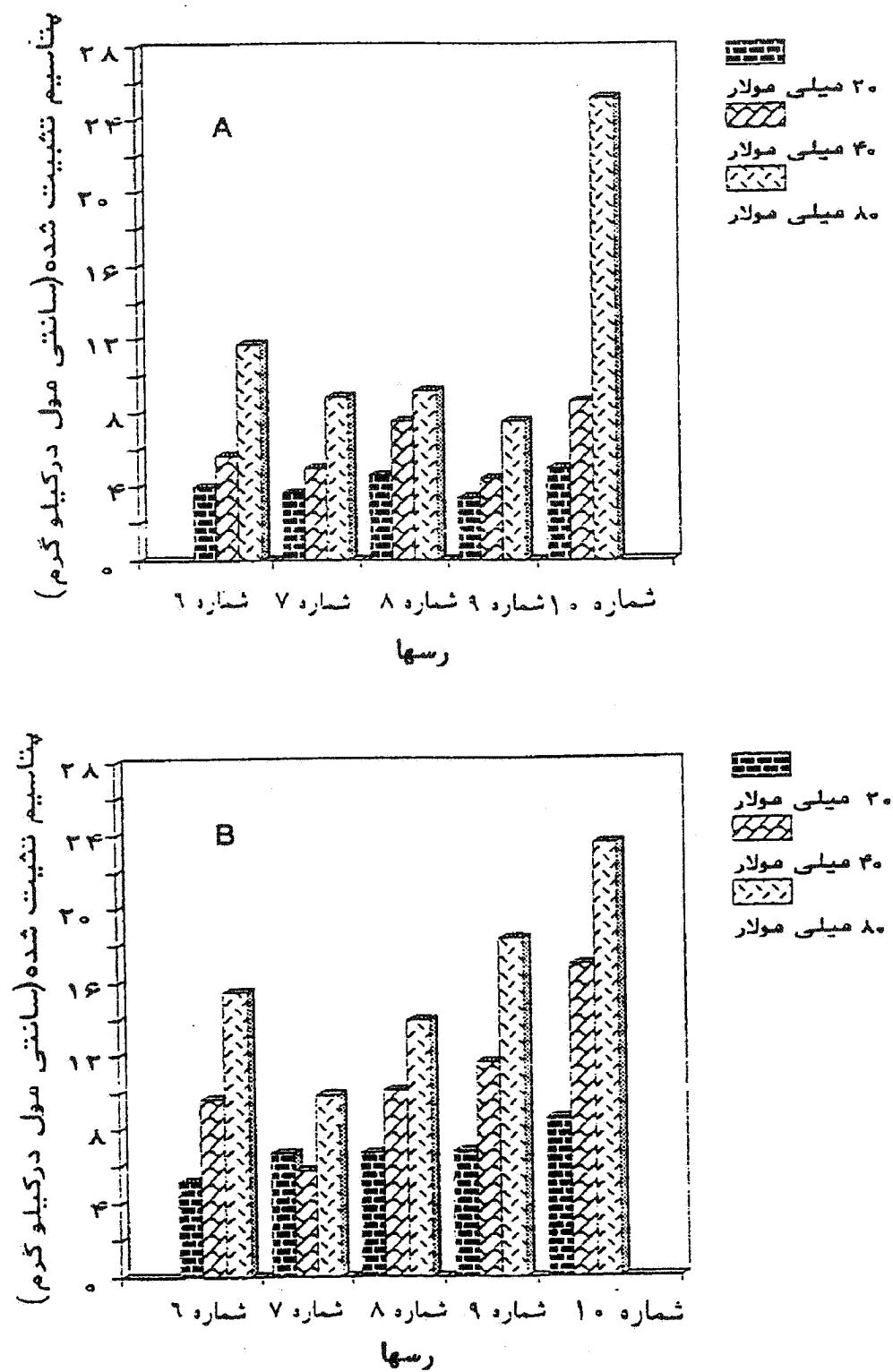
1. Interlayer charges

2. Edge charges

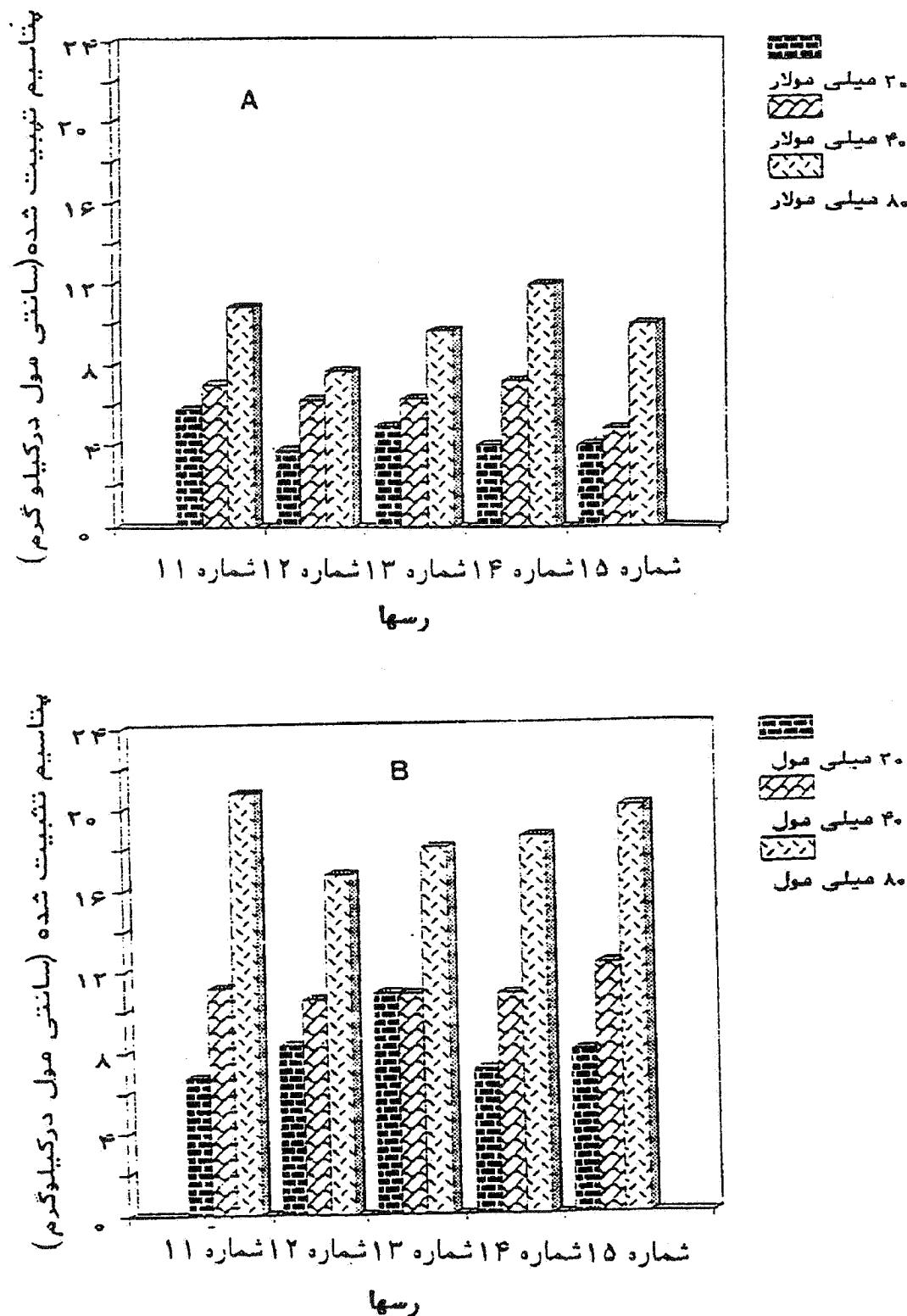
3. Planar surface charges



شکل ۱. مقدار ثبیت پتاسیم در شرایط تر (A) و خشک (B) برای سه غلظت پتاسیم در رس‌های اصفهان



شکل ۲. مقدار ثبیت پتاسیم در شرایط تر (A) و خشک (B) برای سه غلظت پتاسیم در رسم های چهارمحال و بختیاری



شکل ۳. مقدار تثبیت پتابسیم در شرایط تر (A) و خشک (B) برای سه غلظت پتابسیم در رس های گیلان

جدول ۳. میانگین مقدار پتابسیم ثبیت شده در رس‌های بررسی شده		شماره خاک	
میانگین تثبیت پتابسیم در حالت تر خشک	میانگین تثبیت پتابسیم در حالت تر آبرسان	میانگین تثبیت پتابسیم در حالت تر آبرسان	میانگین تثبیت پتابسیم در حالت تر آبرسان
$\text{cmol kg}^{-1}$			
اصفهان			
۱۲/۷۳	۵/۵۳	۹/۱۳	۱
۸/۶۶	۴/۳۵	۶/۵۰	۲
۹/۹۳	۵/۴۵	۷/۶۹	۳
۷/۹۴	۲/۹۰	۵/۴۲	۴
۷/۶۹	۴/۱۰	۵/۸۹	۵
۹/۳۹	۴/۴۶	۶/۹۲	میانگین
چهارمحال و بختیاری			
۱۰/۰۹	۷/۱۵	۸/۶۲	۶
۷/۴۱	۵/۸۵	۶/۶۳	۷
۱۰/۲۴	۷/۱۳	۸/۶۸	۸
۱۲/۲۵	۵/۲۰	۸/۷۲	۹
۱۶/۳۷	۱۲/۹۷	۱۴/۶۷	۱۰
۱۱/۲۷	۷/۶۶	۹/۴۵	میانگین
گیلان			
۱۲/۸۵	۷/۸۸	۱۰/۳۶	۱۱
۱۱/۸۵	۵/۸۹	۸/۸۷	۱۲
۱۳/۲۲	۶/۹۸	۱۰/۱۰	۱۳
۱۲/۱۳	۷/۷۲	۹/۹۳	۱۴
۱۳/۴۱	۶/۲۳	۹/۸۲	۱۵
۱۲/۶۹	۶/۹۴	۹/۸۱	میانگین

چهار وجهی بیشترین مقدار نمی‌باشد (جدول ۱). در این رس‌ها کمترین میانگین تثبیت پتابسیم در رس ۷ وجود دارد، که گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی بیشترین و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس کمترین مقدار است (بجز رس ۶). نتایج تجزیه‌های کانی‌شناسی (جدول ۳) در رس‌های چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد که کانی‌های غالب در رس ۱۰

ممکن است مقادیری کانی‌های انبساط پذیر نیز داشته باشند. در رس‌های چهارمحال و بختیاری، پتابسیم ثبیت شده در حالت تر و خشک با افزایش مقدار پتابسیم به کار رفته افزایش یافته است (شکل ۳). میانگین‌های تعیین شده (جدول ۳) در رس ۱۰، با داشتن بیشترین گنجایش تبادل کاتیونی بیشترین مقدار بوده، و این در حالی است که گنجایش تبادل کاتیونی لایه

تثبیت پتاسیم بخش رس خاک‌هایی با کانی‌شناسی مخلوط<sup>۱</sup> و مونت موریلولوئیت‌های خالص بیشتر ولی از ظرفیت تثبیت ورمی‌کولیت خالص کمتر بود. هم‌چنین، در پژوهش بوابید و همکاران (۷)، مقدار پتاسیم تثبیت شده با افزایش غلظت پتاسیم به کار رفته افزایش یافت. نتایج مشابهی به وسیله بادرویی و بلوم (۵) با استفاده از کل خاک به دست آمد. هم‌چنین، شاویو و همکاران (۲۶) و آریفین و تان (۲) دریافتند که پتاسیم تثبیت شده با افزایش مقدار پتاسیم در محلول افزایش یافت. نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نیز نشان دهنده افزایش ظرفیت تثبیت پتاسیم در دو حالت تر و خشک با افزایش پتاسیم به کار رفته می‌باشد.

ارتباط تثبیت پتاسیم بخش رس با ویژگی‌های رس دانسته کل بار و توزیع بار در لایه‌های چهار و هشت وجهی از ویژگی‌های مهمی است که بر تثبیت پتاسیم به وسیله رس‌های سیلیکاتی اثر دارد. اهمیت نسبی تراکم کل بار و محل بار برش تثبیت پتاسیم به خوبی مشخص نیست (۷).

در رس‌های اصفهان بین میانگین پتاسیم تثبیت شده و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس هم‌بستگی معنی‌داری وجود داشت ( $P=0/05$ )، ( $P=0/86$ ). در این رس‌ها گنجایش تبادل کاتیونی کل رس به تنها بیش از ۷۴ درصد تغییرات در تثبیت پتاسیم را توجیه می‌کند. هم‌چنین، در این رس‌ها میانگین تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی هم‌بستگی معنی‌داری ( $P=0/05$ )، ( $P=0/83$ ) داشت. کاهش ضرایب هم‌بستگی به دلیل وجود رس ۴ با کانی غالب پالیگورسکایت است (۸). به طوری که اگر رس شماره ۴ از مطالعات رگرسیون حذف شود، ضرایب هم‌بستگی به مقدار زیادی افزایش می‌یابند.

اگر چه گنجایش تبادل کاتیونی لایه هشت وجهی به تنها با تثبیت پتاسیم ارتباطی ندارد ( $P=0/05$ ،  $P=0/68$ ،  $P=-0/05$ )، ولی از طریق اثر بر تراکم بار، و بنابراین به طور غیر مستقیم، اثری

اسمکتیت و ورمی‌کولیت، و کانی‌های غالب در رس ۹ میکا، ورمی‌کولیت و کلریت می‌باشند. به دلیل همین تنوع در کانی‌های رسی، میانگین‌های تثبیت پتاسیم رس‌ها متفاوتند. در رس‌های گیلان نیز همانند دو استان دیگر، پتاسیم تثبیت شده در حالت تر و خشک با افزایش پتاسیم به کار رفته افزایش یافته است (شکل ۲). در رس ۱۱ به رغم این که گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی بیشترین مقدار نیست، میانگین تثبیت پتاسیم و میانگین حالت تر بیشترین مقدار می‌باشد، ولی بیشترین میانگین حالت خشک در رس ۱۵ وجود دارد. در این استان کمترین میانگین تثبیت پتاسیم در رس شماره ۱۲ است که گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی رس کمترین مقدار را ندارد. در رس‌های گیلان کانی‌های رسی از تنوع بیشتری برخوردارند، به طوری که نتایج کانی‌شناسی (جدول ۳) نشان می‌دهد کانی‌های رسی در رس ۱۳ اسمکتیت و میکا و در رس ۱۵ میکا و کلریت می‌باشند. هم‌چنین، مقایسه مقدار پتاسیم غیر تبادلی رس‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد که دامنه تغییرات آن زیاد است، که این نتیجه نیز تأییدی بر تنوع کانی‌های رسی می‌باشد.

نکته‌ای که باید اشاره کرد این است که در این رس‌ها اگر چه با افزایش مقدار پتاسیم به کار رفته تثبیت پتاسیم در دو حالت تر و خشک افزایش یافته، ولی مقدار این افزایش در تمام رس‌ها یکسان نیست. این امر نشان دهنده اثر متقابل پتاسیم به کار رفته و نوع رس بر تثبیت پتاسیم می‌باشد. هم‌چنین، اگر چه خشک کردن سبب افزایش تثبیت پتاسیم شده، ولی مقدار این افزایش در تمام رس‌ها یکسان نیست، که این امر نیز نشان دهنده اثر متقابل خشک کردن و نوع رس بر تثبیت پتاسیم می‌باشد. ظرفیت تثبیت پتاسیم در حالت تر و خشک با استفاده از کانی‌های خالص مونت موریلولوئیت و ورمی‌کولیت توسط بوابید و همکاران (۷) مطالعه گردید. نتایج آنها نشان داد که ظرفیت تثبیت پتاسیم در هر دو حالت تر و خشک، در بخش رس خاک‌هایی که اسمکتیتی و ورمی‌کولیتی بودند، از ظرفیت

1. Mixed mineralogy

است (به ترتیب  $\frac{۹۰}{۳}$  و  $\frac{۹۵}{۸}$ )، این مقدار در سه خاک دیگر کمتر شده است. گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در رس های ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب  $\frac{۷۶}{۹}$ ،  $\frac{۶۷}{۵}$  و  $\frac{۵۸}{۵}$  درصد است. تغییرات زیاد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در این خاک ها در اثر تنوع کانی های رسی، دلیل عدم ارتباط ثبیت پتانسیم با گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی می باشد.

مطلوب دیگری که در این جا می توان به آن اشاره کرد تعیین گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی است. گنجایش تبادل کاتیونی که در این روش تعیین می شود بیشتر از مقدار واقعی است (۷). در رس هایی مانند میکاها و کلریت، که قادر انبساط می باشند، گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی که به این روش تعیین می شود، بیشتر از مقدار واقعی است (۷). به دلیل وجود مقادیر متفاوت کانی های میکا و کلریت در این خاک ها، خطای تعیین بار لایه چهار وجهی در تمام رس ها یکسان نیست. این امر می تواند دلیل عدم ارتباط ثبیت پتانسیم با بار لایه چهار وجهی باشد.

در رس های چهارمحال و بختیاری، بین میانگین ثبیت پتانسیم با بار لایه هشت وجهی ارتباطی وجود دارد ( $P=0/۰۵$ )، در مورد ارتباط ثبیت پتانسیم با بار لایه هشت وجهی، به رغم بیشتر بودن فاصله لایه هشت وجهی تا یون های پتانسیم، نظر قاطعی نمی توان داد. در این زمینه، و برای روشن کردن نقش بار لایه هشت وجهی بر ثبیت پتانسیم، به بررسی های بیشتر و با تعداد زیادتر نمونه نیاز است.

نتایج پژوهش نشان داد که در رس های چهارمحال بین میانگین ثبیت پتانسیم با پتانسیم غیر تبادلی رابطه ای با شیب متفاوت دارد ( $P=0/۰۵$ )، در این رس ها  $P=0/۹۶$ . در این رس ها کانی های با ضخامت ۱۰ آنگستروم (کانی های میکایی) و ۱۴ آنگستروم (کانی های اسمکتیت و ورمیکولیت) غالب هستند، که توان ثبیت پتانسیم را دارند. به گونه ای که حتی کانی های اسمکتیت در رس ۱۰ دارای توان زیادی در ثبیت پتانسیم می باشند. هنگامی که کانی های میکایی به کانی های ورمیکولیت یا اسمکتیت تبدیل گردند مقدار پتانسیم غیر تبادلی

هرچند کم بر ثبیت پتانسیم می گذارد. هنگامی که ارتباط گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی و لایه هشت وجهی در یک معادله رگرسیون دو گانه با میانگین ثبیت پتانسیم بررسی گردید، ضرایب همبستگی از موقعی که گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی به تنها بی در مدل بودند بیشتر شد. بدین ترتیب، این نتایج نشان می دهند که در رس های اصفهان گنجایش تبادل کاتیونی لایه هشت وجهی بر ثبیت پتانسیم تأثیر دارد، هرچند نقش آن از لایه چهار وجهی به مراتب کمتر است. اساساً بار لایه چهار وجهی، به دلیل نزدیکی به فضاهای بین لایه ای کانی های سیلیکاتی ۲ به ۱، نقش بیشتری در ثبیت پتانسیم دارد (۷).

نتایج ارتباط میانگین ثبیت پتانسیم و مقدار پتانسیم غیر تبادلی بخش رس نشان داد که در رس های اصفهان بین میانگین ثبیت پتانسیم و پتانسیم غیر تبادلی رابطه ای با شیب متفاوت دارد ( $P=0/۰۵$ ). دلیل این رابطه احتمالاً یکسان بودن نوع و مقدار کانی های رسی در این خاک ها است. در بخش رس این خاک ها کانی های میکایی با ضخامت ۱۰ آنگستروم (بجز رس ۴) غالب می باشند. هر چه مقدار پتانسیم غیر تبادلی کانی های میکایی کمتر، یا درجه تخلیه پتانسیم بیشتر باشد، مقدار ثبیت پتانسیم بیشتر است، و دلیل شیب منفی احتمالاً این عامل می باشد.

در رس های چهارمحال و بختیاری، بین میانگین ثبیت پتانسیم و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس هم بستگی معنی داری وجود دارد ( $P=0/۰۵$ )، در این رس ها گنجایش تبادل کاتیونی کل رس بیش از ۸۴ درصد تغییرات پتانسیم ثبیت شده را توجیه می کند. در این رس ها بین میانگین ثبیت پتانسیم و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی ارتباطی وجود ندارد ( $P=0/۰۶$ ). در رس های یاد شده به دلیل تفاوت در نوع و مقدار کانی های رسی (جدول ۲)، گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی تغییرات زیادی دارد.

نتایج جدول ۱ نشان می دهد در حالی که در رس های ۶ و ۷ بخش زیادی از گنجایش تبادل کاتیونی از لایه چهار وجهی

را مشخص کند، ویژگی‌های بار و پتابسیم غیرتبدالی آنها است. در این رس‌ها بار لایه چهار و جهی از  $7/4$  تا  $72/5$  درصد بار کل رس می‌باشد، که به دلیل تفاوت کانی‌های رسی در این خاک‌ها است. هم‌چنین، مقدار پتابسیم غیر تبدالی از  $91/0$  تا  $85/6$  سانتی‌مول در کیلوگرم متغیر است. چنین تفاوت‌های چشم‌گیر در این رس‌ها نشان‌دهنده تنوع کانی‌های رسی می‌باشد، که احتمالاً باعث عدم ارتباط تثیت پتابسیم با ویژگی‌های بار و پتابسیم غیر تبدالی شده است.

کمتر می‌شود، در حالی که ظرفیت تثیت پتابسیم افزایش می‌یابد، و احتمالاً شیب منفی به همین دلیل است. نتایج بررسی در رس‌های گیلان نشان دهنده عدم ارتباط تثیت پتابسیم با ویژگی‌های بار و پتابسیم غیر تبدالی است، که بیانگر تفاوت نوع و مقدار کانی‌های رسی در این رس‌ها می‌باشد. نتایج تعزیزهای شیمیایی (جدول ۱) و کانی‌شناسی (جدول ۲) نشان می‌دهد که کانی‌های رسی تفاوت دارند. از ویژگی‌های شیمیایی بارزی که می‌تواند تفاوت کانی‌های رسی

#### منابع مورد استفاده

1. 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.
2. Arifim, H. F. and K. H. Tan. 1973. Potassium fixation and correlation of micaceous structures in soils. *Soil Sci.* 116: 31-35.
3. Barshad, I. 1954. Cation exchange in micaceous minerals. II. Replaceability of ammonium and potassium from vermiculite, biotite and montmorillonite. *Soil Sci.* 78: 57-76.
4. Barshad, I. and F. M. Kishk. 1970. Factor affecting potassium fixation and cation exchange capacity of soil vermiculite clays. *Clays Clay Miner.* 18: 127-131.
5. Badraoui, M. and R. P. Bloom. 1989. The effect of wetting and drying cycles, temperature and extracting solutions on measured potassium fixation in soils of two region of Morocco. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 20: 1353-1375.
6. Bochardt, G. A. 1989. Montmorillonite and other smectite minerals. In: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), *Minerals in Soil Environment*. SSSA, Madisom, WI.
7. Bouabid, R., M. Badraoui and P. R. Bloom. 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1493-1498.
8. Douglass, L. A. 1989. Vermiculites. In: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), *Minerals in Soil Environments*. SSSA, Madison, WI.
9. Fanning, D. S. and V. Z. Keramidas. 1989. Micas. In: J. B. Dixon and S. B. Weed (Eds.), *Minerals in Soil Environments*. SSSA, Madison, WI.
10. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle analysis. In: Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. ASA, Madison, WI.
11. Goulding, K. W. T. 1983. Thermodynamics and potassium exchange in soils and clay minerals. *Adv. Agron.* 36: 215-264.
12. Grim, R. E. 1968. *Clay Mineralogy*. International Series in Earth and Planetary Science. McGraw-Hill Book Co., New York.
13. Jaynes, W. F. and J. M. Bigham. 1987. Charge reduction, octahedral charge, and lithium retention in heated, Li-saturated smectites. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35: 440-448

14. Khademi, H. and A. R. Mermut. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran. *Clays Clay Miner.* 33: 561-578.
15. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1986. Lithium, Sodium, and Potassium. In: A. L. Page, R. H. Miller and R. Keneey (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* ASA, Madison, WI.
16. Lim, C. H. and M. L. Jackson. 1986. Expandable phyllosilicate reaction with lithium on heating. *Clays Clay Miner.* 34: 346-352.
17. Lagaly, M. 1981. Characterization of clays by organic compounds. *Clays Clay Miner.* 16: 1-21.
18. McLean, E. O. 1986. Soil pH and lime requirement. In: A. L. Page, R. H. Miller and R. Keneey (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* ASA, Madison, WI.
19. Mortland, M. M. and J. E. Giesecking. 1951. Influence of the silicate ion on potassium fixation. *Soil Sci.* 71: 381-385.
20. Munn, D. A., L. P. Wilding and E. O. McLean. 1976. Potassium release from sand, silt, and soil separates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 364-366.
21. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A. L. Page, R. H. Miller and R. Keneey. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* ASA, Madison, WI.
22. Rhoades, J. D. 1986. Cation exchange capacity. In: A. L. Page, R. H. Miller and R. Keneey (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* ASA, Madison, WI.
23. Ross, G. J. and A. R. Cline. 1984. Potassium exchange characteristics in relation to mineralogical properties and potassium uptake by grapes of selected soils in Niagara Peninsula of southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 64: 87-98.
24. Ruhlicke, G. 1981. Layer charge of clay minerals in K fixing sedimentary soils. PP. 1-8. In: *Potash Rev.*, Subj. 4, 32 rd suite., Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
25. Senkayi, A. L., G. B. Dixon, L. R. Hossner and L. A. Kippenberger. 1985. Layer charge evaluation of expanded soil clays by Alkylammonium method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1054-1060.
26. Shaviv, A., M. Mohsin, P. E. Pratt and S. V. Matiggod. 1985. Potassium fixation characteristics of five southern California soils. *Soil Sci. Am. J.* 49: 1105-1109.
27. Sparks, D. L. and M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: R. D. Munson (Ed.), *Potassium in Agriculture.* ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
28. Weir, J. I. and J. L. White. 1951. Potassium fixation in clay minerals related to crystal structure. *Soil Sci.* 71: 1-14.
29. Whitting, L. D. and W. R. Allardice. 1986. X-ray diffraction techniques. In: A. L. Page, R. H. Miller and R. Keneey (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* ASA, Madison, WI.