تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس خاک در شماری از خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران

علیرضا حسین‌پور[۱] و محمود کلباسی[۲]

چکیده

تثبیت و آزادسازی پتاسیم به وسیله کانی‌های رسی فیلوسیلیکاتی بر پتاسیم قابل جذب گیاه تأثیر زیادی دارد. این پژوهش با هدف تعیین ظرفیت تثبیت پتاسیم و ارتباط آن با ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌های خاک در ۱۵ نمونه خاک سطحی (۰-۳۰ 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 با لیتیم و حرارت دادن در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، برای کاهش بار لا یه هشت وجهی به نزدیک صفر تعیین شد. تثبیت پتاسیم 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 ۷۰ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از سه سطح پتاسیم اضافه شده اندازه‌گیری، و میانگین تثبیت پتاسیم محاسبه گردید. هم‌چنین، هم‌بستگی بین میانگین پتاسیم تثبیت شده با ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌ها مطالعه شد.

دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی کل در رس‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و گیلان به ترتیب ۲۲/۱-۳۶/۰، ۳۳/۰-۵۵/۵ و ۳۱/۳-۴۷/۹ سانتی‌مول در کیلوگرم بود. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی لا یه چهار وجهی در رس‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و گیلان به ترتیب ۱۷/۹-۳۵/۵، ۲۶/۲-۳۴/۵ و ۸/۳-۲۳/۸ سانتی‌مول در کیلوگرم بود، که به ترتیب ۸۱/۰-۹۸/۴، ۵۸/۵-۹۵/۸ و ۲۴/۷-۷۲/۵ درصد از گنجایش تبادل کاتیونی کل رس را تشکیل می‌دهد. پتاسیم تثبیت شده با افزایش پتاسیم به کار رفته و خشک شدن افزایش یافت. میانگین تثبیت پتاسیم در رس‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و گیلان به ترتیب ۵/۴۲-۹/۱۳ و ۶/۶۳-۱۴/۶۷ و ۸/۸۷-۱۰/۳۶ سانتی‌مول در کیلوگرم بود. میانگین تثبیت پتاسیم رس‌های خاک (بجز رس‌های گیلان) با گنجایش تبادل کاتیونی کل رس هم‌بستگی معنی‌داری داشت. در رس‌های اصفهان، تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی لا یه چهار وجهی هم‌بستگی معنی‌داری داشت، در حالی که در دو استان دیگر چنین هم‌بستگی دیده نشد. میانگین مقدار پتاسیم تثبیت شده رس‌های خاک استان‌های بررسی شده به ترتیب زیر بود: رس‌های گیلان > رس‌های چهارمحال و بختیاری > رس‌های اصفهان

واژه‌های کلیدی: *تثبیت پتاسیم، بار رس، صفحات رس*

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

مقدمه

تثبیت پتاسیم به وسیله کانی‌های رسی در خاک، بر پتاسیم قابل استفاده گیاه تأثیر دارد.تأثیر نوع کانی‌های رسی بر تثبیت پتاسیم توسط دانشمندان علوم خاک و کانی‌شناس مطالعه شده است (۳، ۱۹ و ۲۸). بررسی‌ها آشکارا نشان می‌دهند که تثبیت پتاسیم عبارت از قرار گرفتن پتاسیم در فضاهای بین لایه‌ای کانی‌های سیلیکاتی ۲ به ۱ است. چنین به نظر می‌رسد که این فرآیند با از دست دادن آب یون‌هایی نظیر پتاسیم، به هنگام نزدیک شدن به لایه‌های مجاور سیلیکات‌های لایه‌ای فعال می گردد (۱۲). انرژی آب‌پوشی[1] کم پتاسیم و اندازه شعاع آن، که هم اندازه حفرات شش ضلعی در صفحات چهار وجهی می‌باشد، این واقعیت را توضیح می‌دهد که پتاسیم به وسیله کانی‌های فیلوسیلیکاتی ۲به ۱ تثبیت می‌شود (۱۱ و ۲۳). عمل تثبیت پتاسیم با کاهش فضای بین لایه‌ای در شبکه بلور همراه است، زیرا یون‌های پتاسیم با نیروی کافی توسط دو لایه کنار هم جذب می‌شوند، و در نتیجه دو لایه را به هم نزدیک می‌کنند. تثبیت پتاسیم با مکانیسم فوق همراه با تشکیل کانی‌های شبه میکا است (۲).

کانی‌های ۲ به ۱ مانند ورمی‌کولیت و میکاهای هوادیده، از کانی‌های مهم در تثبیت پتاسیم می‌باشند (۲۷). در خاک‌های اسیدی کانی رسی تثبیت کننده پتاسیم عمدتاً ورمی‌کولیت دو جایی است، در حالی که در شرایط مرطوب و خشک میکاهای هوازده پتاسیم را تثبیت می کنند(۷). کاملاً مشخص شده است که فرآیند تثبیت پتاسیم در میکاها پیچیده‌تر است ، زیرا این کانی‌ها بسته به درجهٔ هوازدگی، می‌توانند پتاسیم 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 پتاسیم به وسیله رس‌های ۲ به ۱ مؤثر هستند. در حال حاضر تأثیر و اهمیت نسبی تراکم بار الکتریکی کل و منشأ آن بر تثبیت پتاسیم به طور دقیق و کامل مشخص نیست (۷). راهلک (۲۴) دریافت که تفاوت مقدار تثبیت پتاسیم توسط ورمی کولیت واسمکتیت متناسب با بار کل است . هر چند ویر و وایت (۲۸) دریافتند که وقتی بار در صفحات چهار وجهی متمرکز باشد، به دلیل نزدیکی منشأ بار به سطوح بین لایه‌ای، یون‌های پتاسیم با نیروهای الکترواستاتیک قوی‌تری نگهداری شده و پتاسیم 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 پتاسیم بیشتری تثبیت گردید. در مورد ویژگی های بار الکتریکی رس خاک ها، و ارتباط تثبیت پتاسیم 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 پتاسیم رس‌های‌خاک در دو حالت خشک و تر.

۳. رابطه تثبیت پتاسیم این رس‌ها با ویژگی‌های بارالکتریکی در برخی از خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران.

مواد و روش‌ها

پانزده نمونه خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) از گروه‌های بزرگ خاک (رده‌های آنتی‌سول، اریدی سول،اینسپتی سول، آلفی سول و ورتی سول)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)، پتاسیم محلول در عصاره‌های گل اشباع و پتاسیم تبادلی با روش استات آمونیوم یک مولار(۱۵)، و

1. Hydration energy

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

پتاسیم غیر تبادلی با روش عصاره‌گیری با اسید نیتریک یک مولار جوشان (۱) تعیین شد. دیفراکتوگرام 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 خنثی سازی بار لایه هشت وجهی به روش اشباع رس‌ها با کلرید لیتیم سه مولار، و حرارت دادن در دمای ۳۰۰ °C به مدت ۲۴ ساعت (۱۶) اندازه‌گرفته شد. پس از اعمال تیمارهای بالا، نمونه‌های رس با استات سدیم یک مولار اشباع، و پس از پنج مرتبه شست‌شو با الکل 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 تثبیت پتاسیم در دو حالت خشک و تر تعیین گردید. به این منظور، پنج میلی‌لیتر از محلول‌هایی با غلظت‌های ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار پتاسیم (از کلرید پتاسیم) به ۰/۵ گرم رس‌های اشباع از کلسیم، در دو تکرار اضافه شد. تعلیق حاصل به مدت ۱۶ ساعت در دستگاه به هم زن الکتریکی قرار گرفت، و سپس پتاسیم تبادلی در سه نوبت با ۱۰ میلی‌لیتر استات منیزیم ۰/۵ مولار عصاره‌گیری گردید(۷).

مقدار پتاسیمی که توسط منیزیم عصاره‌گیری نمی‌شود به عنوان پتاسیم تثبیت شده در نظر گرفته می‌شود، که اختلاف بین پتاسیم اولیه اضافه شده و پتاسیم عصاره‌گیری شده است. پتاسیم تثبیت شده در این مرحله، ظرفیت تثبیت پتاسیم حالت تر می باشد. روش عصاره‌گیری مشابهی پس از خشک کردن نمونه‌ها در ۷۰ °C به مدت ۲۴ ساعت به کار رفت. پتاسیم تثبیت شده در این مرحله، ظرفیت تثبیت پتاسیم حالت خشک می باشد. سپس میانگین ظرفیت تثبیت پتاسیم حالت تر ، میانگین ظرفیت تثبیت پتاسیم حالت خشک، و میانگین ظرفیت تثبیت پتاسیم برای هر رس محاسبه گردید. بین میانگین تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌های خاک، معادلات رگرسیون خطی برازش داده شد.

نتایج و بحث

بر پایهٔ نتایج به دست آمده می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده دارای طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی می باشند(جدول۱). 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 حالی‌که مقدار شن در خاک ۲۱/۲۱ درصد می‌باشد، در خاک۳ و ۴ به ترتیب ۷ و ۴۷ 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 ۲۰/۵-۵۲/۸، ۱۶/۰-۵۵/۸ و ۷/۰-۵۹/۰ درصد است (جدول ۱).

بر پایهٔ نتایج شیمیایی ارائه شده می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده، خاک‌های آهکی تا کمی اسیدی با پ-هاش ۴/۸-۷/۵ می‌باشند. این خاک‌ها دامنه نسبتاً گسترده‌ای از قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۷-۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر) دارند. دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل و مواد آلی به ترتیب ۴۰-۵۶۰ و ۷-۴۵ گرم در کیلوگرم خاک است . دامنهٔ تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی خاک ۱۱/۰-۳۴/۷ سانتی‌مول در کیلوگرم خاک می‌باشد. دامنه تغییرات پتاسیم تبادلی و محلول به ترتیب ۰/۱۳-۰/۹۲ و ۰/۰۵-۰/۳۵ سانتی‌مول در کیلوگرم خاک است (جدول ۱). دامنه تغییرات پتاسیم غیرتبادلی در خاک ۰/۹-۴/۷ سانتی‌مول در کیلوگرم است. دامنه تغییرات پتاسیم غیر تبادلی بخش رس و سیلت به ترتیب ۱/۸۹-۱۰/۸۹ و ۰/۹۲-۴/۸۰ سانتی‌مول در کیلوگرم می‌باشد. پتاسیم غیر تبادلی رس‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری از رس‌های گیلان بیشتر است، که نشان دهندهٔ بیشتر بودن کانی‌های میکایی و ورمی‌کولیت در این خاک‌ها می‌باشد. نتایج تجزیه‌های کانی‌شناسی این نظریه را تأیید می‌کند (جدول۲). هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهند که در تمام خاک‌های مطالعه شده پتاسیم غیر تبادلی بخش رس از پتاسیم غیر تبادلی بخش سیلت کمتر است (جدول ۱). نتایج مشابهی به وسیله پژوهشگران دیگر گزارش شده است (۲۰).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های انتخاب شده

شماره نمونه	محل نمونه‌برداری	گنجایش تبادل کاتیونی (چهاروجهی)			پ-هاش	شوری	پتاسیم تبادلی	پتاسیم محلول	پتاسیم غیرتبادلی			ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	شن	سیلت	رس
		خاک	کل‌رس	لایه رس					خاک	سیلت	رس					
		cmol kg^{-1}		%		cmol kg^{-1}						%	g kg^{-1}			
۱	سهره فیروزان	۱۳/۰	۳۶/۰	۳۵/۵	۹۸/۴	۷/۲	۱/۱	۰/۳۳	۰/۱۱	۳/۱۰	۱/۹۲	۵/۶۴	۱۸/۴	۳۶۵	۲۱۲	۴۳۹	۳۴۹
۲	میناداشت	۱۶/۵	۳۱/۱	۳۰/۰	۹۶/۵	۷/۰	۱/۸	۰/۴۰	۰/۱۳	۴/۶۰	۲/۶۳	۸/۲۷	۱۷/۰	۴۲۰	۱۷۲	۳۰۰	۵۲۸
۳	کبوترآباد	۱۴/۱	۳۳/۵	۳۲/۰	۹۵/۵	۷/۵	۷/۱	۰/۷۸	۰/۲۲	۴/۷۰	–	۷/۶۹	۱۴/۰	۴۳۰	۷۰	۵۵۸	۳۷۲
۴	شهرک صنعتی	۱۲/۴	۲۲/۱	۱۷/۹	۸۱/۰	۷/۱	۲/۸	۰/۴۸	۰/۲۰	۳/۴۰	۴/۸۰	۷/۴۳	۷/۸	۵۶۰	۴۷۰	۱۶۸	۳۶۲
۵	برآآن	۱۱/۲	۳۰/۰	۲۸/۶	۱۵/۳	۷/۰	۴/۲	۰/۸۴	۰/۱۹	۴/۲۰	۲/۵۰	۸/۴۶	۲۱/۵	۴۱۰	۲۰۸	۴۱۰	۳۸۲
۶	لردگان، رودشت	۱۱/۰	۳۳/۰	۲۹/۸	۹۰/۳	۷/۵	۰/۸	۰/۳۷	۰/۱۳	۳/۳۷	۲/۸۰	۷/۹۳	۱۲/۰	۱۷۵	۴۷۷	۲۷۲	۲۵۱
۷	بروجن، سفیددشت	۱۲/۵	۳۶/۰	۳۴/۵	۹۵/۸	۷/۲	۰/۹	۰/۹۲	۰/۳۵	۴/۴۵	۳/۷۴	۱۰/۸۹	۷/۰	۱۹۲	۳۵۸	۳۹۵	۲۴۷
۸	لردگان، روستای سینی	۱۶/۰	۴۰/۳	۳۱/۰	۷۶/۹	۷/۳	۰/۸	۰/۵۶	۰/۰۵	۴/۴۷	–	۹/۸۰	۱۴/۵	۳۸۵	۳۵۵	۱۶۰	۴۸۵
۹	دشت شهرکرد	۱۸/۲	۳۸/۸	۲۶/۲	۶۷/۵	۷/۰	۱/۰	۰/۶۲	۰/۱۱	۴/۴۲	۲/۸۰	۹/۳۵	۱۷/۰	۳۴۵	۱۱۵	۵۳۵	۳۵۰
۱۰	دشت زری، چلگرد	۲۴/۷	۵۵/۵	۳۲/۵	۵۸/۵	۷/۲	۰/۸	۰/۶۰	۰/۵۰	۲/۴۸	۱/۷۰	۴/۲۰	۲۵/۰	۲۴۰	۹۵	۴۰۰	۵۰۵
۱۱	سالکویه	۱۶/۵	۳۳/۵	۸/۳	۲۴/۷	۵/۱	۰/۷	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۹	۰/۹۲	۱/۹	۳۰/۰	۴۰	۴۱۵	۳۳۵	۲۵۰
۱۲	کلاچای اول	۳۳/۵	۳۹/۵	۱۹/۰	۴۸/۱	۶/۵	۱/۱	۰/۹۲	۰/۳۲	۴/۳	–	۵/۲	۴۵/۰	۷۰	۸۶	۵۳۷	۳۷۷
۱۳	اسطلک	۲۶/۵	۴۳/۳	۱۹/۰	۴۳/۸	۶/۷	۱/۰	۰/۷۶	۰/۲۲	۳/۳	۱/۸۵	۴/۵	۲۸/۰	۱۳۵	۱۳۰	۵۰۰	۳۷۰
۱۴	ماشک تهرانچی	۲۷/۵	۴۷/۹	۲۳/۸	۴۹/۶	۶/۵	۰/۸	۰/۴۰	۰/۱۱	۲/۱	۱/۳۵	۴/۳	۲۹/۰	۷۵	۲۴۵	۴۷۰	۲۸۵
۱۵	کومله	۱۴/۷	۳۱/۳	۲۲/۷	۷۲/۵	۴/۸	۰/۵	۰/۱۵	۰/۱۰	۲/۳	۳/۷۴	۶/۹	۳۱/۰	۹۰	۵۹۰	۲۰۵	۲۰۵
	میانگین	۱۸/۵	۳۶/۸	۲۶/۱	۷۳/۰	۶/۸	۱/۳	۰/۵۵	۰/۱۶	۳/۵	۲/۵۶	۶/۸	۲۱/۰	۲۶۲	۲۶۶/۵	۳۷۸/۹	۳۵۴/۵

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

جدول ۲. کانی‌های غالب بخش رس در خاک‌های بررسی شده

شماره خاک	کانی‌های غالب[1]
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، کائولینیت=K، پالیگورسکایت=Pa، اسمکتیت=Sm، ورمی‌کولیت=V، کوارتز=Q و کانی‌های درهم=Mixed

ویژگی‌های بار الکتریکی رس‌ها

دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی در رس‌های اصفهان ۲۲/۱-۳۶/۰، و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی بخش رس ۱۷/۸۴-۳۵/۵ سانتی‌مول 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). درصد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در خاک‌های اصفهان زیاد (۸۱/۰-۹۸/۴) 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 هم‌خوانی 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 چهارمحال وبختیاری از ۳۳/۰-۵۵/۵ و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی از ۲۶/۲-۳۴/۵ 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 وکمترین مقدار می‌باشد (جدول ۱).

در صد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در خاک‌های چهارمحال وبختیاری (۵۸/۵-۹۵/۸) 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 و۷ کانی‌های ورمی‌کولیت و میکا غالب هستند. منشأ بار در اسمکتیت‌ها لایه هشت وجهی می‌باشد (۶)، به طوری که جانشینی هم‌شکل در مونت‌موریلونیت در لایه هشت وجهی، و در کانی‌های بیدلیت و نانترونیت در لایه چهار وجهی وجود دارد(۶). بنابراین، باتوجه به نتایج به دست آمده، در رس‌های ۸ ، ۹ و ۱۰ مقدار کانی‌های مونت‌موریلونیتی افزایش یافته است .

گنجایش تبادل کاتیونی بخش رس خاک‌های گیلان در دامنهٔ ۳۱/۳-۴۷/۹، و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در دامنهٔ ۸/۳۳-۲۸/۳ سانتی‌مول در کیلوگرم متغیر می باشد(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). درصد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در خاک‌های گیلان متوسط، و در دامنهٔ ۲۴/۸-۷۲/۵ درصد قرار دارد (جدول ۱)، که بیشترین آن در رس ۱۵ وکمترین آن در رس ۱۱ می باشد. این نتایج گویای بیشتر بودن نسبی بار لایه هشت وجهی در رس‌های گیلان نسبت به رس‌های اصفهان و چهارمحال وبختیاری است. بنابراین، باتوجه به این که منشأ بار در کانی مونت‌موریلونیت لایه هشت وجهی است(۶)، در این رس‌ها این کانی از رس‌های اصفهان و چهارمحال وبختیاری بیشتر می

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

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[1]، بار لبه‌ای[2] و بار سطوح پایه‌ای[3] است. برای رس‌هایی نظیر اسمکتیت و ورمی‌کولیت که فضاهای بین لایه‌ای کاملا" 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 و۲۵). 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 مونت‌موریلونیت اشباع از لیتیم در دمای کم (۲۰۰-۳۰۰ °C) حرارت داده شود، لیتیم تثبیت 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 (۱۳). در پژوهش انجام شده توسط جینز و بیغم (۱۳) 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 برآورد شده به روش الکیل آمونیوم بود. این امر تأیید می کند که کاهش گنجایش تبادل کاتیونی پس از اشباع با لیتیم و دما، مربوط به کاهش بار در لایه هشت وجهی می باشد.

برآورد 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 شدگی 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 دهندهٔ 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 می‌باشد، ولی برای رس های اسمکتیت و ورمی‌کولیت این اثر ناچیز است(۷).

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

تثبیت پتاسیم

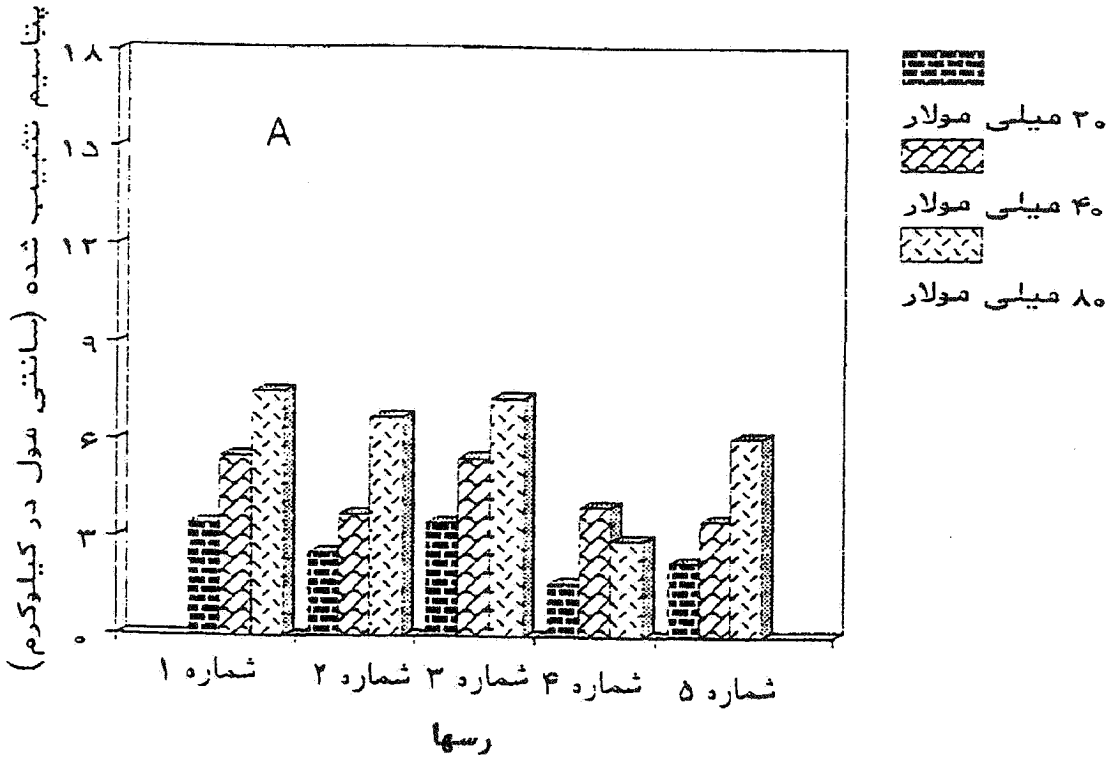
تثبیت پتاسیم به وسیله رس‌های خاک در حالت تر و خشک در سه مقدار پتاسیم به کار رفته در شکل‌های ۱ تا ۳، و میانگین تثبیت پتاسیم در جدول ۳ آورده شده است. در رس‌های اصفهان پتاسیم تثبیت شده در حالت تر و خشک با افزایش غلظت پتاسیم به کار رفته افزایش یافته است. میانگین‌های تعیین شده (جدول ۳) در رس ۱ با داشتن بیشترین 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 دهندهٔ ارتباط تثبیت پتاسیم بخش رس و ویژگی‌های بار بخش رس در این رس‌ها است.

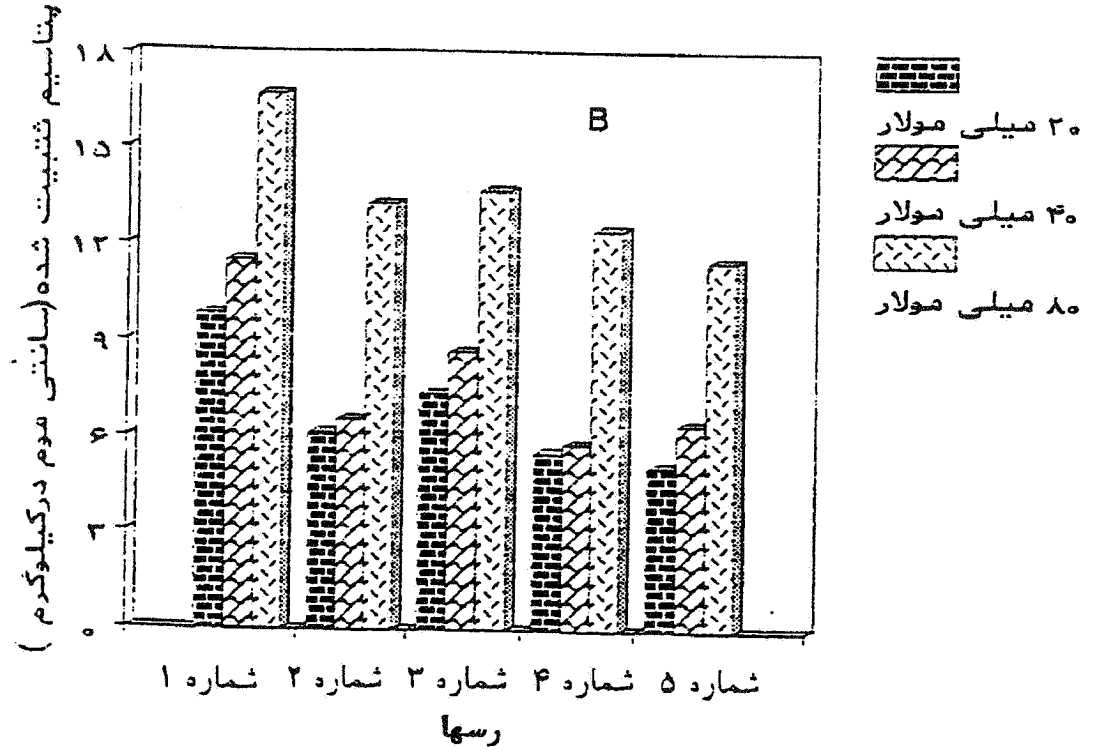
نوع ومقدار رس بر تثبیت پتاسیم تأثیر دارد.اختلاف مقدار تثبیت پتاسیم در بخش رس خاک‌های اصفهان به دلیل تفاوت نوع ومقدار رس می‌باشد. نتایج تجزیه‌های کانی‌شناسی (جدول ۲) نشان می‌دهد که کانی‌های رسی در رس ۴ نسبت به دیگر خاک‌ها متفاوت بوده و دارای مقادیر چشم‌گیری کانی پالیگورسکایت (بیش از ۵۰ درصد) و میکا، ولی فاقد ورمی‌کولیت واسمکتیت می‌باشند(۱۴). در بخش رس خاک‌های دیگر کانی‌های غالب از کانی‌های میکایی بوده، که

1. Interlayer charges 2. Edge charges 3. Planar surface charges

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

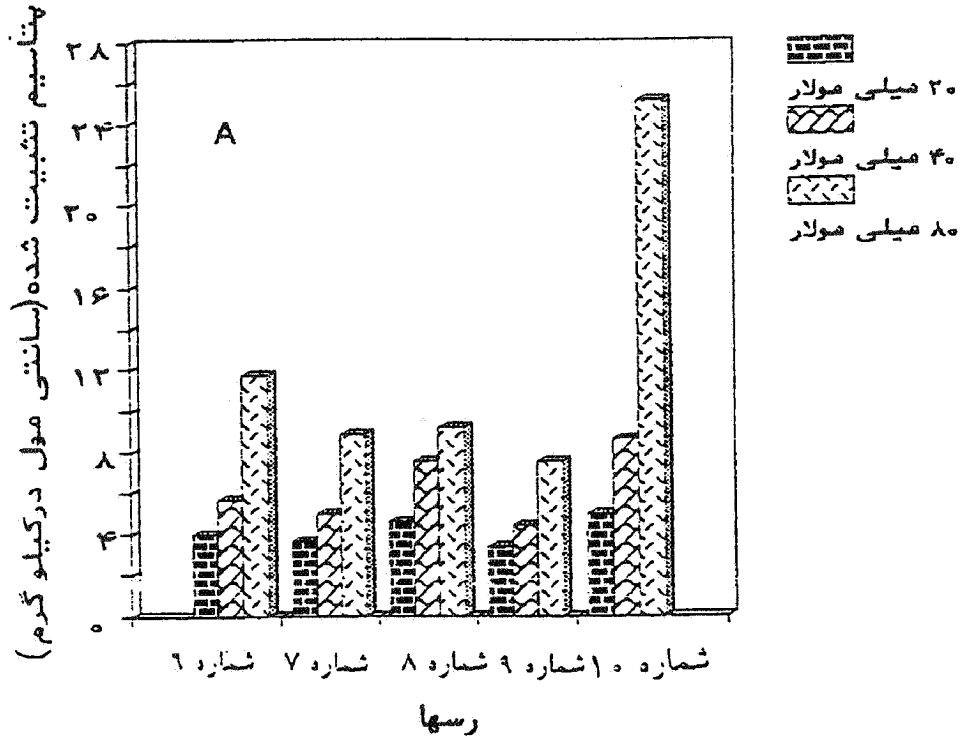


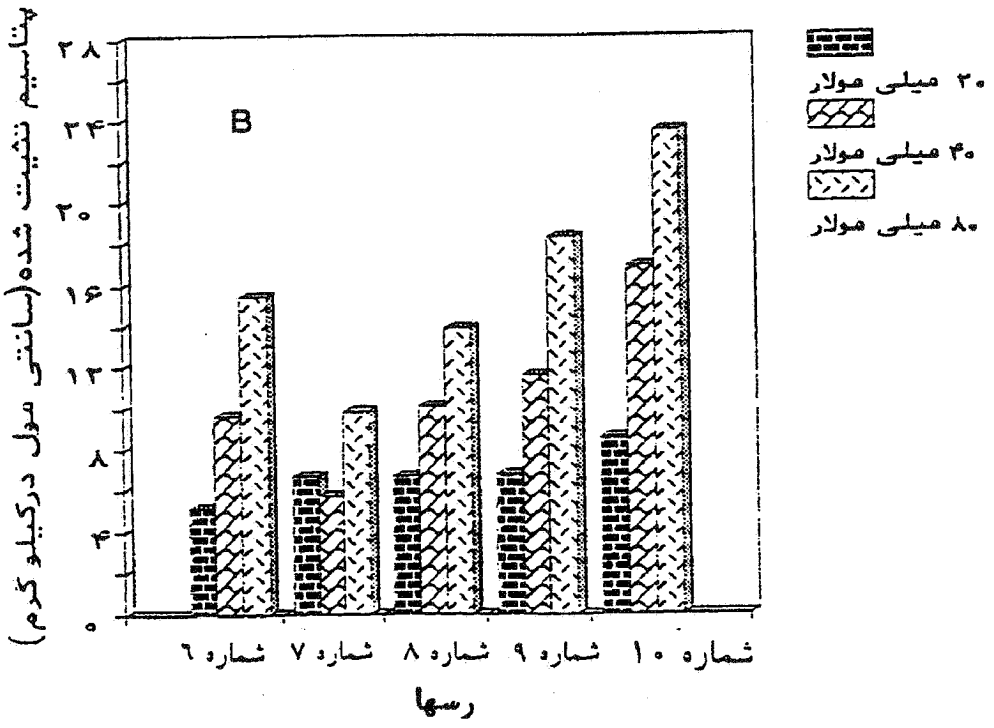


شکل ۱. مقدار تثبیت پتاسیم در شرایط تر (A) و خشک (B) برای سه غلظت پتاسیم در رس‌های اصفهان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

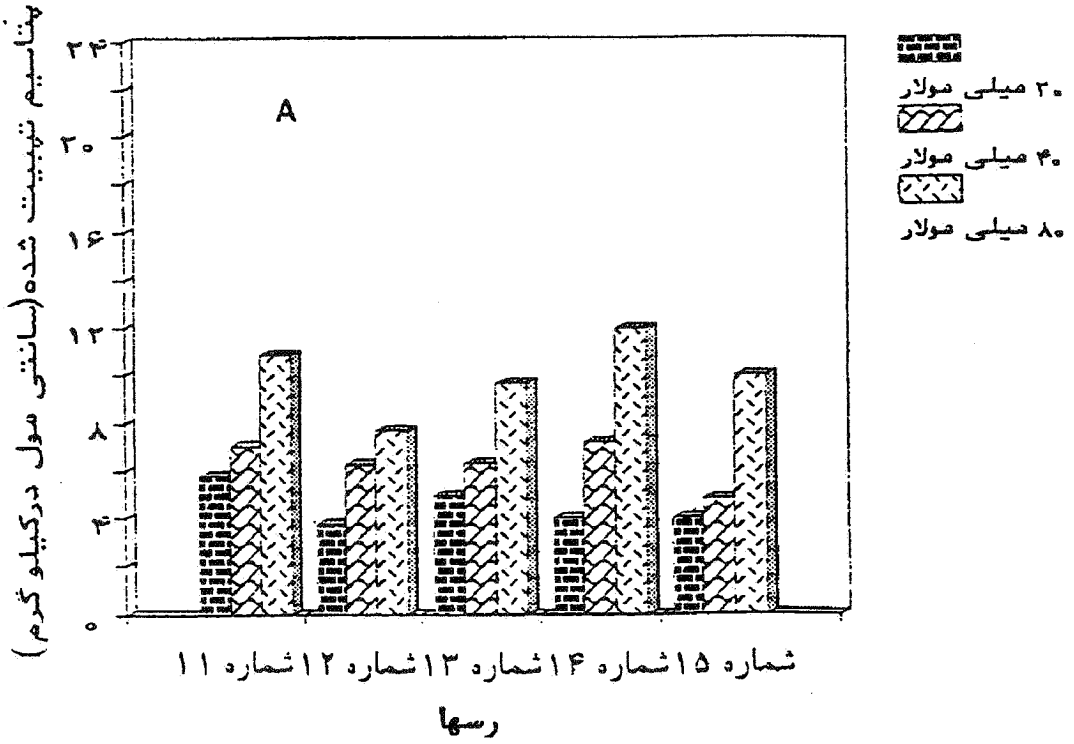


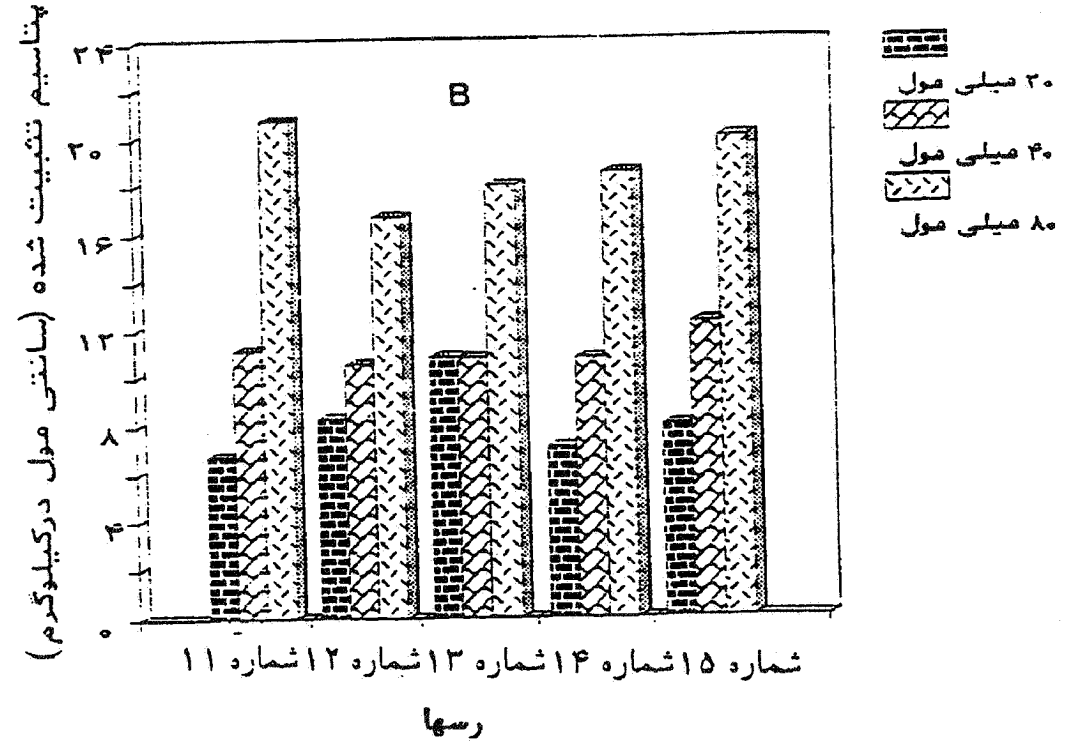


شکل ۲. مقدار تثبیت پتاسیم در شرایط تر (A) و خشک (B) برای سه غلظت پتاسیم در رس‌های چهارمحال و بختیاری

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]





شکل ۳. مقدار تثبیت پتاسیم در شرایط تر (A) و خشک (B) برای سه غلظت پتاسیم در رس‌های گیلان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

جدول ۳. میانگین مقدار پتاسیم تثبیت شده در رس‌های بررسی شد

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

ممکن است مقادیری کانی‌های انبساط پذیر نیز داشته باشند.

در رس‌های چهارمحال وبختیاری، پتاسیم تثبیت شده در حالت تر و خشک با افزایش مقدار پتاسیم 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 چهار وجهی بیشترین مقدار نمی‌باشد(جدول ۱). در این رس‌ها کمترین میانگین تثبیت پتاسیم 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 وبختیاری نشان می‌دهد که کانی‌های غالب در رس ۱۰

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

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 وخشک با افزایش پتاسیم به کار رفته افزایش یافته است (شکل۲). در رس ۱۱ به رغم این که گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی بیشترین مقدار نیست، میانگین تثبیت پتاسیم ومیانگین 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 ولایه 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 مقادیر 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 مونت‌موریلونیت 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 تثبیت پتاسیم بخش رس خاک‌هایی با کانی‌شناسی مخلوط[1] ومونت موریلونیت‌های 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 وبلوم (۵) با استفاده ازکل 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

دانسیته 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 بر 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 ($r=0/86$ ،$P<0/05$). در این رس‌ها گنجایش تبادل کاتیونی کل رس به تنهایی 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 ($r=0/83$ ،$P<0/05$) داشت. کاهش ضرایب هم‌بستگی به دلیل وجود رس ۴ با کانی غالب پالیگورسکایت است (۱۴). 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 تنهایی با تثبیت پتاسیم ارتباطی ندارد ($r=-0/68$ ، $P>0/05$)، ولی از طریق اثر بر تراکم بار، و بنابراین به طور غیر مستقیم، اثری

1. Mixed mineralogy

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

هرچند کم بر تثبیت پتاسیم می‌گذارد. هنگامی که ارتباط گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی و لایه هشت وجهی در یک معادله رگرسیون دوگانه با میانگین تثبیت پتاسیم بررسی گردید، ضرایب هم‌بستگی از موقعی که گنجایش تبادل کاتیونی کل رس و لایه چهار وجهی به تنهایی در مدل بودند بیشتر شد. بدین ترتیب، این نتایج نشان می‌دهند که در رس‌های اصفهان گنجایش تبادل کاتیونی لایه هشت وجهی بر تثبیت پتاسیم تأثیر دارد، هرچند نقش آن از لایه چهار وجهی به مراتب کمتر است. اساساً بار لایه چهار وجهی، به دلیل نزدیکی به فضاهای بین لایه‌ای کانی‌های سیلیکاتی ۲ به ۱، نقش بیشتری در تثبیت پتاسیم دارد(۷).

نتایج ارتباط میانگین تثبیت پتاسیم و مقدار پتاسیم غیرتبادلی بخش رس نشان داد که در رس‌های اصفهان بین میانگین تثبیت پتاسیم و پتاسیم غیرتبادلی رابطه‌ای با شیب منفی وجود دارد ($P<0/05$، $r=-0/77$). دلیل این رابطه احتمالاً یکسان بودن نوع و مقدار کانی‌های رسی در این خاک‌ها است. در بخش رس این خاک‌ها کانی‌های میکایی با ضخامت ۱۰ آنگستروم (بجزرس ۴) غالب می‌باشند. هر چه مقدار پتاسیم غیر تبادلی کانی‌های میکایی کمتر، یا درجه تخلیه پتاسیم بیشتر باشد، مقدار تثبیت پتاسیم بیشتر است، و دلیل شیب منفی احتمالاً این عامل می‌باشد.

در رس‌های چهارمحال وبختیاری، بین میانگین تثبیت پتاسیم و گنجایش تبادل کاتیونی کل رس هم‌بستگی معنی داری وجود دارد ($P<0/05$، $r=0/92$). در این رس‌ها گنجایش تبادل کاتیونی کل رس بیش از ۸۴ درصد تغییرات پتاسیم تثبیت شده را توجیه می‌کند. در این رس‌ها بین میانگین تثبیت پتاسیم و گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی ارتباطی وجود ندارد ($P>0/05$، $r=0/06$). در رس‌های یاد شده به دلیل تفاوت در نوع و مقدار کانی‌های رسی (جدول ۲)، گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی تغییرات زیادی دارد.

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد در حالی که در رس‌های ۶ و ۷ بخش زیادی از گنجایش تبادل کاتیونی از لایه چهار وجهی است (به ترتیب ۹۰/۳ و ۹۵/۸)، این مقدار در سه خاک دیگر کمتر شده است . گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در رس‌های ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب ۷۶/۹ ، ۶۷/۵ و ۵۸/۵ درصد است. تغییرات زیاد گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی در این خاک‌ها در اثر تنوع کانی‌های رسی، دلیل عدم ارتباط تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی می‌باشد.

مطلب دیگری که در این جا می‌توان به آن اشاره کرد تعیین گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی است. گنجایش تبادل کاتیونی که در این روش تعیین می‌شود بیشتر از مقدار واقعی است (۷). در رس‌هایی مانند میکاها و کلریت، که فاقد انبساط می‌باشند، گنجایش تبادل کاتیونی لایه چهار وجهی که به این روش تعیین می شود، بیشتر از مقدار واقعی است (۷). به دلیل وجود مقادیر متفاوت کانی‌های میکا و کلریت در این خاک‌ها، خطای تعیین بار لایه چهار وجهی در تمام رس‌ها یکسان نیست. این امر می‌تواند دلیل عدم ارتباط تثبیت پتاسیم با بار لایه چهار وجهی باشد.

در رس‌های چهارمحال و بختیاری، بین میانگین تثبیت پتاسیم با بار لایه هشت وجهی ارتباطی وجود دارد ($P<0/05$، $r=0/91$). در مورد ارتباط تثبیت پتاسیم با بار لایه هشت وجهی، به‌رغم بیشتر بودن فاصله لایه هشت وجهی تا یون‌های پتاسیم، نظر قاطعی نمی‌توان داد. در این زمینه، و برای روشن کردن نقش بار لایه هشت وجهی بر تثبیت پتاسیم، به بررسی‌های بیشتر و با تعداد زیادتری نمونه نیاز است.

نتایج پژوهش نشان داد که در رس‌های چهارمحال بین میانگین تثبیت پتاسیم با پتاسیم غیرتبادلی رابطه‌ای با شیب منفی وجود دارد ($P<0/05$ ، $r=-0/96$). در این رس‌ها کانی‌های با ضخامت ۱۰ آنگستروم (کانی‌های میکایی) و ۱۴ آنگستروم (کانی‌های اسمکتیت و ورمیکولیت) غالب هستند، که توان تثبیت پتاسیم را دارند. به گونه‌ای که حتی کانی‌های اسمکتیتی در رس ۱۰ دارای توان زیادی در تثبیت پتاسیم می‌باشند. هنگامی که کانی‌های میکایی به کانی‌های ورمیکولیت یا اسمکتیت تبدیل گردند مقدار پتاسیم غیر تبادلی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

کمتر می‌شود، در حالی که ظرفیت تثبیت پتاسیم افزایش می‌یابد، و احتمالاً شیب منفی به همین دلیل است.

نتایج بررسی در رس‌های گیلان نشان دهنده عدم ارتباط تثبیت پتاسیم با ویژگی‌های بار و پتاسیم غیر تبادلی است، که بیانگر تفاوت نوع و مقدار کانی‌های رسی در این رس‌ها می‌باشد. نتایج تجزیه‌های شیمیایی (جدول ۱) و کانی‌شناسی (جدول ۲) نشان می‌دهد که کانی‌های رسی تفاوت دارند. از ویژگی‌های شیمیایی بارزی که می‌تواند تفاوت کانی‌های رسی را مشخص کند، ویژگی‌های بار و پتاسیم غیرتبادلی آنها است. در این رس‌ها بار لایه چهار وجهی از ۷/۴ تا ۷۲/۵ درصد بار کل رس می‌باشد، که به دلیل تفاوت کانی‌های رسی در این خاک‌ها است. هم‌چنین، مقدار پتاسیم غیر تبادلی از ۰/۹۱ تا ۶/۸۵ سانتی‌مول در کیلوگرم متغیر است. چنین تفاوت‌های چشم‌گیر در این رس‌ها نشان‌دهنده تنوع کانی‌های رسی می‌باشد، که احتمالاً باعث عدم ارتباط تثبیت پتاسیم با ویژگی‌های بار و پتاسیم غیر تبادلی شده است.

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 montmorilonite. 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. Montmorilonite 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. Faning, 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]

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. Gieseking. 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.3.6.5]