

مقایسه پارامترهای نسبت کمیت به شدت پتاسیم در برخی خاک‌های ورتی سولز استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری

مرتضی بهمنی^{*}، علیرضا حسین‌پور و محمد حسن صالحی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۲/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۶)

چکیده

خصوصیات خاک تحت تأثیر اقلیم قرار دارند. پتاسیم قابل استفاده یکی از شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک به شمار می‌رود. تحقیق حاضر برای مقایسه پارامترهای کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌های ورتی سولز استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری با رژیم‌های رطوبتی اربیدیک و زیریک انجام شد. نتایج کانی‌شناسی نشان داد که اسمکتیت کانی غالب در خاک‌های ورتی سول چهارمحال و بختیاری است. نتایج نشان داد که در افق‌های سطحی نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR_e^k) در خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه $0/02$ تا $0/11$ و $0/0037$ تا $0/0078$ $(mmolL^{-1})^{0/5}$ است. پتاسیم لبایل یا پتاسیم آسان قابل استفاده (ΔK^0) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه $0/23$ تا $3/8$ و $0/72$ تا $1/6$ میلی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. پتاسیم نگه‌داری شده در مکان‌های اختصاصی یا پتاسیم سخت قابل استفاده (K_x) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه $2/8$ تا $7/1$ و $2/6$ تا $3/7$ میلی‌مول بر کیلوگرم است. گنجایش بافری پتاسیم (PBC^k) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه 12 تا 36 و 191 تا 210 $(mmolkg^{-1})^{0/5}$ می‌باشد. میانگین این پارامتر دارای تفاوت معنی‌دار در افق‌های سطحی دو منطقه است. هم‌چنین پارامترهای Q/I با عمق خاک نیز تغییر می‌کردند. PBC^k در خاک‌های دو منطقه مورد مطالعه با افزایش عمق خاک افزایش یافت و تغییرات دیگر پارامترها متفاوت بود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، روابط کمیت به شدت، اقلیم، ورتی سولز

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: bahmanimorteza@yahoo.com

مقدمه

مطالعات اندکی در مورد شیمی و حاصل خیزی پتاسیم (K^+) در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک انجام شده است زیرا خاک‌های این مناطق به طور کلی ذخیره خوبی از این عنصر دارند. به هر حال، خاک‌هایی که تحت کشت مستمر قرار دارند در حال تخلیه شدن پتاسیم قابل استفاده گیاه هستند. در ایران هم استفاده از واریته‌های با راندمان بالا و سیستم‌های کشت فشرده باعث تخلیه پتاسیم قابل استفاده شده‌اند (۴). به طور کلی پتاسیم در خاک به چهار شکل متفاوت یافت می‌شود که براساس کاهش قابلیت استفاده شامل پتاسیم محلول، پتاسیم تبادل، پتاسیم غیرتبادل و پتاسیم ساختمانی است. این شکل‌های مختلف در تعادل با یکدیگر قرار دارند (۱۴).

قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاهان به شدت، ظرفیت و سرعت تجدید آن در خاک بستگی دارد. شدت همان غلظت پتاسیم در محلول خاک می‌باشد، ظرفیت (کمیت)، مقدار کل پتاسیم قابل استفاده در فاز جامد است که وارد محلول خاک می‌شود و سرعت تجدید بیان‌کننده سرعت انتقال پتاسیم از فاکتور کمیت به فاکتور شدت است (۷). شواهد نشان می‌دهد که جذب پتاسیم به وسیله گیاهان از محلول خاک به غلظت کلسیم (Ca^{2+}) یا منیزیم (Mg^{2+}) نیز بستگی دارد (۱۰). برای تعیین پتاسیم قابل استفاده گیاه روش‌های عصاره‌گیری با استفاده از کاتیون‌های جانشین شونده استفاده می‌شود، که از همه متداول تر روش استات آمونیوم یک مولار است. این روش برای عصاره‌گیری پتاسیم تبدلی کارایی بالایی داشته اما برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم به آسانی قابل دسترس دارای خطا می‌باشد (۱۶).

در خاک‌های غنی از کانی‌های میکایی، به علت وجود مواضع اختصاصی جذب پتاسیم، مقدار زیادی از پتاسیم با انرژی بالا در این مواضع نگهداری می‌شود که هنگام عصاره‌گیری با استات آمونیوم بخشی از آن استخراج می‌شود (۲). این موضوع احتمالاً یکی از دلایل هم‌بستگی ضعیف بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم و عکس‌العمل گیاه به

کودهای پتاسه در این خاک‌هاست (۳ و ۸). توانایی معین یک خاک برای ذخیره هر عنصر بخصوصی به وسیله مقدار کل آن عنصر در خاک و سطح انرژی یا شدت تأمین آن عنصر توصیف می‌شود (۱۷). روابط بین این دو پارامتر به وسیله روش کمیت به شدت تعیین می‌شوند (۸). روابط کمیت به شدت می‌توانند درک فوری از وضعیت پتاسیم خاک فراهم کنند. با استفاده از روابط کمیت به شدت محققان می‌توانند مقدار معین پارامترهایی که در ارزیابی وضعیت پتاسیم مهم هستند را به دست آورند (۲۶). وضعیت معمول رابطه کمیت به شدت (Q/I) پتاسیم در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل، ΔK عامل کمیت (Q) و نشان‌دهنده تغییر در پتاسیم تبدلی با تغییر عامل شدت (AR^K) است. AR^K عامل شدت (I) یا نسبت فعالیت پتاسیم است:

$$AR^K = [a_k / (a_{Ca+Mg})^{0.5}] \quad [1]$$

در این فرمول a_k ، a_{Ca} و a_{Mg} به ترتیب فعالیت پتاسیم، کلسیم و منیزیم در محلول تعادلی خاک می‌باشند. هم‌چنین:

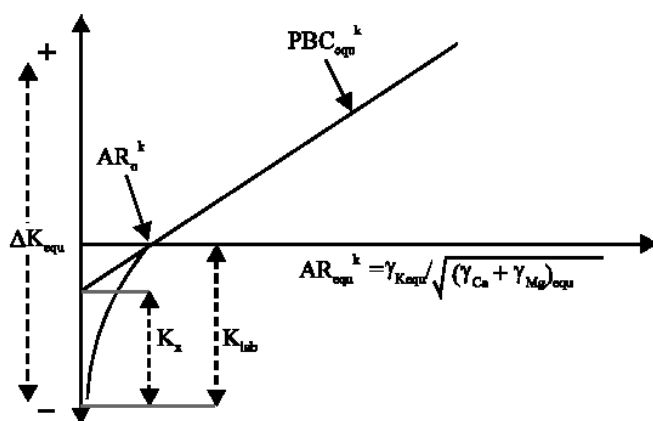
$$\Delta K^0 = \text{پتاسیم آسان قابل استفاده (Labile)}$$

$$AR^0 = \text{نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل}$$

$K_x =$ شاخصی از مقدار پتاسیم جذب شده در محل‌های اختصاصی که پتاسیم سخت قابل استفاده نامیده می‌شود.

$PBC^K =$ شیب قسمت خطی نمودار Q/I ، یا گنجایش بافری بالقوه پتاسیم خاک

تفسیرهای متفاوتی در مورد پارامترهای منحنی Q/I ارائه شده، بخش خطی نمودار به محل‌های جذب غیراختصاصی پتاسیم و بخش غیرخطی به محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم نسبت داده شده است (۸). محل‌های جذب غیراختصاصی مربوط به سطوح پایه‌ای می‌باشند، در حالی که محل‌های جذب اختصاصی به محل‌های لبه‌ای کانی‌های رسی و محل‌های گوه‌ای شکل میکاهای هوادیده نسبت داده می‌شود (۱۰). با توجه به تأثیر کانی‌های رسی بر پارامترهای نمودارهای کمیت به شدت پتاسیم، به دست آوردن روابط کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌هایی با خصوصیات متفاوت که در اقلیم‌های متفاوتی قرار



شکل ۱. منحنی مشخصه کمیت به شدت پتاسیم

سوسپانسیون ۵:۱ (خاک:آب) اندازه‌گیری شدند (۲۳). کربن آلی با روش اکسیداسیون با دی‌کرومات (۲۱)، کربنات کلسیم معادل به وسیله تیتراسیون با اسید (۱۹) و گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم نرمال (۹) اندازه‌گیری شدند. پتاسیم محلول در عصاره‌های ۱۰:۱ (خاک: آب)، پتاسیم تبدالی با روش استات آمونیوم یک مولار (۱۶) و پتاسیم غیرتبدالی با اسید نیتریک یک مولار جوشان (۶) تعیین شدند. آنالیز کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها توسط دستگاه پرتو ایکس بروکر مدل دی-۸ صورت گرفت (۱۵).

روابط کمیت به شدت پتاسیم

برای رسم منحنی‌های کمیت به شدت پتاسیم برای هر نمونه خاک اطلاعات لازم به شرح زیر به دست آمد: ۲۵ میلی‌متر محلول ۰/۰۰۲ مولار کلرید کلسیم، که غلظت پتاسیم (از منبع کلرید پتاسیم) در آنها به ترتیب صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۶ و ۲/۴ میلی‌مولار بود به نمونه‌های ۲/۵ گرمی از هر خاک (در سه تکرار) اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه تکان داده شدند. پس از سانتریفیوژ کردن در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره‌های خاک به وسیله دستگاه هدایت‌سنج، غلظت کلسیم +

دارند می‌تواند مفید باشد. هم‌چنین اطلاع از الگوی روابط Q/I در عمق‌های مختلف خاک می‌تواند در شناخت ذخیره طبیعی پتاسیم در اعماق پایین خاک مهم باشد. مطالعه حاضر با هدف تعیین پارامترهای نمودارهای کمیت به شدت پتاسیم در دو خاک ورتی سول در استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان در طول‌های جغرافیایی "۵۱° ۴۶' ۵۳/۳۵" و "۵۱° ۴۷' ۵۱/۵۲" و عرض‌های جغرافیایی "۳۲° ۳۸' ۶۱/۵۴" و "۳۲° ۳۹' ۴۱/۲۲" است. اقلیم این منطقه خشک با بارندگی سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری در دشت کوه‌رنگ و در طوهای جغرافیایی "۵۰° ۰۷' ۳۶/۵۱" و "۵۰° ۰۷' ۴۱/۹۹" و عرض‌های جغرافیایی "۳۲° ۱۷' ۱۶/۷۵" و "۳۲° ۲۷' ۲۱/۷۸" واقع شده است. اقلیم این منطقه نیمه‌خشک با بارندگی سالیانه ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال است. تعداد سه پروفیل در هر منطقه حفر و طبقه‌بندی خاک‌ها براساس سیستم رده‌بندی آمریکایی انجام شد (۲۷). نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مانند بافت به روش هیدرومتری (۱۱)، pH و هدایت الکتریکی در

رس و گنجایش تبادل کاتیونی با افزایش عمق پروفیل افزایش می‌یابد در حالی که میزان کربن آلی با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

خاک‌های دو منطقه براساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی در رده ورتی سول قرار گرفتند. رده‌بندی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری تا سطح تحت گروه بزرگ به ترتیب Chromic Calcitorrerts و Typic Haploxererts می‌باشد.

پراش‌نگارهای پرتو ایکس مربوط به نمونه‌های یک پروفیل از هر منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج کانی‌شناسی رس خاک‌ها نشان داد که رس‌های غالب در خاک اصفهان شامل میکا، کلریت، اسمکتیت و مقادیر کمتری هم پالی‌گورسکیت و کائولینیت می‌باشند. در خاک چهارمحال و بختیاری رس‌های غالب اسمکتیت، میکا، کلریت و مقادیر کمتری کائولینیت هستند.

پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی

مقادیر پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی دارای تغییرات زیادی بین خاک‌های دو منطقه هستند (جدول ۱). غلظت پتاسیم محلول در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۱۷ تا ۲۷ و ۲/۱ تا ۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در حالی که غلظت پتاسیم محلول در افق‌های زیرسطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۳/۲ تا ۱۷ و ۰/۸ تا ۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

مقادیر پتاسیم تبادلی در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۲۸۲ تا ۲۹۴ و ۲۴۷ تا ۲۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در افق‌های زیرسطحی به ترتیب ۲۵۲ تا ۳۰۲ و ۲۳۸ تا ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. مقادیر پتاسیم غیرتبادلی در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۶۸۳ تا ۷۴۲ و ۳۰۶ تا ۳۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در افق‌های زیرسطحی به ترتیب ۶۰۸ تا ۸۱۲ و ۲۹۰ تا ۳۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

منیزیم به وسیله تیتراسیون با EDTA و غلظت پتاسیم با روش طیف‌سنجی نشر اتمی اندازه‌گیری شد.

تغییر در غلظت پتاسیم (ΔK)، از تفاوت غلظت پتاسیم در محلول اولیه و محلول تعادلی به دست آمد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم (معادله ۱)، ابتدا قدرت یونی محلول‌ها (I) با استفاده از EC اندازه‌گیری شده و فرمول تجربی $I = 0.013 EC$ محاسبه شد. سپس ضرایب فعالیت یون با استفاده از معادله توسعه یافته دبی‌ها کل محاسبه و از ضرب کردن ضریب فعالیت در غلظت یون، فعالیت آن یون محاسبه شد (۱۸). با رسم مقدار پتاسیم جذب یا آزاد شده در مقابل نسبت فعالیت پتاسیم، برای هر خاک، منحنی‌های کمیت به شدت رسم و پارامترهای مربوطه برای هر خاک تعیین شدند. معادله بخش خطی نمودار کمیت به شدت ($\Delta K = a + bAR^k$) با روش آزمون و خطا تعیین شد، به عبارت دیگر با وارد کردن نقاط به دست آمده در یک معادله رگرسیون خطی معادله‌ای که ضریب همبستگی آن بالاتر بود به عنوان معادله بخش خطی نمودار Q/I انتخاب شد. پارامترهای نمودارهای Q/I شامل شیب بخش خطی نمودار (گنجایش بافری بالقوه پتاسیم)، پتاسیم لبایل یا محل تقاطع بخش خطی نمودار Q/I با محور Y، نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل یا محل تقاطع بخش خطی نمودار Q/I با محور X می‌باشد. به منظور تعیین پتاسیم به سختی قابل تبادل معادله درجه دوم $\Delta K = A + BAR^k + C(AR^k)^2$ بر داده‌ها برازش (۲۴) و ضرایب آن محاسبه شد (A, B, C ثابت‌های معادله، AR^k و ΔK پارامترهای بحث شده قبلی می‌باشند). پتاسیم به سختی قابل تبادل اختلاف عرض از مبدأ معادله بخش خطی و عرض از مبدأ معادله درجه دوم است.

نتایج و بحث

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از دامنه تغییرات نسبتاً وسیعی در دو منطقه برخوردار است. به طور کلی pH، کربنات کلسیم معادل، میزان

جدول ۱. تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

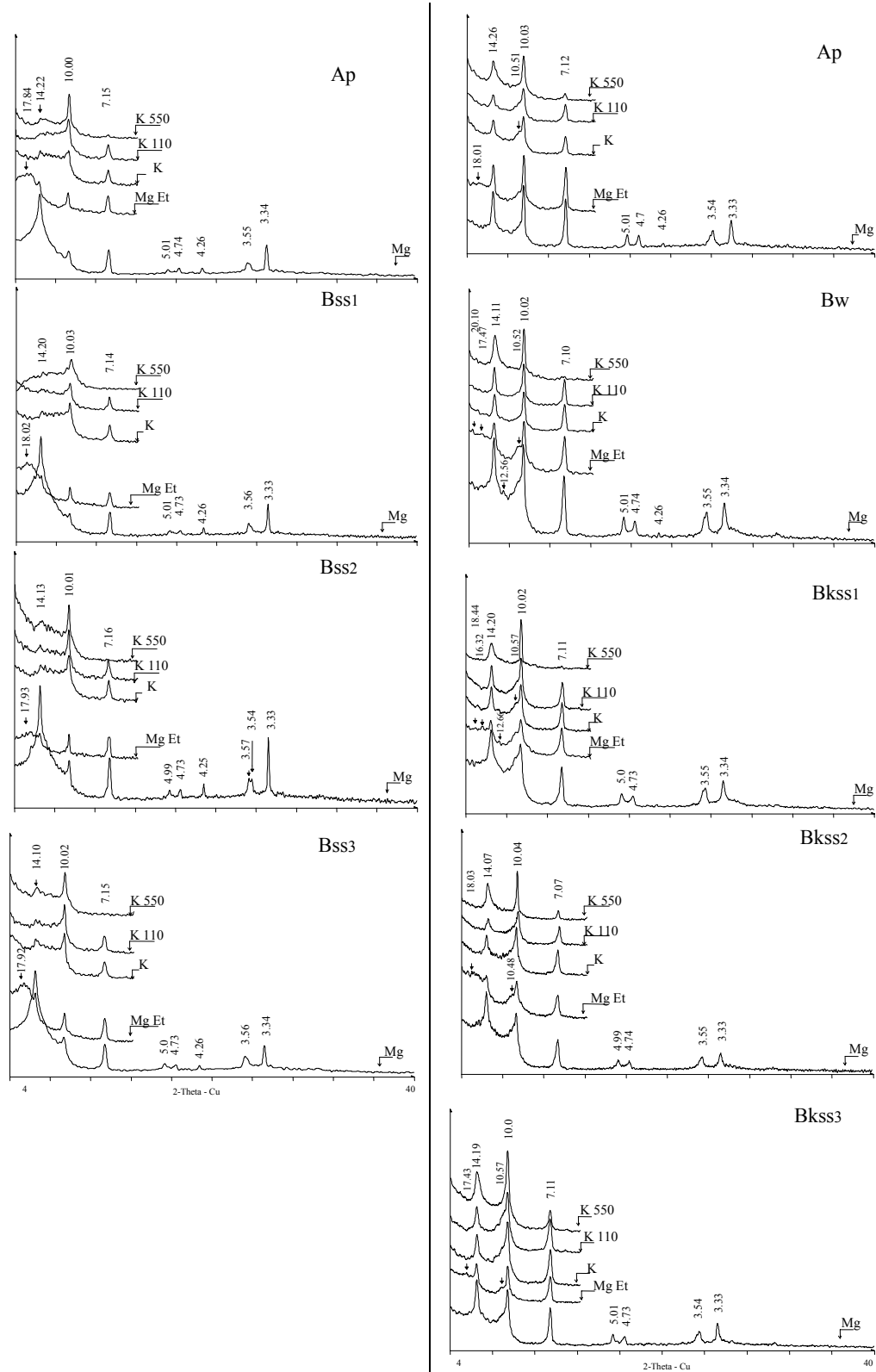
| منطقه | شماره پروفیل | افق | عمق (cm) | پ-هاش | هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹) | گنجایش تبادل کاتیونی (cmol _c kg ⁻¹) | کربن | | پتاسیم (mg.kg ⁻¹) | | | | |
|--------|-----------------------------|--------|----------|--------|--------------------------------------|--|-----------------|---------|-------------------------------|-------|--------|-----------|-----|
| | | | | | | | کلسیم معادل (%) | آلی (%) | رس | محلول | تبادلی | غیرتبادلی | |
| اصفهان | یک | Ap | ۰-۲۰ | ۸/۵ | ۰/۴۰ | ۱۵ | ۱/۶ | ۳۱ | ۵۰ | ۱۷ | ۲۸۸ | ۷۴۲ | |
| | | Bw | ۲۰-۳۵ | ۸/۷ | ۰/۳۰ | ۱۶ | ۰/۹۰ | ۳۳ | ۵۴ | ۸/۳ | ۲۸۸ | ۷۳۲ | |
| | | Bkss1 | ۳۵-۵۵ | ۸/۵ | ۰/۴۰ | ۱۵ | ۰/۴۵ | ۳۴ | ۵۱ | ۳/۲ | ۲۷۹ | ۶۲۸ | |
| | دو | Bkss2 | ۵۵-۸۵ | ۸/۵ | ۰/۷۰ | ۱۸ | ۰/۳۵ | ۳۹ | ۶۸ | ۶/۳ | ۳۰۲ | ۷۲۰ | |
| | | Bkss3 | ۸۵-۱۴۰ | ۸/۶ | ۰/۷۰ | ۲۲ | ۰/۲۰ | ۴۳ | ۶۶ | ۳/۲ | ۲۷۳ | ۶۰۸ | |
| | | Ap | ۰-۱۵ | ۸/۰ | ۰/۵۰ | ۲۱ | ۱/۴ | ۲۴ | ۴۴ | ۲۷ | ۲۸۲ | ۶۷۳ | |
| | سه | Bw | ۱۵-۲۷ | ۸/۱ | ۰/۴۰ | ۲۱ | ۰/۸۰ | ۲۶ | ۵۰ | ۱۵ | ۲۹۰ | ۷۰۳ | |
| | | Bwg | ۲۷-۶۴ | ۸/۲ | ۰/۴۰ | ۲۱ | ۰/۵۰ | ۲۶ | ۵۰ | ۵/۲ | ۲۸۳ | ۸۱۲ | |
| | | Bkssg | ۶۴-۹۰ | ۸/۴ | ۰/۴۰ | ۲۴ | ۰/۳۰ | ۲۵ | ۶۰ | ۷/۳ | ۲۹۳ | ۷۰۸ | |
| | چهارمحال و بختیاری (کوهرنگ) | یک | Bkg | ۹۰-۱۳۰ | ۸/۵ | ۰/۴۰ | ۱۹ | ۰/۲۰ | ۳۱ | ۶۶ | ۱۱ | ۲۸۱ | ۶۹۸ |
| | | | Ap | ۰-۱۰ | ۷/۹ | ۰/۸۰ | ۱۶ | ۱/۵ | ۲۰ | ۴۷ | ۲۱ | ۲۹۴ | ۷۳۸ |
| | | | Bw | ۱۰-۱۵ | ۸/۱ | ۱/۷ | ۱۶ | ۰/۸۰ | ۲۴ | ۵۲ | ۱۱ | ۲۸۵ | ۶۸۸ |
| دو | | Bss1 | ۱۵-۴۰ | ۸/۲ | ۲/۱ | ۱۸ | ۰/۵۰ | ۲۲ | ۵۱ | ۱۶ | ۲۵۲ | ۶۵۸ | |
| | | Bss2 | ۴۰-۷۰ | ۸/۲ | ۰/۸۰ | ۲۳ | ۰/۳۰ | ۲۹ | ۶۴ | ۱۷ | ۲۷۰ | ۶۶۸ | |
| | | Bss3 | ۷۰-۱۱۰ | ۸/۳ | ۰/۷۰ | ۲۴ | ۰/۲۰ | ۲۸ | ۶۶ | ۱۲ | ۲۶۳ | ۶۰۸ | |
| سه | | A | ۰-۲۵ | ۷/۳ | ۰/۱۲ | ۲۳ | ۱/۴۲ | ۱/۱ | ۵۴ | ۳/۲ | ۲۴۷ | ۳۲۰ | |
| | | Bss1 | ۲۵-۵۰ | ۷/۴ | ۰/۱۸ | ۲۶ | ۱/۰۱ | ۲/۰ | ۵۵ | ۲/۱ | ۲۵۰ | ۳۳۰ | |
| | | Bss2 | ۵۰-۷۰ | ۷/۴ | ۰/۱۵ | ۲۷ | ۰/۸۶ | ۷/۷ | ۶۱ | ۰/۰۸۰ | ۲۳۸ | ۲۹۰ | |
| سه | | Ap | ۰-۲۵ | ۷/۴ | ۰/۱۹ | ۲۴ | ۱/۱۵ | ۱/۶ | ۵۰ | ۲/۱ | ۲۶۴ | ۳۵۵ | |
| | | Bss1 | ۲۵-۵۰ | ۷/۵ | ۰/۲۶ | ۲۶ | ۱/۰۴ | ۳/۶ | ۵۶ | ۱/۱ | ۲۷۵ | ۳۷۵ | |
| | | Bss2 | ۵۰-۸۰ | ۷/۵ | ۰/۱۰ | ۲۶ | ۰/۵۶ | ۵/۷ | ۶۲ | ۰/۰۸۰ | ۲۸۲ | ۳۰۶ | |
| سه | Bss3 | ۸۰-۱۱۰ | ۷/۶ | ۰/۱۳ | ۲۳ | ۰/۲۴ | ۸/۰ | ۵۰ | ۱/۱ | ۲۶۹ | ۲۹۶ | | |
| | Ap | ۰-۳۰ | ۷/۳ | ۰/۲۱ | ۲۴ | ۱/۲ | ۲/۱ | ۵۴ | ۲/۱ | ۲۶۲ | ۳۰۶ | | |
| | Bss1 | ۳۰-۵۵ | ۷/۳ | ۰/۲۴ | ۲۴ | ۰/۹۰ | ۳/۲ | ۵۵ | ۱/۱ | ۲۶۷ | ۳۲۰ | | |
| سه | Bss2 | ۵۵-۸۰ | ۷/۵ | ۰/۲۵ | ۲۷ | ۰/۵۲ | ۵/۷ | ۶۰ | ۲/۱ | ۲۹۰ | ۲۸۶ | | |
| | Bss3 | ۸۰-۱۲۰ | ۷/۶ | ۰/۱۰ | ۲۶ | ۰/۴۸ | ۸/۹ | ۵۳ | ۲/۱ | ۲۶۰ | ۳۹۹ | | |

پتاسیم این رابطه خطی است، ولی از نظر مقدار نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل، گنجایش بافری بالقوه پتاسیم، پتاسیم آسان قابل استفاده و پتاسیم به سختی قابل تبادل تفاوت‌های زیادی بین خاک‌های دو منطقه دیده می‌شود، که بیان‌گر وضعیت متفاوت پتاسیم در این خاک‌هاست. به عنوان مثال منحنی‌های کمیت به شدت پتاسیم در افق سطحی پروفیل شماره سه در خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری در شکل ۳ نشان داده شده است. در همه موارد، گنجایش بافری پتاسیم (PBC^K) با افزایش عمق خاک از نظر عددی افزایش می‌یابد ولی در

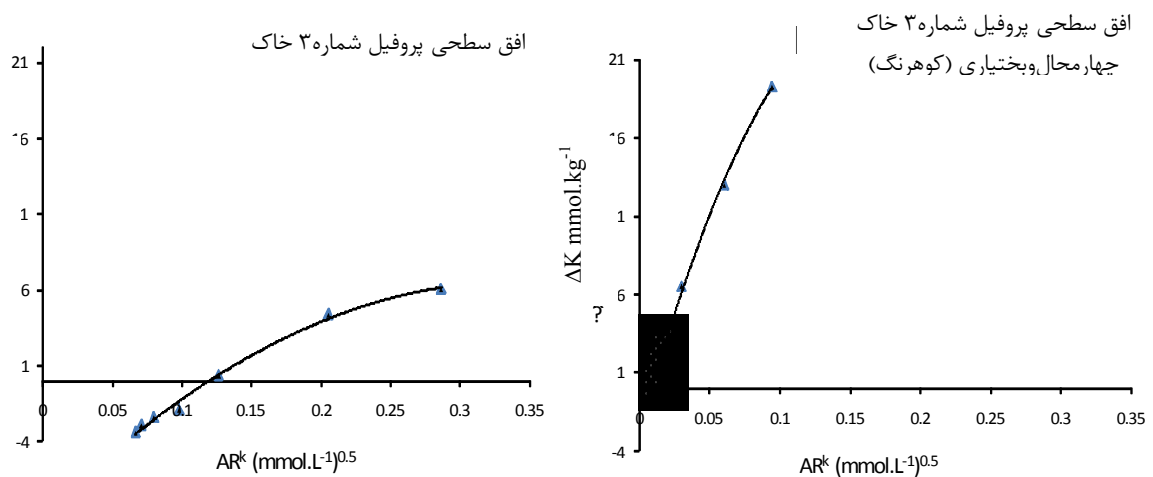
نتایج کانی‌شناسی بخش رس رسماً مؤید این امر است، به طوری که با کاهش میکا در خاک‌های چهارمحال و بختیاری (کوهرنگ) مقدار پتاسیم غیرتبادلی نیز کاهش یافته است.

روابط کمیت به شدت پتاسیم (Q/I)

نمودارهای کمیت به شدت شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان می‌دهند (۲۵ و ۲۹). به طوری که در مقادیر کم نسبت فعالیت پتاسیم رابطه تغییر در پتاسیم تبادلی و نسبت فعالیت پتاسیم به صورت غیرخطی و در مقادیر بالای نسبت فعالیت



شکل ۲. نمونه پراش نگار پرتو ایکس خاک الف: چهارمحال و بختیاری (کوهرنگ). ب: خاک اصفهان



شکل ۳. نمودارهای کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری (کوه رنگ)

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد این پارامتر در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیر سطحی است که احتمالاً به دلیل بیشتر بودن پتاسیم تبدلی و ماده آلی در خاک سطحی و بیشتر بودن رس در افق‌های زیر سطحی است. نتایج مشابهی نیز توسط پال و سوبارو (۲۲) و وانگ و همکاران (۲۸) گزارش شده است. مقادیر میانگین نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل در خاک‌های سطحی دو منطقه دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد (جدول ۳).

ΔK^0 شاخصی از مقدار پتاسیم به سهولت قابل استفاده است که در مکان‌های غیر اختصاصی نگهداری می‌شود. مقادیر این پارامتر در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۲۳ تا ۳/۸ با میانگین ۱/۶ و ۰/۷۲ تا ۱/۶ با میانگین ۱/۰۴ میلی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. مقادیر پتاسیم به سهولت قابل تبادل گزارش شده به وسیله همدان و همکاران (۱۲) و وانگ و همکاران (۲۸) به ترتیب در رنج ۰/۲۱ تا ۰/۳۶ و ۰/۱۰ تا ۰/۲۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. در تمام نمونه‌ها، مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم دارای اختلاف معنی‌دار با مقدار ΔK^0 است ($P < 0/05$). صمدی (۲۵) در این مورد پیشنهاد می‌دهد که در این خاک‌ها مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم زیاد

مقابل تغییرات نسبت فعالیت پتاسیم (AR_e^k)، پتاسیم لبایل (ΔK) و پتاسیم سخت قابل تبادل (K_x) دارای تغییرات نامنظمی در طول پروفیل خاک هستند (جدول ۲).

نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل که معرف شدت پتاسیم در خاک می‌باشد (۲۶) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۰۲ تا ۰/۱۱ با میانگین ۰/۰۵۲ و ۰/۰۳۷ تا ۰/۰۷۸ با میانگین ۰/۰۵۳ $(mmolL^{-1})^{0.5}$ است. مقادیر نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل در خاک چهارمحال و بختیاری شبیه به نتایج جیمنز و پارا (۱۳) برای خاک‌های با اسمکتیت بالاست. نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل تحت تأثیر سه عامل مقدار پتاسیم تبدلی، گنجایش تبادل کاتیونی و ثابت تبادل واکنش تبادل کاتیونی است. این عامل با ثابت تبادل واکنش تبادل کاتیونی و گنجایش تبادل کاتیونی نسبت عکس و با پتاسیم تبدلی نسبت مستقیم دارد (۱). بنابراین، به دلیل CEC کمتر و پتاسیم تبدلی بالاتر در خاک اصفهان این پارامتر بیشتر از خاک چهارمحال و بختیاری است. مقادیر این پارامتر در افق‌های زیر سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۱۷ تا ۰/۱۱ با میانگین ۰/۰۴۴ و ۰/۰۱۶ تا ۰/۰۵۷ با میانگین ۰/۰۳۱ $(mmolL^{-1})^{0.5}$ است.

جدول ۲. پارامترهای کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه

| منطقه | شماره پروفیل | افق | عمق (cm) | AR ⁰ | PBC ^k | ΔK ⁰ | K _X |
|------------------------------|--------------|--------|----------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| اصفهان | یک | Ap | ۰-۲۰ | ۰/۰۲۰ | ۱۲ | ۰/۲۳ | ۲/۸ |
| | | Bw | ۲۰-۳۵ | ۰/۰۵۳ | ۱۶ | ۰/۸۲ | ۳/۹ |
| | | Bkss1 | ۳۵-۵۵ | ۰/۱۱ | ۱۸ | ۱/۹ | ۳/۶ |
| | | Bkss2 | ۵۵-۸۵ | ۰/۰۳۱ | ۳۶ | ۱/۱ | ۳/۱ |
| | | Bkss3 | ۸۵-۱۴۰ | ۰/۰۴۸ | ۴۷ | ۲/۳ | ۳/۷ |
| | | Ap | ۰-۱۵ | ۰/۰۳۱ | ۲۶ | ۰/۷۹ | ۷/۱ |
| | دو | Bw | ۱۵-۲۷ | ۰/۰۳۲ | ۲۰/۰ | ۰/۶۶ | ۴/۳ |
| | | Bwg | ۲۷-۶۴ | ۰/۰۱۷ | ۳۱ | ۰/۵۲ | ۷/۶ |
| | | Bkssg | ۶۴-۹۰ | ۰/۰۱۸ | ۳۱ | ۰/۵۴ | ۷/۱ |
| | سه | Bkg | ۹۰-۱۳۰ | ۰/۰۲۰ | ۴۲ | ۰/۸۲ | ۷/۱ |
| | | Ap | ۰-۱۰ | ۰/۱۱ | ۳۶ | ۳/۷ | ۵/۲ |
| | | Bw | ۱۰-۱۵ | ۰/۰۸۹ | ۲۷/۰ | ۲/۴ | ۷/۶ |
| | Bss1 | ۱۵-۴۰ | ۰/۰۷۱ | ۴۱ | ۲/۹ | ۷/۳ | |
| | Bss2 | ۴۰-۷۰ | ۰/۰۴۴ | ۳۸ | ۱/۷ | ۷/۳ | |
| | Bss3 | ۷۰-۱۱۰ | ۰/۰۲۸ | ۶۳ | ۱/۷ | ۱۰/۶ | |
| چهارمحوال و بختیاری (کوهرنگ) | یک | A | ۰-۲۵ | ۰/۰۰۴۴ | ۱۹۱ | ۰/۸۳ | ۲/۹ |
| | | Bss1 | ۲۵-۵۰ | ۰/۰۰۵۷ | ۱۵۹ | ۰/۹۱ | ۳/۱ |
| | | Bss2 | ۵۰-۷۰ | ۰/۰۰۱۹ | ۲۷۴ | ۰/۵۱ | ۳/۷ |
| | دو | Ap | ۰-۲۵ | ۰/۰۰۷۸ | ۲۰۱ | ۱/۶ | ۲/۶ |
| | | Bss1 | ۲۵-۵۰ | ۰/۰۰۳۸ | ۲۲۱ | ۰/۸۵ | ۵ |
| | | Bss2 | ۵۰-۸۰ | ۰/۰۰۳۹ | ۲۱۵ | ۰/۸۳ | ۴/۲ |
| | سه | Bss3 | ۸۰-۱۱۰ | ۰/۰۰۱۷ | ۲۲۰ | ۰/۳۷ | ۴/۱ |
| | | Ap | ۰-۳۰ | ۰/۰۰۳۷ | ۱۹۸ | ۰/۷۲ | ۳/۷ |
| | | Bss1 | ۳۰-۵۵ | ۰/۰۰۳۳ | ۲۱۸ | ۰/۷۱ | ۴/۴ |
| | | Bss2 | ۵۵-۸۰ | ۰/۰۰۲۸ | ۲۴۰ | ۰/۶۸ | ۳/۵ |
| | | Bss3 | ۸۰-۱۲۰ | ۰/۰۰۱۶ | ۲۳۴ | ۰/۳۷ | ۴/۷ |

AR⁰: نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (mmol/l)^{۰/۵} PBC_k: گنجایش بافری پتاسیم (mmol.Kg⁻¹)/(mmol/l)^{۰/۵}

ΔK⁰: پتاسیم آسان قابل استفاده یا لبایل mmolKg⁻¹ K_X: پتاسیم به سختی قابل تبادل mmolKg⁻¹

جدول ۳. مقادیر میانگین پارامترهای کمیت به شدت در افق‌های سطحی خاک‌های مورد مطالعه

| PBC ^k | K _X | ΔK ⁰ | AR ⁰ | منطقه |
|---|---|--|---------------------------------------|------------------------------|
| ۲۵ | ۵/۱ | ۱/۶ | ۰/۰۵۲ | اصفهان |
| ۱۸۷ | ۳/۱ | ۱/۰۴ | ۰/۰۰۵۳ | چهارمحوال و بختیاری (کوهرنگ) |
| ۲۰/۷** | ۳/۶ | ۲/۶ | ۰/۰۷۱ | LSD _{0.05} |
| AR ⁰ : (mmol/l) ^{۰/۵} | PBC ^k : mmol.Kg ⁻¹ /(mmol/l) ^{۰/۵} | ΔK ⁰ : mmolKg ⁻¹ | K _X : mmolKg ⁻¹ | |

جدول ۴. میانگین پارامترهای Q/I پتاسیم در افق‌های مختلف خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری

| میانگین پارامتر | | | | منطقه |
|-----------------|--------------|---------|--------|--------------|
| K_X | ΔK^0 | PBC^k | AR^0 | |
| ۵/۱ | ۱/۶ | ۲۴/۴ | ۰/۰۵۲ | افق سطحی |
| ۵/۳ | ۱/۳ | ۲۱/۱ | ۰/۰۵۸ | افق دوم |
| ۶/۲ | ۱/۸ | ۳۰/۰ | ۰/۰۶۵ | افق سوم |
| ۵/۸ | ۱/۱ | ۳۵ | ۰/۰۳۱ | افق چهارم |
| ۸/۲ | ۱/۱ | ۵۰/۹ | ۰/۰۲۱ | افق پنجم |
| ۴ | ۲/۱ | ۱۷ | ۰/۰۵۹ | $LSD_{0.05}$ |
| ۳/۰ | ۱/۰ | ۱۹۷ | ۰/۰۰۵۳ | افق سطحی |
| ۴/۱ | ۰/۸۲ | ۱۹۹ | ۰/۰۰۴۳ | افق دوم |
| ۳/۸ | ۰/۶۷ | ۲۴۳ | ۰/۰۰۲۹ | افق سوم |
| ۱/۳ | ۰/۵۷ | ۵۲/۹ | ۰/۰۰۳۱ | $LSD_{0.05}$ |

 $AR^0 : (mmol/l)^{0.5}$ $PBC^k : mmol.Kg^{-1} / (mmol/l)^{0.5}$ $\Delta K^0 : mmol.Kg^{-1}$ $K_X : mmol.Kg^{-1}$

است، که به راحتی قابل تبادل نمی‌باشد. در نتیجه، در چنین خاک‌هایی مقدار K_X بیشتر می‌باشد. بنابراین، به دلیل حضور مقادیر بیشتر کانی‌هایی میکایی در خاک‌های اصفهان مقدار K_X در این منطقه بیشتر از خاک‌های چهارمحال و بختیاری می‌باشد. مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۳/۱ تا ۱۰/۶ با میانگین ۶/۱ و ۳/۱ تا ۵ با میانگین ۴/۱ میلی‌مول بر کیلوگرم است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر K_X نیز با عمق خاک تغییر می‌کند. به طوری که مقادیر K_X در امتداد یک پروفیل با افزایش عمق زیاد می‌شود و تغییرات نامنظمی در طول پروفیل‌های دیگر ممکن است رخ دهد. زیاد شدن مقادیر K_X با افزایش عمق خاک را می‌توان به افزایش میزان رس و افزایش کانی‌های میکایی نسبت داد.

شیب بخش خطی نمودارهای Q/I پتاسیم که سنجشی از توانایی خاک در حفظ فعالیت (شدت) پتاسیم در محلول خاک است، گنجایش پتانسیل بافری پتاسیم (PBC^k) نامیده می‌شود. PBC^k نشان‌دهنده تغییر فاکتور کمیت برای هر واحد تغییر در فاکتور شدت است. مقادیر بیشتر PBC^k ، بیانگر وضعیت مناسب‌تر خاک‌ها از نظر قابلیت استفاده پتاسیم می‌باشد (۲۸). به

است. به عقیده ریچارد و بایت (۲۴) استات آمونیوم از کانی‌هایی که دارای مکان‌های اختصاصی برای جذب پتاسیم هستند، پتاسیم بیشتری را استخراج می‌کند. در نتیجه میزان پتاسیم تبدالی بیشتر از پتاسیم به سهولت قابل استفاده (ΔK^0) خواهد بود. مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۵۲ تا ۲/۹ با میانگین ۱/۵ و ۰/۳۷ تا ۰/۹۱ میلی‌مول بر کیلوگرم است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر ΔK^0 در دو منطقه با عمق خاک تغییر می‌کند. تغییرات ΔK^0 در طول پروفیل خاک توسط وانگ و اسکات (۲۹) نیز گزارش شده است. پال و سوباروا (۲۲) عنوان کردند که ΔK^0 از الگوی تغییرات پتاسیم تبدالی در طول پروفیل خاک پیروی می‌کند.

پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های اختصاصی (K_X)، در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۲/۸ تا ۷/۱ با میانگین ۵/۱ و ۲/۶ تا ۳/۷ با میانگین ۳/۱ میلی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. پتاسیم سخت قابل تبادل به نوع و مقدار کانی‌های رسی بستگی دارد (۳). در خاک‌هایی که دارای کانی‌هایی با محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم بیشتر هستند، پتاسیم جذب شده با انرژی بالا بیشتر

نتیجه گیری

همان‌طور که از نتایج این مطالعه بر می‌آید، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها در دو اقلیم مورد مطالعه متفاوت می‌باشند. به طوری که، کانی‌اسمکتیت در خاک چهارم‌حال و بختیاری (کوه‌رنگ) دارای مقادیر بیشتری نسبت به خاک اصفهان است. بالاتر بودن پارامتر پتاسیم سخت قابل تبادل در خاک‌های اصفهان نسبت به خاک‌های چهارم‌حال و بختیاری به دلیل زیاد بودن کانی‌های میکایی در این خاک‌ها است و بالاتر بودن گنجایش بافری پتاسیم در خاک‌های چهارم‌حال و بختیاری نسبت به خاک‌های اصفهان به دلیل زیادتر بودن کانی‌های اسمکتیت و در نتیجه بیشتر بودن گنجایش تبادل کاتیونی در این خاک‌هاست. بنابراین، وجود تفاوت در پارامترهای نسبت کمیت به شدت پتاسیم در دو استان به دلیل تفاوت خصوصیات کانی‌شناسی خاک‌های دو منطقه است. این مطالعه نشان داد که پارامترهای کمیت به شدت پتاسیم به خصوص PBC^K تفاوت زیادی در ررتی‌سول‌های با رژیم رطوبتی متفاوت دارند. لذا با توجه به تأثیر گنجایش بافری پتاسیم خاک بر جذب پتاسیم توسط گیاه پیشنهاد می‌گردد با کاشت گیاه در خاک‌های ررتی‌سول استان‌های اصفهان و چهارم‌حال و بختیاری اثر این پارامتر بر جذب پتاسیم توسط گیاهان بررسی گردد.

عبارت دیگر، در خاک‌های با PBC^K زیادتر، فعالیت پتاسیم محلول از نوسان کمتری برخوردار بوده و بهتر بافر می‌شود. مقادیر PBC^K در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارم‌حال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۱۲ تا ۳۶ با میانگین ۲۴ و ۱۹۱ تا ۲۰۱ با میانگین $197^{(mmolL^{-1})^{0.5}} / (mmolkg^{-1})$ می‌باشد. مقادیر کمتر PBC^K در خاک اصفهان نسبت به خاک چهارم‌حال و بختیاری می‌تواند به کمتر بودن میزان گنجایش تبادل کاتیونی و بالاتر بودن درصد اشباع پتاسیم نسبت داده شود (۵). پال و سوباراو (۲۲) گزارش کردند که بیشترین گنجایش بافری در خاک‌های با رس غالب اسمکتیت است و به دنبال آن خاک‌های با رس غالب ایلیت و کائولینیت قرار دارند. مقادیر PBC^K در افق‌های زیرسطحی خاک‌های اصفهان و چهارم‌حال و بختیاری به ترتیب در دامنه ۱۶ تا ۶۲ با میانگین ۳۴ و ۱۵۹ تا ۲۷۴ با میانگین $223^{(mmolL^{-1})^{0.5}} / (mmolkg^{-1})$ می‌باشد. نتایج گویای این مطلب است که مقادیر عددی PBC^K با افزایش عمق خاک زیاد می‌شود. بیشتر بودن PBC^K در خاک زیرسطحی نسبت به خاک سطحی توسط وانگ و اسکات (۲۹) و وانگ و همکاران نیز گزارش شده است (۲۸). در حالی که لامبازاجا و ایوانگلو (۲۰) گزارش کرده‌اند که هیچ روند خاصی برای PBC^K در رابطه با عمق خاک دیده نشد.

منابع مورد استفاده

- امیری، م.، س. درودی. و و. م. فلاح. ۱۳۷۴. بررسی رابطه کمیت- شدت پتاسیم در بعضی از خاک‌های خراسان. مجموعه مقالات خاک و آب. نشریه فنی و تحقیقاتی مؤسسه آب و خاک ۹: ۷۴ - ۸۹.
- بیابانکی، ف. س. و ع. ر. حسین‌پور. ۱۳۸۲. هم‌بستگی پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم با پتاسیم قابل استفاده و شاخص‌های گیاهی. هشتمین کنگره علوم خاک، رشت، ایران.
- حسین‌پور، ع. ر. و م. کلباسی. ۱۳۷۹. نسبت کمیت- شدت پتاسیم و همبستگی پارامترهای آن با خصوصیات خاک در تعدادی از خاک‌های ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴(۱): ۴۲-۵۶.
- ملکوتی، م.، ع. شهابی. و ک. بازرگان. ۱۳۸۴. پتاسیم در کشاورزی ایران چاپ اول. انتشارات سنا، به سفارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی.
- Abaslou, H. and A. Abtahi. 2008. Potassium Quantity-Intensity parameters and its correlation with selected soils properties in some soils of Iran. J. Appl. Sci. 8(10): 1875-1882.

6. 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.
7. Barber, S. A. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. John Wiley & Sons, New York.
8. Beckett, P. H. T. 1964. The "immediate" Q/I relations of labile potassium in the soil. *J. Soil Sci.* 15: 9-13.
9. Bower, C. A. and J. T. Hatchea. 1986. Simulation determination of surface area and cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 30: 525-527.
10. Evangelou, V. P., J. Wang. and R. E. Phillips. 1994. New developments and perspectives on soil potassium quantity/intensity relationships. *Adv. Agron.* 52: 173-227.
11. Gee, W. And J. W. Bauder. 1986. Particle Size Analysis. PP: 383-411. *In: A. Klute (Ed.), Method of Soil Analysis. Part 1, SSSA. Madison, Wisconsin.*
12. Hamdan, J., C. P. Burnham. and B. Ruhana. 1999. Evaluation of quantity-intensity of potassium in deeply weathered soil profile develop over granite from relationships Peninsular Malaysia. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30(17-18): 2311-2321.
13. Jimenez, C. and M. A. Parra. 1991. Potassium quantity-intensity relationships in calcareous vertisols and Inceptisols of southern Spain. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55:985-989.
14. Johnston, A. E. and K. W. T. Goulding. 1990. The use of plant and soil analyses to predict the potassium supplying capacity of soil. PP: 177-204. *In: Proceedings of the Development of K-Fertilizer Recommendations. International Potash Institute, Basel, Switzerland.*
15. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. *Soil Sci.* 96: 312-325.
16. Knudsen, D., G. A. Peterson. and P. F. Pratt. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. PP: 225-246. *In: A.L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed., ASA and SSSA, Madison, WI.*
17. Lerox, J. and M. E. Sumner. 1968. Labile potassium in soils: I. Factors affecting the Q/I parameters. *Soil Sci.* 106: 35-41.
18. Lindsay, W. L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. 1st ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
19. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and Gypsum, PP: 437-474. *In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part3. Chemical Methods. ASA Inc., Madison, WI.*
20. Lumbanraja, J. and V. P. Evangelou. 1992. Potassium Quantity-Intensity relationships in the presence and absence of NH₄ for three Kentucky soils. *Soil Sci.* 154 (5): 366- 376.
21. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total Carbon, Oorganic Carbon, and Organic Matter, PP: 539-579. *In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed., Agron. Monogr 9. ASA and SSSA, Madison, WI.*
22. Pal, S. K. and A. Subbarao. 1997. Potassium quantity-intensity parameters in relation to clay mineralogy and period of equilibrium. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 45: 33-38.
23. Rhodes, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-534. *In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.*
24. Richards, J. E. and T. E. Bates. 1988. Studies on the potassium supplying capacities of southern Ontario: II. Nitric acid extraction of non-exchangeable K and its availability to crops. *Can. J. Soil Sci.* 68:199-208.
25. Samadi, A. 2006. Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of western Azarbaijan Province, Iran. *Turk. J. Agric. For.* 33(7): 213-222.
26. Schindler, F. V., H. J. Woodard and J. J. Doolittle. 2005. Assessment of soil potassium sufficiently as related to quantity- intensity in montmorillonitic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 2255-2270.
27. Soil Survey Staff. 2010. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Marking and Interpreting Soil Surveys*. USDA, NRCS, US. Govt. Print. Office, Washington, D. C.
28. Wang, J. J., D. L. Harrell and P. F. Bell. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils exchangeable potassium. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68:654-661.
29. Wang, J. J. and A. D. Scott. 2001. Effect of experimental relevance on potassium Q/I relationships and its implications for surface and subsurface soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 2561-2575.