

نسبت کمیت - شدت پتابسیم و هم بستگی پارامترهای آن با خصوصیات خاک در تعدادی از خاکهای ایران

علیرضا حسین پور^۱ و محمود کلباشی^۲

چکیده

یکی از روش‌های تعیین وضعیت پتابسیم خاک، استفاده از منحنی‌های کمیت به شدت (Q/I) و پارامترهای آن است. تحقیق حاضر برای رسم منحنی‌های Q/I ، و به دست آوردن پارامترهای آن برای تعدادی از خاکهای منطقه مرکزی و شمال ایران، و همچنین تعیین ارتباط پارامترهای مذکور با بعضی از ویژگی‌های خاک، بر روی ۱۵ خاک انجام گرفت. زیرنمونه‌هایی از هر خاک، با محلول‌های دارای نسبت فعالیت پتابسیم (AR^k) متفاوت به تعادل رسانیده شد، و تغییر غلظت پتابسیم در محلول (ΔK)، به عنوان تابعی از نسبت فعالیت پتابسیم اندازه‌گیری گردید. با استفاده از اطلاعات به دست آمده، منحنی‌های Q/I برای هر خاک رسم و پارامترهای آن تعیین شد. همچنین، هم بستگی بین پارامترهای Q/I و بعضی از ویژگی‌های خاک‌ها تعیین گردید.

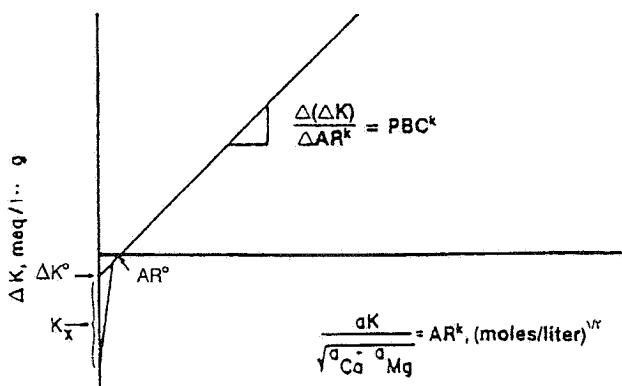
منحنی‌های Q/I به دست آمده، شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان داد، ولی از نظر پارامترهای AR^k , PBC^k , ΔK^k و K_x^k تفاوت‌های زیادی بین خاک‌ها مشاهده شد. نسبت فعالیت پتابسیم در حال تعادل (AR^k) بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۵۳۲ با متوسط ۰/۰۰۵ ($mmol\ L^{-1}$)، ظرفیت بافری پتابسیم (PBC^k) بین ۰/۴/۴ تا ۰/۷۶ با متوسط ۰/۰/۷۶ ($mmol\ kg^{-1}$) پتابسیم آسان قابل تبادل (AK^k) بین ۰/۰۰۷ تا ۰/۰۰۷۳۷ با متوسط ۰/۰۰۰۷ و پتابسیم سخت قابل تبادل (K_x^k) بین ۰/۰۰۲۳ تا ۰/۰۰۵۰ با میانگین ۰/۰۰۳ ($cmol\ kg^{-1}$), متغیر بود. مطالعه هم بستگی بین پارامترهای Q/I و خصوصیات خاک، حاکی از هم بستگی معنی‌دار بین AR^k و PBC^k با درصد پتابسیم تبادلی ($=0/66$) و AR^k با پتابسیم محلول ($=0/89$) بود. همچنین بین ΔK^k و مقدار پتابسیم تبادلی، هم بستگی معنی‌داری ($=0/79$) مشاهده گردید. به دلیل تفاوت زیاد بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مطالعه شده، خواص هم بستگی بین خصوصیات خاک و پارامترهای Q/I بالا نبود.

واژه‌های کلیدی: پتابسیم، کمیت - شدت

مقدمه

مقدار پتابسیم تبادلی اندازه‌گیری شده به وسیله استات آمونیوم یک نرمال، به عنوان روشی برای ارزیابی وضعیت پتابسیم قابل جذب خاک و تعیین نیازگیاه به کودهای پتابسیمی، به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. هر چند در مطالعه انجام

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



شکل ۱. منحنی معرف کمیت - شدت (Q/I) (۲۳).

PBC^k = شیب قسمت خطی نمودار Q/I ، یا ظرفیت بافری
بالقوه پتانسیم خاک

تفسیرهای متفاوتی در مورد پارامترهای منحنی Q/I ارائه شده، بخش خطی نمودار به محلهای جذب غیراختصاصی پتانسیم (۵)، و بخش غیرخطی به محلهای جذب اختصاصی پتانسیم نسبت داده شده است (۵ و ۱۹). محلهای جذب غیراختصاصی مربوط به سطوح پایه‌ای^۲ (۵) می‌باشد، در حالی که محلهای جذب اختصاصی به محلهای لبه‌ای^۳ کانی‌های رسی و محلهای گوه‌ای^۴ میکاهای هوا دیده نسبت داده می‌شود (۷ و ۱۹). خاکهای مختلف با داشتن AR° یکسان، در حالی که پتانسیم به وسیله گیاه جذب می‌شود، توانایی یکسانی برای نگه داشتن این AR° ندارند. به عبارت دیگر، خاک‌ها می‌توانند AR° یکسان، ولی مقدار پتانسیم نشان‌دار متفاوتی داشته باشند.

ΔK° برآوردهتری برای پتانسیم نشان‌دار، در مقایسه با پتانسیم تبادلی می‌باشد، به طوری که مقادیر بالای ΔK° نشان‌دهنده آزاد شدن بیشتر پتانسیم در محلول خاک است. در این باره، اسپارکس و لیپهارت (۲۳) دریافتند که مقادیر بالای ΔK° در افق زیر سطحی، به مقدار پتانسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم نزدیک است. در حالی که در افق زیر سطحی، مقدار پتانسیم عصاره‌گیری شده به وسیله استات آمونیوم، به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مقدار ΔK° بود. این تفاوت به مقدار

شده در استان اصفهان (۱)، روش استات آمونیوم یک نرمال، بهترین روش عصاره‌گیری پتانسیم تبادلی نبوده، و روش‌های دیگر عصاره‌گیری هم‌بستگی بهتری با پتانسیم جذب شده داشته است، در خاک‌های غنی از کانی‌های میکایی، به علت وجود مواضع اختصاصی جذب پتانسیم، مقدار زیادی از پتانسیم با ارزش بالا در این مواضع نگهداری می‌شود، که در هنگام عصاره‌گیری با استات آمونیوم، بخشی از آن استخراج می‌گردد (۱۹). این موضوع احتمالاً یکی از دلایل هم‌بستگی ضعیف بین پتانسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم، و عکس العمل گیاه به کودهای پتانسیم خاک‌ها است (۱۶). در سال‌های اخیر، کوشش‌هایی برای پیدا کردن روش‌های مناسب دیگری برای ارزیابی نیاز گیاه به کود پتانسیم، در خاک‌های غنی از کانی‌های میکایی به عمل آمده، که از جمله می‌توان به روش استفاده از روابط تبادلی پتانسیم با کلسیم + منیزیم اشاره کرد (۵). ماتئوس و بکت (۱۵)، روشنی برای توصیف رابطه بین پتانسیم تبادلی و محلول معروفی کردند، که رابطه کمیت - شدت (Q/I) پتانسیم نامیده شد. پژوهشگران زیادی روابط کمیت - شدت را در توصیف وضعیت پتانسیم قابل استفاده خاک به کار برده‌اند. (۲، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۸ و ۲۳). وضعیت معمول رابطه کمیت - شدت (Q/I) پتانسیم در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل، ΔK عامل کمیت (Q) و نشان‌دهنده تغییر در پتانسیل تبادلی با تغییر عامل شدت (AR^k) است. AR^k عامل شدت (I) یا نسبت فعالیت پتانسیم است:

$$AR^k = \left(\frac{a_K}{(a_{Ca} + a_{Mg})^{1/2}} \right) \quad [1]$$

در این فرمول a_K و a_{Ca} و a_{Mg} به ترتیب فعالیت پتانسیم، کلسیم و منیزیم در محلول تعادلی خاک می‌باشد. هم‌چنین:
 ΔK° = شاخصی از مقدار پتانسیم تبادلی یا نشان‌دار^۱
 ΔR° = نسبت فعالیت پتانسیم در حالت تعادل
 K_X = شاخصی از مقدار پتانسیم جذب شده در محلهای اختصاصی، که پتانسیم سخت قابل تبادل نامیده می‌شود

1. Labile 2. Planar surfaces 3. Edge sites 4. Wedge sites

تبادل یون پتانسیم با یون‌های کلسیم و منیزیم، E_x نشان‌دهنده مقدار کاتیون‌های تبادلی، و a نشان‌دهنده فعالیت یون در محلول می‌باشد.

با بازآرایی معادله بالا، داریم:

$$[E_x K] = [0/5 E_x \gamma_{Ca} + 0/5 E_x \gamma_{Mg}] K_G^{1/5} \quad [3]$$

و یا:

$$[E_x K] = AR^k \cdot K_G \cdot [0/5 E_x \gamma_{Ca} + 0/5 E_x \gamma_{Mg}] \quad [4]$$

چون در بیشتر خاک‌های کشاورزی، $[E_x K] < [0/5 E_x \gamma_{Ca} + 0/5 E_x \gamma_{Mg}]$ می‌باشد، معادله ۴ می‌تواند به عنوان یک معادله خطی در نظر گرفته شود، که در آن $[E_x K]$ متغیر وابسته، AR^k متغیر مستقل و $K_G [E_x \gamma_{Ca} + 0/5 E_x \gamma_{Mg}]$ شبیه آن است. بدین ترتیب، براساس رابطه گاپون، بین مقدار پتانسیم تبادلی $[E_x K]$ و نسبت فعالیت پتانسیم در محلول خاک (AR^k)، به طور نظری رابطه‌ای خطی برقرار است. با تقسیم رابطه ۴ بر CEC و با این فرض که $CEC = [0/5 E_x \gamma_{Ca} + 0/5 E_x \gamma_{Mg}]$ ، داریم.

$$[E_x K] / CEC = K_G \cdot AR^k \quad [5]$$

و یا:

$$EPP = 100 \times K_G \cdot AR^k \quad [6]$$

که EPP درصد پتانسیم تبادلی می‌باشد. اگر دو طرف معادله ۶ را برابر AR^k تقسیم نموده و از آن مشتق جزئی بگیریم، معادله زیر به دست می‌آید:

$$\delta [E_x K] / \delta AR^k = K_G [0/5 E_x \gamma_{Ca} + 0/5 E_x \gamma_{Mg}] [V] \quad [7]$$

چون در بیشتر خاک‌های کشاورزی، مقدار پتانسیم تبادلی $[E_x K]$ نسبت به CEC ناچیز است، لذا رابطه ۷ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

بیشتر محل‌های جذب اختصاصی پتانسیم در افق زیر سطحی نسبت داده شده است. یون آمونیوم با شعاع $A^+ / 43$ می‌تواند جانشین یون پتانسیم با شعاع $A^+ / 33$ در محل‌های جذب اختصاصی پتانسیم شود، و در این خاک‌ها (خاک‌های غنی از کانی‌های میکایی)، استات آمونیوم، پتانسیم تبادلی را بیشتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند (۱۹).

PBC^k نشان‌دهنده توانایی بالقوه خاک، برای نگه داشتن شدت مناسبی از پتانسیم در محلول خاک بوده و ممکن است با CEC ارتباط داشته باشد. معمولاً PBC^k بالا، نشان‌دهنده توان زیاد خاک، و PBC^k کم، نشان‌دهنده توان خاک کم، برای تأمین پتانسیم سورنیازگیاه و ضرورت کاربرد کودهای پتانسیم است (۲۳).

سه عامل خاکی به عنوان عوامل اصلی کنترل‌کننده سرعت فراهم شدن پتانسیم، برای جذب به وسیله ریشه گیاه معرفی شده است. این سه عامل، که به طور موققیت‌آمیزی برای ارزیابی وضعیت جذب پتانسیم به وسیله گیاه مورد استفاده قرار گرفته، عبارت است از: ۱. شدت پتانسیم در محلول خاک، ۲. قدرت بافی پتانسیم، و ۳. ضریب انتشار مؤثر پتانسیم در خاک (۱۶). شدت و قدرت بافی، مستقیماً از منحنی‌های Q/I پتانسیم به دست می‌آید. به دلیل این که منحنی‌های Q/I پتانسیم به صورت معمول در آزمایشگاه تعیین نمی‌شود، تحقیق در مورد پیدا کردن روابطی بین خصوصیاتی از خاک که به طور معمول در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شود و پارامترهای Q/I ، مفید است. برای سیستم دو جزئی پتانسیم - (کلسیم + منیزیم)، که عبارت کلسیم + منیزیم در آن نشان‌دهنده سیستمی است که کلسیم و منیزیم را به عنوان یک گونه یونی در نظر می‌گیرد (۵)، معادله گاپون را می‌توان به صورت زیر نوشت (۹).

$$K_G = [E_x K] \left[\frac{(a_{Ca} + a_{Mg})^{1/5}}{0/5 E_x \gamma_{Ca} + 0/5 E_x \gamma_{Mg}} \right] (a_k) \quad [8]$$

که در آن، K_G ضریب گزینش تبادل کاتیونی گاپون برای

تبادل و CEC رسم گردید، ضرایب همبستگی به مقدار زیاد افزایش یافت، و بیشترین ضریب همبستگی موقعی بود که ضرایب تبادل ترمودینامیکی وانسلو^۱ درنظر گرفته شد (۴). در سال‌های اخیر، مسئله استفاده از کودهای پتاسیم در ایران مطرح شده و مقدار مصرف آن رو به افزایش می‌باشد. در این باره، آگاهی از وضعیت حاصل خیزی خاک از نظر پتاسیم ضروری است. بدین منظور، این تحقیق با هدف تعیین منحنی‌های Q/I پتاسیم و ارتباط پارامترهای آن با خصوصیات خاک، در تعدادی از خاک‌های منطقه مرکزی و شمال ایران انجام شد.

$$PBC^k = (CEC) \cdot K_G \quad [۸]$$

این رابطه نشان‌دهنده همبستگی بین ظرفیت بافری پتاسیم (PBC^k) و گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) خاک می‌باشد. حالتهای تعادلی پتاسیم در خاک‌های غیرآهکی، به وسیله کاربرد اصول تعادل ترمودینامیکی، و یا به وسیله روابط Q/I مطالعه شده است (۴). ولی مطالعات مشابه، در خاک‌های آهکی نواحی خشک و نیمهخشک محدود است. و اثبات دل و چی (۲۴)، همبستگی بالایی بین مقدار ماده آلی خاک و ثابت‌های تبادل Ca-Na و Ca-Mg در خاک‌های آهکی مونت موریلوبنیتی مراکش مشاهده کردند. در مطالعه انجام شده به وسیله ایون‌گلو و همکاران (۱۰)، نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل، شدیداً تحت تأثیر مقدار ماده آلی خاک بوده، به طوری که این مقدار، در خاک‌های با ماده آلی بالا حدود سه برابر آن در خاک‌های با ماده آلی کم بوده است. در این مطالعه، تجمع ماده آلی سبب افزایش CEC شده، اما PBC^k افزایش معنی‌داری نشان نداده است.

مواد و روش‌ها

پانزده نمونه خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)، از گروه‌های بزرگ خاک در استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و گیلان انتخاب گردید. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای عبور از الک دو میلی‌متری، برای انجام آزمایش‌ها آماده شد. پ - هاش در نمونه‌های گل اشیاع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های گل اشیاع (۱۷)، بافت خاک با روش پیپت (۱۱)، ماده آلی با روش آکسایش تر (۱۷)، گنجایش تبادل کاتیونی با روش استات سدیم در pH=۷ و پتاسیم تبادلی با روش استات آمونیوم یک مولار (۱۷) تعیین گردید. هم‌چنین پتاسیم غیرتبادلی با اسیدنیتریک یک مولار عصاره‌گیری شد (۳).

اطلاعات لازم برای رسم منحنی‌های Q/I پتاسیم، برای هر نمونه خاک، به شرح زیر به دست آمد: ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۲٪ مولار کلسیم (از کلرید کلسیم)، که غلظت پتاسیم (از کلرید پتاسیم) در آنها به ترتیب صفر، ۱٪، ۲٪، ۴٪، ۸٪، ۱۶٪، ۲۴٪، ۳۲٪ میلی مولار بود، به نمونه‌های دو گرمی هر خاک (در دو تکرار) اضافه و به مدت دو ساعت در دمای ۲۹۹±۱۰K تکان داده شد. پس از سانتریفیوژ کردن سوپاپسیون در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت پنج دقیقه، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره خاک به وسیله دستگاه

رابطه بین PBC^k و CEC در تعداد محدودی از خاک‌های معدنی مشاهده شده است. در مطالعه جیمنز و پارا (۱۲)، رابطه خطی بین PBC^k و CEC، و بین AR° و EPP مشاهده شد. در مطالعه شاویو و همکاران (۲۲)، بین نسبت پتاسیم تبادلی به مجموع کلسیم و منیزیم تبادلی و نسبت جذب پتاسیم رابطه خطی مشاهده گردیده است. در مطالعه انجام شده به وسیله الکتانی و همکاران (۴)، در خاک‌های آهکی رابطه معنی‌داری بین PBC^k و CEC وجود نداشت. هم‌چنین رابطه بین حلایت کلسیت و PBC^k یا CEC معنی‌دار نبود. در این مطالعه، هم‌چنین PBC^k در مقابل حاصل ضرب CEC و حلایت کلسیت رسم شد، که ضریب همبستگی آن نزدیک به ضریب همبستگی بین PBC^k و CEC بود. این نشان‌دهنده حداقل اثر حلایت کلسیت بر روابط PBC^k و CEC می‌باشد. در این مطالعه، وقتی که PBC^k به عنوان تابعی از حاصل ضرب ضریب

1. Vanselso exchange coefficient

به صورت غیرخطی و در مقادیر بالای AR^k این رابطه خطی است، ولی از نظر مقدار AR° , PBC^k , ΔK° و K_X تفاوت های زیادی بین خاک ها مشاهده می شود، که نمایانگر وضعیت متغیر پتاسیم در این خاک ها است (جدول ۲).

نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل AR° , که معرف شدت پتاسیم نشان دار در خاک می باشد، دارای تغییرات شدت پتاسیم $Q/I = \frac{0.05 - 0.052}{0.052 - 0.05} = 1.3$ می باشد. با میانگین $(1)^{-1/5}$ mmol L⁻¹/2 است (جدول ۲). با توجه به معادله ۴، مقدار AR° تحت تأثیر سه عامل مقدار پتاسیم تبادلی، گنجایش تبادل کاتیونی و ثابت تبادل گاپون می باشد. در خاک های مطالعه شده، کمترین AR° در خاک ۸ و بیشترین آن در خاک ۷ مشاهده می شود (جدول ۲). در خاک ۷، به دلیل داشتن CEC نسبتاً پایین و همچنین بالا بودن مقدار پتاسیم تبادلی، چنین چیزی نیز انتظار می رود. ولی در خاک ۸، با داشتن CEC و مقدار پتاسیم تبادلی متوسط، نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR°) کمترین مقدار است، که احتمالاً به دلیل زیاد بودن ثابت تبادل گاپون در این خاک می باشد. در خاک های دیگر نیز AR° بسته به مقدار گنجایش تبادل کاتیونی و مقدار پتاسیم تبادلی متغیر است. ضمناً مقدار پتاسیم سخت قابل تبادل در خاک ۸ بالا بوده (۹۸ درصد پتاسیم تبادلی)، که این امر سبب کاهش AR° در این خاک شده است (جدول ۲). با توجه به معادله ۴، می بایستی بین AR° و پتاسیم تبادلی رابطه ای وجود داشته باشد. اگر چه این رابطه وجود دارد ولی ضریب هم بستگی آن بالا نیست (جدول ۳)، که دلیل آن احتمالاً تنوع خاک ها و تفاوت خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیک خاک های مورد مطالعه بوده، که باعث تغییرات زیادی در مقدار ثابت تبادل گاپون شده است. معادله ۶ نشان می دهد که باید بین درصد پتاسیم تبادلی (EPP) و نسبت فعالیت پتاسیم AR^k نیز رابطه ای وجود داشته باشد. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود، بین درصد پتاسیم تبادلی و AR° رابطه ای معنی دار با ضریب هم بستگی ۰/۷۶ موجود است.

هدایت سنج، غلظت $Ca + Mg$ به وسیله تیتره کردن با EDTA و غلظت پتاسیم با روش اسپکتروسکوپی نشر اتمی اندازه گیری شد.

تغییر در پتاسیم تبادلی (ΔK), از تفاوت غلظت پتاسیم در محلول اولیه و محلول تعادلی به دست آمد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم (معادله ۱)، ابتدا قدرت یونی محلول ها (۱) با استفاده از EC اندازه گیری شده و فرمول تجربی $EC = 13 \times [Ca + Mg]^{1/2}$ محاسبه گردید. سپس ضرایب فعالیت یون i , با استفاده از معادله دیویس $i = \frac{1}{[Ca + Mg]} \times \frac{Q/I}{13}$ محاسبه شد. آن گاه فعالیت هر یون، با استفاده از فرمول $i = \frac{Q/I}{13}$ محاسبه شد. آن گاه غلظت های اندازه گیری شده برای هر یون C_i تعیین گردید (۱۳). سپس با رسم ΔK در مقابل AR^k , پارامترهای Q/I به دست آمد.

نتایج و بحث

بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. دامنه تغییرات بعضی از این خصوصیات مانند مقدار رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل، حتی در میان خاک های یک منطقه وسیع است. دامنه تغییرات این سه ویژگی به ترتیب ۵۰-۴۰، ۵۲۸-۲۰۵ و ۴۵-۷ کیلوگرم در کیلوگرم خاک می باشد.

گنجایش تبادل کاتیونی، شکل های مختلف پتاسیم و پارامترهای Q/I خاک های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. نظری بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (جدول ۱)، دامنه تغییرات پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و گنجایش تبادل کاتیونی بین خاک های یک منطقه و مناطق مختلف وسیع بوده و به ترتیب ۵/۰۰-۵/۳۵، ۰/۰۵-۰/۰۵، ۰/۱۳-۰/۹۲ و ۳/۴-۰/۹۷ و ۱۱-۰/۴۷ شکل های ۲، ۳ و ۴ نمودارهای Q/I و معادلات بخش خطی خاک های مطالعه شده را نشان می دهند. نمودارهای مذکور شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان می دهند. (۵، ۶، ۷، ۱۲ و ۲۵)، به طوری که در مقادیر کم AR^k رابطه ΔK و AR^k

1. Davis Equation

جدول ۱. بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	محل نمونه برداری	pH	گل اشباع (dsm ⁻¹)	گل اشباع معادل	کربنات کلسیم ماده آلی	عصاره	سیلت رس	شن
اصفهان								
۱	شهره فیروزان	۷/۲	۱/۱	۳۶۵	۸/۴	۲۱۲	۴۳۹	۴۴۹
۲	مینادشت	۷/۰	۱/۸	۴۲۰	۱۷/۰	۱۷۲	۳۰۰	۵۲۸
۳	کبوترآباد	۷/۵	۱/۱	۴۳۰	۱۴/۰	۷۰	۵۵۸	۳۷۲
۴	شهرک صنعتی	۷/۱	۲/۸	۵۶۰	۷/۸	۴۷۰	۱۶۸	۳۶۲
۵	برآان	۷/۰	۴/۲	۴۱۰	۲۱/۵	۲۰۸	۴۱۰	۳۸۲
چهارمحال و بختیاری								
۶	لردگان(دشت جوانمردی)	۷/۵	۰/۸	۱۷۵	۱۲/۰	۴۷۷	۲۷۲	۲۵۱
۷	سفیددشت (بروجن)	۷/۲	۰/۹	۱۹۲	۷/۰	۳۵۸	۳۹۵	۲۴۷
۸	لردگان(روستای سینی)	۷/۳	۰/۸	۳۸۵	۱۴/۵	۳۵۵	۱۶۰	۴۸۵
۹	دشت شهرکرد	۷/۰	۱/۰	۳۴۵	۱۷/۰	۱۱۵	۵۳۵	۳۵۰
۱۰	دشت زری(چلگرد)	۷/۲	۰/۸	۲۴۰	۲۵/۰	۹۵	۴۰۰	۵۰۵
گیلان								
۱۱	سالکوبه	۵/۱	۰/۷	۴۰	۳۰/۰	۴۱۵	۳۳۵	۲۵۰
۱۲	دافجا	۶/۵	۱/۱	۷۰	۴۵/۰	۸۶	۵۳۷	۳۷۷
۱۳	اسطلک	۶/۷	۱/۰	۱۳۵	۲۸/۰	۱۲۰	۵۰۰	۳۷۰
۱۴	ماشک تهرانچی	۶/۵	۰/۸	۷۵	۲۹/۰	۲۴۵	۴۷۰	۲۸۵
۱۵	کومله	۴/۸	۰/۵	۹۰	۳۱/۰	۵۹۰	۲۰۵	۲۰۵
دامنه								
۱۶۰-۰۵۸	۱۶۰-۰۵۸	۷۰-۰۹۰	۷-۴۵	۴۰-۰۶۰	۷-۴۵	۷۰-۰۹۰	۲۰۵-۰۲۸	۲۰۵-۰۲۸
۳۷۸/۸	۲۶۶/۷۰	۲۰/۰۰	۲۶۲	۱/۳۰	۶/۸۰			میانگین

فعالیت پتابسیم در حال تعادل AR° در خاک‌های آهکی اسپانیا به دست آورده است $AR^{\circ} = ۰/۷۶۲$ و $EPP = ۰/۰۰۳۷۴$ ($AR^{\circ} = ۰/۰۰۲۹۹ EPP$). همچنین، شاویو و همکاران (۲۲)، بین نسبت پتابسیم تبادلی به مجموع کلسیم و مسیزم تبادلی (EP) و نسبت جذب پتابسیم (PAR) هم‌بستگی بالایی مشاهده کردند ($EP = ۰/۹۵$ و $PAR = ۰/۱۳۴$). براساس نظریات اسپارکس و لیهارت (۲۳)، چنانچه AR°

در خاک‌های مطالعه شده، مقدار AR° در خاک ۸، با داشتن کم‌ترین مقدار پتابسیم محلول حداقل، و در خاک ۷، با داشتن بیش‌ترین مقدار پتابسیم محلول، حداًکثر می‌باشد. در خاک‌های دیگر نیز چنین روندی مشاهده می‌شود. با توجه به رابطه به دست آمده (جدول ۲)، می‌توان نسبت فعالیت پتابسیم در حال تعادل را، که یکی از پارامترهای مهم نمودار Q/I می‌باشد، با اندازه‌گیری پتابسیم محلول برآورد کرد. جیمز و پارا (۱۳)، هم‌بستگی معنی‌داری بین درصد پتابسیم تبادلی (EPP) و نسبت

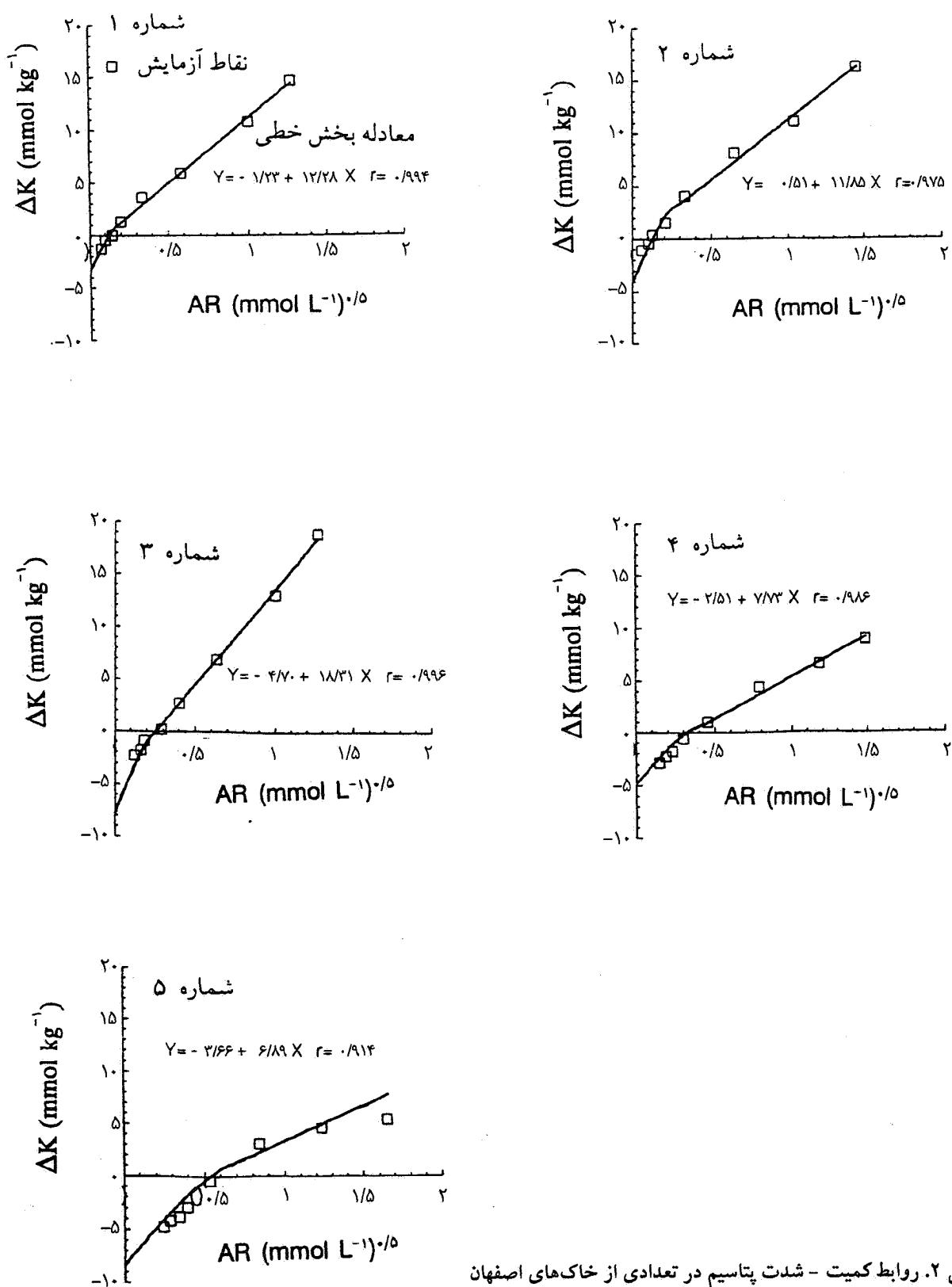
جدول ۲. بعضی از ویژگی‌های شیمیایی و پارامترهای Q/I خاک‌های موردمطالعه

شماره خاک	PBC^k (mmol L^{-1})	AR° (mmol kg^{-1})	K_X ${}^\circ\Delta K^\circ$	پتانسیم تبادلی	پتانسیم غیرتبادلی	پتانسیم محلول	تعداد کاتیونی (cmol kg^{-1})	اصفهان
۱۲/۲۸	۰/۱۰	۰/۲۰۷	۰/۱۲۳	۳/۱۰	۰/۳۳	۰/۱۱	۱۳/۰	۲/۵۰
۱۱/۸۵	۰/۰۴۳	۰/۳۴۹	۰/۰۵۱	۴/۶۰	۰/۴۰	۰/۱۳	۱۶/۵	۱۲/۴۰
۱۸/۳۱	۰/۲۵۶	۰/۳۱۰	۰/۴۷۰	۴/۷۲	۰/۷۸	۰/۲۲	۱۴/۱	۵/۵۰
۷/۷۷	۰/۳۲۴	۰/۲۲۹	۰/۲۵۱	۳/۴۰	۰/۴۸	۰/۲۰	۱۲/۴	۳/۹۰
۶/۹۸	۰/۰۲۴	۰/۴۷۴	۰/۳۶۶	۴/۱۶	۰/۸۴	۰/۱۹	۱۱/۲	۷/۵۰
چهارمحال و بختیاری								
۸/۷۲	۰/۰۹۹	۰/۲۸۳	۰/۰۸۷	۳/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۳	۱۱/۰	۳/۴۰
۸/۷۵	۰/۰۳۲	۰/۵۰۲	۰/۴۱۸	۴/۴۵	۰/۹۲	۰/۳۵	۱۲/۵	۷/۴۰
۱۳/۸۲	۰/۰۰۵	۰/۵۰۰	۰/۰۰۷	۴/۴۷	۰/۵۶	۰/۰۵	۱۶	۳/۵۰
۱۵/۶۰	۰/۰۹۲	۰/۴۷۷	۰/۱۴۳	۴/۴۲	۰/۶۲	۰/۱۱	۱۸/۲	۳/۴۰
۷۶/۳۰	۰/۰۳۷	۰/۳۱۵	۰/۲۸۵	۲/۴۸	۰/۶۰	۰/۰۵	۳۴/۷	۱/۷۰
گیلان								
۸/۶۰	۰/۱۱	۰/۰۳۵	۰/۰۹۵	۰/۹۰	۰/۱۳	۰/۰۷	۱۶/۵	۰/۷۸
۱۲/۹۰	۰/۴۶۸	۰/۳۱۶	۰/۶۰۴	۴/۲۸	۰/۹۲	۰/۳۲	۳۳/۵	۲/۷۰
۲۱/۹۰	۰/۳۳۶	۰/۰۲۳	۰/۷۳۷	۳/۳۱	۰/۷۶	۰/۲۲	۲۶/۵	۲/۹۰
۱۵/۵۰	۰/۰۷۵	۰/۲۸۳	۰/۱۱۷	۲/۱۱	۰/۴۰	۰/۱۱	۲۷/۵	۱/۵۰
۴/۴۰	۰/۰۲۰	۰/۱۴۱	۰/۰۰۹	۲/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۷	۱۴/۷	۱/۰
۴/۴-۷۶/۳	۰/۰۰۵-۰/۵۳۲	۰/۰۰۵-۰/۵۳۲	۰/۰۲۳-۰/۰۵۵	۰/۰۰۷-۰/۷۳۷	۰/۹-۴/۷۲	۰/۱۳-۰/۹۲	۰/۰۵-۰/۳۵	۱۱-۳۴/۷
۱۶/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۳/۲۷	۰/۵۵	۰/۱۵	۱۸/۵۰	۳/۴۰
میانگین								

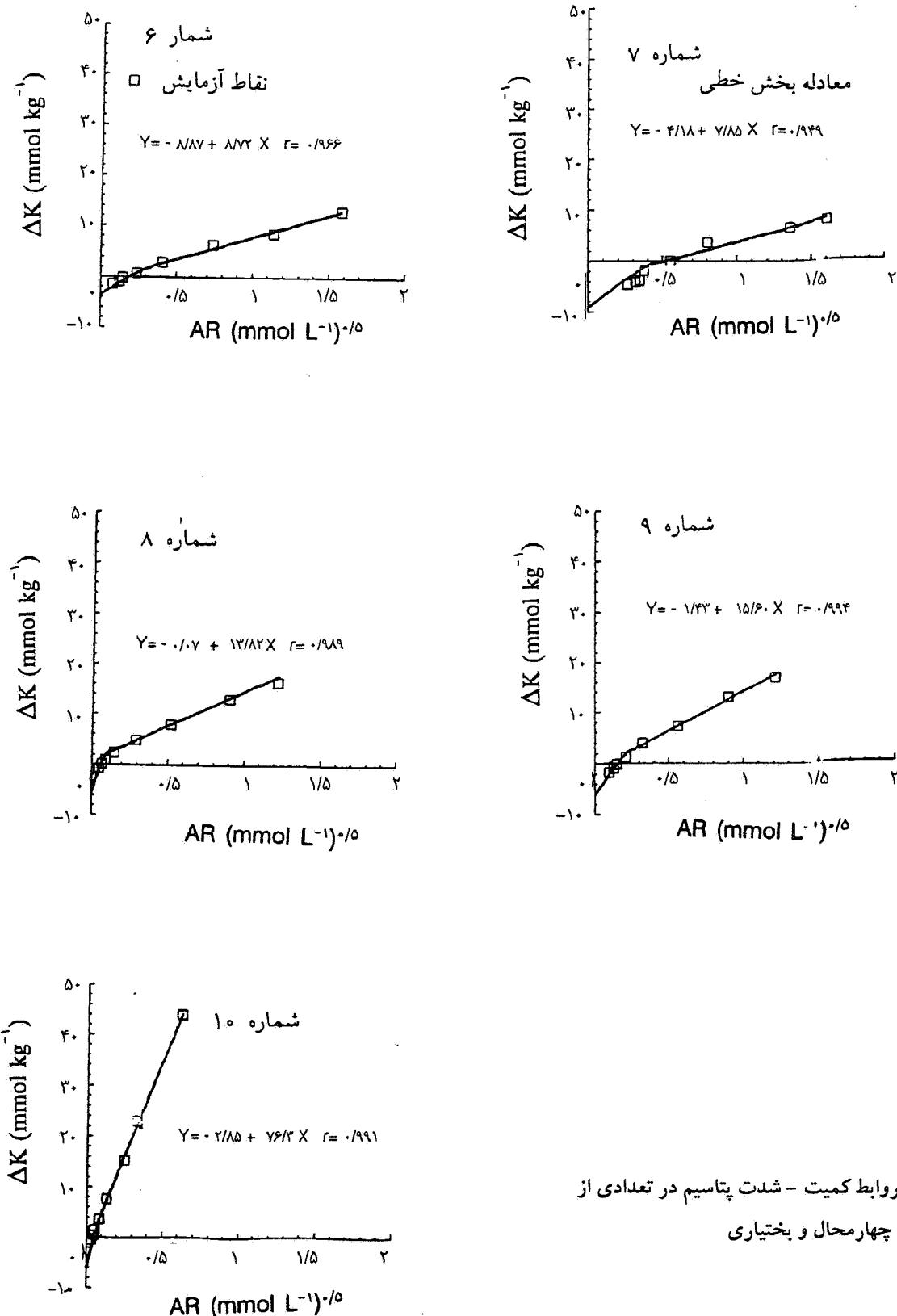
۱. شاخص مقدار پتانسیم نشان دار
۲. پتانسیم سخت قابل تبادل
۳. نسبت فعالیت پتانسیم در حالت تعادل
۴. ظرفیت بافری بالقوه پتانسیم

توانایی خاک در حفظ فعالیت (شدت) پتانسیم در محلول خاک است، دارای تغییرات زیادی بین $۴/۴$ تا $۷۶/۳$ تا $۱۶/۲۰$ با میانگین $۱۶/۲۰$ (mmol L^{-1})/(mmol kg^{-1}) (mmol L^{-1}) (mmol kg^{-1}) مربوط به خاک ۱۰ با بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی است. در حالی که کمترین مقدار PBC^k مربوط به خاک ۱۵ است که دارای کمترین ظرفیت تبادل کاتیونی

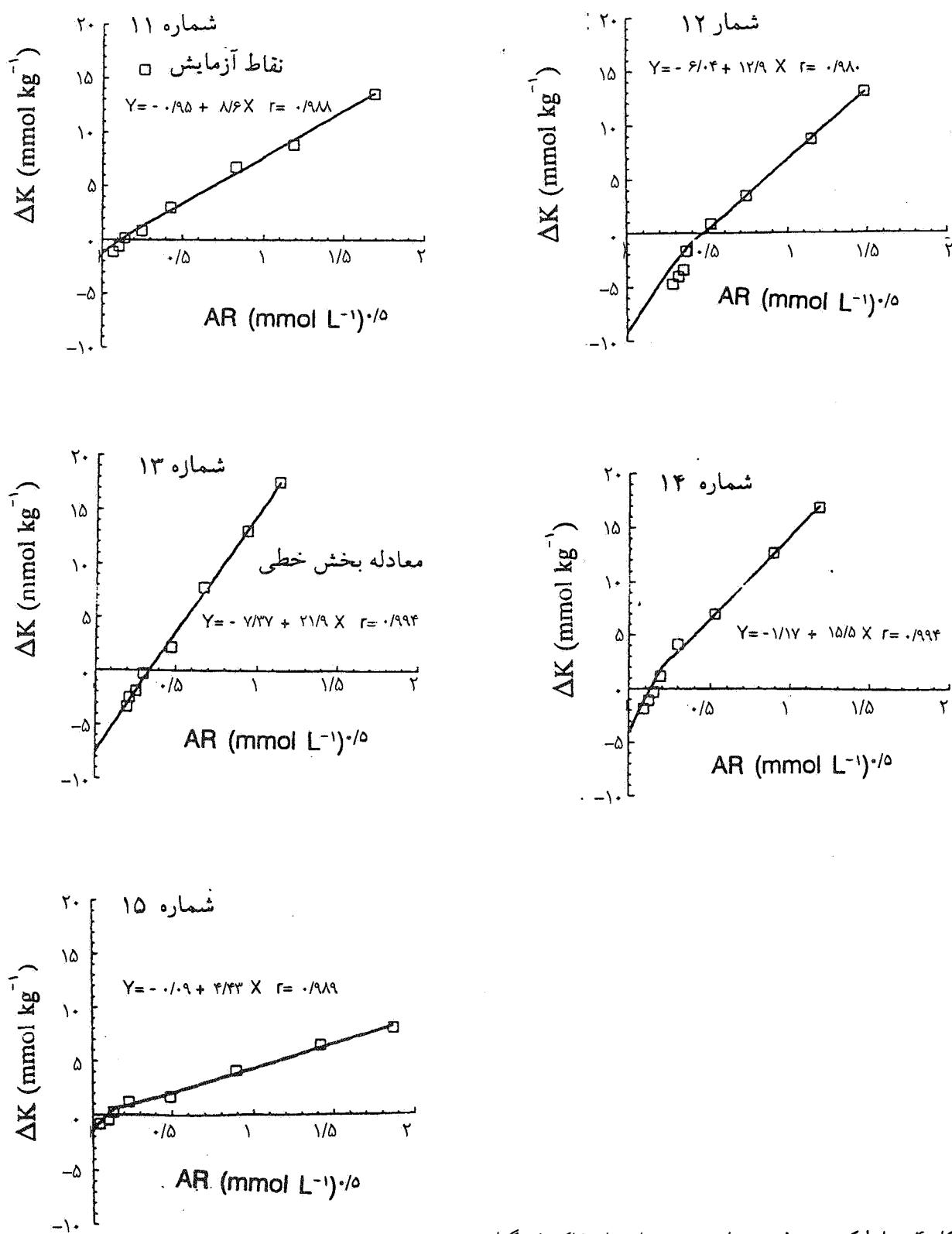
کمتر از $۰/۰۳۱$ (mmol L^{-1}) (mmol kg^{-1}) باشد، پتانسیم عمدتاً در لبه کانی‌های رسی، و چنانچه بیشتر از $۰/۰/۳۱$ (mmol L^{-1}) (mmol kg^{-1}) باشد، جذب سطوح کانی‌های رسی می‌گردد. لذا براساس این نظریه و مقادیر AR° به دست آمده (جدول ۲)، در خاک‌های ۸ و ۱۵ ، پتانسیم در لبه کانی‌های رسی جذب گردیده است. شبیه بخش خطی شکل‌های Q/I یا PBC^k ، که سنجشی از



شکل ۲. روابط کمیت - شدت پتابیم در تعدادی از خاک های اصفهان



شکل ۳. روابط کمیت - شدت پتانسیم در تعدادی از خاک‌های چهارمحال و بختیاری



شکل ۴. روابط کمیت - شدت پتانسیم در تعدادی از خاک‌های گیلان

بوده و دامنه تغییرات آن در خاک‌های مورد مطالعه $0/007$ - $0/737$ با میانگین $0/25 \text{ cmol kg}^{-1}$ می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، بین پتانسیم تبادلی (E_xK) و پتانسیم آسان قابل تبادل رابطه معنی‌داری با ضریب هم‌بستگی $0/79$ موجود است. پتانسیم تبادلی شامل پتانسیم آسان قابل تبادل و پتانسیمی که با انرژی زیاد جذب شده، می‌باشد. مقدار پتانسیم آسان قابل تبادل همیشه کمتر از پتانسیم تبادلی، و در شرایطی برابر پتانسیم تبادلی است. به عقیده ریچ و بلاک (۱۹) و ریچارد و همکاران (۲۰)، در کانی‌هایی که دارای مواضع جذب اختصاصی برای پتانسیم باشند، به علت تزدیکی شعاع یون آمونیوم با شعاع یون پتانسیم، آمونیوم قادر به استخراج پتانسیم جذب اختصاصی شده می‌باشد. در نتیجه پتانسیم عصاره‌گیری شده به وسیله استات آمونیوم، ممکن است بیشتر از مقدار پتانسیم آسان قابل تبادل (ΔK°) باشد. در خاک‌های مورد مطالعه نیز، به دلیل تفاوت در اقلیم و تفاوت در کانی‌های غالب رسی، تعداد محل‌های جذب اختصاصی پتانسیم تفاوت زیادی دارد، که باعث به وجود آمدن تفاوت زیاد در مقدار ΔK° شده است.

پتانسیم سخت قابل تبادل (K_x)، که از کسر کردن پتانسیم نشان‌دار (پتانسیم آسان قابل تبادل) از مقدار پتانسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم یک مولار به دست می‌آید، بین $0/023$ - $0/055$ با میانگین $0/3 \text{ cmol kg}^{-1}$ متغیر بود (جدول ۲). همان‌طور که قبل از مورد پتانسیم آسان قابل تبادل گفته شد، پتانسیم سخت قابل تبادل نیز به نوع کانی‌های رسی بستگی دارد. در خاک‌هایی که دارای کانی‌هایی با محل‌های جذب اختصاصی پتانسیم بیشتر هستند، پتانسیم جذب شده با انرژی بالا بیشتر است، که به راحتی قابل تبادل نمی‌باشد. در نتیجه، در چنین خاک‌هایی مقدار K_x بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر، K_x در ارتباط با نوع کانی‌های رسی بوده، و با پتانسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم یک مولار ارتباط معنی‌دار ندارد (جدول ۳). همان‌طور که از نتایج این مطالعه بر می‌آید، بین پارامترهای Q/I و تعدادی از خصوصیات خاک ارتباط معنی‌داری وجود

جدول ۳. رابطه پارامترهای Q/I با ویژگی‌های خاک

ضریب هم‌بستگی (r)	معادله
$0/66^{**}$	$PBC = -10/3 + 1/43 CEC$
$0/76^{**}$	$E_xK = 0/34 + 1/05 AR^\circ$
$0/75^{**}$	$EPP = 1/65 + 8/2 AR^\circ$
$0/89^{**}$	$SK = 0/07 + 0/44 AR^\circ$
$0/79^{**}$	$\Delta K^\circ = -0/128 + 0/69 E_xK$
$0/50^{ns}$	$K_x = 0/13 + 0/31 E_xK$
$0/16^{ns}$	$PBC = 7-2/47 NK$
$0/51^{ns}$	$PBC = -15/7 + 0/09 C$

** : معنی‌دار در سطح ۱%

ns : غیرمعنی‌دار در سطح ۵%

CEC : پتانسیم محلول

SK : پتانسیم غیرتبادلی

NK : مقدار رس

C : مقدار رس
نمی‌باشد. با توجه به معادله ۸، باید بین PBC^k و CEC ارتباطی وجود داشته باشد. در خاک‌های مطالعه شده، بین PBC^k و CEC هم‌بستگی معنی‌داری با ضریب هم‌بستگی $0/66$ موجود است (جدول ۳). قوی نبودن ضریب هم‌بستگی به دست آمده بین این دو عامل، احتمالاً به دلیل تفاوت زیاد در خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها، و در نتیجه ثابت نبودن K_x ، و هم‌چنین تفاوت زیاد بین مقدار ماده آلی خاک‌ها می‌باشد (مواد آلی باعث افزایش CEC می‌شود، ولی در جذب و نگهداری پتانسیم و در نتیجه افزایش PBC^k ، به اندازه رس‌های سیلیکاتی اثر ندارد) (۲۱). در مطالعه انجام شده به وسیله ایوانگلو و همکاران (۱۰)، تجمع مواد آلی سبب افزایش CEC گردید، ولی PBC^k افزایش معنی‌داری نشان نداد. در حالی که جیمنز و پارا (۱۲)، هم‌بستگی بالایی بین PBC^k و CEC و $PBC^k = 0/94$ و $(PBC = 2/99 CEC - 28/7)$ در خاک‌های آهکی اسپانیا گزارش نمودند. ولی الکنانی و همکاران (۴)، وراسنک و توماس (۱۸) چنین ارتباطی مشاهده نکردند.

پتانسیم نشان‌دار (ΔK°) نشان‌دهنده پتانسیم آسان قابل تبادل

و با تعداد بیشتری خاک انجام گیرد، تا پارامترهای Q/I براساس خصوصیات خاک، با اطمینان بیشتر تخمین زده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود، در مطالعات گلخانه‌ای یا مزرعه‌ای، ارتباط پارامترهای نمودارهای کمیت - شدت پتانسیم با جذب پتانسیم توسط گیاه بررسی شود.

دارد، ولی ضرایب همبستگی به دلیل تفاوت در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میزان‌الوزیک خاک‌ها بالا نیست. اگر چنین مطالعاتی در خاک‌های با خصوصیات یکسان انجام شود، می‌توان پارامترهای Q/I را از خصوصیات خاک، که در آزمایشگاه تعیین می‌شود، و معادلات به دست آمده با اطمینان برآورد کرد. لذا پیشنهاد می‌شود، چنین مطالعاتی در هر منطقه،

منابع مورد استفاده

1. شریفی، م. ۱۳۷۷. انتخاب عصاره‌گیر مناسب جهت استخراج پتانسیم قابل جذب برای گیاه ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
2. Alafift, M. A. 1996. Potassium potential and potential buffering capacity of Torripsamments in the United Arab Emirates. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 27-36.
3. 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.
4. Al-Kanani, T., N. N. Bartakar and A. J. Hussien. 1991. Evaluation of potassium quantity-intensity relationships in calcareous soils. *Soil Sci.* 151:167-173.
5. Beckett, P. H. T. 1964. Studies on soil potassium: The immediate Q/I relations of labile potassium in the soil. *J. Soil Sci.* 15: 9-23.
6. Beckett, P. H. T., B. Craig, M. H. M. Nadafy and J. P. Waston. 1966. Studies on soil potassium . V. The stability of Q/I relations. *Plant Soil.* 25: 435-455.
7. Beckett, P. H. T. and M. H. M. Nadafy. 1967. Studies on soil potassium. VII. Potassium-calcium exchange equilibria in soils. The location of non-specific (Gapon) and specific exchange sites. *J. Soil Sci.* 18: 263-281.
8. Evangelou, V. P. 1986. The influence of anions on potassium quantity-intensity relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1182-1188.
9. Evangelou, V. P. 1986. Evaluation of potassium quantity-intensity relationships by a computer model employing the Gapon equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 58-62.
10. Evangelou, V. P., A. D. Karathanasis and R. L. Blevins. 1986. Effect of soil organic matter accumulation on potassium and ammonium quantity-intensity relationships. *Soil Sci. Am. J.* 50: 378-382.
11. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis *In:* A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
12. Jimenez, C. and M. A. Parra. 1991. Potassium quantity-intensity relationships in calcareous vertisols and inceptisol of southwestern Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 985-989.
13. Lindsay, W. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley and Sons, New York.
14. Lumbaranja, J. and V. P. Evangelou. 1992. Potassium quantity-intensity relationships in the presence and absence of NH_4^+ for three Kentucky soils. *Soil Sci.* 154: 366-377.
15. Mathews, B. C. and P. H. T. Beckett. 1962. A new procedure for studying the release and fixation of K

- ions on soils. *J. Agric. Sci.* 58: 59-64.
16. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1980. Potassium in crop production. *Adv. Agron.* 35: 59-110.
17. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. ASA and SSSA.
18. Rasnake, M. and W. Thomas. 1976. Potassium status of some alluvial soils in Kentucky. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 40: 883-887.
19. Rich, C. I. and W. R. Black. 1964. Potassium exchange as affected by cation size, pH, and mineral structure. *Soil Sci.* 47: 384-390.
20. Richard, J. E., T. E. Bates and S. C. Sheppard. 1988. Studies on the potassium supplying of southern Ontario soils, I. Field and greenhouse experiment. *Can. J. Soil Sci.* 68: 183-197.
21. Salmon, R. C. 1964. Cation exchange reactions. *J. Soil Sci.* 15: 273-283.
22. Shaviv, A., S. V. Mattigod, P. F. Pratt and H. Joseph. 1985. Potassium exchange in five southern California soils with high potassium fixation capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1128-1133.
23. Sparks, D. L. and W. C. Liebhardt. 1981. Effect of long-term lime and potassium application on quantity-intensity relationships in sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 786-790.
24. Vanbladel, R. and H. R. Cheyi. 1980. Thermodynamic study of calcium-sodium and calcium-magnesium exchange in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 938-942.