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

علیرضا حسین پور[۱] و محمود کلباسی[۲]

چکیده

یکی از روش‌های تعیین وضعیت پتاسیم 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 پتاسیم (AR^k) متفاوت به تعادل رسانیده شد، و تغییر غلظت پتاسیم در محلول (ΔK)، به عنوان تابعی از نسبت فعالیت پتاسیم اندازه‌گیری گردید. با استفاده از اطلاعات به دست آمده، منحنی‌های Q/I برای هر خاک رسم و پارامترهای آن تعیین شد. هم‌چنین، هم‌بستگی 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°، PBC^k، ΔK° و K_x، تفاوت‌های زیادی بین خاک‌ها مشاهده شد. نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR°) بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۵۳۲ با متوسط $(\text{mmol } L^{-1})^{0.5}$ ۰/۲۰، ظرفیت بافری پتانسیم (PBC^k) بین ۴/۴ تا ۷۶/۳ با متوسط $(\text{mmol } L^{-1})^{0.5}/(\text{mmol } kg^{-1})$ ۱۶/۲، پتاسیم آسان قابل تبادل (ΔK°) بین ۰/۰۰۷ تا ۰/۷۳۷ با متوسط $\text{cmol } kg^{-1}$ ۰/۲۵ و پتاسیم سخت قابل تبادل (K_x) بین ۰/۰۲۳ تا ۰/۵۵۰ با میانگین $\text{cmol } kg^{-1}$ ۰/۳، متغیر بود. مطالعه هم‌بستگی بین پارامترهای Q/I و خصوصیات خاک، حاکی از هم‌بستگی معنی‌دار بین PBC^k و CEC ($r=0/66$)، AR° با درصد پتاسیم تبادلی ($r=0/76$) و AR° با پتاسیم محلول ($r=0/89$) بود. هم‌چنین بین ΔK° و مقدار پتاسیم تبادلی، هم‌بستگی معنی‌داری ($r=0/79$) مشاهده گردید. به دلیل تفاوت زیاد بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مطالعه شده، ضرایب هم‌بستگی بین خصوصیات خاک و پارامترهای Q/I بالا نبود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، کمیت - شدت

مقدمه

مقدار پتاسیم تبادلی اندازه‌گیری شده به وسیله استات آمونیوم یک نرمال، به عنوان روشی برای ارزیابی وضعیت پتاسیم قابل جذب خاک و تعیین نیاز گیاه به کودهای پتاسیمی، 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

شده در استان اصفهان (۱)، روش استات آمونیوم یک نرمال، بهترین روش عصاره‌گیری پتاسیم تبادلی نبوده، و روش‌های دیگر عصاره‌گیری هم‌بستگی بهتری با پتاسیم جذب شده داشته است، 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 در هنگام عصاره‌گیری با استات آمونیوم، بخشی از آن استخراج می‌گردد (۱۹). این موضوع احتمالاً یکی از دلایل هم‌بستگی ضعیف بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم، و عکس‌العمل گیاه به کودهای پتاسه در این خاک‌ها است (۱۶). در سال‌های اخیر، کوشش‌هایی برای پیداکردن روش‌های مناسب دیگری برای ارزیابی نیاز گیاه به کود پتاسه، در خاک‌های غنی از کانی‌های میکایی به عمل آمده، که از جمله می‌توان به روش استفاده از روابط تبادلی پتاسیم با کلسیم + منیزیم اشاره کرد (۵). ماتئوس و بکت (۱۵)، روشی برای توصیف رابطه بین پتاسیم تبادلی و محلول معرفی کردند، که رابطه کمیت - شدت (Q/I) پتاسیم نامیده شد. پژوهشگران زیادی روابط کمیت - شدت را در توصیف وضعیت پتاسیم قابل استفاده خاک به کار برده‌اند. (۲، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۸ و ۲۳). وضعیت معمول رابطه کمیت - شدت (Q/I) پتاسیم 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 پتاسیم است:

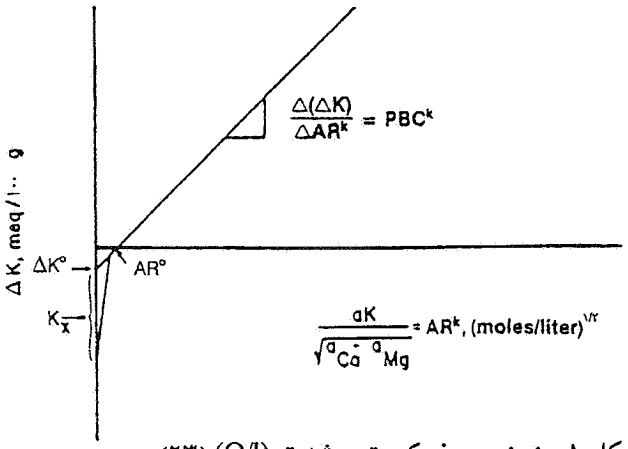
$$AR^k = \left(\frac{a_k}{(a_{Ca}+a_{Mg})^{0.5}}\right) \qquad [1]$$

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

ΔK° = شاخصی از مقدار پتاسیم تبادلی یا نشان‌دار[1]

ΔR° = نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل

K_x = شاخصی از مقدار پتاسیم جذب شده در محل‌های اختصاصی، که پتاسیم سخت قابل تبادل نامیده می‌شود



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

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

تفسیرهای متفاوتی در مورد پارامترهای منحنی Q/I ارائه شده، بخش خطی نمودار به محل‌های جذب غیراختصاصی پتاسیم (۵)، و بخش غیرخطی به محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم نسبت داده شده است (۵ و ۱۹). محل‌های جذب غیراختصاصی مربوط به سطوح پایه‌ای[2] (۵) می‌باشد، در حالی که محل‌های جذب اختصاصی به محل‌های لبه‌ای[3] کانی‌های رسی و محل‌های گوه‌ای[4] میکاهای هوا دیده نسبت داده می‌شود (۷ و ۱۹). خاک‌های مختلف با داشتن AR° یکسان، در حالی که پتاسیم به وسیله گیاه جذب می‌شود، توانایی یکسانی برای نگه داشتن این AR° ندارند. به عبارت دیگر، خاک‌ها می‌توانند AR° یکسان، ولی مقدار پتاسیم نشان‌دار متفاوتی داشته باشند.

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

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

بیش‌تر محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم در افق زیر سطحی نسبت داده شده است. یون آمونیوم با شعاع ۱/۴۳A°، می‌تواند جانشین یون پتاسیم با شعاع ۱/۳۳A°، در محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم شود، و در این خاک‌ها (خاک‌های غنی از کانی‌های میکایی)، استات آمونیوم، پتاسیم تبادلی را بیش‌تر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند (۱۹).

PBC^k نشان‌دهنده توانایی بالقوه خاک، برای نگه داشتن شدت مناسبی از پتاسیم 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 پتاسیم موردنیاز گیاه و ضرورت کاربرد کودهای پتاسه است (۲۳).

سه عامل خاکی به عنوان عوامل اصلی کنترل کننده سرعت فراهم شدن پتاسیم، برای جذب به وسیله ریشه گیاه معرفی شده است. این سه عامل، که به طور موفقیت‌آمیزی برای ارزیابی وضعیت جذب پتاسیم به وسیله گیاه مورد استفاده قرار گرفته، عبارت است از: ۱. شدت پتاسیم در محلول خاک، ۲. قدرت بافری پتاسیم، و ۳. ضریب انتشار مؤثر پتاسیم در خاک (۱۶). شدت و قدرت بافری، مستقیماً از منحنی‌های Q/I پتاسیم به دست می‌آید. به دلیل این که منحنی‌های Q/I پتاسیم به صورت معمول در آزمایشگاه تعیین نمی‌شود، تحقیق در مورد پیداکردن روابطی بین خصوصیاتی از خاک که به طور معمول در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شود و پارامترهای Q/I، مفید است.

برای سیستم دو جزئی پتاسیم - (کلسیم + منیزیم)، که عبارت کلسیم + منیزیم در آن نشان‌دهنده سیستمی است که کلسیم و منیزیم را به عنوان یک گونه یونی درنظر می‌گیرد (۵)، معادله گاپون را می‌توان به صورت زیر نوشت (۹).

$$K_G = [E_x K]\left[(a_{Ca}+a_{Mg})^{0/5}\right] / \left[0/5E_{x\,2Ca} + 0/5E_{x\,2Mg}\right](a_k) \qquad [2]$$

که در آن، K_G ضریب گزینش تبادل کاتیونی گاپون برای تبادل یون پتاسیم با یون‌های کلسیم و منیزیم، E_x نشان‌دهنده مقدار کاتیون‌های تبادلی، و a نشان‌دهنده فعالیت یون در محلول می‌باشد.

با بازآرایی معادله بالا، داریم:

$$[E_x K] = [0/5E_{x\,2Ca} + 0/5E_{c\,2Mg}]\, K_G \cdot (a_K)/(a_{Ca}+a_{Mg})^{0/5} \qquad [3]$$

و یا :

$$[E_x K] = AR^k . K_G . [0/5E_{x\,2Ca} + 0/5E_{x\,2Mg}] \qquad [4]$$

چون در بیش‌تر خاک‌های کشاورزی، $[E_x K] << [0/5E_{x\,2Ca} + 0/5E_{x\,2Mg}]$ می‌باشد، معادله ۴ می‌تواند به عنوان یک معادله خطی درنظر گرفته شود، که در آن $[E_x K]$ متغیر وابسته، AR^k متغیر مستقل و $K_G[E_{x\,2Ca} + 0/5E_{x\,2Mg}]$ شیب آن است. بدین ترتیب، براساس رابطه گاپون، بین مقدار پتاسیم تبادلی $[E_x K]$ و نسبت فعالیت پتاسیم در محلول خاک (AR^k)، به طور نظری رابطه‌ای خطی برقرار است. با تقسیم رابطه ۴ بر CEC و با این فرض که $CEC = [0/5E_{x\,2Ca} + 0/5E_{x\,2Mg}]$، داریم.

$$[E_x K] / CEC = K_G . AR^k \qquad [5]$$

و یا :

$$EPP = 100 \times K_G . AR^k \qquad [6]$$

که EPP درصد پتاسیم تبادلی می‌باشد.

اگر دو طرف معادله ۴ را بر AR^k تقسیم نموده و از آن مشتق جزئی بگیریم، معادله زیر به دست می‌آید:

$$\delta [E_x K] / \delta AR^k = K_G \left[0/5E_{x\,2Ca} + 0/5E_{x\,2Mg}\right] \qquad [7]$$

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

$$PBC^k=(CEC).K_G \qquad [۸]$$

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 انبلادل و چی (۲۴)، هم‌بستگی بالایی بین مقدار ماده آلی خاک و ثابت‌های تبادل Ca-Mg و Ca-Na، در خاک‌های آهکی مونت موریلونیتی مراکش مشاهده کردند. در مطالعه انجام شده به وسیله ایوانگلو 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 ماده‌آلی 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.

رابطه بین PBC^k و CEC در تعداد معدودی 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 الکنانی و همکاران (۴)، در خاک‌های آهکی رابطه معنی‌داری بین PBC^k و CEC وجود نداشت. هم‌چنین رابطه بین حلالیت کلسیت و PBC^k یا CEC معنی‌دار نبود. در این مطالعه، هم‌چنین PBC^k در مقابل حاصل‌ضرب CEC و حلالیت کلسیت رسم شد، که ضریب هم‌بستگی آن نزدیک به ضریب هم‌بستگی بین PBC^k و CEC بود. این نشان‌دهنده حداقل اثر حلالیت کلسیت بر روابط PBC^k و CEC می‌باشد. در این مطالعه، وقتی که PBC^k به عنوان تابعی از حاصل‌ضرب ضریب تبادل و CEC رسم گردید، ضرایب هم‌بستگی به مقدار زیاد افزایش یافت، و بیش‌ترین ضریب هم‌بستگی موقعی بود که ضرایب تبادل ترمودینامیکی وانسلو [1] درنظر گرفته شد (۴).

در سال‌های اخیر، مسئله استفاده از کودهای پتاسه در ایران مطرح شده و مقدار مصرف آن رو به افزایش می‌باشد. در این باره، آگاهی از وضعیت حاصل‌خیزی 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.

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 هوا و عبور از الک دو میلی‌متری، برای انجام آزمایش‌ها آماده شد. پ - هاش در نمونه‌های گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های گل اشباع (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 ۰/۰۰۲ مولار کلسیم (از کلرید کلسیم)، که غلظت پتاسیم (از کلرید پتاسیم) در آنها به ترتیب صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۶، ۲/۴ و ۳/۲ میلی مولار بود، به نمونه‌های دو گرمی هر خاک (در دو تکرار) اضافه و به مدت دو ساعت در دمای ۲۹۹±۱°K تکان داده شد. پس از سانتریفیوژ کردن سوسپانسیون در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت پنج دقیقه، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره خاک به وسیله دستگاه

1. Vanselo exchange coefficient

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

هدایت سنج، غلظت Ca+Mg به وسیله تیتره کردن با EDTA و غلظت پتاسیم با روش اسپکتروسکپی نشر اتمی اندازه‌گیری 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 محلول‌ها (I) با استفاده از EC اندازه‌گیری شده و فرمول تجربی I = ۰/۰۱۳EC (۱۳) محاسبه گردید. سپس ضرایب فعالیت یون (λi)، با استفاده از معادله دیویس [1] محاسبه شد. آن گاه فعالیت هر یون، با استفاده از فرمول $ai = \lambda i . Ci$ و غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای هر یون (Ci) 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 خاک‌های 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 خاک‌های یک منطقه وسیع است. دامنه تغییرات این سه ویژگی به ترتیب ۲۰۵-۵۲۸، ۷-۴۵ و ۴۰-۵۶۰ گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد.

گنجایش تبادل کاتیونی، شکل‌های مختلف پتاسیم و پارامترهای Q/I خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. نظیر بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (جدول ۱)، دامنه تغییرات پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و گنجایش تبادل کاتیونی بین خاک‌های یک منطقه و مناطق مختلف وسیع بوده و به ترتیب ۰/۰۵-۰/۳۵، ۰/۱۳-۰/۹۲، ۰/۹-۴/۷ و ۱۱-۳۴/۷ سانتی مول در کیلوگرم می‌باشد.

شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نمودارهای Q/I و معادلات بخش خطی خاک‌های مطالعه شده را نشان می‌دهند. نمودارهای مذکور شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان می‌دهند. (۵، ۶، ۷، ۱۲ و ۲۵)، به طوری که در مقادیر کم AR^k، رابطه ΔK و AR^k به صورت غیرخطی و در مقادیر بالای AR^k این رابطه خطی است، ولی از نظر مقدار AR°، PBC^k، ΔK° و K_x تفاوت‌های زیادی بین خاک‌ها مشاهده می‌شود، که نمایانگر وضعیت متفاوت پتاسیم در این خاک‌ها است (جدول ۲).

نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل AR°، که معرف شدت پتاسیم نشان‌دار در خاک می‌باشد، دارای تغییرات ۰/۰۰۵-۰/۵۲۲ با میانگین $(mmol\ L^{-1})^{0/5}$ ۰/۲ است (جدول ۲). با توجه به معادله ۴، مقدار AR° تحت تأثیر سه عامل مقدار پتاسیم تبادلی، گنجایش تبادل کاتیونی و ثابت تبادل گاپون می‌باشد. در خاک‌های مطالعه شده، کم‌ترین AR° در خاک ۸ و بیش‌ترین آن در خاک ۷ مشاهده می‌شود (جدول ۲). در خاک ۷، به دلیل داشتن CEC نسبتاً پایین و هم‌چنین بالا بودن مقدار پتاسیم تبادلی، چنین چیزی نیز انتظار می‌رود. 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 می‌باشد. در خاک‌های دیگر نیز AR° بسته به مقدار گنجایش تبادل کاتیونی و مقدار پتاسیم تبادلی متفاوت 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 (جدول۲). با توجه به معادله ۴، می‌بایستی بین AR° و پتاسیم تبادلی رابطه‌ای وجود داشته باشد. اگر چه این رابطه وجود دارد ولی ضریب هم‌بستگی آن بالا نیست (جدول ۳)، که دلیل آن احتمالاً تنوع خاک‌ها و تفاوت خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیک خاک‌های مورد مطالعه بوده، که باعث تغییرات زیادی در مقدار ثابت تبادل گاپون شده است. معادله ۶ نشان می‌دهد که باید بین درصد پتاسیم تبادلی (EPP) و نسبت فعالیت پتاسیم AR^k نیز رابطه‌ای وجود داشته باشد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بین درصد پتاسیم تبادلی و AR° رابطه‌ای معنی‌دار با ضریب هم‌بستگی ۰/۷۶ موجود است.

1. Davis Equation

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

جدول ۱. بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های موردمطالعه

شماره خاک	محل‌نمونه‌برداری	pH گل‌اشباع	EC عصاره گل اشباع (dsm^{-1})	کربنات‌کلسیم معادل	ماده‌آلی	شن ($g\,kg^{-1}$)	سیلت	رس
				اصفهان				
۱	سهره فیروزان	۷/۲	۱/۱	۳۶۵	۸/۴	۲۱۲	۴۳۹	۳۴۹
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	براآن	۷/۰	۴/۲	۴۱۰	۲۱/۵	۲۰۸	۴۱۰	۳۸۲
				چهارمحال و بختیاری				
۶	لردگان(دشت‌جوانمردی)	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	دافچا	۶/۵	۱/۱	۷۰	۴۵/۰	۸۶	۵۳۷	۳۷۷
۱۳	اسطلک	۶/۷	۱/۰	۱۳۵	۲۸/۰	۱۳۰	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		۴/۸-۷/۵۰	۰/۵-۴/۲۰	۴۰-۵۶۰	۷-۴۵	۷۰-۵۹۰	۱۶۰-۵۵۸	۲۰۵-۵۲۸
میانگین		۶/۸۰	۱/۳۰	۲۶۲	۲۰/۵۰	۲۶۶/۷۰	۳۷۸/۸	۳۵۴/۵۰

در خاک‌های مطالعه شده، مقدار °AR در خاک ۸، با داشتن کم‌ترین مقدار پتاسیم محلول حداقل، و در خاک ۷، با داشتن بیش‌ترین مقدار پتاسیم محلول، حداکثر می‌باشد. در خاک‌های دیگر نیز چنین روندی مشاهده می‌شود. با توجه به رابطه به دست آمده (جدول ۳)، می‌توان نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل را، که یکی از پارامترهای مهم نمودار Q/I می‌باشد، با اندازه‌گیری پتاسیم محلول برآورد کرد. جیمنز و پارا (۱۳)، هم‌بستگی معنی‌داری بین درصد پتاسیم تبادلی (EPP) و نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل °AR، در خاک‌های آهکی اسپانیا به دست آوردند (r^2=۰/۷۶۲ و °AR=۰/۰۰۲۹۹EPP-۰/۰۰۳۷۴). هم‌چنین، شاویو و همکاران (۲۲)، بین نسبت پتاسیم تبادلی به مجموع کلسیم و منیزیم تبادلی (EP) و نسبت جذب پتاسیم (PAR)، هم‌بستگی بالایی مشاهده کردند (r^2=۰/۹۵ و EP=۰/۱۳۴+۰/۰۲۶PAR).

براساس نظریات اسپارکس و لیبهارت (۲۳)، چنانچه °AR

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

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

شماره خاک	درصدپتاسیم تبادلی	گنجایش تبادل‌کاتیونی	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	$^{1}\Delta K^{\circ}$	$^{2}K_x$	$^{3}AR^{\circ}$	$^{4}PBC^{k}$
			cmol kg^{-1}					$(mmol\ L^{-1})^{0/5}$	$\frac{(mmol\ L^{-1})}{(mmol\ kg^{-1})}$
اصفهان									
۱	۲/۵۰	۱۳/۰	۰/۱۱	۰/۳۳	۳/۱۰	۰/۱۲۳	۰/۲۰۷	۰/۱۰	۱۲/۲۸
۲	۲/۴۰	۱۶/۵	۰/۱۳	۰/۴۰	۴/۶۰	۰/۰۵۱	۰/۳۴۹	۰/۰۴۳	۱۱/۸۵
۳	۵/۵۰	۱۴/۱	۰/۲۲	۰/۷۸	۴/۷۲	۰/۴۷۰	۰/۳۱۰	۰/۲۵۶	۱۸/۳۱
۴	۳/۹۰	۱۲/۴	۰/۲۰	۰/۴۸	۳/۴۰	۰/۲۵۱	۰/۲۲۹	۰/۳۲۴	۷/۷۷
۵	۷/۵۰	۱۱/۲	۰/۱۹	۰/۸۴	۴/۱۶	۰/۳۶۶	۰/۴۷۴	۰/۵۲۴	۶/۹۸
چهارمحال و بختیاری									
۶	۳/۴۰	۱۱/۰	۰/۱۳	۰/۳۷	۳/۳۷	۰/۰۸۷	۰/۲۸۳	۰/۰۹۹	۸/۷۲
۷	۷/۴۰	۱۲/۵	۰/۳۵	۰/۹۲	۴/۴۵	۰/۴۱۸	۰/۵۰۲	۰/۵۳۲	۸/۷۵
۸	۳/۵۰	۱۶	۰/۰۵	۰/۵۶	۴/۴۷	۰/۰۰۷	۰/۵۵۰	۰/۰۰۵	۱۳/۸۲
۹	۳/۴۰	۱۸/۲	۰/۱۱	۰/۶۲	۴/۴۲	۰/۱۴۳	۰/۴۷۷	۰/۰۹۲	۱۵/۶۰
۱۰	۱/۷۰	۳۴/۷	۰/۰۵	۰/۶۰	۲/۴۸	۰/۲۸۵	۰/۳۱۵	۰/۰۳۷	۷۶/۳۰
گیلان									
۱۱	۰/۷۸	۱۶/۵	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۹۰	۰/۰۹۵	۰/۰۳۵	۰/۱۱	۸/۶۰
۱۲	۲/۷۰	۳۳/۵	۰/۳۲	۰/۹۲	۴/۲۸	۰/۶۰۴	۰/۳۱۶	۰/۴۶۸	۱۲/۹۰
۱۳	۲/۹۰	۲۶/۵	۰/۲۲	۰/۷۶	۳/۳۱	۰/۷۳۷	۰/۰۲۳	۰/۳۳۶	۲۱/۹۰
۱۴	۱/۵۰	۲۷/۵	۰/۱۱	۰/۴۰	۲/۱۱	۰/۱۱۷	۰/۲۸۳	۰/۰۷۵	۱۵/۵۰
۱۵	۱/۰	۱۴/۷	۰/۰۷	۰/۱۵	۲/۲۵	۰/۰۰۹	۰/۱۴۱	۰/۰۲۰	۴/۴۰
دامنه	۰/۷۸-۷/۵	۱۱-۳۴/۷	۰/۰۵-۰/۳۵	۰/۱۳-۰/۹۲	۰/۹-۴/۷۲	۰/۰۰۷-۰/۷۳۷	۰/۰۲۳-۰/۵۵	۰/۰۰۵-/۵۳۲	۴/۴-۷۶/۳
میانگین	۳/۴۰	۱۸/۵۰	۰/۱۵	۰/۵۵	۳/۲۷	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۲۰	۱۶/۲۰

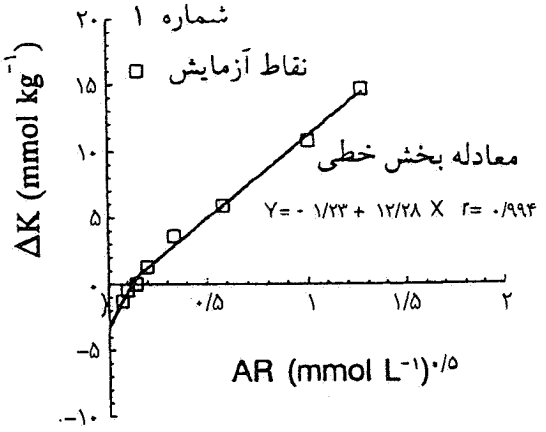
۱. شاخص مقدار پتاسیم نشان‌دار
۲. پتاسیم سخت قابل تبادل
۳. نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل
۴. ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم

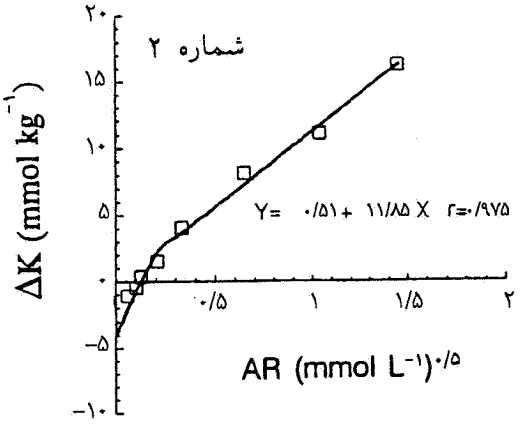
کم‌تر از $(mmol\ L^{-1})^{0/5}$ ۰/۰۳۱ باشد، پتاسیم عمدتاً در لبه کانی‌های رسی، و چنانچه بیش‌تر از $(mmol\ L^{-1})^{0/5}$ ۳/۱ باشد، جذب سطوح کانی‌های رسی می‌گردد. لذا براساس این نظریه و مقادیر AR° به دست آمده (جدول ۲)، در خاک‌های ۸ و ۱۵، پتاسیم در لبه کانی‌های رسی جذب گردیده است.

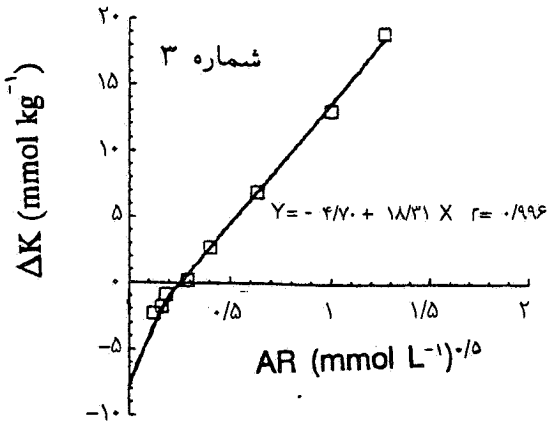
شیب بخش خطی شکل‌های Q/I یا PBC^{k}، که سنجشی از توانایی خاک در حفظ فعالیت (شدت) پتاسیم در محلول خاک است، دارای تغییرات زیادی بین ۴/۴ تا ۷۶/۳، با میانگین ۱۶/۲۰ $(mmol\ kg^{-1})/(mmol\ L^{-1})^{0/5}$ می‌باشد (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار PBC^{k} مربوط به خاک ۱۰ با بیش‌ترین ظرفیت تبادل کاتیونی است. در حالی که کم‌ترین مقدار PBC^{k} مربوط به خاک ۱۵ است که دارای کم‌ترین ظرفیت تبادل کاتیونی

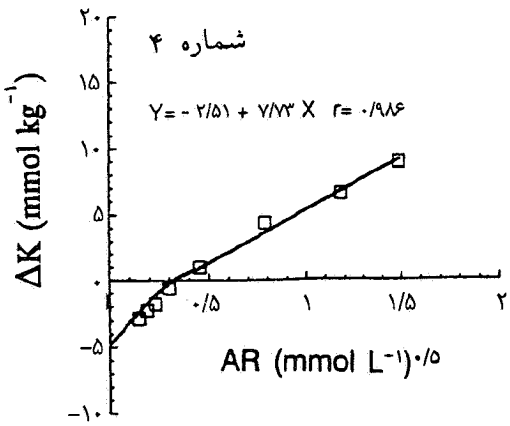
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

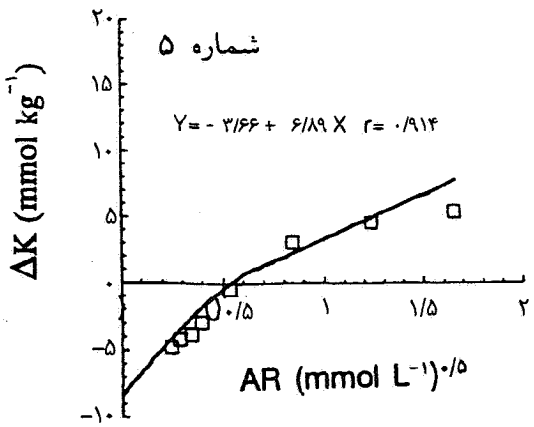
[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]







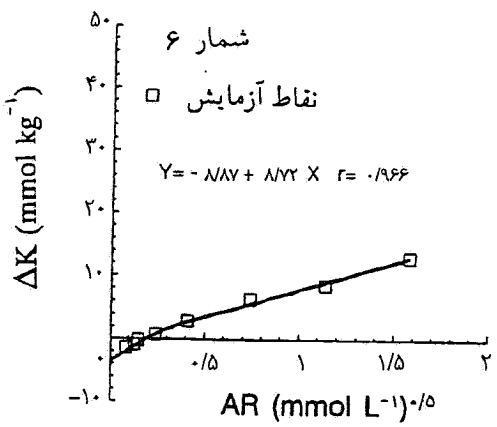


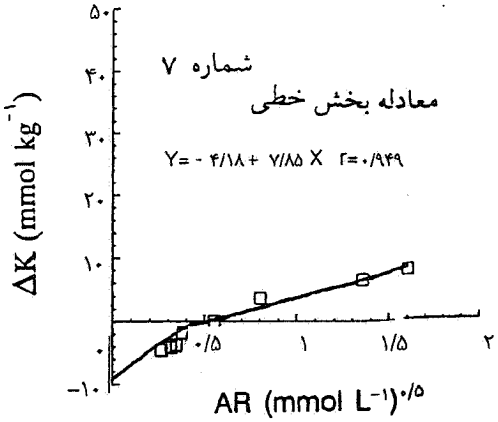


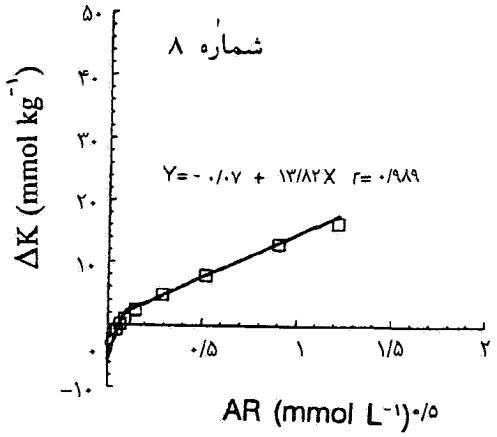
شکل ۲. روابط کمیت - شدت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های اصفهان

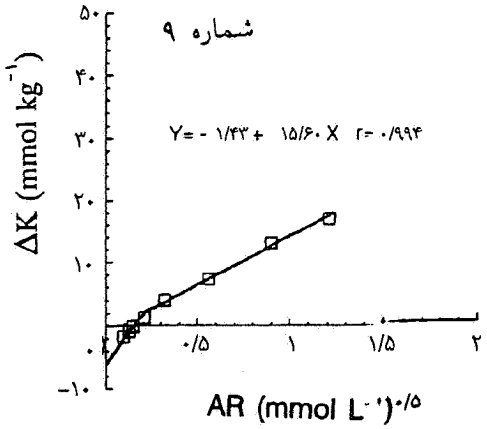
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

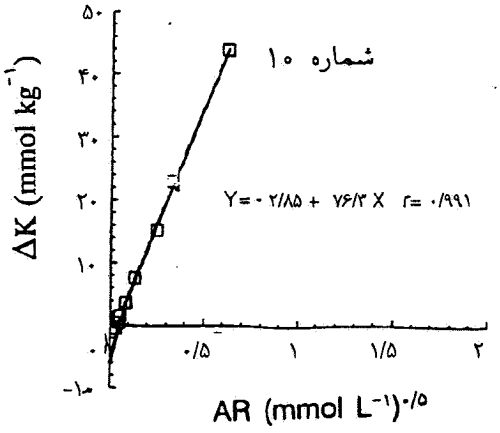
[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]







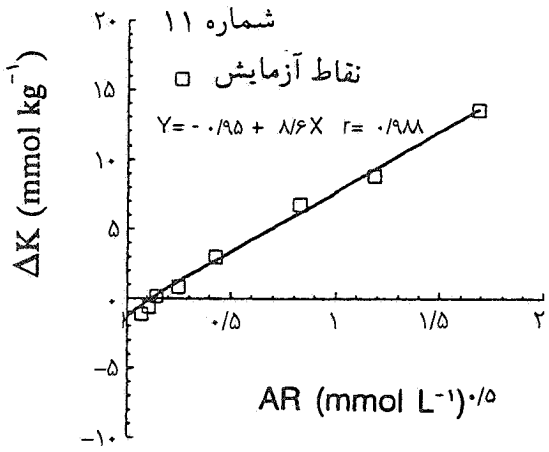


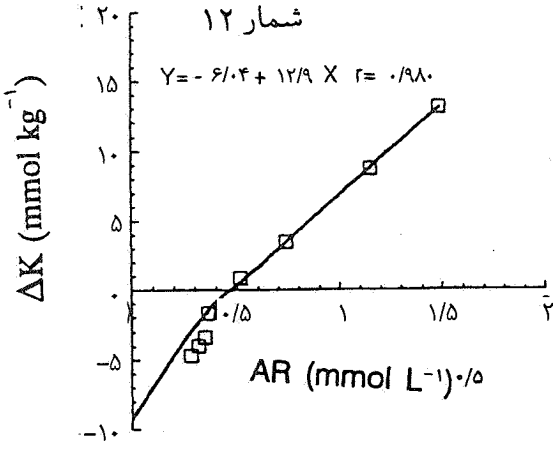


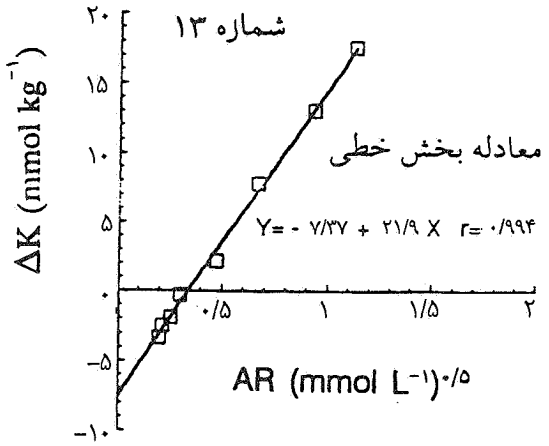
شکل ۳. روابط کمیت - شدت پتاسیم در تعدادی از خاک‌های چهارمحال و بختیاری

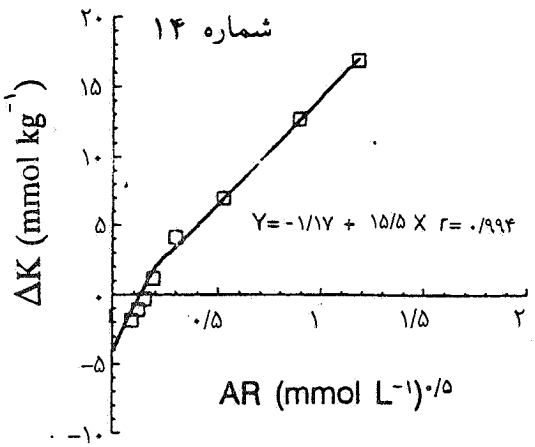
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

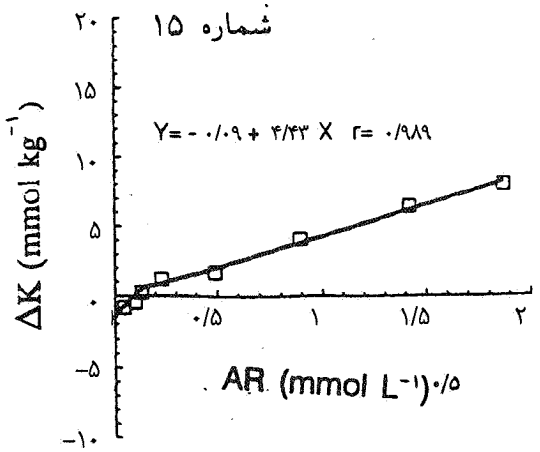
[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]











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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

جدول ۳. رابطه پارامترهای Q/I با ویژگی‌های خاک

معادله	ضریب هم‌بستگی (r)
PBC = -۱۰/۳+۱/۴۳ CEC	۰/۶۶**
E_xK = ۰/۳۴+۱/۰۵ AR°	۰/۷۶**
EPP = ۱/۶۵+۸/۲ AR°	۰/۷۵**
SK = ۰/۰۷+۰/۴۴ AR°	۰/۸۹**
$\Delta K°$ = -۰/۱۲۸+۰/۶۹ E_xK	۰/۷۹**
K_x = ۰/۱۳+۰/۳۱ E_xK	۰/۵۰ns
PBC = ۷-۲/۴۷ NK	۰/۱۶ns
PBC = -۱۵/۷+۰/۰۹ C	۰/۵۱ns

** : معنی‌دار در سطح ۱٪

ns : غیرمعنی‌دار در سطح ۵٪

SK : پتاسیم محلول

NK : پتاسیم غیرتبادلی

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 ۰/۶۶ 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_G ، و هم‌چنین تفاوت زیاد بین مقدار ماده آلی خاک‌ها می‌باشد (مواد آلی باعث افزایش CEC می‌شود، ولی در جذب و نگهداری پتاسیم 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 (r^2=۰/۹۴ و PBC=۲/۹۹CEC-۲۸/۷) در خاک‌های آهکی اسپانیا گزارش نمودند. ولی الکنانی و همکاران (۴)، وراسنک و توماس (۱۸) چنین ارتباطی مشاهده نکردند.

پتاسیم نشان‌دار ($\Delta K°$) نشان‌دهنده پتاسیم آسان قابل تبادل بوده و دامنه تغییرات آن در خاک‌های مورد مطالعه ۰/۰۰۷-۰/۷۳۷ با میانگین ۰/۲۵ $cmol\,kg^{-1}$ می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، بین پتاسیم تبادلی (E_xK) و پتاسیم آسان قابل تبادل رابطه معنی‌داری با ضریب هم‌بستگی ۰/۷۹ موجود است. پتاسیم تبادلی شامل پتاسیم آسان قابل تبادل و پتاسیمی که با انرژی زیاد جذب شده، می‌باشد. مقدار پتاسیم آسان قابل تبادل همیشه کم‌تر از پتاسیم تبادلی، و در شرایطی برابر پتاسیم تبادلی است. به عقیده ریچ و بلاک (۱۹) و ریچارد و همکارن (۲۰)، در کانی‌هایی که دارای مواضع جذب اختصاصی برای پتاسیم باشند، به علت نزدیکی شعاع یون آمونیوم با شعاع یون پتاسیم، آمونیوم قادر به استخراج پتاسیم جذب اختصاصی شده می‌باشد. در نتیجه پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله استات آمونیوم، ممکن است بیش‌تر از مقدار پتاسیم آسان قابل تبادل ($\Delta K°$) باشد. در خاک‌های مورد مطالعه نیز، به دلیل تفاوت در اقلیم و تفاوت در کانی‌های غالب رسی، تعداد محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم تفاوت زیادی دارد، که باعث به وجود آمدن تفاوت زیاد در مقدار $\Delta K°$ شده است.

پتاسیم سخت قابل تبادل (K_x)، که از کسر کردن پتاسیم نشان‌دار (پتاسیم آسان قابل تبادل) از مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم یک مولار به دست می‌آید، بین ۰/۰۲۳ تا ۰/۵۵ با میانگین ۰/۳$cmol\,kg^{-1}$ متغیر بود (جدول ۲). همان طور که قبلاً در مورد پتاسیم آسان قابل تبادل گفته شد، پتاسیم سخت قابل تبادل نیز به نوع کانی‌های رسی بستگی دارد. در خاک‌هایی که دارای کانی‌هایی با محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم بیش‌تر هستند، پتاسیم 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 پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم یک مولار ارتباط معنی‌دار ندارد (جدول۳).

همان‌طور که از نتایج این مطالعه بر می‌آید، بین پارامترهای Q/I و تعدادی از خصوصیات خاک ارتباط معنی‌داری وجود

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

دارد، ولی ضرایب هم‌بستگی به دلیل تفاوت در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیک 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، 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 پتاسیم با جذب پتاسیم توسط گیاه بررسی شود.

منابع مورد استفاده

۱. شریفی، م . ۱۳۷۷. انتخاب عصاره‌گیر مناسب جهت استخراج پتاسیم قابل جذب برای گیاه ذرت در خاک‌های منطقه مرکزی استان اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]

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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1379.4.1.4.7]