نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۶۰-۳۴۹

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 349-360

مطالعه پارامترهای نسبت کمیت- شدت (Q/I) پتاسیم خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک استان‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری

مرتضی بهمنی[1*]- محمدحسن صالحی[2]- علیرضا حسین پور[3]

تاریخ دریافت:۹۰/۳/۹
تاریخ پذیرش:۹۰/۹/۲۷

چکیده

یکی از روش‌های تعیین وضعیت پتاسیم در خاک و مدیریت مصرف کود، استفاده از منحنی‌های کمیت-شدت (Q/I) و پارامترهای آن است. این مطالعه به منظور تعیین و مقایسه پارامترهای Q/I پتاسیم در خاک‌های دشت مبارکه و دشت شهرکرد به ترتیب، در استان‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری انجام شد. منحنی‌های Q/I به‌دست آمده، شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان دادند، اما از نظر پارامترهای Q/I تفاوت‌هایی بین خاک‌ها وجود داشت که نشان‌دهنده وضعیت متفاوت خاک‌ها از نظر حاصلخیزی پتاسیم است. نتایج پارامترهای Q/I نشان داد که در افق‌های سطحی (افق A) خاک‌های دشت مبارکه و دشت شهرکرد نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR^0) به ترتیب در دامنه ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۶۴ و ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۸۱ $(mmol.l^{-1})^{0.5}$، پتاسیم به آسانی قابل تبادل (ΔK^0) به ترتیب در دامنه ۰/۲۶ تا ۰/۸۷ و ۰/۵۶ تا ۴/۰۵ $mmol.kg^{-1}$، پتاسیم به سختی قابل تبادل (K_X) به ترتیب در دامنه ۱/۵۷ تا ۱/۷۳ و ۳/۶۹ تا ۵/۲۵ $mmol.kg^{-1}$ و ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC^K) به ترتیب در دامنه ۱۳/۶ تا ۲۶/۱۵ و ۳۰/۹۷ تا ۴۹/۹۶ [$mmol.kg^{-1}/(mmol.L^{-1})^{0.5}$] بود. مطالعه همبستگی بین پارامترهای Q/I و ویژگی‌های خاک، حاکی از همبستگی معنی‌دار بین PBC^K و CEC در خاک‌های مبارکه ($r = ۰/۸۶$) و عدم همبستگی در خاک‌های شهرکرد می‌باشد. همبستگی معنی‌دار بین AR^0 با پتاسیم تبادلی در خاک مبارکه ($r = -۰/۶۴$) و در خاک شهرکرد ($r = -۰/۶۸$) و نیز بین ΔK^0 و مقدار پتاسیم تبادلی ($r=۰/۸۶$ در خاک مبارکه و $r=۰/۸۳$ در خاک شهرکرد) مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، منحنی کمیت- شدت، ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم

مقدمه

در مدیریت تغذیه گیاهان زراعی آگاهی از وضعیت پتاسیم خاک‌ها بسیار حائز اهمیت است. به همین دلیل، مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با آن در مناطق مختلف دنیا صورت گرفته است. پتاسیم در خاک به چهار شکل پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی وجود دارد. این شکل‌های مختلف در تعادل با یکدیگر قرار دارند (۲۸). گیاهان پتاسیم را از محلول خاک جذب می‌کنند، این ذخیره به اندازه کافی بالا نیست تا بتواند نیاز گیاهان را در طول فصل رشد تأمین نماید که بایستی از فاز تبادلی و به سختی قابل تبادل یا بوسیله اضافه کردن کود جانشین شود. برای تعیین پتاسیم قابل استفاده گیاه روش‌های عصاره‌گیری با استفاده از کاتیون‌های جانشین شونده استفاده می‌شود، که رایج‌ترین آنها استفاده از استات آمونیوم ۱ مولار می‌باشد. این روش برای اندازه‌گیری مقدار پتاسیم به آسانی قابل دسترس (شامل پتاسیم محلول و تبادلی) دارای خطا می‌باشد (۱۷). 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 تنها بخشی از آن استخراج می‌شود (۴). فلدسپارهای پتاسیم‌دار نیز پتاسیم قابل تبادل کمی دارند.

شواهد نشان می‌دهد که جذب پتاسیم به وسیله گیاهان از محلول خاک به غلظت کلسیم (Ca^{+2}) و منیزیم (Mg^{+2}) بستگی دارد (۱۲). همچنین 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، تشریح کننده سرعت انتقال پتاسیم از فاکتور کمیت به فاکتور

۱،۲و۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: bahmanimorteza@yahoo.com)

شدت است (۱۱). روابط بین این دو پارامتر بوسیله روش کمیت–شدت تعیین می‌شوند (۱۲). روابط کمیت–شدت می‌توانند درک فوری از وضعیت پتاسیم خاک فراهم کنند. با استفاده از این روابط محققان می‌توانند مقدار معین پارامترهایی که در ارزیابی وضعیت پتاسیم مهم هستند را به دست آورند (۲۶). محققان زیادی روابط کمیت–شدت را در توصیف وضعیت پتاسیم قابل استفاده خاک بکار برده‌اند (۲، ۷، ۹، ۱۶، ۲۹ و ۳۱). با استفاده از منحنی‌های Q/I (شکل ۱) می‌توان پارامترهای مفیدی در ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک به دست آورد.

در منحنی‌های Q/I (شکل ۱)، ΔK عامل کمیت (Q) و نشان دهنده تغییر در پتاسیم تبادلی با تغییر عامل شدت (AR^K) است. AR^K عامل شدت (I) یا نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل است و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$AR^K=[a_k/(a_{Ca+Mg})^{0.5}] \quad (۱)$$

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

ΔK = پتاسیم به آسانی قابل تبادل

AR^K = نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل

K_X = شاخصی از پتاسیم به سختی قابل تبادل

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

تفسیرهای متفاوتی در مورد پارامترهای منحنی Q/I ارائه شده است، بخش خطی نمودار به محل‌های جذب غیراختصاصی پتاسیم و بخش غیرخطی به محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم نسبت داده شده است (۱۲). محل‌های جذب غیراختصاصی مربوط به مکان‌های سطحی و خارجی کانی‌ها می‌باشند و در مقادیر زیاد نسبت فعالیت پتاسیم بوجود میآید، در حالیکه محل‌های جذب اختصاصی به محل‌های لبه‌ای کانی‌های رسی و محل‌های گوه‌ای شکل میکاهای هوادیده نسبت داده می‌شود (۱۳).

روابط کمیت–شدت پارامتری مناسب برای انجام توصیه‌های کودی است، با این حال روش آزمایش پیچیده بوده و نیاز به دانش، تجربه و هزینه زیادی دارد. لذا محققان برای رفع این مشکل تلاش می‌کنند تا رابطه بین Q/I و خصوصیات مختلف خاک را مشخص نمایند، تا از این طریق بتوانند دینامیک پتاسیم در خاک را بهتر مورد ارزیابی قرار دهند. ویژگی‌های کانی‌شناسی خاک تأثیر زیادی بر پارامترهای Q/I پتاسیم دارد. وانگ و همکاران (۳۱) اظهار کردند که نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل و ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم در ارتباط با کانی‌شناسی رس می‌باشند. همچنین PBC^K در خاک‌های اسمکتیتی بسیار بیشتر از خاک‌های ایلیتی و در خاک‌های ایلیتی بیشتر از خاک‌های کائولینیتی است (۲۳). در حقیقت رابطه کمیت–شدت بدست آمده از خاک‌هایی که دارای کانی‌های مختلف هستند، مجموع روابط کمیت– شدت هر یک از کانی‌ها می‌باشد (۱۲).

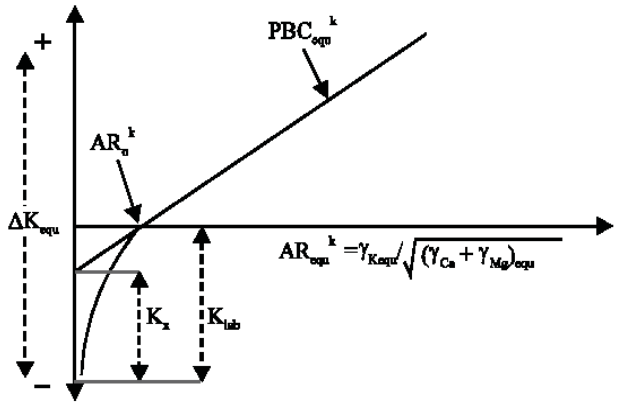
با توجه به تأثیر کانی‌های رسی بر پارامترهای نمودارهای کمیت–شدت پتاسیم، بدست آوردن روابط کمیت–شدت پتاسیم در خاک‌هایی با خصوصیات کانی‌شناسی متفاوت می‌تواند مفید باشد. همچنین اطلاع از الگوی روابط Q/I در عمق‌های مختلف خاک در شناخت ذخیره طبیعی پتاسیم در اعماق پایین خاک می‌تواند حائز اهمیت باشد. بر این اساس اهداف مطالعه حاضر شامل: ۱– تعیین مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی و غیرتبادلی) در خاک‌های دشت مبارکه و دشت شهرکرد، ۲– تعیین پارامترها و روابط کمیت– شدت در این خاک‌ها و ۳– بررسی روابط بین پارامترهای Q/I و ویژگی‌های کانی‌شناسی خاک‌های دو منطقه است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در استان‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری انجام شد. مناطق مورد مطالعه شامل دشت مبارکه در استان اصفهان واقع در جاده اختصاصی مجتمع فولاد مبارکه در شهرستان مبارکه می باشد که در محدوده جغرافیایی "۴۷/۰۹ '۱۵ °۳۲ تا "۵۹/۳۱ '۱۶ °۳۲ شمالی و "۲۶/۴۶ '۲۵ °۵۱ تا "۲۶/۹۶ '۲۶ °۵۱ شرقی قرار گرفته است. این دشت در واحد فیزیوگرافی رسوبات آبرفتی دامنه‌ای واقع شده و کاربری منطقه کشاورزی می‌باشد. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۶۹۰ متر و میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه ۱۶۰ میلی‌متر می‌باشد.

منطقه دیگر مورد مطالعه دشت شهرکرد در استان چهارمحال-وبختیاری در محدوده جغرافیایی "۱۱/۲۶ '۲۱ °۳۲ تا "۳۲/۳۹ '۲۱ °۳۲ شمالی و "۴۵/۰۲ '۴۸ °۵۰ تا "۴۷/۰۶ '۴۹ °۵۰ شرقی می‌باشد. محدوده مورد نظر در محوطه دانشگاه شهرکرد قرار دارد و در واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی دامنه ای واقع شده است. کاربری منطقه کشاورزی و ارتفاع منطقه از سطح دریا ۲۰۶۱ متر می‌باشد و میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه ۳۲۰ میلی‌متر است.

تعداد ۳ خاکرخ در هر منطقه، حفر و طبقه‌بندی خاک‌ها براساس سیستم رده‌بندی آمریکایی انجام شد (۲۸). نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت به روش هیدرومتری، pH و هدایت الکتریکی در سوسپانسیون ۵:۱ (خاک:آب) اندازه‌گیری شدند (۲۴). کربن آلی با روش اکسیداسیون تر با دی‌کرومات (۲۲)، کربنات کلسیم معادل بوسیله تیتراسیون با اسید (۲۰) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم نرمال (۳۰) اندازه‌گیری شدند. پتاسیم قابل تبادل به روش استات آمونیوم یک مولار (۱۸) و پتاسیم غیر قابل تبادل با روش الکنعانی و همکاران (۱۰) تعیین شد. آنالیز کانی‌شناسی بخش رس توسط دستگاه پراش پرتو ایکس بروکر مدل دی–۸ صورت گرفت (۱۷).



شکل ۱- منحنی تیپیک کمیت-شدت پتاسیم

روابط کمیت-شدت پتاسیم

برای رسم منحنی‌های کمیت- شدت پتاسیم برای هر نمونه خاک اطلاعات لازم به شرح زیر به دست آمد: ۲۵ میلی‌متر 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 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 سانتریفیوژن کردن در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره خاک به وسیله دستگاه هدایت سنج، غلظت کلسیم + منیزیم به وسیله تیتراسیون با EDTA (۲۰) و غلظت پتاسیم با روش طیف‌سنجی نشر اتمی اندازه‌گیری شد.

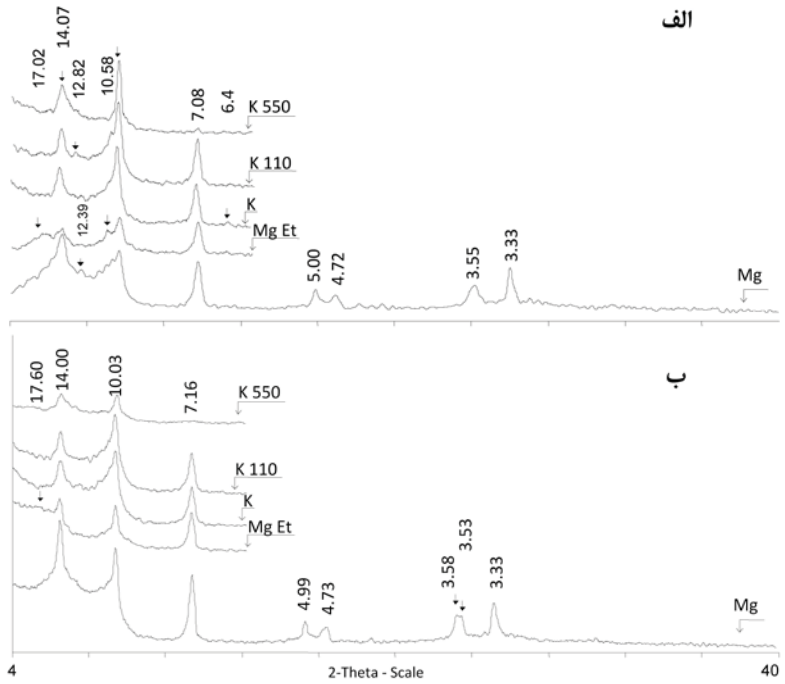
تغییر در پتاسیم تبادلی (ΔK)، از تفاوت غلظت پتاسیم در محلول اولیه و محلول تعادلی به دست آمد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم (معادله ۱)، ابتدا قدرت یونی محلول‌ها (I) با استفاده EC و فرمول تجربی I=0.013EC (۱۹) محاسبه گردید. سپس ضرائب فعالیت یون با استفاده از معادله توسعه یافته دبی‌ها کل محاسبه و از ضرب کردن ضریب فعالیت در غلظت یون، فعالیت آن یون محاسبه گردید (۱۹). با رسم مقدار پتاسیم جذب یا آزاد شده در مقابل نسبت فعالیت پتاسیم، برای هر خاک، نمودارهای کمیت- شدت رسم و پارامترهای مربوطه برای هر خاک تعیین شد.

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. همان‌طور که ملاحظه می‌شود خاک‌های دشت مبارکه در سه کلاس بافتی لوم شنی، لوم رس شنی و لوم رسی قرار می‌گیرند. دامنه مقادیر رس در خاک‌های این منطقه ۱۲ تا ۲۹ درصد (میانگین ۲۲/۹)، دامنه مقادیر کربن آلی ۰/۰۵ تا ۰/۱۸ درصد (میانگین ۰/۱۲)، دامنه مقادیر کربنات کلسیم معادل ۲۴ تا ۴۵/۶ درصد (میانگین ۳۴/۶۵) و دامنه مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی ۹/۱ تا ۱۵/۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک (میانگین ۱۲/۵) است. در حالیکه خاک‌های دشت شهرکرد در سه کلاس بافتی رسی، لوم رسی و لوم رس سیلتی قرار می‌گیرند. دامنه مقادیر رس در خاک‌های این منطقه ۳۰ تا ۵۰ درصد (میانگین ۳۹/۵۴)، دامنه مقادیر کربن آلی ۰/۲ تا ۰/۵ درصد (میانگین ۰/۳۸)، دامنه مقادیر کربنات کلسیم معادل ۲۲ تا ۴۴/۲ درصد (میانگین ۳۳/۷۸) و دامنه مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی ۹/۷ تا ۱۴ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک (میانگین ۱۱/۸) است.

رده‌بندی خاک‌های دو منطقه براساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی نشان داد که خاک دشت مبارکه در رده خاک‌های اریدیسول و خاک دشت شهرکرد در رده خاک‌های اینسپتی‌سول قرار می‌گیرند. رده‌بندی خاک‌های این دو منطقه تا سطح فامیل خاک به ترتیب Fine-Silty, Carbonatic, Thermic, Typic Haplocalcids و Fine, Carbonatic, Mesic, Typic Calcixerepts می‌باشد.

دیفراکتوگرام‌های پراش پرتو ایکس مربوط به نمونه‌های افق سطحی از پروفیل شاهد هر منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج کانی‌شناسی نشان داد که کانی‌های رس موجود در خاک‌های دشت مبارکه شامل میکا، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت و پالی‌گورسکیت می‌باشند و کانی‌های رس موجود در خاک‌های دشت شهرکرد شامل میکا، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت و مقداری کوارتز می‌باشند. عمده‌ترین تفاوت کانی‌شناسی در دو منطقه بیشتر بودن کانی میکا در خاک‌های دشت مبارکه و تا حدودی بیشتر بودن کانی اسمکتیت در خاک‌های دشت شهرکرد است که نشان می‌دهد ترکیب کانی‌شناسی و شدت حضور کانی‌ها در خاک‌های دو منطقه تا حدودی متفاوت است. دلیل عمده این تفاوت می‌تواند شدت بارندگی و میزان رطوبت در دو منطقه باشد زیرا رطوبت و بارندگی بیشتر در منطقه شهرکرد شرایط تشکیل بیشتر کانی اسمکتیت را در خاک فراهم می‌کند و با شستشوی بیشتر کربنات کلسیم از پروفیل خاک پالیگورسکیت ناپایدار شده و به اسمکتیت تبدیل می‌شود (۶).



شکل ۲- پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس افق سطحی پروفیل شاهد الف: خاک مبارکه، ب: خاک شهرکرد

شکل‌های مختلف پتاسیم

نتایج مربوط به شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی و غیرتبادلی) در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شکل‌های مختلف پتاسیم دارای تغییرات زیادی بین خاک‌های دو منطقه می‌باشند. غلظت پتاسیم محلول در خاک‌های دشت مبارکه بین ۱/۸ تا ۴۶/۱ با میانگین ۱۱/۵ و در خاک‌های دشت شهرکرد از ۱/۸ تا ۳۲/۴ با میانگین ۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

غلظت پتاسیم در محلول خاک به میزان قابل توجهی به هوادیدگی کانی‌های خاک، تاریخچه کشت، میزان کود پتاسیمی به کار رفته، واکنش‌های تعادلی و سینتیکی بین اشکال مختلف پتاسیم و میزان رطوبت خاک بستگی دارد (۲۹). با این حال اثر بخشی پتاسیم محلول در تغذیه گیاه به غلظت کلسیم و منیزیم در فازهای محلول و تبادلی خاک نیز بستگی دارد. به‌طور کلی غلظت پتاسیم محلول شاخص ارزیابی مطمئنی برای پیش‌بینی حاصلخیزی خاک از نظر پتاسیم نمی‌باشد، زیرا تداوم تأمین پتاسیم از سوی خاک برای گیاه علاوه بر عامل شدت به عامل کمیت نیز بستگی دارد.

دامنه تغییرات پتاسیم تبادلی در خاک‌های دشت مبارکه بین ۱۸۲ تا ۲۴۴/۶ با میانگین ۱۹۰/۴ و در خاک‌های دشت شهرکرد از ۲۰۷/۴ تا ۳۸۳/۷ با میانگین ۲۷۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱). پایین‌تر بودن میزان پتاسیم تبادلی در خاک مبارکه را می‌توان به دلیل بیشتر بودن میزان رس در خاک‌های شهرکرد و غالب بودن کانی میکا در خاک‌های مبارکه دانست. از طرف دیگر احتمالاً میکاهای دشت شهرکرد هوادیده‌تر هستند و پتاسیم را راحت‌تر از میکاهای مبارکه آزاد می‌کنند که با شرایط مرطوب‌تر این استان قابل توجیه است. قسمت عمده پتاسیم قابل دسترس گیاه از پتاسیم تبادلی است، ولی گیاه تا حد معینی قادر به جذب پتاسیم تبادلی می‌باشد، چون اولاً با کاهش مقدار پتاسیم تبادلی باقی‌مانده آن با قدرت بیشتری توسط کلوئیدها نگهداری می‌شود، ثانیاً کاهش غلظت پتاسیم تبادلی باعث فعال شدن مکانیزم آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی می‌گردد (۲۷).

دامنه تغییرات پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های دشت مبارکه بین ۴۵۹/۱ تا ۶۱۳/۳ با میانگین ۵۴۲/۹ و در خاک‌های دشت شهرکرد بین ۵۱۴/۱ تا ۷۹۷/۴ با میانگین ۶۶۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱). این شکل از پتاسیم در میان ورقه‌های چهاروجهی نزدیک به هم میکاها، ورمیکولیت‌ها و کانی‌های حدواسط همچون ورمی‌کولیت-کلریت نگه‌داری می‌شود. نقش پتاسیم غیرتبادلی در تغذیه گیاه کاملاً به اثبات رسیده است، حتی برخی آن را منبع عمده تأمین پتاسیم برای گیاه دانسته‌اند (۲۹). آنان همچنین در بررسی رابطه بین شکل‌های مختلف پتاسیم با کانی‌شناسی رس نشان دادند که تعادل بین پتاسیم محلول و تبادلی و تعادل بین پتاسیم تبادلی و پتاسیم غیرتبادلی تابعی از بافت خاک و کانی‌شناسی رس است. در مقایسه با ذرات ریز خاک، ذرات درشت به علت هوادیدگی کمتر، حاوی پتاسیم بیشتری هستند. با وجود فراوانی بالفعل پتاسیم در ذرات

رسی، درصد پتاسیم ذخیره در ذرات شن و سیلت، با عنایت به نوع کانی‌های تشکیل دهنده و درجه تخریب آنها، در بعضی موارد بیشتر از ذرات رس می‌باشد (۲۹). اگر آزاد سازی مستقیم پتاسیم از کانی‌های اولیه حاوی پتاسیم بتواند بخش قابل توجهی از پتاسیم قابل دسترس گیاهان را تأمین نماید، جزء سیلت و حتی شن نیز به خوبی جزء رس می‌توانند پتاسیم مورد نیاز گیاهان را تأمین کنند (۱۸).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده

منطقه	شماره پروفیل	افق	عمق (cm)	بافت	pH	هدایت الکتریکی (dS.m-1)	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_c.kg^{-1}$)	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رس	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)		
								درصد			محلول	تبادلی	غیرتبادلی
مبارکه	۱ تک	Ap	۰-۲۵	S.L	۷/۴	۱/۰۵	۹/۱	۰/۱۷	۲۵	۱۶	۱۱/۹	۲۴۴/۶	۴۹۸/۹
		Bk1	۲۵-۵۵	S.C.L	۷/۵	۰/۷	۱۰/۷	۰/۱۴	۳۳/۵	۲۰	۱/۸	۲۳۳/۷	۴۵۹/۱
		Bk2	۵۵-۷۵	S.C.L	۷/۸	۰/۹	۹/۳	۰/۱	۳۵	۲۰	۱/۹	۲۲۶/۶	۵۹۸/۴
		Bk3	۷۵-۹۵	S.C.L	۷/۹	۰/۸	۱۲/۳	۰/۱۴	۳۰/۵	۲۴	۲/۹	۲۳۹/۵	۵۵۸/۶
		Bk4	۹۵-۱۱۰	S.C.L	۸	۰/۸	۱۳/۹	۰/۱	۳۷/۵	۲۸	۳/۹	۲۴۰/۵	۴۸۴/۳
		Bky	۱۱۰-۱۳۰+	C.L	۸/۲	۱/۹	۱۵/۵	۰/۱	۴۳	۲۸	۴/۱	۲۱۹	۵۶۳/۷
	۲ دو	Ap	۰ - ۲۵	S.L	۷/۵	۱/۳	۱۰/۷	۰/۱۷	۲۴	۱۲	۱۳/۳	۲۱۸	۵۸۰/۴
		Bk1	۲۵ - ۵۰	S.L	۸/۰	۰/۵	۱۲/۵	۰/۱۵	۳۲	۱۸	۴۶/۱	۱۸۲/۴	۶۱۳/۳
		Bk2	۵۰- ۸۰	S.C.L	۸/۱	۰/۴	۱۳/۲	۰/۱	۳۶	۲۲	۱۵/۶	۲۱۴/۹	۵۸۳/۵
		Bky1	۸۰ - ۱۱۰	S.C.L	۸/۱	۱/۱	۱۲/۹	۰/۰۷	۳۵/۵	۲۸	۹/۳	۲۱۵/۳	۵۵۳/۸
		Bky2	۱۱۰ -۱۳۰+	C.L	۸/۲	۱/۳	۱۵	۰/۰۵	۴۲/۵	۲۹	۶/۱	۲۳۶/۴	۵۱۴/۱
	۳ سه	Ap	۰-۲۰	S.C.L	۷/۴	۱/۸	۱۲/۳	۰/۱۸	۲۸	۲۱	۲۲/۹	۲۱۵/۵	۶۸۸
		Bk1	۲۰-۳۰	S.C.L	۷/۵	۰/۸	۱۱/۹	۰/۱۵	۳۱/۵	۲۱	۱۰/۳	۲۲۰/۲	۵۱۸/۸
		Bk2	۳۰-۵۰	S.C.L	۷/۸	۰/۶	۱۲/۹	۰/۱۱	۳۵	۲۲	۱۵/۶	۲۲۸/۹	۵۱۴/۱
		Bk3	۵۰-۷۰	S.C.L	۷/۹	۰/۹	۱۳/۹	۰/۱۳	۳۸	۲۵	۱۰/۳	۲۳۰/۲	۴۷۴/۴
		Bk4	۷۰-۱۰۰	S.C.L	۸/۱	۱/۲	۱۴/۳	۰/۱	۳۶/۵	۲۷	۱۱/۴	۲۲۱/۱	۴۹۸
		Bky	۱۰۰-۱۳۰+	S.C.L	۸/۱	۲/۳	۱۲/۳	۰/۱	۴۵/۶	۲۹	۸/۶	۱۹۰/۴	۵۲۸/۸
			میانگین		۷/۸۵	۱/۰۸	۱۲/۵	۰/۱۲	۳۴/۶۵	۲۲/۹	۱۱/۵	۲۲۲/۱۹	۵۴۲/۹۵
شهرکرد	۱ تک	Ap	۰-۱۵	C.L	۷/۷	۰/۳	۱۱	۰/۵	۲۲	۳۴	۳۲/۴	۳۸۳/۷	۷۲۲/۴
		Bk_1	۱۵-۳۵	C	۷/۸	۰/۲	۱۲	۰/۴	۲۶/۷	۴۱	۱۷/۷	۳۳۲/۶	۷۴۲/۳
		Bk_2	۳۵-۶۵	C.L	۸	۰/۱۴	۱۱/۵	۰/۳	۳۴	۳۳	۸/۲	۲۸۰/۲	۶۹۲/۷
		Bk_3	۶۵-۱۰۰	C.L	۸	۰/۱۳	۱۱/۹	۰/۳	۴۰/۲	۳۰	۳/۹	۲۶۲/۴	۵۸۳/۵
		Bk_4	۱۰۰-۱۲۵+	Si.C.L	۸/۲	۰/۱۳	۱۲/۷	۰/۲	۴۱	۴۵	۲/۳	۲۴۴/۲	۵۱۴/۱
	۲ دو	A	۰-۲۳	Si.C.L	۷/۵	۰/۱۸	۹/۷	۰/۴	۲۸/۵	۳۵	۷/۱	۳۳۹/۱	۷۲۷/۸
		Bk_1	۲۳-۵۰	Si.C.L	۷/۷	۰/۱۶	۱۲	۰/۴	۳۵	۳۹	۵/۱	۳۰۳/۳	۷۷۷/۵
		Bk_2	۵۰-۸۵	C	۷/۹	۰/۱۳	۱۴	۰/۴	۴۱/۵	۴۸	۱/۸	۲۴۴/۶	۷۴۲/۳
		Bk_3	۸۵-۱۳۵+	C	۷/۹	۰/۱۷	۱۴	۰/۳	۴۴/۲	۵۰	۲/۵	۲۴۴/۰	۷۹۷/۴
	۳ سه	Ap	۰-۲۵	C.L	۷/۴	۰/۱۴	۱۰/۳	۰/۴	۲۳/۲	۳۴	۱۵/۶	۳۲۴/۷	۶۹۲/۷
		Bk_1	۲۵-۵۵	C	۷/۷	۰/۱۲	۱۱/۵	۰/۵	۲۴	۴۲	۱۱/۴	۲۵۵/۱	۵۷۸/۵
		Bk_2	۵۵-۸۵	C.L	۷/۸	۰/۱۱	۱۰/۸	۰/۵	۴۰/۵	۴۱	۸/۲	۲۲۸/۳	۵۱۴/۱
		Bk_3	۸۵-۱۳۵+	C.L	۸/۱	۰/۱۴	۱۲	۰/۴	۳۸/۴	۴۲	۳/۱	۲۰۷/۴	۵۱۸/۸
			میانگین		۷/۸۲	۰/۱۶	۱۱/۸	۰/۳۸	۳۳/۷۸	۳۹/۵۴	۹/۱۸	۲۸۰/۷۴	۶۶۱/۸۵

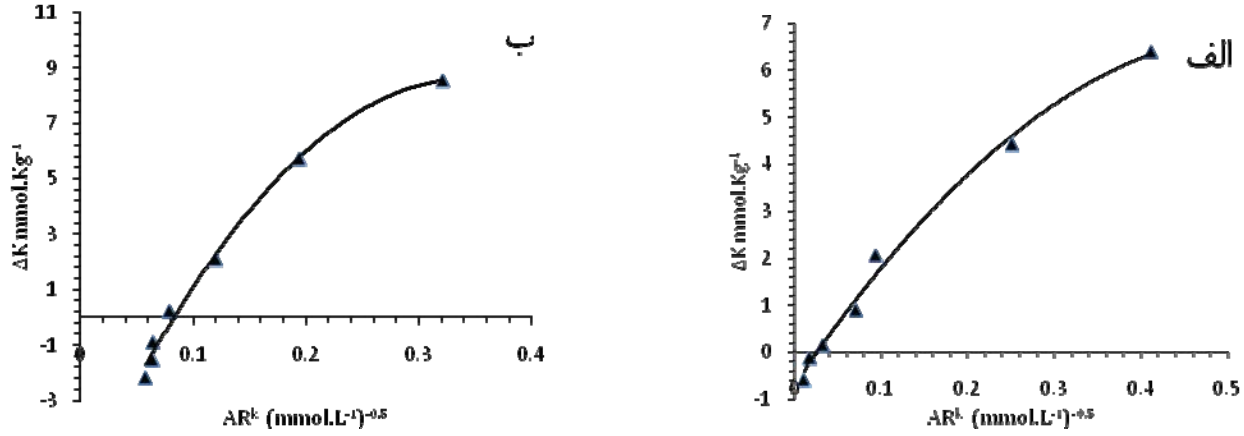
C: رسی، C.L: لوم رسی، Si.C.L: لوم رس سیلتی، S.C: رس شنی، S.L: لوم شنی، S.C.L: لوم رس شنی

روابط کمیت-شدت پتاسیم (Q/I)

نمودارهای کمیت-شدت شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان می‌دهند (۲۵ و ۳۲). به‌طوری‌که در مقادیر کم نسبت فعالیت پتاسیم رابطه تغییر در پتاسیم تبادلی و نسبت فعالیت پتاسیم به صورت غیرخطی و در مقادیر بالای نسبت فعالیت پتاسیم این رابطه خطی است، ولی از نظر مقدار نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل، ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم، پتاسیم به آسانی قابل تبادل و پتاسیم به سختی قابل تبادل تفاوت‌هایی بین خاک‌های دو منطقه دیده می‌شود، که نمایان‌گر وضعیت متفاوت پتاسیم در این خاک‌ها است. نمودارهای کمیت-شدت پتاسیم در افق‌های سطحی پروفیل شاهد در خاک‌های هر منطقه به عنوان نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است.

نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR^0) که معرف شدت پتاسیم در خاک می‌باشد (۲۶) در افق‌های سطحی خاک‌های دشت مبارکه و دشت شهرکرد به ترتیب در دامنه ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۶۴ با میانگین ۰/۱۲ و ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۸۱ با میانگین ۰/۰۴۴ $(mmol l^{-1})^{0.5}$ می‌باشد. نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل تحت تأثیر سه عامل مقدار پتاسیم تبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ضریب گزینش‌پذیری گاپون می‌باشد. این پارامتر با ضریب گزینش‌پذیری گاپون و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت عکس و با پتاسیم تبادلی نسبت مستقیم دارد (۱). جلالی (۱۵) در مطالعه برخی خاک‌های آهکی ایران اظهار می‌کند که مقادیر بیشتر AR^0 در بعضی خاک‌ها نسبت به سایر خاک‌ها نشان می‌دهد شدت پتاسیم در آنها بیشتر است و معمولاً خاک‌های با محتوای بیشتر رس مقادیر AR^0 کمتری دارند و این با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. همچنین، پال و سوباراو (۲۳) عنوان می‌کنند که AR^0 تحت تأثیر کانی‌های رسی خاک‌ها می‌باشد و مقادیر فراوانی آن در خاک‌ها به ترتیب زیر است: خاک‌های کائولینیتی > خاک‌های ایلیتی > خاک‌های اسمکتیتی مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌های مبارکه و شهرکرد به ترتیب در دامنه ۰/۰۰۳۷ تا ۰/۱۰۶ با میانگین ۰/۰۳۱ و ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۹۵ با میانگین ۰/۰۵۸ $(mmol.l^{-1})^{0.5}$ می‌باشد.

نتایج جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که پارامتر نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR^0) در مناطق مورد مطالعه دارای روند نامنظم افزایشی-کاهشی با افزایش عمق در طول پروفیل می‌باشد که با نتایج وانگ و همکاران (۳۱) مطابقت ندارد. آنان کاهش مقادیر AR^0 با افزایش عمق خاک را در ارتباط با تغییرات پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم در طول پروفیل خاک می دانند. همچنین لامبانراجا و ایوانگلو (۲۱)، پال وسوباراو (۲۳) و بهمنی و همکاران (۳) کاهش مقادیر AR^0 با افزایش عمق خاک را گزارش کردند و عنوان کردند احتمالاً به دلیل پتاسیم تبادلی و مواد آلی بیشتر در خاک سطحی مقادیر AR^0 بیشتر از خاک زیرسطحی است. با توجه به نتایج بدست آمده، نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل همبستگی معنی‌داری با مقدار پتاسیم محلول ($r= ۰/۶۸^*$) و تبادلی ($r=-۰/۶۴^*$) در خاک‌های مبارکه دارد، اما در خاک‌های شهرکرد بین این پارامتر و مقدار پتاسیم محلول همبستگی معنی‌دار وجود نداشت (جداول ۵ و ۶). جیمنز و پارا (۱۶) همبستگی معنی‌داری بین درصد پتاسیم تبادلی و نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل در خاک‌های آهکی اسپانیا بدست آوردند ($r^2= ۰/۷۶$). همچنین شاویو و همکاران (۲۷) بین نسبت پتاسیم تبادلی به مجموع کلسیم و منیزیم تبادلی (EP) و نسبت جذب پتاسیم (PAR) همبستگی بالایی مشاهده کردند ($r^2= ۰/۹۵$).



شکل ۳- الف: نمودار کمیت- شدت پتاسیم افق سطحی پروفیل شاهد خاک مبارکه، ب: خاک شهرکرد

جدول ۲- پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم در خاک‌های مطالعه شده

منطقه	شماره پروفیل	افق	عمق (cm)	AR^0	PBC^k	ΔK^0	K_X	ضریب همبستگی	معادله بخش خطی
مبارکه	یک	Ap	۰-۲۵	۰/۰۶۳۶	۱۳/۶	۰/۸۶۶	۱/۵۷	۰/۹۹	Y = 13.60X + 0.866
		Bk1	۲۵-۵۵	۰/۰۵۰۴	۱۸/۹۶	۰/۹۵۵	۲/۸۶	۰/۹۴	Y = 18.96X + 0.955
		Bk2	۵۵-۷۵	۰/۰۲۷	۱۹/۳۹	۰/۵۲۴	۱/۷۸	۰/۹۶	Y = 19.39X + 0.524
		Bk3	۷۵-۹۵	۰/۰۳۷۵	۲۱/۲۴	۰/۷۹	۲/۰۱	۰/۹۸	Y = 21.24X + 0.798
		Bk4	۹۵-۱۱۰	۰/۰۰۳۷	۲۱/۴۲	۰/۱	۱/۷۶	۰/۹۹	Y = 21.42X + 0.081
		Bky	۱۱۰-۱۳۰+	۰/۰۰۴۶	۲۴/۰۷	۰/۱۱	۲/۷۹	۰/۹۸	Y = 24.07X + 0.113
	دو	Ap	۰ - ۲۵	۰/۰۱۴	۱۸/۶۸	۰/۲۶	۱/۷۳	۰/۹۸	Y =18.86X + 0.256
		Bk1	۲۵ - ۵۰	۰/۱۰۶۷	۲۱/۱۸	۲/۲۶	۳/۵۳	۰/۹۶	Y = 21.18X - 2.261
		Bk2	۵۰- ۸۰	۰/۰۳۴۶	۲۶/۲۷	۰/۹۱	۱/۹۳	۰/۹۸	Y = 26.27X - 0.910
		Bky1	۸۰ - ۱۱۰	۰/۰۵۹۹	۲۳/۵۷	۱/۴۱	۱/۷۶	۰/۹۷	Y = 23.57X + 1.413
		Bky2	۱۱۰ -۱۳۰+	۰/۰۶۱۳	۲۵/۴۵	۱/۵۶	۲/۹۸	۰/۹۹	Y = 25.45X + 1.561
	سه	Ap	۰-۲۰	۰/۰۲۷۸	۲۶/۱۵	۰/۷۳	۱/۷۱	۰/۹۹	Y = 26.15X - 0.728
		Bk1	۲۰-۳۰	۰/۰۱۸۷	۲۵/۹۳	۰/۴۹	۱/۲۶	۰/۹۵	Y = 25.93X - 0.487
		Bk2	۳۰-۵۰	۰/۰۰۸۱	۲۰/۲۶	۰/۱۵	۱/۵۵	۰/۹۸	Y = 18.87X - 0.153
		Bk3	۵۰-۷۰	۰/۰۰۵۹	۲۸/۴۷	۰/۱۷	۲/۱۹	۰/۹۴	Y = 28.47X - 0.17
		Bk4	۷۰-۱۰۰	۰/۰۰۶۳	۲۶/۱۷	۰/۱۷	۳/۰۷	۰/۹۹	Y = 26.17X + 0.166
		Bky	۱۰۰-۱۳۰	۰/۰۰۴۵	۲۲/۲۱	۰/۱	۳/۳۳	۰/۹۹	Y = 22.21X + 0.101
شهرکرد	یک	Ap	۰-۱۵	۰/۰۸۱۱	۴۹/۹۶	۴/۰۵	۴/۴۷	۰/۹۴	Y = 49.96X - 4.052
		Bk1	۱۵-۳۵	۰/۰۵۹۱	۳۹/۵۲	۲/۳۳	۲/۸۸	۰/۹۴	Y = 39.52X - 2.335
		Bk2	۳۵-۶۵	۰/۰۵۴۷	۲۹/۰۶	۱/۵۹	۳/۰۸	۰/۹۳	Y = 29.06X + 1.590
		Bk3	۶۵-۱۰۰	۰/۰۹۵۲	۱۶/۲۹	۱/۵۵	۲/۵۵	۰/۹۸	Y = 16.29X + 1.551
		Bk4	۱۰۰-۱۲۵+	۰/۰۴۱۳	۵۰/۹۳	۲/۱	۳/۲۳	۰/۹۸	Y = 50.83X + 2.101
	دو	A	۰-۲۳	۰/۰۱۷۴	۳۱/۹۶	۰/۵۶	۳/۶۹	۰/۹۹	Y = 31.96X - 0.556
		Bk1	۲۳-۵۰	۰/۰۱۴۶	۳۵/۸۸	۰/۵۲	۳/۷۲	۰/۹۸	Y = 35.88X - 0.524
		Bk2	۵۰-۸۵	۰/۰۵۵۸	۳۱/۲۹	۱/۷۵	۳/۲۸	۰/۹۹	Y = 31.29X + 1.746
		Bk3	۸۵-۱۳۵+	۰/۰۴۹۶	۳۷/۶	۱/۸۶	۴/۴۴	۰/۹۷	Y = 37.60X + 1.865
	سه	Ap	۰-۲۵	۰/۰۳۵۵	۳۰/۹۷	۱/۱	۵/۲۵	۰/۹۵	Y = 30.97X - 1.101
		Bk1	۲۵-۵۵	۰/۰۶۰۲	۳۲	۱/۹۲	۵/۱۴	۰/۹۷	Y = 32.00X + 1.925
		Bk2	۵۵-۸۵	۰/۰۷۳۳	۲۸/۱۶	۲/۰۶	۳/۲۳	۰/۹۸	Y = 28.16X + 2.064
		Bk3	۸۵-۱۳۵+	۰/۰۷۸۶	۳۱/۶۲	۲/۴۹	۴/۲۵	۰/۹۹	Y = 31.62X + 2.487

AR^0: نسبت فعالیت پتاسیم درحال تعادل ($mmol.L^{-1}$)

PBC_k: ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم ($mmol.kg^{-1}/(mmol.L^{-1})$

ΔK^0 : مقدار پتاسیم به آسانی قابل تبادل یا لبایل $mmol.kg^{-1}$

K_X : پتاسیم به سختی قابل تبادل $mmol.kg^{-1}$

ΔK^0 شاخصی از مقدار پتاسیم به سهولت قابل تبادل است که در مکان‌های غیراختصاصی نگه‌داری می‌شود. مقادیر این پارامتر در افق‌های سطحی خاک‌های دشت مبارکه و دشت شهرکرد به ترتیب در دامنه ۰/۲۶ تا ۰/۸۷ با میانگین ۰/۶۲ و ۰/۵۶ تا ۴/۰۵ با میانگین ۱/۹ ($mmol.kg^{-1}$) می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم در اعماق مختلف خاک مبارکه

	میانگین پارامترها			
	K_X	ΔK^0	PBC^k	AR^0
افق سطحی	۱/۶۶	۰/۸	۱۹/۸۷	۰/۰۴۶
افق دوم	۲/۵۵	۰/۷۲	۲۲/۴۴	۰/۰۳۵
افق سوم	۱/۷۵	۰/۹۸	۲۰/۲۷	۰/۰۴۷
افق چهارم	۱/۹۸	۰/۶۳	۲۵/۳۲	۰/۰۲۶
افق پنجم	۲/۶	۰/۵۵	۲۳/۷۲	۰/۰۲۳
$LSD_{0.05}$	۱/۱۵	۱/۲	۶/۳	۰/۰۵۵

جدول ٤- مقایسه میانگین پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم در اعماق مختلف خاک شهرکرد

	میانگین پارامترها			
	K_X	ΔK^0	PBC^k	AR^0
افق سطحی	۳/۹۶	۱/۹	۳۷/۶۳	۰/۰۴۵
افق دوم	۲/۷۴	۱/۲۵	۳۶/۱	۰/۰۳۳
افق سوم	۲/۶۸	۱/۸	۲۹/۵	۰/۰۶۱
افق چهارم	۲/۸۴	۱/۹۴	۲۸/۹۵	۰/۰۷۲
$LSD_{0.05}$	۰/۸۴	۲/۱۱	۱۴/۹۳	۰/۰۴۷

مقادیر پتاسیم به سهولت قابل تبادل گزارش شده بوسیله هَمدان و همکاران (۱۴) و وانگ و همکاران (۳۱) به ترتیب در دامنه ۰/۲۰۹۸ تا ۰/۳۶۴۲ و ۰/۱۰ تا ۰/۲۳ ($cmol.kg^{-1}$) می‌باشد. مقادیر ΔK^0 خاک نه تنها به نوع کانی‌های رسی خاک، بلکه به مقدار پتاسیم تبادلی، شدت هوادیدگی کانی‌ها و نیز مقدار پتاسیم کودی مصرف شده وابسته است (۲۷). همان‌طور که در جداول ۵ و ۶ ملاحظه می‌شود بین مقدار پتاسیم تبادلی (K_{ex}) و پتاسیم به آسانی قابل تبادل همبستگی معنی‌داری بدست آمده است. دولتی و همکاران (۸) و وانگ و همکاران (۳۱) نیز همبستگی بالایی را بین پتاسیم تبادلی و پتاسیم به آسانی قابل تبادل گزارش کرده‌اند. در تمام نمونه‌ها، مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم بیشتر از مقدار ΔK^0 می‌باشد (جداول ۱ و ۲). صمدی (۲۵) در این مورد اظهار می‌کند که در این خاک‌ها مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم زیاد است. استات آمونیوم از کانی‌هایی که دارای مکان‌های اختصاصی برای جذب پتاسیم هستند، پتاسیم بیشتری را استخراج می‌کنند (۵). در نتیجه میزان پتاسیم تبادلی بیشتر از پتاسیم به آسانی قابل تبادل (ΔK^0) خواهد بود. در خاک‌های مورد مطالعه نیز به دلیل تفاوت در شرایط آب و هوایی و تفاوت در کانی‌های غالب رسی، تعداد محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم تفاوت دارد، که باعث بوجود آمدن تفاوت در مقدار ΔK^0 شده است. مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌های مبارکه و شهرکرد به ترتیب در دامنه ۰/۱ تا ۲/۲۶ با میانگین ۰/۶۹ و ۰/۵۲ تا ۲/۴۹ با میانگین ۱/۸۲ ($mmol.kg^{-1}$) می‌باشد. نتایج جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که مقادیر ΔK^0 در دو منطقه دارای تغییرات گوناگون با عمق خاک می‌باشد. تغییرات گوناگون ΔK^0 در طول پروفیل خاک توسط وانگ و اسکات (۳۲) و بهمنی و همکاران (۳) نیز گزارش شده است. پال و سوباراو (۲۳) عنوان می‌کنند که ΔK^0 از الگوی تغییرات پتاسیم تبادلی در طول پروفیل خاک پیروی می‌کنند.

جدول ۵- ارتباط پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم با خصوصیات خاک در خاک‌های مبارکه

معادلات	ضریب همبستگی
$AR^0 = 0.348 - 0.0014\ [E_XK]$	-۰/۶۴ *
$AR^0 = 0.0046 + 0.0077\ K_{sol}$	۰/۶۸ *
$PBC^K = -1.358 + 1.95\ CEC$	۰/۸۶ **
$PBC^K = 8.31 + 0.6\ Clay$	۰/۶۴ *
$\Delta K^0 = 9.52 - 0.04\ [E_XK]$	۰/۸۶ **
$K_X = 7.64 - 0.02\ [E_XK]$	۰/۵۸ *
$Kx = -1.07 + 0.136\ Clay$	۰/۷۹ *

جدول ٦- ارتباط پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم با خصوصیات خاک در خاک‌های شهرکرد

معادلات	ضریب همبستگی
$AR^0 = 0.163 - 0.0004\ [E_XK]$	-۰/۶۸*
$PBC^K = 5.18 + 0.73\ Clay$	۰/۶۶ *
$\Delta K^0 = 5.255 + -0.014\ [E_XK]$	۰/۸۳ **
$K_X = 0.065 + 0.01\ [E_XK]$	۰/۸۰ **
$K_X = -0.38 + 0.0055\ NonExK$	۰/۸۲**

پتاسیم نگه‌داری شده در مکان‌های اختصاصی (K_X)، در افق‌های سطحی خاک‌های مبارکه و شهرکرد به ترتیب در دامنه ۱/۵۷ تا ۱/۷۳ با میانگین ۱/۶۷ و ۳/۶۹ تا ۵/۲۵ با میانگین ۴/۴۷ ($mmol.kg^{-1}$) می‌باشد. پتاسیم به سختی قابل تبادل به نوع و مقدار کانی‌های رسی بستگی دارد (۵). مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌های مبارکه و شهرکرد به ترتیب در دامنه ۱/۲۶ تا ۳/۵۳ با میانگین ۲/۳۴ و ۲/۵۵ تا ۵/۱۴ با میانگین ۳/۵۸ ($mmol.kg^{-1}$) می‌باشد. در خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق میزان پتاسیم به سختی قابل تبادل نسبت به پتاسیم به آسانی قابل تبادل بیشتر می‌باشد. این امر نشان دهنده بیشتر بودن تعداد محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم از محل‌های جذب غیراختصاصی در این خاک‌ها می‌باشد. نتایج آنالیز پرتو ایکس بخش رس در خاک‌های مبارکه و شهرکرد نشان می‌دهد که دو منطقه از نظر ترکیب کانی‌های رسی تقریباً مشابه می‌باشند (شکل ۳). پس می‌توان نتیجه گرفت میزان نسبتاً بیشتر پتاسیم به سختی قابل تبادل در خاک شهرکرد نسبت به خاک مبارکه به دلیل درصد بالاتر رس در این منطقه می‌باشد. البته تفاوت در شدت حضور کانی‌های

رسی نیز می‌تواند دلیل دیگری بر این تفاوت باشد.

شیب بخش خطی نمودارهای Q/I پتاسیم که سنجشی از توانایی خاک در حفظ فعالیت (شدت) پتاسیم در محلول خاک است، ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC^K) نامیده می‌شود. PBC^K نشان دهنده 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 (۳۱). مقادیر PBC^K در افق‌های سطحی خاک‌های دشت مبارکه و دشت شهرکرد به ترتیب در دامنه ۱۳/۶ تا ۲۶/۱۵ با میانگین ۱۹/۴۸ و ۳۰/۹۷ تا ۴۹/۹۶ با میانگین ۳۷/۶۳ $mmol.kg^{-1}/(mmol.L^{-1})^{0.5}$ می‌باشد. مقادیر کمتر PBC^K در خاک مبارکه نسبت به خاک شهرکرد می‌تواند به محتوی بالاتر میکا (ایلیت) و درصد اشباع پتاسیم در این خاک‌ها نسبت داده شود (۹). پال و سوباراو (۲۳) گزارش کردند که بیشترین ظرفیت بافری در خاک‌های با رس غالب اسمکتیت می‌باشد و به دنبال آن خاک‌های با رس غالب ایلیت و کائولینیت قرار دارند. مقادیر PBC^K در افق‌های زیرسطحی خاک‌های مبارکه و شهرکرد به ترتیب در دامنه ۱۸/۹۶ تا ۲۸/۴۷ با میانگین ۲۳/۱۸ و ۱۶/۲۹ تا ۵۰/۹۳ با میانگین ۳۳/۲۳ $mmol.kg^{-1}/(mmol.L^{-1})^{0.5}$ می‌باشد. نتایج مطالعه کانی‌شناسی بخش رس در خاک‌های آهکی مبارکه و شهرکرد تقریباً مشابه می‌باشد. بنابراین، عاملی که باعث بیشتر شدن میزان PBC^K در خاک‌های شهرکرد نسبت به خاک‌های مبارکه شده است درصد بالاتر رس در خاک‌های شهرکرد می‌باشد که باعث بیشتر شدن ظرفیت تبادل کاتیونی شده است. در این ارتباط پال و سوباراو (۲۳) عنوان کردند که مقادیر PBC^K خاک‌ها از الگوی توزیع محتوی رس تبعیت می‌کند.

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 (۳۲)، وانگ و همکاران (۳۱) و بهمنی و همکاران (۳) نیز گزارش شده است. در حالیکه لامبانراجا و ایوانگلو (۲۲) گزارش کرده‌اند که هیچ روند خاصی برای PBC^K در رابطه با عمق خاک مشاهده نشد. بین پارمترهای PBC^K و CEC رابطه خطی معنی‌داری در سطح یک درصد در خاک‌های مبارکه ($r=-۰/۸۶^{**}$) بدست آمد، در حالیکه بین این دو پارامتر در خاک‌های شهرکرد همبستگی وجود نداشت (جدول‌های ۵ و ۶). رابطه خطی بین مقادیر PBC^K و CEC در مطالعات حسین‌پور و کلباسی (۵)؛ قنواتی و همکاران (۷)؛ اسپارکز و لیبهارت (۲۹)؛ جیمنز و پارا (۱۶) و عباسلو و ابطحی (۹) مشاهده شد. در حالیکه در مطالعات الکنعانی و همکاران (۱۰) و جلالی (۱۵) همبستگی معنی‌داری بین این دو پارامتر مشاهده نشده است. همچنین همبستگی مثبتی بین PBC^K و درصد رس خاک در تمام مناطق مورد مطالعه وجود دارد که نشان می‌دهد PBC^K با افزایش درصد رس خاک افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها دارای تفاوت می‌باشند. کانی اسمکتیت در خاک‌های دشت شهرکرد و کانی میکا در خاک‌های دشت مبارکه غالب هستند و وجود تفاوت در پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم در دو منطقه به دلیل تفاوت در این خصوصیات می‌باشد. کاربرد روش Q/I برای ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک‌های مطالعه شده پارامترهای زیر را فراهم می‌کند: مقدار پتاسیم به آسانی قابل تبادل (ΔK^0)، نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR_e^K)، ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC^K) و پتاسیم به سختی قابل تبادل (K_X) که در شناخت قابلیت استفاده پتاسیم مفید هستند. بالاتر بودن ظرفیت بافری پتاسیم در خاک‌های شهرکرد نسبت به خاک‌های مبارکه به دلیل زیادتر بودن کانی‌های اسمکتیت و بالاتر بودن درصد رس در این خاک‌ها است. مقدار پتاسیم در فاز تبادلی و نسبت فعالیت پتاسیم در فاز محلول به تنهایی شاخص مناسبی برای مقدار پتاسیم قابل استفاده و میزان پاسخ گیاه به کود پتاسه نمی‌باشد چون در مقادیر یکسان پتاسیم تبادلی و یا نسبت فعالیت پتاسیم محلول در حال تعادل در دو خاک، ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک‌ها ممکن است متفاوت باشد، لذا پاسخ به کود پتاسه در این خاک‌ها متفاوت خواهد بود. از طرف دیگر، همبستگی بالای ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم با بعضی خصوصیات خاک مشاهده می‌شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود همبستگی پارامترهای Q/I و به خصوص PBC^K خاک با شاخص‌های گیاهان مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان شاخص‌های جدیدی ارائه نمود.

منابع

۱- امیری م.، درودی و.، و فلاح م. 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: ۸۹ - ۷۴.

۲- بستانی ع.، و ثوابقی فیروزآبادی غ. ۱۳۸۵. منحنی کمیت- شدت پتاسیم (Q/I) و همبستگی پارامترهای آن با خصوصیات تعدادی از خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۷ (۳): ۴۷۹- ۴۷۱.

۳- بهمنی م.، حسین‌پور ع.، و صالحی م.ح. ۱۳۸۹. مقایسه پارامترهای نسبت کمیت به شدت پتاسیم در برخی خاک‌های ورتی‌سولز استان‌های اصفهان و چهارمحال‌بختیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۵۷ (۱): ۱۰۳-۱۱۴.
۴- حسین‌پور ع.، و بیابانکی ف. ۱۳۸۳. همبستگی پارامترهای نسبت کمیت- شدت (Q/I) با پتاسیم عصاره‌گیری شده با روش‌های شیمیایی و شاخص‌های گیاه سیر در تعدادی از خاک‌های همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۸(۱): ۹ - ۱.
۵- حسین‌پور ع.، و کلباسی م. 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): ۵۶- ۴۳.
۶- صالحی م.ح.، خادمی ح.، و کریمیان اقبال م. ۱۳۸۲. شناسایی و نحوه تشکیل کانی‌های رسی در خاک‌های منطقه فرخ‌شهر، استان چهارمحال‌وبختیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷ (۱): ۸۹-۷۳.
۷- قنواتی ن.، ملکوتی م.، و حسین‌پور ع. ۱۳۸۸. همبستگی پارامترهای Q/I با بعضی ویژگی‌های خاک و جذب پتاسیم به وسیله گندم در تعدادی از خاک‌های منطقه آبیک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۴۹): ۱۷۸ – ۱۶۷.
۸- دولتی ب.، اوستان ش.، و صمدی ع. ۱۳۸۷. شکل‌های مختلف پتاسیم و روابط Q/I در خاک‌های تحت کشت آفتاب‌گردان (منطقه خوی). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۴۶): ۶۳۵ – ۶۲۳.
9- Abaslou H., and Abtahi A. 2008. Potassium Quantity-Intensity parameters and its correlation with selected soils properties in some soils of Iran. Journal of Applied Sciences, 8(10): 1875-1882.
10- Al-Kanani T., Mackenzi A.F., and Ross G.J. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy. Canadian Journal Soil Science, 64: 99-106.
11- Barber S.A. 1984. Soil nutrient bioavailibilty. A mechanistic approach. John Wiley and Sons. New York. P: 397.
12- Beckett P.H.T. 1964. The “immediate” Q/I relations of labile potassium in the soil. Journal Soil Science, 15: 9-23.
13- Evangelou V.P., Wang J., and Phillips R.E. 1994. New developments and perspectives in characterization of soil potassium by quantity - intensity (Q/I) relationships. p. 173-227. In: D.L. Sparks (ed.) Advances in agronomy. Academic Press, Inc., Orlando, FL.
14- Hamdan J., Burnham C.P., and Ruhana B. 1991. 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): 2311-2321.
15- Jalali M. 2007. Study of the Quantity/Intensity Relationships of Potassium in Some Calcareous Soils of Iran. Arid Land Research and Management, 21: 133-141.
16- Jimenez C., and Parra M.A. 1991. Potassium quantity-intensity relationships in calcareous vertisols and Inceptisols of southern Spain. Soil Science Society of American Journal, 55:985-989.
17- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. Soil Science, 96: 312-325.
18- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. p: 225-246. In: A.L (ed.) Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed, ASA and SSSA, Madison, WI.
19- Lindsay W. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons, New York.
20- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and Gypsum, In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3: chemical methods. ASA Inc, Madison, WI.
21- Lumbanraja J., and Evangelou V.P. 1992. Potassium Quantity-Intensity relationships in the presence and absence of NH4 for three Kentucky soils. Soils Science, 154 (5).
22- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, p. 539-579. In: A. L. Page (Ed.) Methods of Soil Analysis Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
23- Pal S.K., and Subbarao A. 1997. Potassium quantity-intensity parameters in relation to clay mineralogy and period of equilibrium. Journal of the Indian Society of Soil Science, 45: 33-38.
24- Rhodes J.D. 1996. Salinity : Electrical: conductivity and total dissolved solids. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3: chemical methods SSSA. Madison, WI.
25- Samadi A. 2005. Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of western Azarbaijan province, Iran. Turk J Agric For, 30(2006): 213-222.
26- Schindler F.V., Howard J., Woodard and Doolittle J.J. 2005. Assessment of soil potassium sufficiently as related to quantity- intensity in montmorillonitic soils. Communication in soil science and plant Analysis, 36: 2255-2270.
27- Shaviv A., Mohsin M., Pratt P.F., and Mattigod S.V. 1985. Potassium fixation characteristics of five southern California soils. Soil Science Society of America Journal, 49: 1105-1109.
28- 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.Wang, J. J., D. L. Harrell, and P. F. Bell. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils exchangeable potassium. Soil Science Society of American Journal 68:654–661.
29- Sparks D.L., and Liebhardt W.C. 1981. Effect of long-term lime and potassium application on quantity-intensity

relationships in sandy soils. Soil Science Society of America Journals, 45:786-790.
30- Sumner M.E., and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. PP. 1201-1231. In: Sparks, D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. SSSA, Madison, Wisconsin.
31- Wang J.J., Harrell D.L., and Bell P.F. 2004. Potassium Buffering Characteristics of Three Soils low in Exchangeable Potassium. Soil Science Society America Journals, 68: p 645.
32- Wang J.J., and Scott A.D. 2001. Effect of experimental relevance on potassium Q/I relationships and its implications for surface and subsurface soils. Communication in Soil Science and Plant Analysi,. 32: 2561-2575.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 349-360

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۶۰-۳۴۹

The Studying Q/I Parameters of Potassium in the Calcareous Soils of Arid and Semi Arid Regions in Isfahan and Chaharmahal-Va-Bakhtiari Provinces

M. Bahmani[1*]- M.H. Salehi[2]- A. Hosseinpoor[3]

Received:30-5-2011
Accepted:18-12-2011

Abstract

Quantity-Intensity (Q/I) curves of potassium and their derived parameters provide general information about soil K availability and fertilizers management. This study was conducted to compare the Q/I parameters in soils of Mobarakeh and Shahrekord plains in Isfahan and Chaharmahal-va-Bakhtiari Provinces, respectively. The Q/I plots showed the common forms described in the literature but high variations were observed in the soils with respect to Q/I parameters. Results showed the following Q/I parameters for the surface soils (A horizon) of Mobarakeh and Shahrekord plains, respectively: the potassium activity ratio at equilibrium (AR^0): 0.0278 to 0.1067 and 0.0174 to 0.0811 $(mmol.l^{-1})^{0.5}$,the immediate available K (ΔK^0): 0.728 to 2.62 and 0.56 to 4.05 $mmolkg^{-1}$, the difficulty available K (K_X): 1.57 to 1.71 and 3.69 to 5.25 $mmol.Kg^{-1}$ and the potential buffering capacity (PBC^K): 13.6 to 26.27 and 30.97 to 49.96 $mmol.kg^{-1}/(mmol.L^{-1})^{0.5}$. Correlation coefficients showed a significant difference (r = 0.86) between PBC^K and CEC for Mobarakeh soils whereas no significant difference was observed for Shahrekord soils. A significant difference was also observed among AR^0, ΔK^0 and exchangeable potassium for both of the soils studied.

Keywords: Potassium, Quantity-Intensity curves, Potential buffering capacity of potassium

1,2,3- Former MSc Student and Associate Professors, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Respectively
(*- Corresponding Author Email: bahmanimorteza@yahoo.com)