شکل‌های مختلف پتاسیم و روابط Q/I در خاک‌های تحت کشت آفتابگردان (منطقه خوی)

بهنام دولتی[۱*]، شاهین اوستان[۲] و عباس صمدی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۱۱/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۸/۱۴)

چکیده

کشت مستمر گیاهان زراعی به خصوص گیاهان پرتوقع نسبت به پتاسیم از جمله آفتابگردان سبب می‌شود که به مرور زمان مقدار قابل توجهی از پتاسیم قابل جذب خاک توسط گیاهان برداشت شود. این تحقیق به منظور بررسی وضعیت شکل‌های مختلف پتاسیم و ارتباط آنها با پارامترهای کمیت به شدت (Q/I) پتاسیم در خاک‌های تحت کشت آفتابگردان در منطقه خوی انجام شد. بدین منظور۲۰ نمونه مرکب از خاک‌های زراعی مربوط به سری‌های مختلف جمع‌آوری گردید. برخی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، K_{so}: پتاسیم قابل استفاده، K_{av}: تبادلی، K_{ex} و غیر تبادلی،K_{nex}) در این خاک‌ها تعیین شدند. نتایج نشان داد که مقادیر K_{so} خاک‌های تحت کشت آفتابگردان از۰/۰۶۱ تا ۰/۵۴ به طور متوسط ۰/۲۸ میلی‌مول بر لیتر متغیر است. دامنه مقادیر K_{av} خاک‌های زراعی ۵۵ تا ۶۹۹ به طور متوسط ۲۶۵ میلی‌گرم برکیلوگرم است. هم‌چنین دامنه مقادیر K_{ex} این خاک‌ها ۵۴ تا ۶۹۴ به طور متوسط ۲۶۱ میلی‌گرم برکیلوگرم می‌باشد. دامنه مقادیر K_{nex} نیز ۱۶۰ تا ۶۱۲ به طور متوسط ۳۱۸ میلی‌گرم برکیلوگرم است. در بیش از ۵۰٪ از خاک‌ها، مقدار K_{av} کمتر از ۲۵۰ ($mg\ kg^{-1}$) بود که احتمالاً بیانگر تخلیه پتاسیم از خاک‌های تحت کشت آفتابگردان می‌باشد. مطالعات روابط Q/I نشان داد که نمودارها عمدتاً در ناحیه جذب قرار گرفته‌اند. نمودارهای فوق خطی بوده و فاقد انحنای مربوط به پر یا خالی شدن مکان‌های اختصاصی می‌باشند. دامنه مقادیر ظرفیت بافری پتانسیل (PBC^K) خاک‌های زراعی ۱۱ تا ۱۰۸ با مقدار متوسط ۳۸ ($cmol_c\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{0.5}$) است. بین پارامترهای PBC^K و CEC رابطهٔ خطی معنی‌داری (r =۰/۸۲*) به‌دست آمد. دامنه مقادیر نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل (AR_e^K) ۰/۰۰۰۱۴ تا ۰/۰۲۷ با مقدار متوسط ۰/۰۰۷۶ ($(mol\ L^{-1})^{0.5}$) می‌باشد. نتایج نشان داد که AR_e^K هم‌بستگی معنی‌داری با K_{so} (r=۰/۶۸**) دارد. دامنه تغیرات مقادیر پتاسیم به سهولت قابل تبادل (ΔK^o) ۰/۰۰۵۰ تا ۰/۴۹ و به طور متوسط ۰/۲۱ ($cmolc\ kg^{-1}$) است. ΔK^o هم‌بستگی معنی‌داری با AR_o^K (نسبت فعالیت پتاسیم در تیمار شاهد) (r=۰/۹۵***) دارد.**

واژه‌های کلیدی: شکل‌های پتاسیم، رابطه کمیت به شدت، ظرفیت بافری پتانسیل، انرژی تبادلی پتاسیم

مقدمه

در مدیریت تغذیه گیاهان زراعی آگاهی از وضعیت پتاسیم خاک‌ها بسیار حائز اهمیت است. به همین خاطر مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با آن در مناطق مختلف دنیا صورت گرفته است. پتاسیم یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است که در فرآیندهای زیستی متعددی از قبیل فعالیت آنزیم‌ها،

۱. به ترتیب کارشناس ارشد و دانشیار علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲. استادیار علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: bdovlati@yahoo.com

کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها، پایداری pH سلول، سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها، تعادل آنیون‌ها و کاتیون‌ها، فرایند انتقال الکترون در غشای سیتوپلاسمی سلول شرکت می‌کند (۱۸). کشت مستمر گیاهان زراعی به خصوص گیاهان پرتوقع نسبت به پتاسیم از قبیل آفتابگردان، چغندر قند و سیب زمینی سبب می‌شود که به مرور زمان مقدار قابل توجهی از پتاسیم قابل جذب خاک توسط گیاهان برداشت شود.

آفتابگردان(*Helianthus annus*) به عنوان یک گیاه صنعتی در تولید روغن، علوفهٔ دامی و مصرف آجیلی، سطح زیر کشت قابل توجهی (۱۹ میلیون هکتار) از اراضی جهان و ۷۹ هزار هکتار از کل اراضی کشور را در دههٔ اخیر به خود اختصاص داده است. متوسط سطح زیر کشت این محصول در استان آذربایجان غربی بالغ بر ۳۲ هزار هکتار می‌باشد که بیش از ۴۰ درصد کل سطح زیر کشت آفتابگردان کشور را شامل می‌شود (۲).

مطالعات متعددی پرتوقع بودن گیاه آفتابگردان نسبت به عنصر غذایی پتاسیم را نشان داده‌اند. لی (۱۷) ضمن اشاره به پر توقع بودن آفتابگردان، بیان نمود که به ازای تولید یک تن دانهٔ آفتابگردان ۱۶۶ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) از خاک خارج می‌شود. نتایج تحقیقات رابینسون (۲۳) حاکی از آن است که آفتابگردان نیاز شدیدی به پتاسیم دارد، به طوری که دانه آفتابگردان حاوی ۰/۶ درصد و شاخ و برگ آن حاوی ۱/۵ درصد پتاسیم می‌باشد. با توجه به پرتوقع بودن آفتابگردان، تصور می‌شود که کشت مستمر این گیاه باعث تخلیه شدید پتاسیم قابل جذب خاک شود. بنابراین در صورتی که از کود پتاسیم یا کودهای آلی استفاده نشود به مرور شکل‌های غیر تبادلی و تثبیت شده نیز تخلیه خواهند شد. تحت این شرایط ممکن است گیاه به مصرف مقادیر متعارف کود پتاسه پاسخ مثبت نشان ندهد. بررسی‌های مقدماتی در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد که در خاک‌های تحت زراعت آفتابگردان در استان آذربایجان غربی از کودهای آلی و کودهای پتاسیمی کمتر استفاده شده است. لذا انتظار می‌رود که طی سالیان متمادی مقدار قابل توجهی از پتاسیم خاک‌های زیر کشت آفتابگردان تخلیه شده باشد.

پتاسیم در خاک به ۴ شکل مختلف یافت می‌شود: ۱- پتاسیم محلول (کمتر از ۰/۱ درصد)، ۲- پتاسیم تبادلی (کمتر از ۲-۱ درصد)، ۳- پتاسیم غیرتبادلی، (۸-۲ درصد) و ۴- پتاسیم ساختمانی (۹۸-۹۰ درصد). گولاکیا و همکاران (۱۴) گزارش می کنند که در خاک‌های آهکی گوجرات هند مقدار پتاسیم محلول بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۲۱ سانتی مول بر کیلوگرم، مقدار پتاسیم تبادلی بین ۰/۰۳ تا ۲ سانتی‌مول بر کیلوگرم، مقدار پتاسیم غیر تبادلی یا تثبیت شده بین ۰/۳۲ تا ۲۰/۷ سانتی‌مول بر کیلوگرم و مقدار پتاسیم کل از ۱/۱ تا ۲۱/۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم متغیر است این شکل‌ها به صورت زیر در حال تعادل با یکدیگر هستند (۳۱):

K محلول $\Leftrightarrow$ K تبادلی $\Leftrightarrow$ K غیرتبادلی $\Leftrightarrow$ K ساختمانی

برای آگاهی بیشتر از سطح حاصل‌خیزی پتاسیم خاک‌های کشاورزی، مطالعه رابطه تعادلی پتاسیم با کلسیم و منیزیم لازم و ضروری است. چرا که اثر بخشی پتاسیم محلول خاک در تغذیه گیاه تا حد زیادی تحت تأثیر حضور سایر کاتیون‌ها به ویژه کلسیم و منیزیم قرار می‌گیرد. روابط کمیت به شدت (Q/I) پارامتری مناسب برای انجام توصیه‌های کودی است، با این حال روش آزمایش پیچیده بوده و نیاز به دانش و تجربه و هزینه زیادی می‌باشد. به این دلیل پارامتر مزبور در آزمایش‌های متداول تجزیه خاک جهت توصیه کودی عملاً کاربرد چندانی ندارد، 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.

تغییرات میزان AR^K برای خاک‌های میکائی جوان در آمریکای مرکزی حداقل، برای خاک‌های مونتموریلونیتی حد واسط و برای خاک‌های کائولینیتی حداکثر بود. ظرفیت خاک برای تأمین و نگه‌داری سطوح بالای پتاسیم در محلول خاک به وسیلهٔ ظرفیت بافری پتاسیم (PBC^K) تعیین می‌شود. چنانچه

مقدار PBC^K یک خاک زیاد باشد بدین معنی است که قابلیت جذب پتاسیم به وسیلهٔ گیاه برای مدت زمانی طولانی پایدار و قابل ملاحظه خواهد بود. بدیهی است مقدار کم PBC^K بیانگر نیاز به کود پاشی منظم خاک‌هاست. در خاک‌های شنی و به خصوص خاک‌هایی که مواد آلی قسمت عمدهٔ ظرفیت تبادلی کاتیونی آنها را شامل می‌شود، PBC^K به قدری کم است که میزان پتاسیم در محلول خاک در بیشتر مواقع ناچیز یا نزدیک به صفر است (۲۰).

با توجه به اهمیت پتاسیم در تغذیه گیاه آفتابگردان و به زیرکشت رفتن ده‌ها هزار هکتار از اراضی کشور، لازم است مطالعات جامعی در زمینه شکل‌های مختلف پتاسیم و پارامترهای کمیت به شدت این خاک‌ها صورت گیرد. اهداف این مطالعه عبارت‌اند از:

۱) تعیین مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم (محلول، تبادلی و غیرتبادلی) در خاک‌های زراعی تحت کشت آفتابگردان. ۲) تعیین پارامترها و روابط کمیت به شدت (Q/I). ۳) بررسی روابط بین شکل‌های مختلف پتاسیم، پارامترهای Q/I و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها. ۴) تعیین انرژی تبادلی پتاسیم خاک‌ها.

مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

در این مطالعه تعداد ۲۰ نمونه مرکب خاک سطحی (۲۵-۰ سانتی‌متری) از اراضی تحت کشت آفتابگردان با توجه به مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی آذربایجان غربی از ۱۰ سری مختلف خاک در منطقهٔ خوی جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها مانند بافت به روش هیدرومتری، pH در سوسپانسیون ۱:۵ خاک و محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون، ظرفیت تبادل کاتیونی(CEC) به روش استات سدیم نرمال و کربن آلی به روش واکلی- بلک (۳۰) اندازه‌گیری شدند.

شکل‌های پتاسیم خاک

پتاسیم محلول در عصاره گل اشباع، پتاسیم تبادلی به روش استات آمونیوم یک مولار در pH=۷، پتاسیم غیرتبادلی به روش اسید نیتریک یک مولار جوشان (۱۶) در دو تکرار اندازه گیری شدند. نسبت جذبی پتاسیم ($PAR=[K]/[Ca+Mg]^{0.5}$) ، نسبت پتاسیم تبادلی ($EPR=[K_{ex}]/[CEC-K_{ex}]$) و درصد پتاسیم تبادلی ($EPP = K_{ex}\times 100/CEC$) محاسبه گردید.

روابط کمیت به شدت پتاسیم (Q/I)

برای تعیین روابط Q/I، ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۱ مولارکلرید کلسیم که حاوی پتاسیم با غلظت‌های ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ ، ۳۰ ، ۴۰ ،۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر بود به نمونه‌های ۲/۵ گرمی هر خاک (در دو تکرار) اضافه شد و تا حصول تعادل نسبی در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد، در انکوباتور شیکردار تکان داده شد. سپس با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. در محلول صاف رویی قابلیت هدایت الکتریکی(EC) توسط دستگاه EC سنج، غلظت کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی و غلظت پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شدند. میزان پتاسیم جذب یا واجذب شده (ΔK)، از تفاوت غلظت اولیه (C_o) و غلظت تعادلی (C) با استفاده از رابطهٔ زیر به دست آمد:

$$\Delta K(mgkg^{-1}) = \frac{(C_\circ - C)\times V}{M_S}$$

که در آن C_o و C به ترتیب غلظت اولیه و تعادلی پتاسیم ($mg\ L^{-1}$)، V حجم محلول (mL) و M_S جرم خاک خشک (g) می‌باشد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم ($AR^K = \frac{a_K}{\sqrt{a_{Ca+Mg}}}$)، ابتدا قدرت یونی محلول‌ها با استفاده از رابطهٔ تجربی $\mu=0.013\ EC$ به دست آمد و سپس ضرایب فعالیت یون‌ها (γi) با استفاده از معادله گانتلبرگ $Log\gamma_i = -۰/۵۰۹\times Z_i^۲ \times \frac{\sqrt{\mu}}{(۱+\sqrt{\mu})}$ محاسبه گردید (۲۹). آنگاه فعالیت یون‌ها، با استفاده از رابطهٔ $a_i = \gamma ic_i$ و غلظت‌های

اندازه‌گیری شده برای هریون محاسبه شد. سپس با ترسیم مقادیر ΔK در مقابل AR^K، پارامترهای Q/I به‌دست آمدند. برای تعیین انرژی تبادلی پتاسیم از رابطه $E_K = RTLnAR_e^K$ استفاده شد که در آن AR_e^K نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم است (۱۹).

برای تعیین زمان تعادل در نمودارهای Q/I، به ۲/۵ گرم از پنج نمونه خاک ۲۵ میلی لیتر محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم حاوی ۸۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم (در دو تکرار) اضافه گردید و در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد داخل انکوباتور شیکردار به مدت ۲، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۳۶ ساعت تکان داده شد. سپس به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. غلظت پتاسیم در محلول زلال رویی در زمان‌های ذکر شده با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود خاک‌های مورد مطالعه در شش کلاس بافتی شن لومی، لوم شنی، لوم، لوم رسی، لوم رسی سیلتی و رسی قرار می‌گیرند. دامنه مقادیر رس ۵/۸ تا ۵۲ درصد (میانگین ۲۶/۴ درصد)، دامنه مقادیر کربن آلی ۰/۰۹۰ تا ۱/۱۳ درصد (میانگین ۰/۶۰ درصد)، دامنه مقادیر کربنات کلسیم معادل ۴/۴ تا ۱۹ درصد (میانگین ۱۴ درصد)، دامنه مقادیر pH، ۷/۵ تا ۸/۲ درصد (میانگین ۷/۹ درصد) و دامنه مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها ۱۲ تا ۲۸ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک (میانگین ۲۰ سانتی مول بر کیلوگرم خاک) است.

شکل‌های پتاسیم

نتایج مربوط به مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر پتاسیم محلول خاک‌ها در مقایسه با مقادیر گزارش شده توسط فرید و شاپیرو (۱۳) برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک (۱۰-۰/۲ میلی‌مول بر لیتر) کمتر است. هم‌چنین با توجه به حداقل غلظت بهینه پتاسیم در محلول خاک (۲۰ میلی‌گرم در لیتر) می‌توان نتیجه گرفت که این خاک‌ها در زمرهٔ خاک‌های نسبتاً کم حاصلخیز از نظر پتاسیم قرار گرفته‌اند (۳۰). با این حال اثر بخشی پتاسیم محلول در تغذیهٔ گیاه به غلظت کلسیم و منیزیم در محلول خاک نیز بستگی دارد. دامنه مقادیر نسبت جذب پتاسیم خاک‌ها ۰/۰۰۱۷ تا ۰/۰۱۱ $(mol\ L^{-1})^{0.5}$، [میانگین ۰/۰۰۶۲ $(mol\ L^{-1})^{0.5}$] است (جدول ۲). به طور کلی غلظت پتاسیم محلول و حتی PAR شاخص‌های ارزیابی مطمئنی برای پیش بینی حاصلخیزی خاک از نظر پتاسیم نمی‌باشند زیرا تداوم تأمین پتاسیم از سوی خاک برای گیاه علاوه بر عامل شدت به عامل کمیت نیز بستگی دارد.

پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (پتاسیم قابل استفاده)

دامنه تغییرات پتاسیم استخراج شده با استات آمونیوم خاک‌های زراعی ۵۵ تا ۶۹۹ میلی‌گرم برکیلوگرم (میانگین ۲۶۵ میلی‌گرم برکیلوگرم) است (جدول ۲). میزان پتاسیم قابل استفاده خاک‌های ۱، ۱۰ و ۱۹ به سطوح بسیار پایینی کاهش یافته است. تیسدل و همکاران (۳۱) حد بحرانی پتاسیم برای آفتابگردان را به طور متوسط ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کرده‌اند. سپهر(۳) پتاسیم لازم برای خاک‌های تحت کشت آفتابگردان در منطقهٔ خوی را علی‌رغم وجود ۴۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده، ۱۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار توصیه کرده‌اند. در صورتی که همین محقق در ارزیابی دیگری با وجود ۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده، ۱۳۵ کیلوگرم K_2O در هکتار را توصیه نموده است (۴). دلایل این تناقض‌ها گزارش نشده است.

دامنه تغیرات پتاسیم تبادلی خاک‌ها ۵۴ تا ۶۹۴ میلی‌گرم برکیلوگرم (به طور متوسط ۲۶۱ میلی‌گرم برکیلوگرم) است (جدول ۲) برخی محققان بین درصد رس و میزان پتاسیم تبادلی در خاک‌های تحت کشت متمرکز یک رابطهٔ مثبت و معنی‌دار

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

شماره خاک	سری خاک	بافت خاک	رس	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	pH ۰/۰۱M $CaCl_2$	CEC $cmol_c\ kg^{-1}$
			٪				
۱	عبداله کندی	L	۲۷	۰/۲۱	۱۸	۸/۲	۱۴
۲	عبداله کندی	L	۲۰	۰/۵۵	۱۹	۸/۰	۱۸
۳	قطور	C	۴۰	۰/۳۴	۱۷	۸/۲	۲۰
۴	قطور	C	۵۲	۰/۸۹	۱۴	۸/۰	۲۶
۵	قطور	Si.C	۴۲	۰/۷۷	۱۵	۷/۹	۲۷
۶	قطور	C	۵۰	۰/۷۰	۱۵	۷/۶	۲۶
۷	خوی	Si.C	۴۵	۰/۸۱	۱۹	۷/۹	۲۸
۸	قره تپه	L	۲۰	۰/۵۷	۱۹	۷/۹	۱۸
۹	مغانجوق	C.L	۳۵	۰/۶۰	۱۰	۸/۱	۱۷
۱۰	خوی	S.L	۱۵	۰/۴۱	۴/۴	۷/۷	۱۳
۱۱	سراب	S.L	۱۷	۰/۹۷	۱۵	۸/۰	۲۳
۱۲	خوی	C.L	۳۲	۰/۶۱	۱۳	۷/۹	۲۳
۱۳	پیرفروزان	S.L	۱۵	۰/۶۹	۱۳	۷/۵	۲۰
۱۴	خوی	S.L	۷/۱	۰/۶۷	۱۰	۷/۷	۱۸
۱۵	امام کندی	C	۴۵	۱/۱۳	۱۵	۸/۰	۲۵
۱۶	قره تپه	L	۱۷	۰/۵۱	۱۹	۸/۰	۲۰
۱۷	شوربلاق	S.L	۱۰	۰/۳۱	۱۴	۷/۸	۱۵
۱۸	دیزج دیز	S.L	۱۵	۰/۴۶	۱۰	۸/۰	۱۸
۱۹	قره تپه	L.S	۵/۸	۰/۰۹۰	۷/۵	۷/۸	۱۲
۲۰	مغانجوق	L	۲۲	۰/۶۹	۱۵	۸/۰	۲۰
	میانگین		**۲۶/۴**	**۰/۶۰**	**۱۴**	**۷/۹**	**۲۰/۱**

L: لومی، C: رسی، Si.C: رسی سیلتی، S.L: لوم شنی، C.L: لوم رسی، L.S: شن لومی.

پیدا کرده اند (۲۵). این هم‌بستگی در خاک‌های شالیزاری شمال کشور معنی‌دار بوده ($p\leq$۰/۰۰۱) ولی در خاک‌های غیر شالیزاری معنی‌دار نبود (۱). هم‌بستگی بین درصد رس و میزان پتاسیم تبادلی در خاک‌ها مورد مطالعه در این تحقیق معنی دار نشد (جدول ۳).

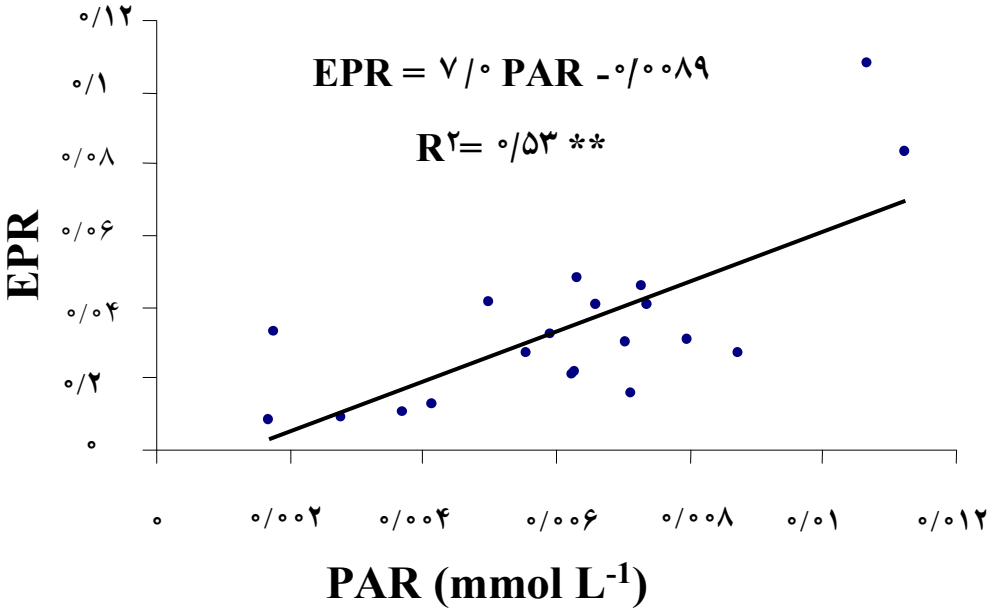
به عقیدهٔ شارپلی و بال (۲۵) وجود هم‌بستگی بین پتاسیم تبادلی و درصد رس به معنی نزدیک شدن به سطح حداقل پتاسیم تبادلی است. با این حال در خاک‌های مورد مطالعه، میزان پتاسیم تبادلی آنقدر کاهش نیافته است که به سطح حداقل برسد. نتایج نشان می‌دهد که بین مقادیر پتاسیم تبادلی و محلول در خاک‌های مورد مطالعه هم‌بستگی معنی‌داری (r =۰/۷۷***) وجود دارد (جدول ۳).

دامنه تغییرات نسبت پتاسیم تبادلی خاک‌ها ۰/۰۰۸۱ تا ۰/۰۸۳ (میانگین ۰/۰۳۴) است (جدول ۲). رابطه بین دو پارامتر PAR و EPR در خاک‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۳. ضرایب هم‌بستگی (r) بین شکل‌های مختلف پتاسیم و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

	Clay	CEC	EPR	PAR	K_{so}	K_{ex}	K_{nex}
CEC	۰/۷۵۲***						
EPR	−۰/۲۷۳^{ns}	۰/۱۱۱^{ns}					
PAR	−۰/۴۰۹^{ns}	−۰/۰۵۶^{ns}	۰/۷۲۷***				
K_{so}	−۰/۴۰۲^{ns}	۰/۰۵۲^{ns}	۰/۷۹۰***	۰/۹۵۰***			
K_{ex}	−۰/۰۶۵^{ns}	۰/۳۴۱^{ns}	۰/۹۵۸***	۰/۷۰۲***	۰/۷۷۴***		
K_{nex}	−۰/۰۱۴^{ns}	−۰/۳۶۸^{ns}	−۰/۲۲۱^{ns}	−۰/۲۹۳۰^{ns}	−۰/۳۲۵^{ns}	−۰/۲۶۲^{ns}	
O.C	۰/۵۱۲*	۰/۸۱۳***	۰/۴۱۶^{ns}	۰/۰۸۴^{ns}	۰/۲۰۰^{ns}	۰/۶۰۹**	−۰/۱۶۷^{ns}

K_{ex}، پتاسیم تبادلی; K_{so}، پتاسیم محلول; K_{nex} ، پتاسیم غیرتبادلی; EPR، نسبت پتاسیم تبادلی; PAR، نسبت جذب پتاسیم; EPP, درصد پتاسیم تبادلی.* ، معنی‌دار در سطح ۵ درصد P≤ ۰/۰۵ ،** ، معنی‌دار در سطح یک درصد P≤ ۰/۰۱،*** ، معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد P≤ ۰/۰۰۱،



شکل۱. رابطه بین نسبت پتاسیم تبادلی (EPR) و نسبت جذب پتاسیم (PAR) در خاک‌های مورد مطالعه

رابطه معنی‌دار بین مقادیر PAR و EPR توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (۶ و ۱۰). گرچه ضرایب معادله به دست آمده با آنچه توسط دافی و همکاران (۱۰) و خراسانی و حق نیا (۶) گزارش شده مشابهت دارد، ولی تفاوت ضرایب تبیین زیاد است. علت تفاوت در شیب و عرض از مبدا در روابط فوق به تفاوت‌های کانی شناسی رس، میزان پتاسیم تبادلی و میزان مواد آلی خاک‌ها نسبت داده شده است (۲۶). شیب رابطه خطی PAR و EPR یعنی K_G (ضریب گزینش‌پذیری گاپون) تابع فراوانی مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم و نیز سطح پتاسیم تبادلی است به‌طوری که با افزایش اولی و نیز با کاهش دومی K_G افزایش می‌یابد. وجود عرض از مبدأ در رابطه بین PAR و EPR نشانگر انحراف از معادله گاپون است.

دامنه تغییرات درصد پتاسیم تبادلی خاک‌ها ۰/۸۰ تا ۹/۷ درصد (میانگین ۳/۳ درصد) است (جدول ۲). برخی محققان از EPP به عنوان شاخص ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک استفاده کرده اند. حد بحرانی درصد پتاسیم تبادلی برای رشد بهینه گیاهان بین ۱/۵ تا ۲/۵ درصد گزارش شده است (۹). بنابراین گرچه میزان پتاسیم تبادلی برخی از خاک‌های تحت کشت آفتابگردان پایین است ولی به دلیل CEC نه چندان بزرگ این خاک‌ها، درصد پتاسیم تبادلی به غیر از خاک‌های سری عبداله کندی (۱)، سری قطور (۶) و سری خوی (۷ و ۱۰) به زیر حد بهینه کاهش نیافته است.

پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک مولار جوشان

دامنه تغییرات پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک مولار جوشان خاک‌ها ۳۵۳ تا ۱۰۶۹ میلی‌گرم برکیلوگرم (به طور متوسط ۵۸۳ میلی‌گرم برکیلوگرم) است (جدول ۲). دامنه تغییرات پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها ۱۶۰ تا ۶۱۲ میلی‌گرم برکیلوگرم (به طور متوسط ۳۱۸ میلی‌گرم برکیلوگرم) است (جدول ۲).

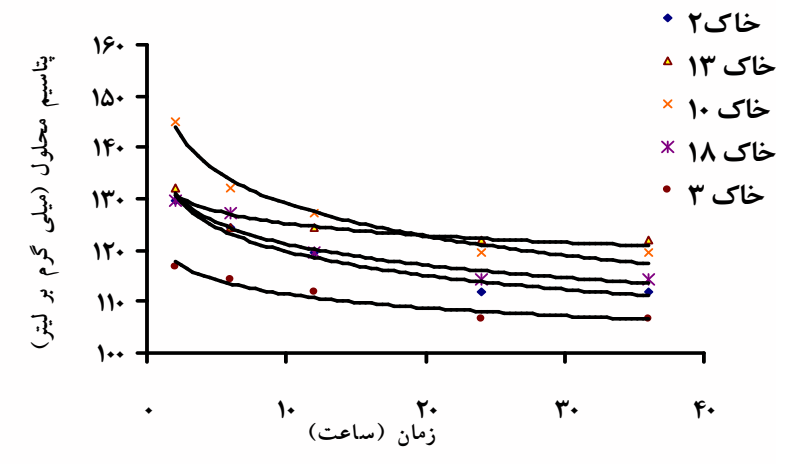
روابط Q/I

شکل ۲ تغییرات غلظت پتاسیم اضافه شده با زمان را جهت تعیین زمان تعادل در خاک‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده زمان تعادل برای مطالعات Q/I ۲۴ ساعت تعیین گردید.

شکل ۳ روابط کمیت به شدت (Q/I) خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به طوری‌که ملاحظه می‌شود نمودارهای Q/I عمدتاً در ناحیه جذب (بالای محور Xها) قرار گرفته‌اند. نمودارهای به‌دست آمده غالباً خطی بوده و فاقد انحنا می‌باشند. نتایج مشابهی توسط الکنعانی و همکاران (۷) گزارش شده است. نمودارهای خطی Q/I خاک‌ها با عدم وجود هم‌بستگی بین میزان پتاسیم تبادلی و میزان رس در خاک‌های مورد مطالعه مطابقت دارد. به عبارت دیگر این خاک‌ها به سطح حداقل پتاسیم تبادلی نرسیده‌اند و لذا پتاسیم غیر تبادلی آنها نیز تخلیه نشده است. گزارش شده است که تخلیه پتاسیم غیر تبادلی صرفاً پس از ۸۰ درصد کاهش در میزان پتاسیم تبادلی اتفاق افتاده است (۱۲).

ظرفیت بافری پتانسیل (PBC^K)

دامنه تغییرات PBC^K در خاک‌ها ۱۱ تا ۱۰۸ $cmol_c\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{0.5}$ (میانگین ۳۸ $cmol_c\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{0.5}$) بود (جدول ۴). مقادیر PBC^K خاک‌ها متاثر از عوامل مختلفی است. یکی از این عوامل K_G می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که با کاهش درصد پتاسیم تبادلی، K_G افزایش می‌یابد (۲۶). هم‌چنین مقادیر PBC_K خاک‌ها متأثر از مقدار ماده آلی آنهاست. تحقیقات نشان داده است که علی‌رغم گزینش‌پذیری کم مواد آلی نسبت به پتاسیم در مقایسه با کانی‌های رس، ماده آلی سبب افزایش K_G می‌گردد (۹). اونجلو و همکاران (۱۱) گزارش کردند که کمپلکس هوموس و کاتیون‌های دو ظرفیتی در سطح خارجی کانی‌های رس از آزاد شدن پتاسیم‌های موجود در فضای بین لایه‌ای ممانعت می‌کند. بدین ترتیب گزینش‌پذیری نسبت به پتاسیم افزایش می‌یابد. برخی محققان نیز علت این امر را

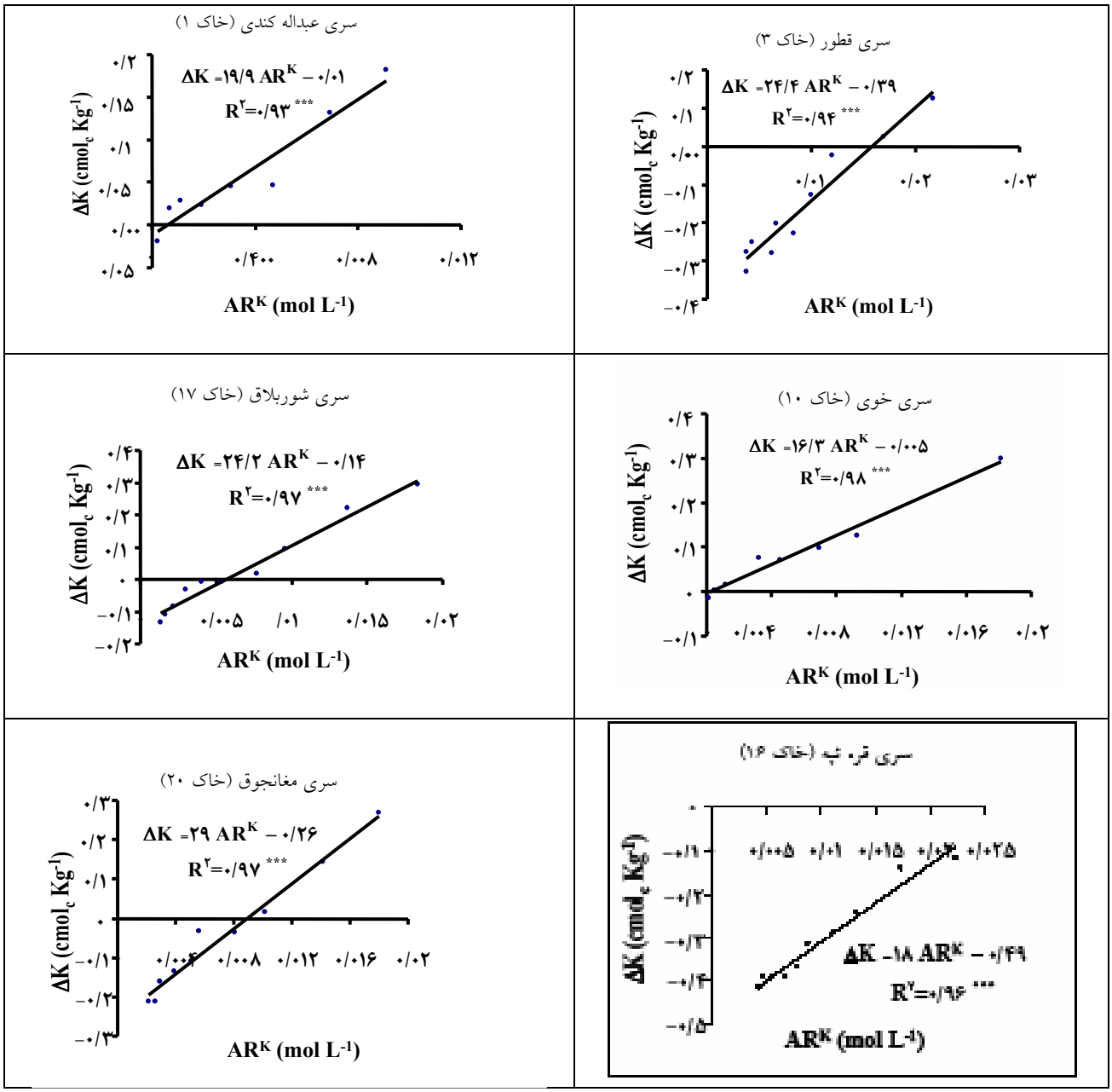


شکل ۲. تغییرات غلظت پتاسیم اضافه شده با زمان

جدول ۴. پارامترهای کمیت به شدت (Q/I) خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	PBC^K	K_G	E_K	AR_e^K	AR_o^K	ΔK^0
	$(cmolc\ kg^{-1})/(mol\ L^{-1})^{0.5}$	$(mol\ L^{-1})^{-0.5}$	$cal\ mol^{-1}$	← $(mol\ L^{-1})^{0.5}$ →		$cmol_c\ kg^{-1}$
۱	۲۰	۱/۵	-۴۵۰۰	۰/۰۰۰۵۰	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۱۰
۲	۴۲	۲/۴	-۳۲۳۰	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۱۹	۰/۱۸
۳	۲۴	۱/۲	-۲۴۵۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳۸	۰/۳۹
۵	۹۸	۳/۶	-۴۰۸۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۵۰	۰/۱۰
۷	۱۰۸	۳/۹	-۳۶۷۱	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۰۵۲	۰/۲۲
۸	۲۹	۱/۶	-۲۶۸۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲۳	۰/۳۱
۹	۴۲	۲/۵	-۵۲۴۵	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۶۰
۱۰	۱۶	۱/۲	-۴۷۹۲	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۵۰
۱۳	۳۲	۱/۶	-۳۵۵۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۸۰
۱۵	۴۶	۱/۸	-۲۷۵۵	۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۳۶	۰/۴۴
۱۶	۱۸	۰/۸۸	-۲۱۳۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۴۴	۰/۴۹
۱۷	۲۴	۱/۶	-۳۰۵۳	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۱۴	۰/۱۴
۱۸	۲۶	۱/۴	-۲۶۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲۶	۰/۳۲
۱۹	۱۱	۰/۸۸	-۲۶۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱۳	۰/۱۳
۲۰	۲۹	۱/۵	-۲۷۹۳	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۲۱	۰/۲۶
میانگین	۳۸	۱/۸	-۳۳۴۴	۰/۰۰۷۶	۰/۰۰۱۷	۰/۲۱

K_G، ضریب گاپون; PBC^K، ظرفیت بافری پتانسیل; ΔK^o، پتاسیم به سهولت قابل دسترس; AR_o^K، نسبت فعالیت پتاسیم در محلول ۰/۰۱ M $CaCl_2$; AR_e^K، نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم; E_K، انرژی تبادلی پتاسیم.



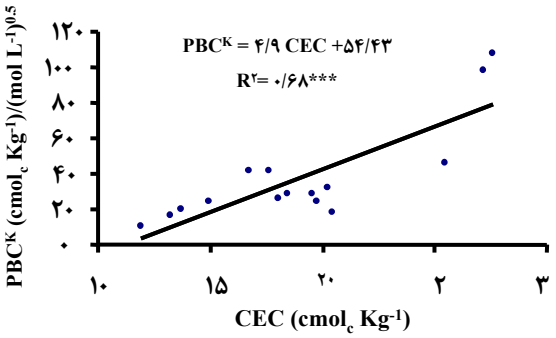
شکل ۳. نمودارهای کمیت به شدت (Q/I) در تعدادی از خاک‌های مورد مطالعه

افزایش نسبت سطوح داخلی به خارجی در نتیجه تشکیل کلوئیدهای آلی– معدنی می‌دانند (۲۱). باید توجه داشت که علاوه بر مقدار ماده آلی، ماهیت مواد آلی نیز حائز اهمیت است. بین پارامترهای PBC^K و CEC رابطهٔ خطی معنی‌داری ($P\leq$ ۰/۰۰۱) به‌دست آمد (شکل۴). دامنه تغییرات K_G= PBC^K/CEC) KG) ۰/۸۸ تا ۳/۹ $(mol\ L^{-1})^{-0.5}$ (میانگین ۱/۸ $(mol\ L^{-1})^{-0.5}$) است (جدول ۵). با توجه به شکل ۵ K^G خاک‌ها ۴/۹ $(mol\ L^{-1})^{-0.5}$ می‌باشد. آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت شیب (K_G) مربوط به شکل‌های ۲ و ۵ معنی‌دار نیست. رابطهٔ خطی بین مقادیر PBC^K و CEC در مطالعات جیمنزو پارا (۱۵) با ضریب تبیین بالایی (PBC^K =۲۸/۷ +۲/۹۹ CEC , r^2=۰/۹۴***) مشاهده شده است. رابطه مزبور در تحقیقات اسپارکس و لیبهارد (۲۸) نیز گزارش شده است. هم‌چنین حسین پور و کلباسی (۵) در

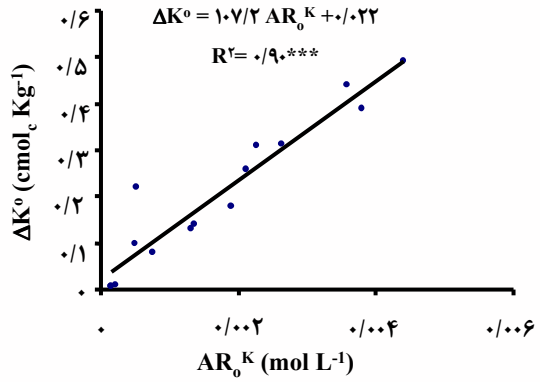
جدول ۵. ضرایب هم‌بستگی (r) بین پارامترهای Q/I و شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های تحت کشت آفتابگردان

	K_{ex}	K_{so}	K_{nex}	K_G	PBC^K	K^o	EPP	AR_o^K	AR_e^K	E_K
K_{so}	۰/۵۲۳*									
K_{nex}	−۰/۵۱۲^{ns}	−۰/۳۱۵^{ns}								
K_G	۰/۰۶۸^{ns}	−۰/۳۹۳^{ns}	−۰/۱۱۷^{ns}							
PBC^K	۰/۱۸۳^{ns}	−۰/۲۷۰^{ns}	−۰/۲۰۱^{ns}	۰/۹۶۳***						
ΔK^o	۰/۶۸۱**	۰/۶۷۰**	−۰/۳۰۲^{ns}	−۰/۲۳۶^{ns}	۰/۰۵۹^{ns}					
EPP	۰/۹۳۱***	۰/۵۶۲*	−۰/۴۶۳^{ns}	−۰/۱۶۲^{ns}	−۰/۰۹۸^{ns}	۰/۶۶۶**				
AR_o^K	۰/۶۴۹**	۰/۷۷۶***	−۰/۲۳۱^{ns}	−۰/۴۴۷^{ns}	−۰/۲۹۹^{ns}	۰/۹۵۱***	۰/۷۰۵**			
AR_e^K	۰/۴۳۹^{ns}	۰/۶۷۵**	−۰/۲۵۱^{ns}	−۰/۵۵۸$^{\times}$	−۰/۴۰۴^{ns}	۰/۸۳۶***	۰/۵۴۷*	۰/۸۹۲***		
E_K	۰/۴۱۶^{ns}	۰/۸۲۵***	−۰/۴۳۶^{ns}	−۰/۴۲۱^{ns}	−۰/۲۵۹^{ns}	۰/۸۳۹***	۰/۴۷۵^{ns}	۰/۸۴۴***	۰/۸۳۲***	

K_{ex} ، پتاسیم تبادلی; K_{so}، پتاسیم محلول; K_{nex}، پتاسیم غیرتبادلی; K_G، ضریب گاپون; PBC^K، ظرفیت بافری پتانسیل; ΔK^o، پتاسیم قابل دسترس; EPP ، درصد پتاسیم تبادلی; AR_o^K، نسبت فعالیت پتاسیم در محلول ۰/۰۱ M $CaCl_2$; AR_e^K، نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم; E_K، انرژی تبادلی پتاسیم. * : معنی‌دار در سطح $P\leq$ ۰/۰۵، **، معنی‌دار در سطح $P\leq$ ۰/۰۱، ***، معنی‌دار در سطح $P\leq$ ۰/۰۰۱.



شکل ۴. رابطه بین PBC^K و CEC در خاک‌های مورد مطالعه



شکل ۵. رابطه بین ΔK^o و AR_o^K در خاک‌های مورد مطالعه

خاک‌های مناطق مرکزی و شمالی ایران هم‌بستگی معنی‌داری (r^2 =۰/۶۶) را بین دو پارامتر PBC^K و CEC به‌دست آورده‌اند (PBC^K =۱/۴۳CEC −۱۰/۳). در حالی که در مطالعات الکنعانی و همکاران (۷) هم‌بستگی معنی‌داری بین این دو پارامتر مشاهده نشده است. عوامل زیادی رابطه PBC^K و CEC را تحت تأثیر قرار می‌دهند که از آن جمله می‌توان به میزان مواد آلی، درصد رس و میزان کربنات کلسیم اشاره کرد. گزارش شده است که مواد آلی باعث افزایش CEC شده ولی به اندازه رس بر PBC^K مؤثر نیست (۱۱). هم‌چنین برخی مطالعات نشان می‌دهد که تأثیر ماده آلی بر PBC^K معنی دار نیست، هر چند که افزایش مقدار ماده آلی باعث افزایش فراوانی مکان‌های تبادلی پتاسیم می‌شود (۲۶). پونیا و نیدرباده (۲۱) علت کاهش PBC^K به واسطه حضور ماده آلی را افزایش دانسیته بار در سطح و نیز کاهش فراوانی مکان‌های با جذب اختصاصی پتاسیم می دانند. ونگ و همکاران (۳۲) نیز نشان دادند که تنها ۳۰ تا ۳۶ درصد تغییرات PBC^K به مقدار رس مربوط است. آنان معتقدند که PBC^K صرفاً به مقدار رس وابسته نبوده و امکان دارد که تغییرات ماهیت سطوح تبادلی پتاسیم به واسطهٔ حضور ماده آلی باعث تغییرات PBC^K شود.

نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم (AR_e^K)

دامنه تغییرات AR_e^K خاک‌ها ۰/۰۰۰۱۴ تا ۰/۰۲۷ $(mol\ L^{-1})^{0.5}$ به طور متوسط ۰/۰۰۷۶ $(mol\ L^{-1})^{0.5}$ است (جدول ۴). مقادیر AR_e^K توسط بکت (۸) و ونگ و همکاران (۳۲) به ترتیب ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ $(mol\ L^{-1})^{0.5}$ و ۰/۰۰۰۸ تا ۰/۰۰۰۴ $(mol\ L^{-1})^{0.5}$ گزارش شده است. وودراف (۳۳) اظهار داشته است که مقادیر AR_e^K بین ۰/۰۰۲۷ تا ۰/۰۳ به منظور رفع نیاز پتاسیم برای اکثر گیاهان مناسب می‌باشد. بر اساس این پیشنهاد مقدار عددی AR_e^K برای خاک‌های مورد مطالعه ۲، ۷، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۸ و ۲۰ مناسب و برای سایر خاک‌ها کم می‌باشد. تحت این شرایط گیاه ممکن است با کمبود پتاسیم مواجه شود. مقادیر بیشتر AR_e^K $(mol\ L^{-1})^{0.5}$ > ۰/۰۱ (AR_e^K) توسط اسپارکس و لیبهارد (۲۸) گزارش شده است. آنان نشان دادند که در اثر کشت متمرکز گیاهان چند ساله (چاودار و چمن)، نسبت فعالیت پتاسیم کاهش یافته و مقدار پتاسیم قابل استفاده نیز از ۴۲۰ به ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رسیده است. نتایج نشان می‌دهد که هم‌بستگی معنی‌داری بین پارامتر AR_e^K و پتاسیم محلول ($P \leq$ ۰/۰۱) وجود دارد (جدول ۵).

هم‌چنین با توجه به نتایج به دست آمده AR_e^K هم‌بستگی معنی‌داری با EPP ($P \leq$ ۰/۰۵) دارد (*r^2=۰/۳۰). نتیجه مشابهی توسط جیمنز و پارا (۱۵) (r^2 = ۰/۷۶ , AR_e^K =۰/۰۰۲۹ EPP + ۰/۰۰۳۷) گزارش شده است. هم‌چنین حسین پور و کلباسی (۵) رابطه بین AR_e^K و EPP را به صورت (EPP =۸/۲ AR_e^K + ۱/۶۵ , r^2 = ۰/۵۶**) به‌دست آورده‌اند. وجود رابطه معنی‌دار بین پارامترهای AR_e^K و EPP بیانگر آن است که فعالیت پتاسیم در محلول خاک به وسیله فاز تبادلی کنترل می‌شود.

پتاسیم به سهولت قابل تبادل (ΔK^o)

دامنه تغییرات مقادیر ΔK^o ۰/۰۰۵۰ تا ۰/۴۹ $cmol_c\ kg^{-1}$ (به طور متوسط ۰/۲۱ $cmol_c\ kg^{-1}$) است (جدول ۴). مقادیر ΔK^o خاک نه تنها به نوع کانی‌های رسی خاک، بلکه به مقدار پتاسیم تبادلی و نیز مقدار پتاسیم کودی مصرف شده وابسته است (۲۶). همان‌طوری که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود بین مقادیر پتاسیم تبادلی (K_{ex}) و پتاسیم بسهولت قابل تبادل (ΔK^o) ($P \leq$ ۰/۰۱) هم‌بستگی معنی‌داری به دست آمده است. ونگ و همکاران (۳۲) نیز هم‌بستگی بالایی را بین پتاسیم تبادلی و پتاسیم آسان قابل تبادل گزارش کرده اند. به عقیده ریچ و بلک (۲۲) استات آمونیوم از کانی‌هایی که دارای مکان‌های جذبی اختصاصی برای پتاسیم هستند، پتاسیم بیشتری را استخراج می‌کند. در نتیجه میزان پتاسیم تبادلی بیشتر از پتاسیم آسان قابل تبادل (ΔK^o) خواهد بود. در خاک‌های مورد مطالعه ΔK^o با AR_e^K ($P \leq$ ۰/۰۰۱)، AR_o^K ($P \leq$ ۰/۰۰۱) و درصد پتاسیم تبادلی ($P \leq$ ۰/۰۰۱) هم‌بستگی معنی‌داری داشت. صمدی (۲۴) نیز هم‌بستگی معنی‌داری را بین AR_e^K و ΔK^o

(r =۰/۹۳***) برای خاک‌های منطقه ارومیه به‌دست آورده است. با توجه به وجود هم‌بستگی بالا بین AR_o^K و ΔK^o می‌توان مقادیر ΔK^o خاک‌های مورد مطالعه را از روی مقادیر AR_o^K پیش بینی کرد (شکل ۵).

انرژی تبادلی پتاسیم(E_K)

دامنه تغییرات E_K خاک‌ها ۲۱۳۵- تا ۵۲۴۵- کالری بر مول (میانگین ۳۳۴۴- کالری بر مول) است (جدول ۴). سینگ و جونز (۲۷) نشان دادند که انرژی تبادلی پتاسیم در خاک‌ها بین ۳۵۰۰- تا ۴۰۰۰- کالری بر مول متغیر بوده و با کمبود پتاسیم در ارتباط است. محدودهٔ E_K بین ۲۵۰۰- تا ۳۵۰۰- کالری بر مول از نظر رشد گیاه مناسب تشخیص داده شده است (۲۷). بر اساس ارزیابی مذکور، خاک‌های ۱، ۵، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۳ در زمرهٔ خاک‌های فقیر و خاک‌های ۳، ۸، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ جزء خاک‌های غنی از پتاسیم می‌باشند. بنابراین لازم است که برای رسیدن به رشد ایدال گیاه، در خاک‌های فقیر، از کود پتاسیمی استفاده شود تا مقدار انرژی تبادلی خاک‌ها به حد ایده ال برسد.

نتیجه‌گیری

مقدار پتاسیم قابل استفاده بیش از ۵۰ درصد از خاک‌های زیر کشت آفتابگردان در این تحقیق کمتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و نمودارهای Q/I نیز عمدتاً در ناحیه جذب قرار داشتند که حاکی از تخلیه پتاسیم تبادلی است. هم‌چنین عدم وجود هم بستگی بین میزان پتاسیم تبادلی و میزان رس و خطی بودن نمودارهای جذبی پتاسیم حاکی از عدم تخلیه پتاسیم غیر تبادلی و اتکای تغذیه گیاه آفتابگردان به پتاسیم تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه است.

منابع مورد استفاده

۱. اوستان، ش. ۱۳۷۳. بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۲. بی نام، ۱۳۸۱. اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی. آمارنامه سال زراعی ۸۱-۸۰، وزارت کشاورزی، تهران، ایران.

۳. سپهر، الف. ۱۳۷۹. بررسی اثرات پتاسیم، منیزیم، گوگرد، و عناصر ریزمغذی روی افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آفتابگردان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۴. سپهر، الف. و م. ملکوتی ۱۳۸۰. تأثیر سطوح مختلف مصرف پتاسیم و منیزیم بر کمیت و کیفیت آفتابگردان. تغذیهٔ بهینهٔ دانه های روغنی، مجموعه مقالات، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تهران.

۵. حسین پور، ع. و م. کلباسی. ۱۳۷۹. نسب 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): ۴۳-۵۶.

۶. خراسانی، ر. و غ. حق نیا. ۱۳۸۱. بررسی تعادل پتاسیم - کلسیم در برخی از خاک‌های آهکی خراسان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۳): ۲۵-۳۵.

7. Al-Kanani, T., N. N. Bartapar and A. J. Hussien. 1991. Evaluation of potassium quantity-intensity relationships in calcareous soil. Soil Sci. 151:167-173.
8. Beckett, P. H. T. 1972. Critical activity ratios. Adv. Agro. 24:376-412.
9. Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice. Nutrient Disorders & Nutrient Management. Handbook series. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute. 191 p.
10. Dufey, J. E. and B. Delvaut. 1989. Modeling potassium–exchange selectivity as influenced by soil properties and methods of determination. Soil Sci. 159: 176-184.
11. Evangelou, V. P. and A. D. Parathanasis. 1986. Evaluation of potassium quantity-intensity relationship by a computer model employing the Gapon equation. Soil Sci. Soc. Am. 50:58-62.
12. Fergus, I. F., A. E. Martin. 1972. Stuthies on potassium. IV. Interspecific differences in the uptake of non-

exchangeable potassium. Aust. J. Soil Res. 12: (2) 147-158.
13. Fried, M. and R E. Shapiro. 1961. Soil- plant relations in ion uptake. Annual Rev. Plant Physiol. 12:891-1112.
14. Golakiya, B. A., J. D. Gundalia and K. B. Polara. 2001. Potassium dynamics in the soils of Saurashtra. Poster at the IPI-PRII International Symposium on the "Importance of potassium in nutrient management for sustainable crop production in India", 3-5 December, 2001, New Delhi, India.
15. Jimenez, C. and M. A. Parra. 1991. Potassium quantity-intensity relationships in calcareous Vertisols and Inceptisol of southern Spain. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:985-989.
16. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium sodium and potassium. PP. 225-246. *In*: A. L. page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Lei, Y. 1996. Nutrient requirement of sunflower and effect of fertilizer on yield and quality. Proceeding of 14th International Sunflower Conference. Beijing/Shenyang, China.
18. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed., Academic Press., London.
19. Moore, W. J. 1972. Physical Chemistry. 4th ed., Prentice-Hall, Co., Englewood Cliffs, N J.
20. Moss, P. 1967. Independence of soil quantity- intensity relationships to changes in exchangeable potassium. Similar potassium exchange constants for soils within a soil type. Soil Sci. 103: 196-201.
21. Poonia, S. R. and E. A. Niederbudde. 1990. Exchange equilibria of potassium in soil, V. Effect of natural organic matter on K-Ca exchange. Geoderma , Vol:47, Issues 3-4, PP: 233-242.
22. Rich, C. I. and W. R. Black. 1964. Potassium exchange as affected by cation size, pH, and mineral structure. Soil Sci. 97:384-390.
23. Robinson, R. G. 1973. Elemental composition and response to nitrogen of sunflower and corn. Agron J. 65: 318-320.
24. Samadi, A. 2006. Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of western Azarbaijan Province, Iran. Turk. J. Agric. For. 30: 213-222.
25. Sharpley, A. N. and S. W. Buol. 1987 .Relationship between minimum exchangeable potassium and soil taxonomy. Commun In Soil Sci. Plant Anal. 18(5): 601- 614.
26. Shaviv, A., M. Mohsin, P.F. Pratt and S. V. Mattigod. 1985. Potassium fixation characteristics of five southern California soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1105-1109.
27. Singh, B. B. and P. Jonse. 1975. Use of sorption-isotherms for evaluating potassium requirement of plants. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 881-896.
28. Sparks, D. L. and W. C. Liebhardt. 1981. Effect of long-term lime and potassium application on quantity-intensity (Q/I) relationships in a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:786-790.
29. Stumm, W. and J. J. Morgan.1996. Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. 3rd ed., John Wiley & Sons, New York.
30. Tandon, H. L. S. 1998. Methods of Analysis of Soils, Plant, Waters and Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India.
31. Tissdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton and J. L. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed., Macmillan Publishing Co. New York.
32. Wang, Jim. J., L. Dustin, Harrell and F. Paul. 2004. Potassium buffering characteristic of three soils low in exchangeable potassium. SSSA. J. 68:654-661.
33. Woodruff, C. M. 1955. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc.19:36-40.