

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 پرتوقوع 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 منظور ۲۰ نمونه مربک 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_{av} خاک‌های زراعی ۵۵ تا ۶۹۹ به طور متوسط ۲۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم است. هم‌چنین دامنه مقادیر K_{ex} این خاک‌ها ۵۴ تا ۶۹۴ به طور متوسط ۲۶۱ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد. دامنه مقادیر K_{nex} نیز ۱۶۰ تا ۶۱۲ به طور متوسط ۳۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم 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 عمدهاً در ناحیه جذب قرار گرفته‌اند. نمودارهای فوق خطی بوده و قادر اتحانای 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 رابطه خطی معنی‌داری ($r = 0.82***$) به دست 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 هم‌ستگی معنی‌داری با K_{so} ($r = 0.68**$) دارد. دامنه تغیرات مقادیر پتاسیم به سهولت قابل تبادل (ΔK^0) (۰/۰۰۵۰ تا ۰/۰۴۹ با مقدار متوسط ۰/۰۰۲۱ ($cmole\ kg^{-1}$)) است. ΔK^0 هم‌ستگی معنی‌داری با AR_e^K (نسبت فعالیت پتاسیم در تیمار شاهد) ($r = 0.95***$) دارد.

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

مقدمه

گسترهای 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،

در مدیریت تغذیه گیاهان زراعی آگاهی از وضعیت پتاسیم خاک‌ها بسیار حائز اهمیت است. به همین خاطر مطالعات

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

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 ۱-۲ درصد)، ۳- پتاسیم غیرتبادلی، (۲-۸ درصد) و ۴- پتاسیم ساختمانی (۹۰-۹۸ درصد). گولاکیا و همکاران (۱۴) گزارش می‌کنند 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 سانتی مول بر کیلوگرم، مقدار پتاسیم غیر تبادلی یا ثابت شده بین ۰/۳۲ تا ۰/۷ سانتی مول بر کیلوگرم و مقدار پتاسیم کل از ۱/۱ تا ۲۱/۳ سانتی مول بر کیلوگرم متغیر است این شکل‌ها به صورت زیر در حال تعادل با یکدیگر هستند (۳۱):

$$K\text{ محلول} \Leftrightarrow K\text{ تبادلی} \Leftrightarrow K\text{ غیرتبادلی} \Leftrightarrow K\text{ ساختمانی}$$

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 مونتموریلوئیتی حد واسط و برای خاک‌های کاثولینیتی حداقل بود. ظرفیت خاک برای تأمین و نگهداری سطوح بالای پتاسیم در محلول خاک به وسیله ظرفیت بافری پتاسیم (PBC^K) تعیین می‌شود. چنانچه

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 پرتوقوع 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، علوفه‌دامی و مصرف آجیلی، سطح زیر کشت قابل توجهی (۱۹ میلیون هکتار) از اراضی جهان و ۷۹ هزار هکتار از کل اراضی کشور را در دهه 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 پرتوقوع بودن گیاه آفتابگردان نسبت به عنصر غذایی پتاسیم را نشان داده‌اند. لی (۱۷) ضمن اشاره به پرتوقوع بودن آفتابگردان، بیان نمود که به ازای تولید یک تن دانه آفتابگردان ۱۶۶ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K₂O) از خاک خارج می‌شود. نتایج تحقیقات رایینسون (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 پرتوقوع 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 ثابت شده نیز تخلیه خواهد شد. تحت این شرایط ممکن است گیاه به مصرف مقادیر متعارف کود پتاسیم پاسخ مثبت نشان ندهد. بررسی‌های مقدماتی در منطقه 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

شکل‌های پتاسیم خاک

پتاسیم محلول در عصاره گل اشبع، پتاسیم تبادلی به روش استات آمونیوم یک مولار در $pH=7$ ، 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 میلی لیتر محلول ۰٪ مولار کلرید کلسیم که حاوی پتاسیم با غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی گرم در لیتر بود به نمونه‌های ۲/۵ گرمی هر خاک (در دو تکرار) اضافه شد و تا حصول تعادل نسبی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در انکوباتور شیکردار تکان داده شد. سپس با سرعت 3000 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 فتوомتر اندازه گیری شدند. میزان پتاسیم جذب یا واجذب شده (ΔK)، از تفاوت غلظت اولیه (C_0) و غلظت تعادلی (C) با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$\Delta K(\text{mg kg}^{-1}) = \frac{(C_0 - C) \times V}{M_S}$$

که در آن C_0 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)، ابتدا قدرت یونی محلول‌ها با استفاده از رابطه تجربی $EC = 0.013 \mu$ به دست آمد و سپس ضرایب فعالیت یون‌ها (γ_i) با استفاده از معادله گانتلبرگ آنگاه فعالیت یون‌ها، با استفاده از رابطه $\gamma_{iC} = \frac{\sqrt{\mu}}{(1 + \sqrt{\mu})}$ محاسبه گردید (۲۹).

مقدار PBC^K یک خاک زیاد باشد بدین معنی است که قابلیت جذب پتاسیم به وسیله گیاه برای مدت زمانی طولانی پایدار و قابل ملاحظه خواهد بود. بدینه‌ی است مقدار کم PBC^K بیانگر نیاز به کود پاشی منظم 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 (۰-۲۵ سانتی‌متری) از اراضی تحت کشت آفتابگردان با توجه به مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی آذربایجان غربی از ۱۰ سری مختلف خاک در منطقه 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٪ 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) اندازه گیری شدند.

۱۰/۰ میلی مول بر لیتر) کمتر است. همچنانی با توجه به حداقل غلظت بهینه پتانسیم در محلول خاک (۲۰ میلی گرم در لیتر) می‌توان نتیجه گرفت که این خاک‌ها در زمرة خاک‌های نسبتاً کم حاصلخیز از نظر پتانسیم قرار گرفته‌اند (۳۰). با این حال اثر بخشی پتانسیم محلول در تغذیه گیاه به غلظت کلسیم و منیزیم در محلول خاک نیز بستگی دارد. دامنه مقادیر نسبت جذب پتانسیم خاک‌ها ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۱۱ mol (۰/۰۵ mol^{-۱}, [میانگین ۰/۰۰۶۲ mol L^{-۱}]) است (جدول ۲). به طور کلی غلظت پتانسیم محلول و حتی PAR شاخص‌های ارزیابی مطمئنی برای پیش‌بینی حاصلخیزی خاک از نظر پتانسیم نمی‌باشد زیرا تداوم تأمین پتانسیم از سوی خاک برای گیاه علاوه بر عامل شدت به عامل کمیت نیز بستگی دارد.

اندازه‌گیری شده برای هریون محاسبه شد. سپس با ترسیم مقادیر ΔK در مقابل AR^K , پارامترهای Q/I به دست آمدند. برای تعیین انرژی تبادلی پتانسیم از رابطه $E_K = RTLnAR_e^K$ استفاده شد که در آن AR_e^K نسبت فعالیت تعادلی پتانسیم 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 میلی گرم در لیتر پتانسیم (در دو تکرار) اضافه گردید و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد 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 سانتریفیوز گردید. غلظت پتانسیم در محلول زلال رویی در زمان‌های ذکر شده با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر اندازه‌گیری شد.

پتانسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (پتانسیم قابل استفاده)

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

دامنه تغییرات پتانسیم تبادلی خاک‌ها ۵۴ تا ۶۹۴ میلی گرم بر کیلوگرم (به طور متوسط ۲۶۱ میلی گرم بر کیلوگرم) است (جدول ۲) برخی محققان بین درصد رس و میزان پتانسیم تبادلی در خاک‌های تحت کشت متوجه یک رابطه مثبت و معنی‌دار

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 ۱۱/۱۳ 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 سانتی مول بر کیلوگرم خاک (میانگین ۲۰ سانتی مول بر کیلوگرم خاک) است.

شكل‌های پتانسیم

نتایج مربوط به مقادیر شکل‌های مختلف پتانسیم در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر پتانسیم محلول خاک‌ها در مقایسه با مقادیر گزارش شده توسط فرید و شاپیرو (۱۳) برای خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

شماره خاک	سری خاک	بافت خاک	رس	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	pH ۰/۰ ۱M CaCl ₂	CEC cmol _c kg ⁻¹
↔ % ↔							
۱	عبدالله کندی	L	۲۷	۰/۲۱	۱۸	۸/۲	۱۴
۲	عبدالله 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	مanganjوق	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	مanganjوق	L	۲۲	۰/۶۹	۱۵	۸/۰	۲۰
۲۰/۱	میانگین	۲۶/۴	۰/۶۰	۱۴	۷/۹	۷/۹	۲۰/۱

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

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 ($r = 0.77^{***}$) وجود دارد (جدول ۳).

دامنه تغییرات نسبت پتاسیم تبادلی خاک‌ها $0/0081$ تا $0/083$ (میانگین $0/034$) است (جدول ۲). رابطه بین دو پارامتر PAR و EPR در خاک‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

پیدا کرده اند (۲۵). این همبستگی در خاک‌های شالیزاری شمال کشور معنی‌دار بوده ($p \leq 0.001$) ولی در خاک‌های غیر شالیزاری معنی‌دار نبود (۱). همبستگی بین درصد رس و میزان پتاسیم تبادلی در خاک‌ها مورد مطالعه در این تحقیق معنی‌دار نشد (جدول ۳).

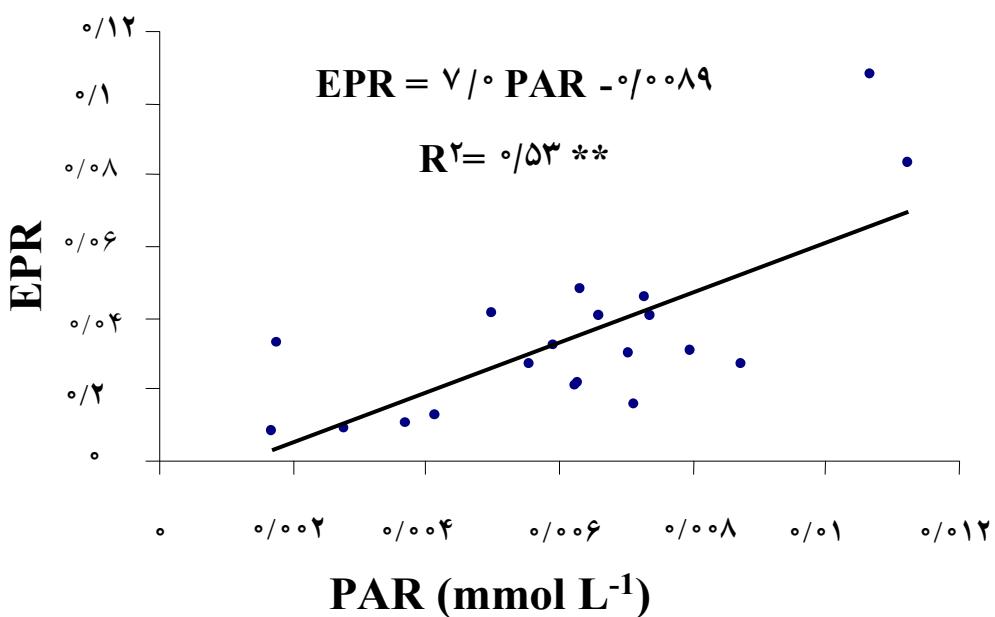
به عقیده شارپلی و بال (۲۵) وجود همبستگی بین پتاسیم تبادلی و درصد رس به معنی نزدیک شدن به سطح حداقل پتاسیم تبادلی است. با این حال در خاک‌های مورد مطالعه،

جدول ۳. ضرایب هم‌ستگی^(۲) بین شکل‌های مختلف پتانسیم و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

K _{nex}	K _{ex}	K _{so}	PAR	EPR	CEC	Clay
				◦/√ΔΥ***		CEC
				◦/111 ^{ns}	-◦/ΥΥΥ ^{ns}	EPR
			◦/ΥΥΥ***	-◦/◦ΔΥ ^{ns}	-◦/Φ◦Υ ^{ns}	PAR
		◦/ΥΔ◦***	◦/ΥΦ◦***	◦/◦ΔΥ ^{ns}	-◦/Φ◦Υ ^{ns}	K _{so}
	◦/ΥΥΥ***	◦/Υ◦Υ***	◦/ΥΔΛ***	◦/ΥΥΙ ^{ns}	-◦/◦ΔΥ ^{ns}	K _{ex}
-◦/ΥΥΥ ^{ns}	-◦/ΥΥΔ ^{ns}	-◦/ΥΥΙ ^{ns}	-◦/ΥΥΙ ^{ns}	-◦/ΥΥΛ ^{ns}	-◦/◦Υ ^{ns}	K _{nex}
-◦/ΥΥΥ ^{ns}	◦/Υ◦Υ**	◦/Υ◦◦ ^{ns}	◦/◦ΛΥ ^{ns}	◦/ΥΙΥ ^{ns}	◦/ΛΥΥ***	O.C

K_{Ex} : پتانسیم تبادلی؛ K_{so} : پتانسیم محلول؛ K_{nex} : پتانسیم غیرتبادلی؛ EPR: نسبت جذب پتانسیم؛ PAR: درصد پتانسیم تبادلی.*، معنی دار

در سطح ۵ درصد $\leq P \leq 0.05$ ، معنی دار در سطح یک درصد $0.01 \leq P \leq 0.001$ ، معنی دار در سطح 1% درصد ۱ در سطح $0.001 \leq P \leq 0.01$ ، معنی دار در سطح یک درصد $0.01 \leq P \leq 0.001$ ، معنی دار در سطح 1% درصد ۱ در سطح $0.001 \leq P \leq 0.01$



شکل ۱. رابطه بین نسبت پتاسیم تبادلی (EPR) و نسبت جذب پتاسیم (PAR) در خاک‌های مورد مطالعه

روابط Q/I

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

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

ظرفیت بافری پتانسیل (PBC^K)

دامنه تغییرات PBC در خاک‌ها ۱۱ تا ۱۰۸ cmol_c kg⁻¹ (میانگین ۳۸ mol L⁻¹) (میانگین ۰.۵ mol L⁻¹) بود (جدول ۴). مقادیر PBC خاک‌ها متأثر از عوامل مختلفی است. یکی از این عوامل K_G می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که با کاهش درصد پتانسیم تبادلی، K_G افزایش می‌یابد (۲۶). هم‌چنین مقادیر PBC خاک‌ها متأثر از مقدار ماده آلی آنهاست. تحقیقات نشان داده است که علی‌رغم گزینش پذیری کم مواد آلی نسبت به پتانسیم 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 پتانسیم‌های موجود در فضای بین لایه‌ای ممانعت می‌کند. بدین ترتیب گزینش پذیری نسبت به پتانسیم افزایش می‌یابد. برخی محققان نیز علت این امر را

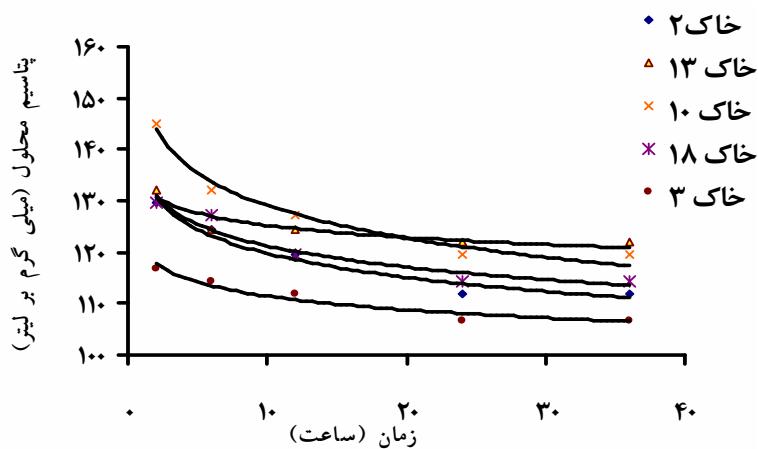
رابطه معنی‌دار بین مقادیر PAR و EPR توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (۶ و ۱۰). گرچه ضرایب معادله به دست آمده با آنچه توسط دافی و همکاران (۱۰) و خراسانی و حق نیا (۶) گزارش شده مشابه دارد، ولی تفاوت ضرایب تبیین زیاد است. علت تفاوت در شب و عرض از مبدأ در روابط فوق به تفاوت‌های کانی شناسی رس، میزان پتانسیم تبادلی و میزان مواد آلی خاک‌ها نسبت داده شده است (۲۶). شب رابطه خطی PAR و EPR یعنی K_G (ضرایب گزینش پذیری گاپون) تابع فراوانی مکان‌های اختصاصی جذب پتانسیم و نیز سطح پتانسیم تبادلی است به طوری 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 پتانسیم تبادلی خاک‌ها ۰/۸۰ تا ۹/۷ درصد (میانگین ۳/۳ درصد) است (جدول ۲). برخی محققان از EPP به عنوان شاخص ارزیابی وضعیت پتانسیم خاک استفاده کرده‌اند. حد بحرانی درصد پتانسیم تبادلی برای رشد بهینه گیاهان بین ۱/۵ تا ۲/۵ درصد گزارش شده است (۹). بنابراین گرچه میزان پتانسیم تبادلی برخی از خاک‌های تحت کشت آفتابگردان پایین است ولی به دلیل CEC نه چندان بزرگ این خاک‌ها، درصد پتانسیم تبادلی به غیر از خاک‌های سری عبداله کندي (۱)، سری قطرور (۶) و سری خوی (۷ و ۱۰) به زیر حد بهینه کاهش نیافته است.

پتانسیم قابل استخراج با اسید نیتریک مولار جوشان

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

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

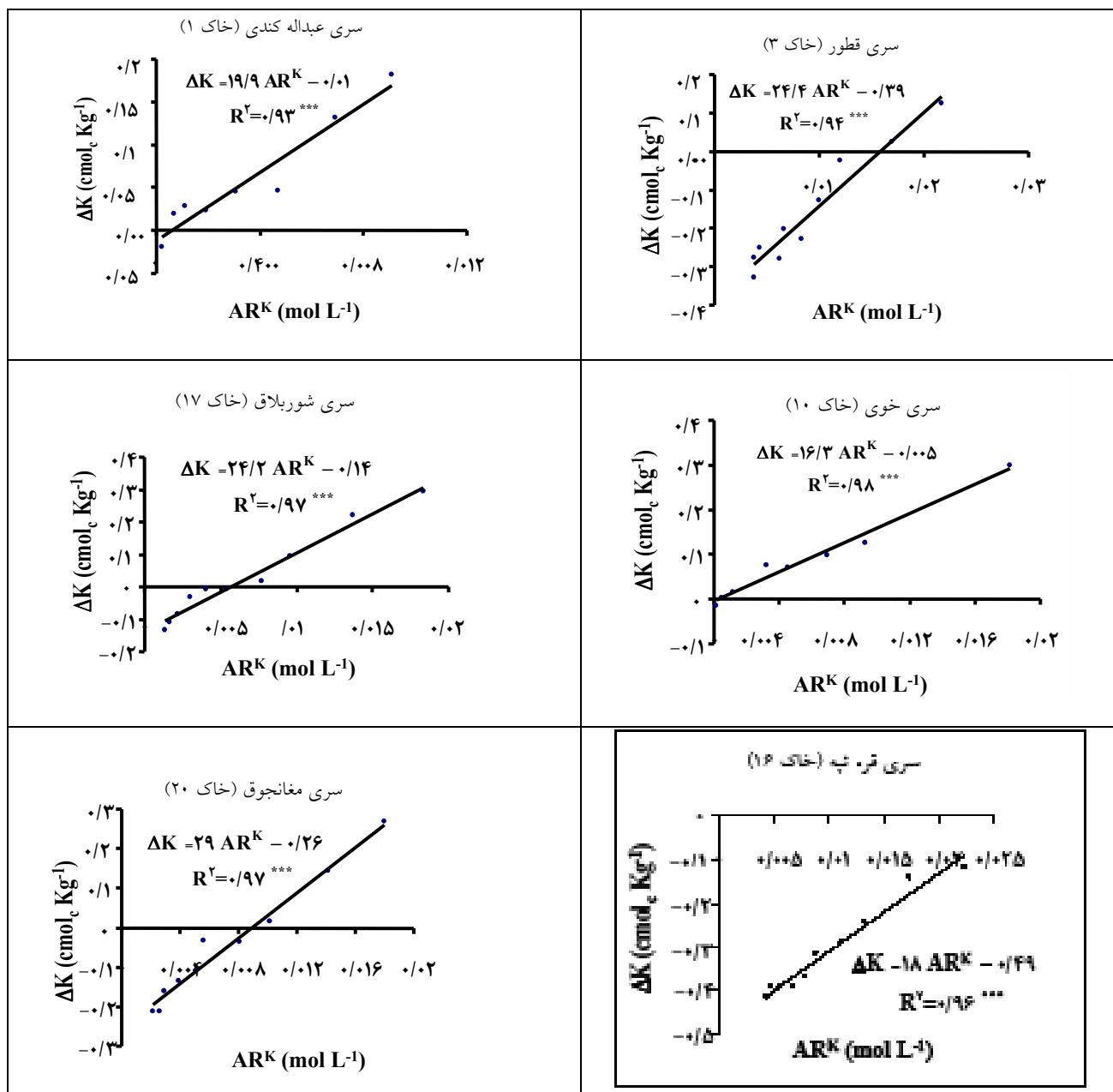


شکل ۲. تغییرات غلظت پتاسیم اضافه شده با زمان

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

ΔK^0 $\text{cmol}_{\text{c}} \text{kg}^{-1}$	AR_o^K $(\text{mol L}^{-1})^{0.5}$	AR_e^K $(\text{mol L}^{-1})^{0.5}$	E_K cal mol^{-1}	K_G $(\text{mol L}^{-1})^{-0.5}$	PBC^K $(\text{cmole kg}^{-1}) / (\text{fmol L}^{-1})^{0.5}$	شمار خاک
۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۵۰	-۴۵۰۰	۱/۵	۲۰	۱
۰/۱۸	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۴۳	-۳۲۲۰	۲/۴	۴۲	۲
۰/۳۹	۰/۰۰۳۸	۰/۰۱۶	-۲۴۵۰	۱/۲	۲۴	۳
۰/۱۰	۰/۰۰۰۵۰	۰/۰۰۱۰	-۴۰۸۰	۳/۶	۹۸	۵
۰/۲۲	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۲۰	-۳۶۷۱	۳/۹	۱۰۸	۷
۰/۳۱	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۱۱	-۲۶۸۹	۱/۶	۲۹	۸
۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۴	-۵۲۴۵	۲/۵	۴۲	۹
۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۳۱	-۴۷۹۲	۱/۲	۱۶	۱۰
۰/۰۸۰	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۲۵	-۳۵۵۵	۱/۶	۳۲	۱۳
۰/۴۴	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۹۷	-۲۷۵۵	۱/۸	۴۶	۱۵
۰/۴۹	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۲۷	-۲۱۳۵	۰/۸۸	۱۸	۱۶
۰/۱۴	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۵۸	-۳۰۵۳	۱/۶	۲۴	۱۷
۰/۳۲	۰/۰۰۲۶	۰/۰۱۲	-۲۶۱۶	۱/۴	۲۶	۱۸
۰/۱۳	۰/۰۰۱۳	۰/۰۱۲	-۲۶۰۲	۰/۸۸	۱۱	۱۹
۰/۲۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۸۹	-۲۷۹۳	۱/۵	۲۹	۲۰
۰/۲۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۷۶	-۳۳۴۴	۱/۸	۳۸	میانگین

K_G : ضریب گاپون; PBC^K : ظرفیت بافری پتاسیل; ΔK^0 : نسبت فعالیت پتاسیم در محلول 0.01 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

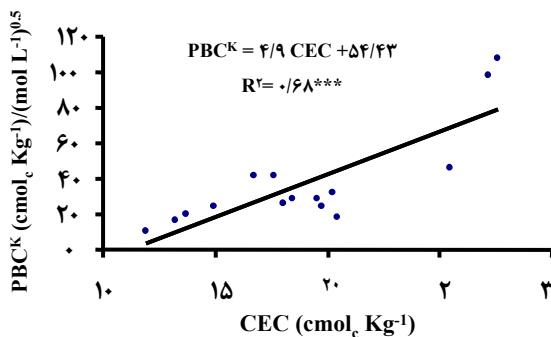
خاک‌ها $(mol L^{-1})^{0.5}$ ۴/۹ می‌باشد. آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت شبیه (K_G) مربوط به شکل‌های CEC و PBC^K معنی‌دار نیست. رابطه خطی بین مقادیر PBC^K و CEC در مطالعات جیمنزو پارا (۱۵) با ضریب تبیین بالایی است. رابطه مذبور در تحقیقات اسپارکس و لیهارد (۲۸) نیز گزارش شده است. هم‌چنین حسین پور و کلباسی (۵) در

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 رابطه خطی معنی‌داری ($P \leq 0.001$) به دست آمد (شکل ۴). دامنه تغییرات $K_G = PBC^K/CEC$ (mol L⁻¹) تا $3/9$ (۰/۸۸) (۵) (میانگین $K_G = PBC^K/CEC$ (mol L⁻¹)^{-0.5) است (جدول ۵). با توجه به شکل ۵}

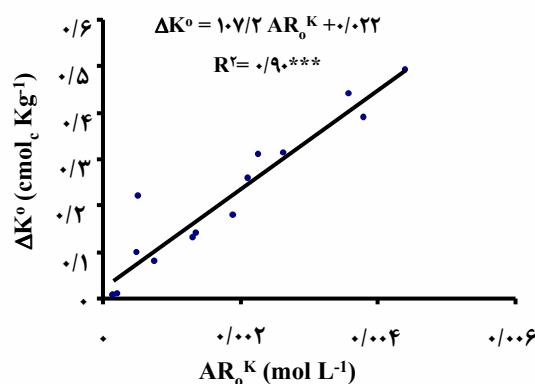
جدول ۵. ضرایب همبستگی (r) بین پارامترهای Q/I و شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های تحت کشت آفتابگردان

AR_e^K	AR_o^K	EPP	K^o	PBC^K	K_G	K_{nex}	K_{so}	K_{ex}	K_{so}
								$0/023*$	
						$-0/315^{ns}$	$-0/012^{ns}$		K_{nex}
					$-0/117^{ns}$	$-0/393^{ns}$	$0/068^{ns}$		K_G
				$0/963^{***}$	$-0/201^{ns}$	$-0/270^{ns}$	$0/182^{ns}$	PBC^K	
			$0/059^{ns}$	$-0/236^{ns}$	$-0/302^{ns}$	$0/670^{**}$	$0/681^{**}$	ΔK^o	
		$0/666^{**}$	$-0/098^{ns}$	$-0/162^{ns}$	$-0/463^{ns}$	$0/562*$	$0/931^{***}$	EPP	
	$0/705^{**}$	$0/951^{***}$	$-0/299^{ns}$	$-0/447^{ns}$	$-0/231^{ns}$	$0/776^{***}$	$0/649^{**}$	AR_o^K	
$0/892^{***}$	$0/547*$	$0/836^{***}$	$-0/404^{ns}$	$-0/508^x$	$-0/251^{ns}$	$0/675^{**}$	$0/439^{ns}$	AR_e^K	
$0/832^{***}$	$0/844^{***}$	$0/475^{ns}$	$0/839^{***}$	$-0/259^{ns}$	$-0/421^{ns}$	$0/436^{ns}$	$0/825^{***}$	$0/416^{ns}$	E_K

K_{ex} ، پتاسیم تبادلی؛ K_{so} ، پتاسیم محلول؛ K_{nex} ، پتاسیم غیرتبادلی؛ K_G ، ضریب کاپون؛ PBC^K ، ظرفیت بافری پتانسیل؛ ΔK^o ، پتاسیم قابل دسترس؛ EPP، درصد پتاسیم تبادلی؛ AR_o^K ، نسبت فعالیت پتاسیم در محلول $M CaCl_2$ ؛ AR_e^K ، نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم؛ E_K ، انرژی تبادلی پتاسیم. *: معنی دار در سطح $P \leq 0/05$, **: معنی دار در سطح $P \leq 0/01$, ***: معنی دار در سطح $P \leq 0/001$.



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



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

AR_e^K) توسط اسپارکس و لیبیارد (۲۸) گزارش شده است. آنان نشان دادند که در اثر کشت متمنکز گیاهان چند ساله (چاودار و چمن)، نسبت فعالیت پتابسیم کاهش یافته و مقدار پتابسیم قابل استفاده نیز از ۴۲۰ به ۹۰ میلی گرم در کیلوگرم رسیده است. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌داری بین پارامتر AR_e^K و پتابسیم محلول ($P \leq 0.01$) وجود دارد (جدول ۵).

هم‌چنین با توجه به نتایج به دست آمده AR_e^K همبستگی معنی‌داری با $EPP \leq 0.05$ (P دارد ($P = 0.30$ *). نتیجه مشابهی، توسط طجینتزو پسارا (۱۵) $= 0.076$, $r^2 = 0.0037$ $AR_e^K = 0.0029 EPP + 0.0005$ (AR_e^K) گزارش شده است. هم‌چنین حسین پور و کلباسی (۵) رابطه بین AR_e^K و EPP را به صورت $EPP = 8/2 AR_e^K + 1/65$, $r^2 = 0.56**$ (EPP = $8/2 AR_e^K + 1/65$, $r^2 = 0.56**$) به دست آورده‌اند. وجود رابطه معنی‌دار بین پارامترهای AR_e^K و EPP بیانگر آن است که فعالیت پتابسیم در محلول خاک به وسیله فاز تبادلی کترل می‌شود.

پتابسیم به سهولت قابل تبادل (ΔK^0)

دامنه تغیرات مقادیر ΔK^0 $0.0050 \Delta K^0$ $0.00050 \Delta K^0$ $0.000050 \Delta K^0$ (به طور متوسط $0.021 \Delta K^0$ (cmol_e kg⁻¹) است (جدول ۴). مقادیر ΔK^0 خاک نه تنها به نوع کانی‌های رسی خاک، بلکه به مقدار پتابسیم تبادلی و نیز مقدار پتابسیم کودی مصرف شده وابسته است (۲۶). همان‌طوری که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود بین مقادیر پتابسیم تبادلی (K_{ex}) و پتابسیم بسهولت قابل تبادل (ΔK^0) ($P \leq 0.01$) نیز همبستگی معنی‌داری به دست آمده است. ونگ و همکاران (۳۲) نیز همبستگی بالایی را بین پتابسیم تبادلی و پتابسیم آسان قابل تبادل گزارش کرده‌اند. به عقیده ریچ و بلک (۲۲) استات آمونیوم از کانی‌هایی که دارای مکان‌های جذبی اختصاصی برای پتابسیم هستند، پتابسیم بیشتری را استخراج می‌کند. در نتیجه میزان پتابسیم تبادلی بیشتر از پتابسیم آسان قابل تبادل (ΔK^0) خواهد بود. در خاک‌های مورد مطالعه قابل تبادل (ΔK^0) ($P \leq 0.001$) AR_e^K ($P \leq 0.001$) و درصد پتابسیم تبادلی ($P \leq 0.001$) همبستگی معنی‌داری داشت. صمدی (۲۴) نیز همبستگی معنی‌داری را بین AR_e^K و ΔK^0 ($P \leq 0.01$) می‌پوشاند.

خاک‌های مناطق مرکزی و شمالی ایران همبستگی معنی‌داری ($P = 0.066$) را بین دو پارامتر PBC^K و CEC به دست آورده‌اند ($PBC^K = 1/43 CEC - 10/3$). در حالی که در مطالعات الکنغانی 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 معنی‌دار نیست، هر چند که افزایش مقدار ماده آلی باعث افزایش فراوانی مکان‌های تبادلی پتابسیم 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 پتابسیم می‌دانند. ونگ و همکاران (۳۲) نیز نشان دادند که تنها ۳۶ تا ۳۰ 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 پتابسیم به واسطه حضور ماده آلی باعث تغییرات PBC^K شود.

نسبت فعالیت تعادلی پتابسیم (AR_e^K)

دامنه تغییرات AR_e^K خاک‌ها $0.000014 \text{ تا } 0.000027 \text{ mol L}^{-1}$ به طور متوسط $0.000076 \text{ mol L}^{-1}$ است (جدول ۴). مقادیر AR_e^K توسط بکت (۸) و ونگ و همکاران (۳۲) به ترتیب $mol L^{-1}$ $0.00008 \text{ mol L}^{-1}$ و $0.00005 \text{ mol L}^{-1}$ گزارش شده است. وودراف (۳۳) اظهار داشته است که مقادیر AR_e^K بین $0.00027 \text{ تا } 0.00030 \text{ mol L}^{-1}$ به منظور رفع نیاز پتابسیم 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 پتابسیم مواجه شود. مقادیر بیشتر AR_e^K ($mol L^{-1} 0.5 > 0.01$) مواجه شود.

خاک‌های غنی از پتانسیم می‌باشند. بنابراین لازم است که برای رسیدن به رشد ایدال گیاه، در خاک‌های فقیر، از کود پتانسیمی استفاده شود تا مقدار انرژی تبادلی خاک‌ها به حد ایده‌آل برسد.

($r = 0.93^{***}$) برای خاک‌های منطقه ارومیه به دست آورده است. با توجه به وجود همبستگی بالا بین K^0 و ΔK^0 می‌توان مقادیر ΔK^0 خاک‌های مورد مطالعه را از روی مقادیر $K^0 AR_0$ پیش‌بینی کرد (شکل ۵).

نتیجه‌گیری

مقدار پتانسیم 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 پتانسیم تبادلی است. هم‌چنان عدم وجود هم بستگی بین میزان پتانسیم تبادلی و میزان رس و خطی بودن نمودارهای جذبی پتانسیم حاکی از عدم تخلیه پتانسیم غیر تبادلی و اتکای تغذیه گیاه آفتابگردان به پتانسیم تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه است.

انرژی تبادلی پتانسیم (E_K)

دانمه تغییرات E_K خاک‌ها ۲۱۳۵-۵۲۴۵ تا -۳۳۴۴-۳۵۰۰ کالری بر مول (میانگین ۲۷) نشان دادند که انرژی تبادلی پتانسیم در خاک‌ها بین ۴۰۰۰-۲۵۰۰ تا -۳۵۰۰ کالری بر مول متغیر بوده و با کمبود پتانسیم در ارتباط است. محدوده E_K بین ۲۵۰۰-۳۵۰۰ 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 زمرة خاک‌های فقیر و خاک‌های ۳، ۸، ۱۵، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ جزء

منابع مورد استفاده

- اوستان، ش. ۱۳۷۳. بررسی تخلیه پتانسیم از خاک‌های شالیزاری شمال کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- بی‌نام، ۱۳۸۱. اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی. آمارنامه سال زراعی ۸۰-۸۱، وزارت کشاورزی، تهران، ایران.
- سپهر، الف. ۱۳۷۹. بررسی اثرات پتانسیم، منیزیم، گوگرد، و عناصر ریزمغذی روی افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آفتابگردان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- سپهر، الف. و م. ملکوتی ۱۳۸۰. تأثیر سطوح مختلف مصرف پتانسیم و منیزیم بر کمیت و کیفیت آفتابگردان. تغذیه بهینه دانه‌های روغنی، مجموعه مقالات، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تهران.
- حسین پور، ع. و م. کلیاسی. ۱۳۷۹. نسب کمیت - شدت پتانسیم و همبستگی پارامترهای آن با خصوصیات خاک در تعدادی از خاک‌های ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴(۱): ۴۳-۵۶.
- خراسانی، ر. و غ. حق‌نیا. ۱۳۸۱. بررسی تعادل پتانسیم - کلسیم در برخی از خاک‌های آهکی خراسان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶(۳): ۲۵-۳۵.
- 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.
- Beckett, P. H. T. 1972. Critical activity ratios. Adv. Agro. 24:376-412.
- 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.
- 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.
- Evangelou, V. P. and A. D. Parathanas. 1986. Evaluation of potassium quantity-intensity relationship by a computer model employing the Gapon equation. Soil Sci. Soc. Am. 50:58-62.
- 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.