نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره دوم، ۱۳۹۸
۱۹۵-۲۱۰
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15461.3070

شکل‌های پتاسیم خاک و پارامترهای کمیت به شدت (Q/I) پتاسیم و همبستگی آن با برخی خصوصیات خاک در مناطق زیرکشت توتون شمال‌غرب ایران

*رحمت‌اله رنجبر[۱]، ابراهیم سپهر[۲]، عباس صمدی[۳]، محسن برین[۴] و بهنام دولتی[۴]
[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه،
[۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، [۴]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه
تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۱۰

چکیده

سابقه و هدف: پتاسیم نقش حیاتی در افزایش عملکرد و کیفیت توتون (*Nicotiana tabacum*) از جمله به‌سوزی برگ توتون دارد. پتاسیم در خاک به شکل‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد. قابلیت استفاده پتاسیم به تقابل دینامیکی اشکال مختلف پتاسیم در خاک بستگی دارد که درک این دینامیک، سبب بهبود مدیریت حاصلخیزی خاک می‌شود. استفاده از رابطه کمیت- شدت پتاسیم و پارامترهای آن یکی از روش‌های تعیین وضعیت پتاسیم خاک جهت مدیریت مصرف کود می‌باشد. این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت شکل‌های مختلف پتاسیم و پارامترهای روابط کمیت- شدت پتاسیم جهت تعیین علل پایین بودن پتاسیم برگ توتون در شمال‌غرب ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها: نمونه خاک از ۳۰ مزرعه توتون منطقه شمال‌غرب کشور تهیه شد. آزمایش‌های تعادلی جذب در سری غلظتی پتاسیم ۲۰۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر در محلول ۰/۰۱ مولار کلریدکلسیم انجام گرفت. پارامترهای کمیت- شدت از جمله ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم، نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل، انرژی آزاد تبادلی پتاسیم، مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل و مقدار پتاسیم به سختی قابل‌تبادل از منحنی‌های کمیت- شدت محاسبه شد. پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد و روابط آن با پارامترهای کمیت- شدت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی گردید.

یافته‌ها: میانگین پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی خاک‌ها به‌ترتیب ۲۳ (با دامنه ۱۰ تا ۱۱۸)، ۲۰۷ (با دامنه تغییر ٦٤ تا ۵۱۱) و ۵٦۹ (با دامنه ٤٤۳ تا ٦۹۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. شکل‌های مختلف پتاسیم به غیر از پتاسیم محلول با همدیگر و با درصد رس خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. میانگین ظرفیت بافری پتاسیم برابر ۱۰/۲ سانتی‌مول بر کیلوگرم بر مجذور مول بر لیتر، میانگین نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل برابر ۰/۰۰٤۷٦ مجذور مول بر لیتر، میانگین پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل برابر ۰/۰۳۲۰ سانتی‌مول بر کیلوگرم و میانگین پتاسیم به سختی قابل‌تبادل

* مسئول مکاتبه: ranjbarrahim14@gmail.com

برابر ۰/٤٦ سانتی‌مول بر کیلوگرم بود. رابطه پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی مثبت ($r = ۰/٤۲^{*}$) و با مقادیر pH ($r = -۰/۳۷^{*}$) و درصد کربنات کلسیم معادل ($r = -۰/٤۱^{*}$) منفی بود.

نتیجه‌گیری: همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مقدار پتاسیم تبادلی و پتاسیم محلول و همچنین همبستگی معنی‌دار بین پتاسیم تبادلی و پتاسیم محلول در خاک‌های مورد مطالعه، ممکن است به‌دلیل تخلیه پتاسیم تبادلی در خاک‌ها باشد که سبب کاهش میانگین پتاسیم در برگ توتون منطقه مورد مطالعه شده است. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مقادیر شکل‌های تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی پتاسیم نشان داد که بخشی از شکل‌های غیرتبادلی و ساختمانی پتاسیم می‌تواند طی دوره رشد، برای گیاه قابل‌استفاده باشد. برای افزایش غلظت پتاسیم برگ توتون، لازم است خصوصیات خاک با استفاده از روابط کمیت- شدت در توصیه کودی پتاسیم لحاظ گردد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم خاک، تخلیه پتاسیم، توتون، رابطه کمیت به شدت

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهی است. پتاسیم در خاک شامل شکل‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد (۲۳). توزیع شکل‌های پتاسیم خاک به برخی خصوصیات آن از جمله بافت خاک، مقدار و نوع کانی‌های رسی، مقدار ماده آلی، نوع کاربری، رژیم رطوبتی و حرارتی خاک و تکامل خاک بستگی دارد (۳۷). تمام شکل‌های پتاسیم با درصد رس و سیلت ارتباط مستقیم دارد چون رس جایگاه اصلی نگهداری پتاسیم در خاک است (۳۳). خاک‌های دارای مقدار زیادی رس‌های ورمی‌کولیت و میکا، حاوی مقدار زیادی پتاسیم غیرتبادلی هستند (۲۳). گیاهان بخش زیادی از پتاسیم مورد نیاز خود را از فاز محلول خاک برداشت می‌کنند و پتاسیم محلول و تبادلی به‌عنوان دو شکل قابل‌جذب برای گیاه تلقی می‌شوند (۲ و ۱۵). بر اساس مطالعات، دو شکل پتاسیم تثبیت شده و ساختمانی نیز می‌توانند در تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه نقش داشته باشند (۹) ولی به‌دلیل پیچیدگی روابط بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک، پیش‌بینی پتاسیم قابل‌جذب برای گیاهان با استفاده از عصاره‌گیرهایی مانند محلول استات‌آمونیوم صورت می‌گیرد (۳٦) که در این روش خصوصیات خاک مانند درصد و نوع رس‌های غالب خاک و غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک در نظر گرفته نمی‌شود (۵). در واقع، قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاهان به غلظت پتاسیم در محلول خاک (شدت)، ظرفیت یا مقدار کل پتاسیم قابل استفاده در فاز جامد خاک (کمیت) و سرعت تجدید آن در خاک بستگی دارد که سرعت تجدید، تشریح‌کننده سرعت انتقال پتاسیم از فاکتور کمیت به فاکتور شدت است (٤). در رابطه کمیت- شدت پتاسیم در خاک، تغییر غلظت پتاسیم در محلول خاک (عامل شدت) در اثر تغییر غلظت پتاسیم در فاز تبادلی (عامل کمیت) ارزیابی می‌شود، روابط کمیت- شدت می‌توانند درک فوری از وضعیت پتاسیم خاک فراهم کند بنابراین، نسبت به روش عصاره‌گیری پتاسیم با استات‌آمونیوم، اطلاعات بیش‌تری از وضعیت حاصلخیزی خاک ارائه می‌دهد و پارامترهایی از جمله ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم و پتاسیم جذب‌شده در محل‌های اختصاصی جذب محاسبه می‌شوند که در ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک و انجام توصیه کودی مهم هستند. داده‌های حاصل از رابطه کمیت- شدت را می‌توان با انواع مدل‌های

هم‌دماهای جذب از جمله مدل فروندلیچ و لانگ‌مویر برازش نمود. ثابت انرژی پیوند لانگ‌مویر (K_L) شدت تمایل جذب‌شونده روی جاذب را نشان می‌دهد (۱۱) و مقدار آن در خاک‌های رسی و با مقدار پایین پتاسیم تبادلی اولیه بیش‌تر است (۳۹). حداکثر ظرفیت بافری (MBC) خاک از حاصل‌ضرب K_L و حداکثر جذب (q_{max}) به‌دست می‌آید که توانایی خاک را در تامین مجدد پتاسیم محلول نشان می‌دهد و عامل مهم در ارزیابی وضعیت پتاسیم یک خاک است. MBC با مقدار ماده آلی و اسیدیته پتانسیل خاک همبستگی مستقیم و با اشباع بازی خاک رابطه معکوس دارد (۱۱).

از روابط کمیت- شدت در ارزیابی تامین پتاسیم از خاک به گیاهان و ظرفیت بافری آن‌ها استفاده می‌شود (۵). اشنایدلر و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از روابط کمیت- شدت، توصیه کودی دقیق‌تری را بر اساس پارامترهای مذکور انجام دادند (۳۲). صمدی (۲۰۰۶) با بررسی رابطه بین شاخص‌های گیاهی گوجه‌فرنگی و پارامترهای کمیت- شدت، همبستگی معنی‌دار و مثبتی را بین پتاسیم قابل‌استفاده و پارامتر پتاسیم آسان قابل‌تبادل به‌دست آوردند (۳۰). دولتی و همکاران (۲۰۰۸) در مزارع آفتابگردان منطقه خوی، رابطه بین پارامترهای منحنی‌های کمیت- شدت را مورد بررسی قرار دادند (۱٤). صمدی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تأثیر کشت مستمر روی شکل‌های مختلف پتاسیم و خصوصیات جذب آن نشان داد که کشت گیاه و مصرف کود پتاسیمی ذخایر مختلف پتاسیم خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۳۱). پیغامی خوشه‌مهر و همکاران (۲۰۱۵) در خوی نشان دادند که مقدار غلظت تعادلی پتاسیم در خاک‌های زراعی نسبت به مقدار آن‌ها در خاک‌های غیرزراعی مجاور کاهش معنی‌داری داشت (۲۷). اختر و دیکسون (۲۰۰۹) نشان دادند که خاک‌های با مقدار ظرفیت بافری پتاسیم کم، دارای نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل بیش‌تری هستند و ظرفیت بافری پتاسیم پایین خاک‌ها را به باز شدن لایه‌های میکا نسبت دادند (۱).

کشت عمده توتون در شمال‌غرب کشور، در کردستان و آذربایجان‌غربی واقع است و رقم غالب کشت، توتون بارلی می‌باشد که یک رقم پرنیاز نسبت به پتاسیم می‌باشد (۲۹). به‌سوزی برگ توتون به‌عنوان یکی از صفات کیفی، از عوامل کلیدی در تعیین قابلیت استفاده آن در صنعت توتون است. طبق نتایج مطالعات، میزان به‌سوزی برگ توتون با نمک‌های آلی پتاسیم در برگ مرتبط است (۲۲). غلظت پتاسیم و کیفیت توتون در ایران در مقایسه با توتون باکیفیت وارداتی، پایین‌تر است (۱۳). به‌نظر می‌رسد کاهش کیفیت محصول توتون به‌دلیل کشت مداوم توتون و احتمال تخلیه پتاسیم قابل‌استفاده خاک در شرایط خاک‌های این منطقه باشد و علی‌رغم اهمیت پتاسیم در عملکرد کمی و کیفی توتون، تاکنون شکل‌های مختلف پتاسیم و رفتار جذب پتاسیم در خاک‌های زیرکشت توتون در منطقه شمال‌غرب ایران بررسی نشده است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی شکل‌های مختلف پتاسیم و پارامترهای کمیت به شدت جذب پتاسیم در برخی از خاک‌های زیرکشت توتون در منطقه شمال‌غرب ایران است تا با درک وضعیت پتاسیم در خاک و بررسی ارتباط آن‌ها با برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک بتوان مدیریت کودی را در مزارع توتون بهبود بخشید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: عمده کشت توتون شمال‌غرب کشور در شمال استان آذربایجان‌غربی و غرب استان کردستان واقع است که نمونه‌برداری خاک از مزارع توتون این نواحی صورت گرفت. میانگین ۱۰ ساله بارندگی سالانه و دمای سالانه در شمال

استان آذربایجان غربی به‌ترتیب ۳٤٥ میلی‌متر و ۱۳/۹ درجه سلسیوس و در غرب استان کردستان به‌ترتیب ۷۹٤ میلی‌متر و ۱۳/٥ درجه سلسیوس است. رژیم رطوبتی و حرارتی به‌ترتیب در آذربایجان‌غربی و کردستان زریک و مزیک است.

مشخصات و خصوصیات خاک‌ها: ۳۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری) از مزارع توتون منطقه شمال‌غرب کشور تهیه شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از جمله بافت به روش هیدرومتری (۷)، کربن آلی به اکسایش تر (٤۰)، کربنات‌کلسیم معادل (۲۱)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات‌آمونیم یک مولار چاپمن (۱۹٦٥) اندازه‌گیری شد (۸).

شکل‌های پتاسیم خاک: شکل‌های محلول، تبادلی، غیرتبادلی و پتاسیم کل در خاک‌های زراعی به‌ترتیب توسط آب مقطر (در نسبت ۱:۱۰) (۱۹)، استات‌آمونیوم یک مولار در pH=7 (۲٥) و اسیدنیتریک یک مولار[1] جوشان (۱۷) و با هضم نمونه در مخلوطی از اسیدهای هیپوکلریک[2]، نیتریک و فلوریدریک[3] تعیین شد (۱۹). مقدار پتاسیم غیرتبادلی، با کم کردن مقدار پتاسیم محلول و تبادلی از پتاسیم عصاره‌گیری‌شده با اسیدنیتریک مولار جوشان و پتاسیم ساختمانی نیز با کم کردن پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسیدنیتریک جوشان از پتاسیم کل به‌دست آمد. مقدار پتاسیم تبادلی نیز با کم کردن پتاسیم محلول در آب از مقدار پتاسیم عصاره‌گیری‌شده با استات آمونیم به‌دست آمد. مقدار پتاسیم با استفاده از شعله‌سنج مدل SHERWOOD410 اندازه‌گیری شد. نسبت جذبی پتاسیم (PAR) و نسبت پتاسیم تبادلی (EPR نیز محاسبه گردید.

$$PAR = \frac{[K]}{\sqrt{[Ca + Mg]}} \qquad (۱)$$

$$EPR = \frac{[K_{ex}]}{[CEC - K_{ex}]} \qquad (۲)$$

که در آن، K، Ca و Mg به‌ترتیب غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع خاک می‌باشد. K_{ex} و CEC به‌ترتیب مقدار پتاسیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر حسب سانتی‌مول پتاسیم یا بار بر کیلوگرم است.

آزمایش‌های جذب: به ۲/٥ گرم نمونه خاک، ۲٥ میلی‌لیتر محلول ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم حاوی سری غلظت‌های پتاسیم (۰، ۱۰، ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱٥۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از منبع KCl اضافه شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲٤ ساعت در دمای ۲٥ درجه سلسیوس توسط شیکر دورانی شیک شدند، نمونه‌ها به‌مدت ٥ دقیقه با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و پتاسیم در محلول صاف شده با استفاده از دستگاه شعله‌سنجی اندازه‌گیری شد. تغییر در پتاسیم تبادلی (ΔK) از تفاوت غلظت پتاسیم در محلول اولیه و محلول تعادلی و با استفاده از رابطه ۳ به‌دست آمد.

$$\Delta K = \frac{[C_0 - C] \ . \ V}{M_s} \qquad (۳)$$

که در آن، C_0 و C به‌ترتیب غلظت اولیه و تعادلی پتاسیم ($mg.L^{-1}$)، V حجم محلول (ml) و M_s جرم خاک خشک (g) می‌باشد. ΔK یا فاکتور کمیت (Q) پتاسیم (بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم)، مقدار پتاسیمی که جذب یا آزاد می‌شود و از تفاضل غلظت پتاسیم اولیه و پتاسیم تعادلی خاک به‌دست می‌آید. ΔK مثبت بیانگر جذب پتاسیم توسط خاک و ΔK منفی بیانگر رهاسازی پتاسیم در خاک می‌باشد. قدرت یونی با مدل تجربی (رابطه ٤) محاسبه شد.

1- HNO_3, 1M
2- HClO
3- HF

$$I = 0.0127\ EC \qquad (٤)$$

که در آن، I قدرت یونی با واحد میلی‌مول بر لیتر و EC میزان هدایت الکتریکی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. سپس ضرایب فعالیت یون‌ها (γ_i) با استفاده از معادله دیویس محاسبه گردید (۱۰).

$$Log\ \gamma_i = -0.509\left(z_i^2 \frac{I^{0.5}}{1+I^{0.5}}\right) \qquad (٥)$$

فعالیت هر یون، با استفاده از رابطه $ai=C\gamma_i$ و غلظت آن محاسبه شد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم از معادله ٦ استفاده شد.

$$ARK = \frac{aK}{\sqrt{a(Ca+Mg)}} \qquad (٦)$$

که در آن، AR^K نسبت فعالیت پتاسیم (عامل شدت)، aK فعالیت پتاسیم و a(Ca+Mg) فعالیت کلسیم و منیزیم می‌باشد و بقیه پارامترهای جذب با ترسیم مقادیر ΔK در مقابل AR^K و با ایجاد منحنی‌های کمیت- شدت (AR^K-ΔK) به‌دست آمدند، به‌طوری‌که AR_e^k نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم همان AR^K است وقتی که $\Delta K=0$ باشد. برای تعیین انرژی آزاد تبادل پتاسیم از رابطه ۷ استفاده شد.

$$E_K = RTLnAR_e^K \qquad (٧)$$

که در آن، R ثابت گازها، T نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم و AR_e^k نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل می‌باشد. پتاسیم آسان قابل تبادل (ΔK_0) عبارت است از عرض از مبدا بخش خطی نمودار Q/I و در واقع معیاری است از پتاسیم به سهولت قابل تبادل که نشانگر پتاسیم تبادلی در مکان‌های غیراختصاصی موجود در سطوح خارجی کانی‌ها و سطوح قاعده‌ای کانی‌های رسی و نیز در لایه دوگانه اطراف کلوئیدهای آلی وجود دارد. پتاسیم به سختی قابل تبادل (K_x) شاخصی از مقدار پتاسیم جذب‌شده در محل‌های اختصاصی است و در مقایسه با سطوح تبادلی، پتاسیم را با قدرت بیش‌تری نگهداری می‌کنند. ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم PBC^K توان بالقوه را برای تامین یک AR^K معین نشان می‌دهد و از شیب منحنی کمیت- شدت به‌دست می‌آید. روابط پارامترهای کمیت- شدت با شکل‌های پتاسیم و برخی از خصوصیات خاک و آماره‌های توصیفی با نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک: محدوده مقادیر رس، سیلت و شن در خاک‌های مورد نمونه‌برداری به‌ترتیب ۱۰/٦ تا ٤٤/٤ (میانگین ۲۸/۷)، ۳۱/٤ تا ٦۱/٤ (میانگین ٤٤/۸) و ۱٤/٤ تا ٥۰/۸ (میانگین ۲٦/٤) و دامنه تغییر آن‌ها به‌ترتیب ۳۳/۸، ۳۰/۰ و ۳٦/٤ و بافت خاک لوم سیلتی تا رسی متغیر است. محدوده pH خاک‌ها از ٦/۱۷ تا ۷/۷۸ (میانگین ۷/۰۷)، محدوده کربنات کلسیم از ۰/۱۰ تا ۲٥/۲ درصد (میانگین ۷/۷۱ درصد)، محدوده کربن آلی ۰/۳۰ تا ۱/۳۹ درصد (میانگین ۰/۸٤ درصد)، دامنه مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۰/٦ و با میانگین ۱۹/۲۸ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم بود (جدول ۱).

شکل‌های مختلف پتاسیم: در خاک‌های مورد مطالعه، درصد پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی به‌طور میانگین ۰/۳٥، ۳/۰٥، ۸/٤٦ و ۸۸/۱ درصد بود (جدول ۲) که در مقایسه با نتایج زارعیان و همکاران (۲۰۱۷) در دشت قره‌باغ استان فارس، سهم پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی کم‌تر و پتاسیم غیرتبادلی بیش‌تر است که دلیل آن احتمال تخلیه پتاسیم تبادلی است (٤۲).

غلظت پتاسیم محلول در خاک‌ها (نسبت ۱:۱۰ خاک به آب) بین ۱۰ تا ۱۱۸ و میانگین ۲۳ میلی‌گرم

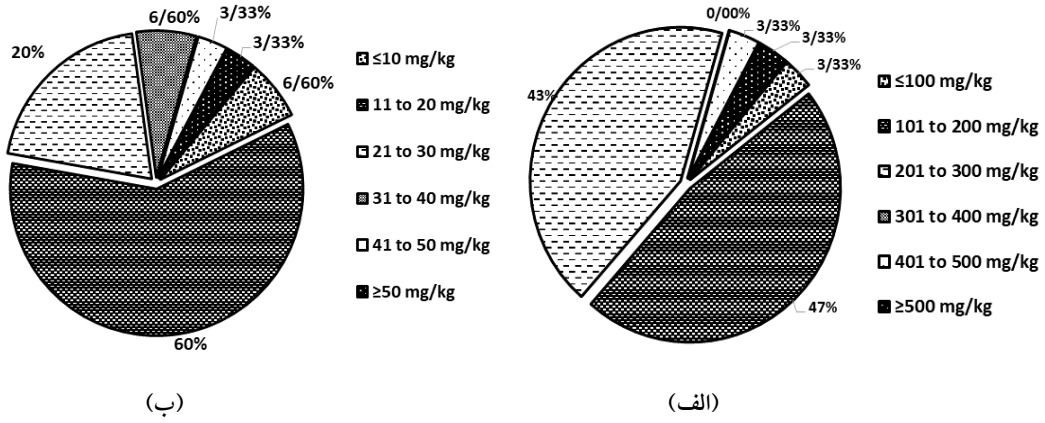
بر کیلوگرم بود (جدول ۲). بیش‌ترین پتاسیم محلول (۱۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک شماره ۲۰ با مقدار پتاسیم تبادلی (۵۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کم‌ترین مقدار پتاسیم محلول (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک شماره ٦ و ١٤ مشاهده گردید. مقدار پتاسیم محلول خاک (در نسبت ۱:۱۰) در ٦٦ درصد خاک‌های مورد پژوهش کم‌تر از ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۱ الف). به عقیده صمدی (۲۰۰٦) غلظت پایین پتاسیم محلول خاک به احتمال زیاد مربوط به تمایل بالای سطوح جذبی رس‌های ۲:۱ خاک برای جذب پتاسیم باشد (۲۹). به عقیده تاندون (۱۹۹۸)، خاک‌های با کم‌تر از ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم محلول، از نظر پتاسیم فقیر هستند (۳۸). البته غلظت کلسیم و منیزیم به همراه پتاسیم (عامل شدت) و تداوم تامین پتاسیم از سوی خاک برای گیاه (عامل کمیت) نیز لازم است در نظر گرفته شود.

جدول ۱- شاخص‌های آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Statistical indices of some chemical and physical characteristics of studied soil samples.

انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	ویژگی Property
0.394	7.07	7.78	6.17	واکنش خاک (pH)
0.653	0.66	3.13	0.17	هدایت الکتریکی ($EC\ (dS\ m^{-1})$)
7.390	7.71	25.2	0.10	کربنات کلسیم معادل (٪) CCE
0.287	0.84	1.39	0.30	کربن آلی (٪) Organic carbon
2.900	19.3	23.0	12.4	ظرفیت تبادل کاتیونی ($CEC\ (cmol_c\ kg^{-1})$)
2.580	4.07	12.8	0.8	کلسیم + منیزیم (meq/L) Ca+Mg
104.5	230.2	629.0	74.0	پتاسیم قابل‌جذب ($K_{av}\ (mg\ kg^{-1})$)
10.45	28.7	44.4	10.6	رس (٪) Clay
7.480	44.8	61.4	31.4	سیلت (٪) Silt
9.050	26.4	50.8	14.4	شن (٪) Sand

EC: Electrical conductivity, CCE: Total calcium carbonate equivalent, CEC: Cation-exchange capacity.



شکل ۱- توزیع نسبی محدوده‌های مختلف پتاسیم تبادلی (الف) و پتاسیم محلول (ب) در نمونه‌های خاک.

Figure 1. Relative distribution of soil exchangeable potassium (a) and soluble potassium (b) ranges in soil samples.

مقدار پتاسیم تبادلی خاک‌ها ٦٤ تا ٥١١ (میانگین ٢٠٧/٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود (جدول ٢). خاک ٢٠ بیش‌ترین پتاسیم تبادلی (٥١١ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک شماره ٦ کم‌ترین مقدار پتاسیم تبادلی (٦٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) را داشت. توزیع نسبی دامنه‌های مختلف مقادیر پتاسیم تبادلی خاک‌های مورد پژوهش در شکل (١- الف) آورده شده است. در مقایسه با نتایج برخی پژوهش‌ها (٣ و ١٤)، مقدار پتاسیم تبادلی در خاک‌های مورد پژوهش کم‌تر است که یکی از دلایل آن، کمی درصد رس در خاک‌های پژوهش حاضر در مقایسه با درصد رس خاک‌های پژوهش‌های مذکور است و دلیل دیگر آن می‌تواند به تخلیه پتاسیم تبادلی اغلب خاک‌ها مربوط باشد. همبستگی معنی‌دار بین پتاسیم تبادلی و درصد رس و همچنین پتاسیم تبادلی و پتاسیم محلول خاک‌ها وجود داشت که به عقیده شارپلی و بیول (١٩٨٧) وجود چنین همبستگی ممکن است به تخلیه پتاسیم تبادلی مربوط باشد (٣٤).

دامنه تغییرات پتاسیم غیرقابل‌تبادل ٦٩٠-٤٤٣ (میانگین ٥٦٩ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. بیش‌ترین پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های شماره ١ و ٢٠ و کم‌ترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک شماره ٢٣ مشاهده گردید. در مقایسه با نتایج برخی پژوهش‌ها (٣)، مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مورد پژوهش کم‌تر است که دلیل آن کمی درصد رس در خاک‌های مورد مطالعه در مقایسه با خاک‌های شهرکرد و احتمال تخلیه نسبی پتاسیم غیرتبادلی خاک در مقایسه با خاک‌های مبارکه اصفهان باشد (٣).

جدول ٢- شاخص‌های آماری شکل‌های مختلف پتاسیم و پارامترهای کمیت- شدت (Q/I) در خاک‌های مورد مطالعه.

Table 2. Statistical indices of potassium forms and Q/I parameters in studied soil samples.

انحراف معیار St. deviation	میانگین Mean	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	ویژگی Property
19.91	23.1	118.0	10.0	پتاسیم محلول K_{so} ($mg\ kg^{-1}$)
92.45	207.2	511.0	64.0	پتاسیم تبادلی K_{ex} ($mg.kg^{-1}$)
74.98	569	690	443	پتاسیم غیرتبادلی K_{nex} ($mg.kg^{-1}$)
752.9	5928	7555	4836	پتاسیم ساختمانی K_{st} ($mg.kg^{-1}$)
:10.45	10.2	56.1	3.42	ظرفیت بافری پتاسیم PBC^K $cmol\ kg^{-1}/(mol\ L^{-1})^{0.5}$
0.0049	0.0048	0.0275	0.0002	نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل AR_e^K ($(mol\ L^{-1})^{0.5}$)
0.022	0.032	0.115	0.0026	پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل ΔK_0 ($cmol\ kg^{-1}$)
0.221	0.465	1.251	0.249	پتاسیم به سختی قابل‌تبادل K_x ($cmol\ kg^{-1}$)
559.9	-3364	-2128	-5151	انرژی آزاد تبادلی پتاسیم E_K ($cal\ mol^{-1}$)

K_{so}: Solution K, K_{ex}: Exchangeable, K_{nex}: Non-exchangeable K, K_{st}: Structural potassium, PBC^K linear potential buffering capacity, the soil solution K activity ratio at equilibrium: AR_e^K, ΔK_0: Readily exchangeable K, K_x: Specific K sites, E_K :Energy of exchange of K.

رابطه بین شکل‌های پتاسیم خاک و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک: مقدار پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی ($r=٠/٤١٨^{*}$) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که این نتیجه بر خلاف نتایج مطالعه زارعیان و همکاران (٢٠١٧) و قلیزاده و همکاران (٢٠١٦) بود که در آن پتاسیم محلول با شکل‌های

مختلف پتاسیم ارتباط معنی‌داری نداشت (۱۶ و ۴۲). همچنین، پتاسیم تبادلی با پتاسیم غیرتبادلی ($r=۰/۴۱۵^{*}$) و پتاسیم ساختمانی ($r=۰/۴۷۰^{*}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).

با افزایش مقدار کربنات‌کلسیم معادل و pH خاک، مقدار پتاسیم محلول خاک به‌طور معنی‌دار کاهش و مقدار پتاسیم تبادلی افزایش یافت و ضریب همبستگی منفی آن‌ها با پتاسیم محلول به‌ترتیب $r = -۰/۴۱۲^{*}$ و ($r = -۰/۳۷۵^{*}$ و با پتاسیم تبادلی به‌ترتیب $r=۰/۴۴۲^{*}$ و $r=۰/۴۷۴^{*}$ بود. ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد رس خاک همبستگی معنی‌دار و مثبت با پتاسیم تبادلی (به‌ترتیب $r=۰/۴۵۷^{*}$، $r=۰/۵۷۷^{**}$)، پتاسیم غیرتبادلی (به‌ترتیب $r=۰/۴۰۶^{*}$، $r=۰/۷۸۶^{**}$) و پتاسیم ساختمانی (به‌ترتیب $r=۰/۳۹۲^{*}$، $r=۰/۷۲۳^{**}$) داشتند در حالی‌که با پتاسیم محلول ارتباط معنی‌داری نداشتند (جدول ۳).

جدول ۳- ضریب همبستگی (r) بین شکل‌های پتاسیم و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های مورد مطالعه.

Table 3. Correlation coefficient (r) between potassium forms and some physical and chemical properties of studied soils.

پتاسیم ساختمانی Structural K	پتاسیم غیرتبادلی Non-exchangeable K	پتاسیم تبادلی Exchangeable K	پتاسیم محلول Solution K	خصوصیت خاک Soil property
-0.05^{ns}	-0.11^{ns}	0.42*	1	پتاسیم محلول Solution K
0.47*	0.41*	1	0.42*	پتاسیم تبادلی Exchangeable K
0.85**	1	0.41*	-0.11^{ns}	پتاسیم غیرتبادلی Non-exchangeable K
1	0.85**	0.47*	-0.05^{ns}	پتاسیم ساختمانی Structural potassium
0.12^{ns}	0.11^{ns}	0.47*	-0.37*	واکنش خاک pH
-0.03^{ns}	-0.02^{ns}	0.44*	-0.41*	کربنات‌کلسیم معادل CCE
-0.33^{ns}	-0.32^{ns}	-0.27^{ns}	0.25^{ns}	کربن آلی Organic carbon
0.39*	0.41*	0.46*	-0.28^{ns}	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC
0.72**	0.79**	0.58**	-0.30^{ns}	رس Clay

**، * و ^{ns} به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم همبستگی معنی‌دار است.

**, * and ^{ns} indicate significant correlation in 0.01, 0.05 P-value level and no significant correlation, respectively.
CCE: Total calcium Carbonate equivalent, CEC: Cation exchange capacity

نتایج همبستگی مثبت درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی با شکل‌های مختلف پتاسیم (به غیر از پتاسیم محلول) این پژوهش با نتایج زارعیان و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت که در آن به‌طورکلی به‌جز پتاسیم محلول، سایر شکل‌های پتاسیم با رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند (۴۲) چون شکل‌های مختلف پتاسیم شامل تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی در بخش رس بیش‌تر از پتاسیم موجود در بخش شن و سیلت است که این امر به‌علت قرار گرفتن کانی‌های غنی از پتاسیم در بخش ریز خاک است (۲۶). پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی در مقایسه با سایر شکل‌های پتاسیم، همبستگی بالایی با درصد رس خاک داشتند این نتایج (به غیر از پتاسیم محلول) با نتایج پژوهش خرمالی و همکاران (۲۰۰۷) در استان کردستان مطابقت داشت که نشان دادند همه شکل‌ها پتاسیم با افزایش درصد رس به‌خصوص ایلایت، افزایش یافت (۱۸). همچنین، شارپلی و بیول (۱۹۸۷) رابطه مثبت و معنی‌داری بین درصد رس و

میزان پتاسیم تبادلی در خاک‌های تحت کشت متمرکز پیدا کردند. به عقیده این پژوهشگران وجود چنین همبستگی به معنی نزدیک شدن به سطح حداقل پتاسیم تبادلی است (۳٤). با توجه به همبستگی معنی‌دار بین درصد رس و میزان پتاسیم تبادلی ($r=۰/۵۸^{**}$) و همچنین همبستگی معنی‌دار بین مقدار پتاسیم تبادلی و محلول ($r=۰/٤۲^{*}$) در خاک‌های مورد مطالعه می‌توان گفت در اغلب خاک‌ها تخلیه پتاسیم رخ داده است و سبب کاهش میزان پتاسیم تبادلی به سطح حداقل شده است. رابطه بین دو پارامتر نسبت جذبی پتاسیم (PAR) و نسبت پتاسیم تبادلی (EPR) مثبت و معنی‌دار بود که این نتایج توسط سایر پژوهشگران (۱۲، ۱٤ و ۳۵) نیز به‌دست آمده است. شیب رابطه نسبت جذبی پتاسیم و نسبت پتاسیم تبادلی همان ضریب گزینش‌پذیری گاپون (K_G) است که با افزایش فراوانی مکان‌های اختصاصی جذب و کاهش سطح پتاسیم تبادلی، ضریب گزینش‌پذیری گاپون افزایش می‌یابد.

روابط کمیت- شدت در خاک‌ها: نمودارهای کمیت- شدت خاک‌ها طبق شکل معمول گزارش شده در منابع، عمدتاً در ناحیه جذب (بالای محور xها) قرار داشتند و غالباً در مقادیر متوسط نسبت فعالیت پتاسیم، خطی بودند. به‌دلیل وضعیت متفاوت پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه، دامنه تغییر مقدار پارامترهای کمیت- شدت بیش‌تر بود. مقدار ظرفیت بافری پتاسیم خاک در واقع توانایی بالقوه خاک در تامین فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل را نشان می‌دهد. دامنه مقادیر ظرفیت بافری پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه ۳/٤ تا ٥٦/۱ (با میانگین ۱۰/۲ سانتی‌مول بر کیلوگرم بر مجذور مول بر لیتر بود (جدول ۲). مقادیر بیش‌تر ظرفیت بافری پتاسیم بیان‌گر وضعیت مناسب‌تر خاک از نظر قابلیت استفاده پتاسیم می‌باشد (۵) و خاک توانایی بالایی در ارائه پتاسیم به محلول خاک دارد در حالی‌که خاک دارای ظرفیت بافری پتاسیم پایین، نیاز به کودپاشی متعدد پتاسیم را دارد (۲۰).

نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل معرف شدت پتاسیم و شاخصی از پتاسیم قابل‌جذب است (۵). از آن‌جا که این پارامتر نسبت به کلسیم و منیزیم سنجیده می‌شود بنابراین نسبت به روش اندازه‌گیری مقدار مطلق پتاسیم با استات‌آمونیوم برتری دارد. دامنه و میانگین نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل به‌ترتیب ۰/۰۲۷۳ و ۰/۰۰٤۸ مجذور مول بر لیتر بود (جدول ۲). بکت و بردی (۱۹۷۲) آستانه نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل برای عکس‌العمل گیاه به مصرف کود پتاسیمی را برابر ۰/۰۰۰۵ مجذور مول بر لیتر تعریف کرده‌اند (٦) بر این اساس مقدار نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل در ٤۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه کم و در سایر خاک‌ها مناسب می‌باشد. پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل شاخصی از پتاسیم به سهولت قابل‌استفاده است که در مکان‌های غیراختصاصی نگه‌داری می‌شود. دامنه تغییرات و میانگین پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل به‌ترتیب ۰/۱۱۲ و ۰/۰۳۲ سانتی‌مول بر کیلوگرم بود (جدول ۲). لی‌روکس و سامنر (۱۹٦۸) مشاهده کردند که مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل تخمین بهتری از پتاسیم لبایل[1] خاک را نسبت به پتاسیم قابل‌تبادل می‌دهد (۲۰). مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل در همه خاک‌های مورد مطالعه کم‌تر از مقدار نسبت پتاسیم تبادلی است که به عقیده صمدی (۲۰۰٦) این تفاوت به‌دلیل وجود مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم زیاد است چون استات‌آمونیوم مقدار پتاسیم بیش‌تری را از کانی‌های دارای مکان‌های اختصاصی جذب زیاد، استخراج

1- Labil Potassium

می‌کند (۳۰). عناصر غذایی بر روی سطوح تبادلی در سطح خاک جذب می‌شوند و انرژی آزاد تبادلی پتاسیم مقدار انرژی لازم برای برداشت آن از سطوح جذب به‌عنوان پتانسیل شیمیایی پتاسیم نیز شناخته می‌شود. دامنه مقادیر انرژی آزاد تبادلی پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه از ۵۱۵۱- تا ۲۱۲۸- کالری بر مول می‌باشد (جدول ۲). محدوده انرژی آزاد تبادلی پتاسیم بین ۲۵۰۰- تا ۳۰۰۰- کالری بر مول نشان‌دهنده تعادل مناسب بین پتاسیم و کلسیم می‌باشد و از نظر رشد گیاه مناسب تشخیص داده می‌شود (۳۶) که این خاک‌ها شامل خاک‌های شماره ۳، ٤، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ است. البته مکلین (۱۹۷٦) بیان داشت خاک‌هایی با انرژی آزاد پتاسیم ۱۹۹۵- تا ۳٤۹۳- کالری بر مول، از نظر مقدار پتاسیم قابل‌جذب در حد کفایت می‌باشند (۲٤) انرژی تبادلی کم‌تر از ۲۰۰۰- مربوط به مقادیر زیادی پتاسیم می‌شود که در ارتباط با کلسیم موجود در خاک است (۳٦) که هیچ کدام از خاک‌های این پژوهش را شامل نمی‌شود. غلظت تعادلی پتاسیم از محل تلاقی منحنی جذب پتاسیم با محور Xها، به‌دست می‌آید که در آن، میزان جذب و واجذب برابر است. دامنه تغییرات و میانگین غلظت تعادلی پتاسیم در خاک‌ها به‌ترتیب ۲٦ و ۸/٦۷ میلی‌گرم در لیتر بود. دامنه تغییر پتاسیم به سختی قابل‌تبادل (K_x) بین ۰/۲٤۹ تا ۱/۲۵ (میانگین ۰/٤٦ سانتی‌مول بر کیلوگرم) بود (جدول ۲). مقدار پتاسیم به سختی قابل‌تبادل در همه خاک‌ها نسبت به پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل بیش‌تر است این امر نشان‌دهنده بیش‌تر بودن تعداد مکان‌های جذب اختصاصی پتاسیم از محل‌های جذب غیراختصاصی در این خاک‌ها می‌باشد. صمدی (۲۰۰٦) در مطالعه‌ای در خاک‌های جنوب ارومیه، مقادیر پتاسیم به سختی قابل‌تبادل را ۰/٤۸ تا ۰/۸۸ سانتی‌مول بر کیلوگرم گزارش کرد. خاک حاوی کانی‌های رسی با سایت‌های اختصاصی زیاد برای پتاسیم دارای مقدار پتاسیم به سختی قابل‌تبادل زیادی است و نشان می‌دهد مقادیر قابل‌توجهی از پتاسیم جذب‌شده بر روی مکان‌های با انرژی بالا وجود دارد (۳۰).

رابطه بین پارامترهای کمیت- شدت و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک: مقادیر ظرفیت بافری پتاسیم خاک‌ها تحت‌تأثیر عوامل مختلفی از جمله مقدار ماده آلی خاک و درصد رس خاک قرار گرفت. ظرفیت بافری پتاسیم همبستگی منفی و معنی‌دار با کربن آلی ($r= -۰/٤۲^{*}$) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با رس ($r=۰/۸۱^{**}$) داشت (جدول ۵). این نتایج به نتایج ونگ و همکاران (۲۰۰۱) نزدیک بود (٤۱) آنان معتقدند که تغییرات ظرفیت بافری پتاسیم فقط به درصد رس وابسته نبوده و امکان دارد که تغییرات ماهیت سطوح تبادلی پتاسیم به واسطه حضور ماده آلی باعث تغییرات ظرفیت بافری پتاسیم شود (٤۱). همچنین طبق برخی مطالعات، درصد ماده آلی علی‌رغم تأثیر مثبت بر افزایش مکان‌های تبادلی پتاسیم، بر مقدار ظرفیت بافری پتاسیم معنی‌دار نیست (۳۵). حتی پونیا و نایدربود (۱۹۹۰) علت کاهش ظرفیت بافری پتاسیم به واسطه ماده آلی را افزایش دانسیته بار در سطح و نیز کاهش فراوانی مکان‌های با جذب اختصاصی پتاسیم می‌دانند (۲۸).

جدول ٤- همبستگی پارامترهای روابط کمیت- شدت در خاک‌های زیرکشت توتون در شمال‌غرب ایران.

Table 4. Correlation among Q/I parameters on tobacco farming soils in northwest of Iran.

ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم	نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم	پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل	پتاسیم به سختی قابل‌تبادل	انرژی آزاد تبادل پتاسیم	پارامتر کمیت- شدت
PBC^K	AR_e^K	ΔK_0	K_x	E_K	Q/I parameter
			1	-0.77**	K_x
		1	0.13^{ns}	0.03^{ns}	ΔK^0
	1	0.37^{ns}	-0.73**	0.94**	AR_e^K
1	-0.74**	0.35^{ns}	0.99**	-0.76**	PBC^K
-0.51**	0.88**	0.70**	-0.46*	0.81**	EKC_0

**، * و ^{ns} به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم همبستگی معنی‌دار است.

**, * and ^{ns} indicate significant correlation in 0.01, 0.05 P-value level and no significant correlation, respectively. PBC^K: linear potential buffering capacity, ARe^K: The soil solution K activity ratio at equilibrium, ΔK_0 :Readily exchangeable K, K_x: Specific K sites, E_K: Energy of exchange of K.

جدول ۵- همبستگی پارامترهای روابط کمیت- شدت با شکل‌های مختلف پتاسیم و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در خاک‌های زیرکشت توتون در شمال‌غرب ایران.

Table 5. Correlation of Q/I parameters with soil potassium forms and some physicochemical characteristics on tobacco farming soils in northwest of Iran.

غلظت تعادلی پتاسیم	انرژی آزاد تبادل پتاسیم	پتاسیم به سختی قابل‌تبادل	پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل	ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم	نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم	پارامتر کمیت- شدت
EKC_0	E_K	K_x	ΔK_0	PBC^K	AR_e^K	Q/I parameter
0.73**	0.63**	-0.58**	0.10^{ns}	-0.58**	0.68**	Solution K
0.35^{ns}	-0.03^{ns}	0.50*	0.42*	0.11^{ns}	0.22^{ns}	Exchangeable K
-0.05^{ns}	-0.44*	0.82**	0.72**	0.70**	-0.58**	Non-exchangable K
-0.14^{ns}	-0.47*	0.83**	0.52**	0.70**	-0.66**	Structural K
-0.25^{ns}	-0.19^{ns}	0.32^{ns}	-0.10^{ns}	0.30^{ns}	-0.29^{ns}	CCE
0.45*	0.51**	-0.45*	0.42*	-0.42*	0.61**	Organic carbon
0.05^{ns}	-0.05^{ns}	0.32^{ns}	0.49**	0.34^{ns}	-0.06^{ns}	CEC
-0.28^{ns}	-0.43*	0.82**	0.23^{ns}	0.81**	-0.58**	Clay

**، * و ^{ns} به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و عدم همبستگی معنی‌دار است.

**, * and ^{ns} indicate significant correlation in 0.01, 0.05 P-value level and no significant correlation, respectively. PBC^K: linear potential buffering capacity, AR_e^K: The soil solution K activity ratio at equilibrium, ΔK_0 :Readily exchangeable K, K_x: Specific K sites, E_K: Energy of exchange of K, CCE: Total calcium Carbonate equivalent, CEC: Cation exchange capacity.

ظرفیت بافری پتاسیم همبستگی منفی و معنی‌داری با انرژی آزاد تبادلی پتاسیم ($r= -۰/۷۱^{**}$)، نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل ($r= -۰/۷٤^{**}$) و غلظت تعادلی پتاسیم ($r= -۵۱^{**}$) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با پتاسیم به سختی قابل‌تبادل ($r ۰/۹۹^{**}$) داشت (جدول ٤). رابطه منفی و معنی‌دار ظرفیت بافری پتاسیم با نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل نشان داد که خاک‌های با مقادیر ظرفیت بافری پتاسیم

بالا، شدت پتاسیم کم‌تر ولی پایدارتری را نسبت به خاک‌های با مقدار ظرفیت بافری پتاسیم پایین، تامین می‌نمایند. ظرفیت بافری پتاسیم همبستگی منفی با پتاسیم محلول (r= -۰/۵۸**) و غلظت تعادلی پتاسیم (r= -۰/۵۱**) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با پتاسیم ساختمانی (r=۰/۷۰**) و پتاسیم غیرتبادلی (r=۰/۷۰**) داشت (جدول ۵).

غلظت تعادلی پتاسیم با پتاسیم محلول (r=۰/۷۳**) و کربن آلی (r=۰/٤٥**) همبستگی معنی‌داری و مثبت داشت. در حالی‌که رابطه بین غلظت تعادلی پتاسیم با درصد رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد مواد خنثی‌شونده معنی‌دار نبود (جدول ۵).

نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل با رس خاک (r= -۰/۵۸**) همبستگی معنی‌دار و منفی و با کربن آلی خاک (r=۰/٦۱**) رابطه معنی‌دار و مثبت داشت (جدول ۵). هرچه پتاسیم با نیروی بیش‌تری جذب مواضع اختصاصی پتاسیم در کانی‌های رسی شود نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل به حدود ۰/۰۰۱ و کم‌تر از آن کاهش می‌یابد (۱۳). ارتباط منفی بین نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل و درصد رس در این پژوهش با نتایج برخی پژوهش‌ها (۳) مطابقت داشت. اغلب نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل با پتاسیم تبادلی رابطه مثبت و با ظرفیت تبادل کاتیونی و ضریب گزینش‌پذیری گاپون رابطه عکس دارد (۳) در حالی‌که در این پژوهش، علی‌رغم تشابه روند تغییرات بین این پارامترها، رابطه نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل با ظرفیت تبادل کاتیونی و پتاسیم تبادلی غیرمعنی‌دار بود که دلیل آن ممکن است دامنه تغییرات زیاد مقدار پتاسیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های مورد پژوهش باشد. عواملی چون مقدار پتانسیل تثبیت پتاسیم خاک‌ها نیز سبب تغییر این پارامتر می‌شوند که در این پژوهش مقدار پتاسیم غیرتبادلی با نسبت فعالیت پتاسیم در نقطه تعادل رابطه منفی و معنی‌داری (r= -۰/۵۸**) داشت (جدول ۵).

مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل با کربن آلی خاک (r=۰/٦۱**) و ظرفیت تبادل کاتیونی (r=۰/٤۹**) رابطه معنی‌دار و مثبت داشت. طبق نظر اسپارکس و لیبهارت (۱۹۸۱) پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل در مقایسه با پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات‌آمونیوم نرمال، برآورد بهتری از پتاسیم تبادلی را به‌دست می‌دهد در این پژوهش رابطه پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل با پتاسیم تبادلی (r=۰/٤۲*) و پتاسیم غیرتبادلی (r=۰/۷۲**) معنی‌دار و مثبت بود (جدول ۵) که نتایج رابطه مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل با پتاسیم تبادلی با نتایج بهمنی و همکاران (۲۰۱۱)، در خاک‌های اصفهان و شهرکرد و دولتی و همکاران (۲۰۰۸) و ونگ و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت (۳، ۱٤ و ٤۱). مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل در خاک‌های ریز بافت به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا بیش‌تر از خاک‌های درشت بافت است (۱۳). در این پژوهش مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش یافت ولی رابطه بین درصد رس و مقدار مقدار پتاسیم به سهولت قابل‌تبادل معنی‌دار نبود این امر ممکن است به‌دلیل تغییرات نسبتاً زیاد و نامنظم در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه باشد (۱۳).

پتاسیم به سختی قابل‌تبادل همبستگی منفی و معنی‌دار با کربن آلی (r= -۰/٤٥*) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با رس (r=۰/۸۲**) داشت. پتاسیم به سختی قابل‌تبادل همبستگی منفی و معنی‌دار با پتاسیم محلول (r= -۰/۵۸**) و غلظت تعادلی پتاسیم (r= -۰/٤٦*) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با پتاسیم ساختمانی (r=۰/۸۳**) و پتاسیم غیرتبادلی (r=۰/۸۲**) داشت (جدول ۵). مقدار انرژی تبادلی پتاسیم همبستگی مثبت و معنی‌دار با کربن آلی

($r=۰/۵۱^{**}$) و همبستگی منفی و معنی‌دار با رس ($r= -۰/۴۳^{*}$) داشت. انرژی تبادلی پتاسیم همبستگی منفی و معنی‌دار با پتاسیم غیرتبادلی ($r= -۰/۴۴^{*}$)، پتاسیم ساختمانی ($r= -۰/۴۷^{*}$) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با غلظت تعادلی پتاسیم ($r=۰/۸۱^{**}$) داشت (جدول ۵).

نتیجه‌گیری کلی

مقدار پتاسیم محلول در ٦٦ درصد خاک‌های مورد تحقیق کم‌تر از ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که دلیل آن ممکن است مربوط به تخلیه نسبی پتاسیم محلول در خاک‌های تحت کشت توتون در منطقه باشد که همبستگی معنی‌دار پتاسیم تبادلی با درصد رس و همبستگی معنی‌دار پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی موید تخلیه پتاسیم تبادلی در خاک‌ها می‌باشد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مقادیر شکل‌های تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی پتاسیم نشان داد که در شرایط تخلیه پتاسیم تبادلی و محلول خاک، بخشی از شکل‌های غیرتبادلی و ساختمانی پتاسیم می‌تواند طی دوره رشد، برای گیاه قابل‌استفاده باشد. در شرایط موجود استفاده از کود پتاسیمی بر اساس آزمون خاک و تا حدکفایت، مقدار پتاسیم محلول خاک در اغلب خاک‌های منطقه زیرکشت توتون کم‌تر از ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین پتاسیم برگ توتون منطقه کم‌تر از حد مطلوب (حدود ۳ درصد) می‌باشد و در نتیجه میزان سوزش برگ‌های توتون کاهش یافته است. برای ارتقاء غلظت پتاسیم برگ منطقه، لازم است خصوصیات خاک از جمله درصد و نوع رس با استفاده از روابط کمیت- شدت در توصیه کودی پتاسیم لحاظ گردد. پارامترهای کمیت- شدت در این پژوهش با پتاسیم محلول خاک به خوبی همبسته بود بنابراین این پارامترها برای آگاهی از وضعیت قابلیت استفاده پتاسیم در خاک‌ها بسیار مناسب می‌باشند و با انجام آزمایش جهت تعیین غلظت مطلوب پتاسیم محلول خاک برای گیاه توتون، به‌نظر می‌رسد با استفاده از هم‌دماهای جذب پتاسیم می‌توان توصیه کود پتاسیمی دقیق‌تری برای خاک‌های زیرکشت توتون انجام داد و برای امکان انجام آن در بخش اجرایی، از مدل‌های مبتنی بر تعیین خصوصیات روتین خاک استفاده نمود.

منابع

1. Akhtar, M.S., and Dixon, J.B. 2009. Mineralogical characteristics and potassium quantity/intensity relation in three Indus River Basin soils. Asian J. Chem. 21: 5. 3427-3442.
2. Ali, W., Muhammad, H., Mujahid, A., Muhammad, M., Muhammad, A.R.T., Muhammad, M., and Hafiz, A.A.N. 2013. Evaluation of Freundlich and Langmuir Isotherm for Potassium Adsorption Phenomena. Inter. J. Agric. Crop Sci. 6: 15. 1048-1054.
3. Bahmani, M., Salehi, M.H., and Hosseinpoor, A. 2012. The studying Q/I parameters of potassium in the calcareous soils of arid and semiarid regions in Isfahan and Chaharmahal-Va-Bakhtiari provinces. J. Water Soil. 26: 2. 349-360. (In Persian)
4. Barber, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley and Sons, New York, 397p.
5. Beckett, P.H.T. 1964. Studies on soil potassium: II. The immediate Q/I relations of labile potassium in the soil. J. Soil Sci. 15: 9-23.
6. Beckett, P., and Brady, N.C. 1972. Critical cation activity ratios. Advances in Agronomy. 24: 379-412.
7. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydometr method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.

8.Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Methods of soil analysis. Part 2. Black, C.A. (ed.). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
9.Cox, A.E., Joern, B.C., Brouder, S.M., and Gao, D. 1999. Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetra phenyl boron method. Soil Sci. Soc. Amer. J. 63: 4. 902-911.
10.Davies, C.W. 1962. Ion Association. Butterworths, London, Pp: 37-53.
11.Del-Bubba, M., Arias, C.A., and Brix, H. 2003. Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in sub-surface flow constructed reed beds as measured by the Langmuir isotherm. Water Resource, 37: 3390-3400.
12.Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient disorders & Nutrient management. Handbook series. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute. 191p.
13.Dordipour, E., and Gholizadeh, A.L. 2009. Q/I parameters of potassium in the soils of Mazandaran under tobacco cultivation. J. Plant Prod. 16: 1. 1-16. (In Persian)
14.Dovlati, B., Oustan, S.H., and Samadi, A. 2008. Forms of potassium and Q/I relationship for sunflower growing soils in Khoy region. J. Agric. Sci. Technol. Natur. Resour. 12: 46. 623-636. (In Persian)
15.Fathi, S., Samadi, A., Davari, M., and Asadi Capurchal, S. 2014. Evaluation different Extractants for determining corn available potassium in some calcareous soils of Kurdistan province. J. Cereals. 4: 3. 253-266. (In Persian)
16.Gholizadeh, A.Gh., Karimi, A.R., Khorasani, R., and Khormali, F. 2016. Different forms of soil potassium in tobacco cultivated areas of northern Iran. J. Water Soil Cons. 23: 4. 1-23. (In Persian)
17.Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium and potassium. P 551-574, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Sultanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Jhonston, and M.E. Sumner (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Soil Science Society of American, WI. USA.
18.Khormali, F., Nabiollahy, K., Bazargan, K., and Eftekhari, K. 2008. Potassium status in different soil orders of Kharkeh Research Station, Kurdistan. J. Agric. Sci. Technol. Natur. Resour. 14: 5. 1-9. (In Persian)
19.Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. P 225-246, In: A.L. Page et al. (eds), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological properties, 2nd ed., WI: ASA and SSSA, Madison.
20.Le Roux, J., and Sumner, M.E. 1968. Labile potassium in soils: 1. Factors affecting the quantity intensity (Q/I) parameters. Soil Science. 106: 1. 35-41.
21.Loeppert, R.H., and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-474, In: D.L. Sparks (ed.), Methods of soil analysis, Part 3, 3rd ed., WI: SSSA, ASA. Madison.
22.Marchand, M. 2010. Effect of potassium on the production and quality of tobacco leaves. Optimum Crop Nutrition. 24: 7-14.
23.Martin, H.W., and Sparks, D.L. 1985. On the behavior of non- exchangeable potassium in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 16: 133-162.
24.McLean, E.O. 1976. Exchangeable K levels for maximum crop yields on soils of different cation exchange capacities. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 7: 823-838.
25.McLean, E.O., and Watson, M.E. 1985. Soil measurement of plant- available potassium. P 277-308, In: RD Munson (ed), Potassium in agriculture, ASA, CSSA, SSSA, Madison.
26.Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., and Jaberian, F. 2012. Potassium release from sand, silt and clay fractions in calcareous soils of southern Iran. Archive of Agronomy and Soil Science. 58: 12. 1439-1425.

27.Peyghami Khoshemehr, H., Sepehr, E., and Momtaz, H.R. 2015. Comparison of potassium sorption characteristics of cultivated and virgin soils in Khoy region. Applied Soil Research, 2: 2. 18-28. (In Persian)
28.Poonia, S.R., and Niederbudde, E.A. 1990. Exchange equilibria of potassium in soil, V. Effect of natural organic matter on K-Ca exchange. Geoderma. 47: 3-4. 233-242.
29.Richmond, M.D., Pearce, R.C., and Bailey, W.A. 2016. Dark fire- cured tobacco response to potassium and application method. Tobacco Science. 53: 12-15.
30.Samadi, A. 2006. Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of Western Azerbaijan Province, Iran. Turk. J. Agric. Forest. 30: 3. 213-222.
31.Samadi, A., Dovlati, B., and Barin, M. 2008. Effect of continuous cropping on potassium forms and potassium adsorption characteristics in calcareous soils of Iran. Austr. J. Soil Res. 46: 265-272.
32.Schnidler, F.V., Woodard, H.J., and Doolittle, J.J. 2005. Assessment of soil potassium sufficiency as related to quantity-intensity in montmorillonitic soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36: 15-16. 555-570.
33.Sharma, R.R., Mukhopadhyay, S.S., and Sawhney, J.S. 2006. Distribution of potassium fractions in relation to landform in a Himalayan catena. Archive of Agronomy and Soil Science. 52: 4. 469-476.
34.Sharpley, A.N., and Buol, S.W. 1987. Relationship between minimum exchangeable potassium and soil taxonomy 1. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 18: 5. 601-614.
35.Shaviv, A., Mohsen, M., Pratt, P.F., and Mattigod, S.V. 1985. Potassium fixation charectristics of five southern California soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49: 1105-1109.
36.Sing, B.B., and Jones, J.P. 1975. Use of sorption-isotherms for evaluating potassium requirements of plants. Soil Sci. Soc. Amer. J. 39: 5. 881-886.
37.Srinivasarao, C., Rupa, T.R., Subba Rao, A., Ramesh, G., and Bansal, S.K. 2006. Release kinetics of nonexchangeable potassium by different extractants from soils of varying mineralogy and depth. Communications in soil science and plant analysis. 37: 3-4. 473-491.
38.Tandon, H.L.S. 1998. Methods of analysis of soils, plant, water and fertilizer. Development and Consultation Organization, New Delhi, India. 203p.
39.Villapando, V.S., and Graetz, D.A. 2001. Phosphorus sorption and desorption properties of the spodic horizon from selected Florida spodosols. Soil Sci. Soc. Amer. J. 65: 331-339.
40.Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-38.
41.Wang, J., Fu, B., Qiu, Y., and Chen, L. 2001. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China. J. Arid Environ. 48: 4. 537-555.
42.Zareian, G.R., Farpoor, M.H., Hejazi, M., and Jafari, A. 2017. Relationship of potassium forms with soil physicochemical properties and clay mineralogy in Ghrehbagh Plain, Fars Province. J. Soil Res. (Soil and Water Science). 31: 2. 315-328. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(2), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15461.3070

Soil Potassium Forms and Quantity- Intensity Parameters of Soil Potassium and its Correlation with Some Soil Properties of Tobacco-growing Reign in Northwest of Iran

***R. Ranjbar[1], E. Sepehr[2], A. Samadi[3], M. Barin[4] and B. Dovlati[4]**

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Urmia University, [2]Assosiate Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University, [3]Professor, Dept. of Soil Science, Urmia University, [4]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University

Received: 08.04.2018; Accepted: 01.30.2019

Abstract

Background and Objectives: Potassium (K) plays a vital role in increasing the tobacco (*Nicotiana tabacum*) yield and controlling important quality parameters of tobacco such as leaf combustibility. The forms of soil K are soluble, exchangeable, non-exchangeable and structural K. Plant availability of soil K is controlled by dynamic interactions among its different K pools in soil that understanding of these dynamics leads to management of soil fertility. Quantity-Intensity (Q/I) curves of potassium and Q/I parameters provide general information about soil K availability and fertilizers management. This investigation was conducted to study the K forms status and its relationship with Q/I parameters in tobacco cultivated soil in the northwest of Iran.

Materials and Methods: Soil samples were taken from 30 tobacco-growing soils in north-west of Iran. Sorption isotherm was constructed in the laboratory by equilibrating and shaking 2.5 g soil with 25 ml of 0.01 M $CaCl_2$ containing 0-200 mg K L^{-1} for 24 h. Potassium Quantity-Intensity (Q/I) parameters such as K buffering capacity (PBC^K), K activity ratio at equilibrium (AR_e^K), energy of exchange (E_K), readily exchangeable K (ΔK_0) and specific K sites (K_x) were calculated from Q/I curves. The soluble, exchangeable, non-exchangeable and structural K forms in 30 soil samples were measured. Soil potassium forms relationships with each other, Q/I parameters and soil physical and chemical characteristics were investigated.

Results: The mean of soluble, exchangeable, non-exchangeable and structural K forms in soil samples were 23 (ranged from 10 to 118), 207 (ranged from 64 to 511), 569 (ranged from 443 to 690) mg kg^{-1}, respectively. There were significant correlations among K forms except for solution K. The clay values had a significant and positive correlation with each of K forms except solution K values. The means of PBC^K, AR_e^K, ΔK_0 and K_X values were 10.2 cmol kg^{-1}/(mol L^{-1})$^{0.5}$, 0.00476 (mol L^{-1})$^{0.5}$, 0.032 and 0.46 cmol kg^{-1}, respectively. The E_K values for the check treatments ranged from -5151 to -2128 cal mol^{-1}. The relationship of K_{so} with exchangeable K was positive ($r = 0.42^*$), but its relationship with pH ($r = -0.37^*$) and CCE ($r = 0.41^*$) was significantly negative.

Conclusion: There was a significant correlation between solution K and exchangeable K values as well as between exchangeable K and clay values presumably because of exchangeable K depletion in soils that caused to decrease K concentration on tobacco leaf in studied reign. The correlation among exchangeable K, non-exchangeable K and structural K values indicated that a part of the non-exchangeable and structural potassium, could be available for the plant during the growing season. It is necessary that consider soil properties by using quantity-intensity relations for potassium fertilizer recommendation to increase K concentration in tobacco leaf.

Keywords: Potassium depletion, Quantity - intensity relationship, Soil potassium, Tobacco

* Corresponding Author; Email: ranjbarrahim14@gmail.com