

## همبستگی پارامترهای Q/I با بعضی ویژگی‌های خاک و جذب پتاسیم به وسیله گندم در تعدادی از خاک‌های منطقه آبیک

نوید قنواتی<sup>۱</sup>، محمد جعفر ملکوتی<sup>۲</sup> و علیرضا حسین‌پور<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱/۱۸)

### چکیده

همبستگی بین پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم خاک (Q/I) با بعضی ویژگی‌های خاک و شاخص‌های گیاهی گندم (*Triticum aestivum L.*) در یک آزمایش گلخانه‌ای در سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ در منطقه آبیک قزوین مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور تعداد ۸۰ عدد نمونه خاک از عمق ۰-۵ سانتی‌متری مزارعی که به صورت تصادفی در سرتاسر منطقه انتخاب شده بود، برداشت و بر اساس بافت خاک و پتاسیم قابل استفاده، ۲۱ نمونه از آنها انتخاب گردید و در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی که فاکتور اول ۲۱ نمونه خاک و فاکتور دوم دو سطح کودی ۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم بود، در سه تکرار انجام شد. اثر کود پتاسیم بر عملکرد گندم در سطح ۵٪ و اثر خصوصیات خاک بر عملکرد گندم در سطح ۱٪ معنی دار شد، ولی اثر مقایل کود پتاسیم و خصوصیات خاک معنی دار نشد. دامنه‌ای از نسبت فعالیت پتاسیم خاک (AR<sup>K</sup>) که در آن نمودار Q/I به صورت خطی بود، تعیین گردید. ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC<sup>K</sup>) همبستگی بالایی را با CEC (r = ۰/۹۶\*\*\*) و درصد رطوبت اشیاع (r = ۰/۸۱\*\*) نشان داد. معادله زیر به عنوان برآورد کننده ظرفیت بافری خاک در خاک‌های زیر کشت گندم منطقه آبیک پیشنهاد گردید.

$$PBC^K = ۷/۴۱۹ CEC - ۱۹/۷۴۳ \quad R^{\text{adj}} = ۰/۷۸۲$$

نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم (AR<sub>e</sub><sup>K</sup>) همبستگی بالایی را با پتاسیم محلول (r = ۰/۸۴۶\*\*\*)، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (r = ۰/۷۳۰\*\*\*)، درصد رطوبت اشیاع (r = -۰/۷۹۴\*\*\* و درصد رس (r = -۰/۶۰۲\*\*\*)) نشان داد. همچنین مقدار پتاسیم سهل‌الوصول (ΔK<sub>e</sub><sup>K</sup>) همبستگی بالایی را با پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (r = ۰/۸۷۱\*\*\*)، پتاسیم محلول (r = ۰/۷۷۸\*\*\*)، درصد رطوبت اشیاع (r = -۰/۵۵۱\*) و درصد رس (r = -۰/۲۰۶\*\*\*) نشان داد. همبستگی بین پتاسیم قابل استفاده گیاه، AR<sub>e</sub><sup>K</sup> و ΔK<sub>e</sub><sup>K</sup> با پتاسیم جذب شده توسط گندم و عملکرد نسبی گندم معنی دار نگردید. ولی PBC<sup>K</sup> با پتاسیم جذب شده به وسیله گندم (r = ۰/۷۲۹\*\*\*) و عملکرد نسبی گندم (r = ۰/۷۳۵\*\*\*) همبستگی بالایی را نشان داد. همبستگی بین پارامترهای Q/I حاصل از محلول‌های KCl و K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> با خصوصیات خاک دارای تفاوت معنی داری نبود اما پارامترهای Q/I حاصل از محلول KCl همبستگی بیشتری با شاخص‌های رشد گندم داشت.

واژه‌های کلیدی: گندم (*Triticum aestivum L.*), کمیت-شدت (Q/I), ظرفیت بافری، پتاسیم قابل جذب، عملکرد

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران و در حال حاضر عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز
  ۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
  ۳. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
- \*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: navid\_989@yahoo.com

## مقدمه

تبادلی انجام گرفته است(۱۹). پویایی این بخش از پتاسیم به طور کامل شناخته نشده است زیرا تمام پتاسیم غیر تبادلی برای گیاه قابل استفاده نیست. عوامل مؤثری که بر ثبیت یا آزادسازی پتاسیم از منابع غیر تبادلی تأثیر دارند عبارتست از کانی های خاک، تعادل بین منابع مختلف پتاسیم خاک، دوره خشک و ترشدن و مقدار مواد آلی خاک است (۱۸).

تلاش های زیادی به منظور تعیین رابطه بین شدت و کمیت پتاسیم خاک با خصوصیات بافری پتاسیم خاک انجام شده است (۱۰ و ۱۷). مشارکت ظرفیت بافری خاک در برنامه آزمون خاک، دقت و درستی آزمون های خاک را در پیش بینی قابلیت استفاده پتاسیم توسط گیاه را افزایش داده است (۱۷). ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) معمولاً به عنوان شاخصی جهت برآورد ظرفیت بافری خاک به کار می رود (۲۶) اما ممکن است ظرفیت بافری که صرفا بر اساس CEC برآورد شده است منعکس کننده خصوصیات خاک هایی که پتاسیم ثبیت شده قابل توجهی داشته و آزادسازی پتاسیم از منابع غیر تبادلی صورت می گیرد، نباشد (۷). هم چنین می توان ظرفیت بافری پتاسیم خاک را از پتانسیل ظرفیت بافری خطی (LPBC<sup>K</sup>) که شبی قسمت خطی نمودار Q/I بین مقادیر پتاسیم جذب شده و نسبت فعالیت پتاسیم (AR<sup>K</sup>) می باشد و یا از طریق نسبت های مختلفی از پتاسیم تبادلی به پتاسیم محلول تعیین نمود (۱۷). روش رایجی که در حال حاضر جهت تعیین پتاسیم قابل استفاده گیاه مورد استفاده قرار می گیرد، استفاده از عصاره گیر استات آمونیوم نرمال و خشی است. کارایی این روش در تعیین پتاسیم قابل استفاده در خاک هایی بیشتر است که بخش عمدۀ پتاسیم آنها به صورت تبادلی و نه به صورت ثبیت شده باشد. ولی در خاک هایی که مقدار ثبیت پتاسیم بالاست، این روش کارایی لازم را در تعیین پتاسیم قابل استفاده توسط گیاه ندارد (۲۲). ویژگی هایی چون ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC<sup>K</sup>)، فعالیت پتاسیم در محلول خاک و ضریب پخشیدگی مؤثر بر میزان جذب پتاسیم توسط ریشه تأثیر دارند. PBC<sup>K</sup> به طور مستقیم از منحنی Q/I قابل استخراج است و ضریب پخشیدگی مؤثر به دیگر عوامل

نیاز گندم به پتاسیم در مقایسه با نیتروژن حدود ۸۰ درصد است (۶). همه گیاهان خانواده گندمیان دارای سیستم ریشه ای افشا نبوده و به طور مؤثر و با بازده بالا پتاسیم را از خاک جذب می کنند. نیاز غلات به پتاسیم در حد متوسط است (۱۱). از نقطه نظر قابلیت استفاده توسط گیاه، پتاسیم خاک به چهار گروه تقسیم می شود که عبارت است از پتاسیم در کانی های اولیه، پتاسیم غیر قابل تبادل، پتاسیم قابل تبادل و پتاسیم محلول. با توجه به وجود شکل های مختلف پتاسیم در خاک تعیین فراهمی جذب این عنصر برای گیاه کار پیچیده ای است (۲۵). قابلیت استفاده پتاسیم توسط گیاه به شدت، کمیت و سرعت جانشینی پتاسیم در خاک وابسته است. شدت، غلظت پتاسیم در محلول خاک می باشد. کمیت، مقدار کل پتاسیم موجود در فاز جامد خاک است که با رفتتن به فاز محلول خاک قابل استفاده برای گیاه می باشد و سرعت جانشینی، یک عامل سنتیکی است که سرعت انتقال پتاسیم از بخش کمیت به شدت را نشان می دهد (۸). بسیاری از آزمون های تعیین پتاسیم خاک بر اندازه گیری شدت پتاسیم خاک با استفاده از استات آمونیوم یک مولار (NH<sub>4</sub>OAc-K) یا عصاره گیرهای مشابه به منظور تعیین پتاسیم محلول و تبادلی تمرکز دارد (۱۵). اگرچه، عصاره گیرهای قوی تر دیگری نظری سدیم تترا فنیل برم (NaBPh<sub>4</sub>) و اسید نیتریک نیز وجود دارد که در بعضی از موارد دارای هم بستگی بهتری با پتاسیم جذب شده توسط گیاه می باشند (۷ و ۱۹).

زمانی که کود پتاسیمی به خاک داده می شود مقداری از پتاسیم محلول توسط رس های خاک ثبیت شده و به صورت غیر تبادلی در می آید که این پتاسیم برای جذب فوری گیاه غیر قابل دسترس خواهد بود (۲۱). به طور کلی پتاسیم غیر تبادلی خصوصا در خاک هایی که پتاسیم تبادلی کمی دارند می توانند در رشد گیاه مشارکت داشته باشد (۷). تلاش های زیادی جهت تعیین مقدار کل پتاسیم قابل استفاده خاک از طریق کاربرد عصاره گیرهای قوی به منظور عصاره گیری بخشی از پتاسیم غیر

ظرفیت بافری بالقوه پتابسیم ( $PBC^K$ ) با شاخص‌های گیاهی سیر به دست نیامد. با توجه به نقش و اهمیت ظرفیت بافری بالقوه پتابسیم ( $PBC^K$ ) و دیگر پارامترهای  $I/Q$  در مقدار پتابسیم قابل جذب خاک و پتابسیم جذب شده به وسیله گیاه گندم هدف از انجام این تحقیق عبارت است از:

۱. اندازه‌گیری ظرفیت بافری بالقوه پتابسیم  $PBC^K$  در چند خاک انتخابی منطقه آبیک.
۲. تعیین پارامترهای مؤثر بر ظرفیت بافری بالقوه پتابسیم ( $PBC^K$ ).
۳. تعیین همبستگی بین پارامترهای  $I/Q$  با عملکرد نسبی و مقدار پتابسیم جذب شده توسط گندم.
۴. بررسی کارایی  $I/Q$  در توصیه کودی پتابسیم در مزارع گندم.

## مواد و روش‌ها

در این بررسی همبستگی بین ویژگی‌های کمیت-شدت ( $I/Q$ ) پتابسیم خاک با شاخص‌های رشدی گندم (*Triticum aestivum* L.) در یک آزمایش گلخانه‌ای در تعدادی از خاک‌های منطقه آبیک قزوین مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور تعداد ۸۰ نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری مزارعی که به صورت تصادفی در سرتاسر منطقه انتخاب گردیده بودند، برداشت شد. سپس بر اساس بافت خاک و پتابسیم قابل استفاده، ۲۱ نمونه خاک که از فamil Fine, loamy, mixed, mesic xero Chereptic Camborthids بود، انتخاب گردید(۵). برخی از ویژگی‌های خاک‌ها از قبیل درصد کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رطوبت اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی و pH خاک‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برآزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی که فاکتور اول نوع خاک (۲۱ نمونه خاک) و فاکتور دوم دو سطح کودی ۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم پتابسیم در کیلوگرم از منبع کلرید پتابسیم در سه تکرار انجام شد. هر گلدان با سه کیلوگرم خاک پر و مقدار کافی (بر حسب آزمون خاک) نیتروژن، فسفر، روی، آهن و مس به هر گلدان اضافه شد. تعداد ۸ عدد دانه گندم رقم بهاره شیراز در هر گلدان کشت شد. در مرحله پنجه زنی تعداد

ظرفیت بافری وابسته است. تواتیا و همکاران (۲۳) نشان دادند که  $PBC^K$  در مقایسه با سایر پارامترها همچون  $AR_e^K$  و  $K_e^K$  پتابسیم جذب شده توسط گیاه و عملکرد ماده خشک همبستگی بهتری داشته است و در نمونه‌های خاکی که ایلاتیت کانی غالب آنها بوده، ظرفیت بافری پتابسیم با کل ماده خشک و غلاظت پتابسیم در جوانه‌های جوان همبستگی مثبت و بالاتری داشته است. جیمنز و پارا (۱۴) مشاهده کردند که در خاک‌های آهکی و در کشت متراکم گندم، ۸۰ درصد از پتابسیم مورد استفاده گیاه از بخش غیر تبادلی تأمین شده و متحنی  $I/Q$  بعد از کشت به سمت بالا شیفت یافته که این امر نشان‌دهنده افزایش ظرفیت بافری خاک است. همچنین مطالعات ملکین (۱۶) نشان داد که ظرفیت بافری بالقوه پتابسیم و نسبت فعالیت پتابسیم در محلول خاک ( $AR^K$ ) در مقایسه با پتابسیم تبادلی خاک، وضعیت پتابسیم در خاک را بهتر پیش‌بینی می‌کند. البته این معیار نیز اثر کلیه عواملی که در ارزیابی عرضه پتابسیم خاک نقش دارند را در بر نمی‌گیرد. هواکسین و همکاران (۱۲) نشان دادند که ظرفیت بافری بالقوه پتابسیم خاک ( $PBC^K$ ) با مقدار کل پتابسیم جذب شده توسط شلتونک برنج در کرت‌هایی که کود پتابسیم دریافت نکرده‌اند همبستگی معنی‌داری داشته است. اشنایدر و همکاران (۲۰) نشان دادند که حد بحرانی پتابسیم خاک با مقدار کل پتابسیم جذب شده توسط گندم پاییزه و ذرت همبستگی معنی‌داری داشته اما غلاظت بحرانی پتابسیم در محلول خاک همبستگی معکوسی با ظرفیت بافری بالقوه پتابسیم خاک ( $PBC^K$ ) داشته است. خراسانی (۴) گزارش کرد که ظرفیت تبادل کاتیونی بیشترین همبستگی را با  $PBC^K$  دارد و افزودن کود پتابسیمی تأثیر معنی‌داری بر  $PBC^K$  ندارد. مطالعات انجام شده توسط بلالی (۱) در خاک‌های شالیزار شمال کشور نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد مواد آلی بیشترین همبستگی را با  $PBC^K$  دارد. بیابانکی و حسین‌پور (۲) گزارش کردند که ضریب همبستگی بالا و معنی‌داری بین پتابسیم تبادلی و شاخص‌های عملکرد نسبی، پاسخ گیاهی و میزان پتابسیم جذب شده توسط گیاه سیر وجود دارد ولی همبستگی معنی‌داری بین

نمونه، ابتدا ۲۵ میلی لیتر محلول ۰/۰۲ مولار کلسیم که غاظت پتاسیم در آنها به ترتیب ۰،۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ میلی مولار بود به نمونه های ۲/۵ گرمی از هر خاک (در دو تکرار) اضافه و هر یک از نمونه های خاک به مدت ۲ ساعت در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  تکان داده شدند. پس از سانتریفیوژ کردن تعليق در ۳۸۰۰ تا ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه مجموع غاظت کلسیم و منیزیم و غاظت پتاسیم عصاره تعیین گردید. هم چنین قابلیت هدایت الکتریکی محلول های شفاف رویی را قرائت نموده و با استفاده از فرمول دیویس ضربی فعالیت هر یون و نسبت فعالیت پتاسیم ( $\text{AR}^K$ ) محاسبه شد. مقدار پتاسیم جذب یا آزاد شده در مقابل نسبت فعالیت پتاسیم محاسبه شده قرار گرفت. سپس ویژگی های کمیت - شدت ( $\text{Q}/\text{I}$ ) هر خاک محاسبه شد.

$$\text{I} = ۰/۰۱۳ \times \text{EC}$$

$$\text{ds.m}^{-1} = \text{EC}$$

$$\text{I} = \text{قدرت یونی}$$

$$\text{Log}\delta = [(-۰/۵۰۲ \times Z \times (I^2)) / (۱ + (I^2))] - ۰/۳(I)$$

$\delta$  = ضربی فعالیت

$$\text{AR}^K = \frac{\delta_k \cdot C_k}{\sqrt{\delta_{\text{Ca}} + M_g (C_{\text{Ca}} + C_{\text{Mg}})}}$$

$$Z = \text{بار الکتریکی}$$

$$Q (\text{Cmolc/Kg}) = \Delta K = Q (\text{Cmol/L}) = \text{غاظت پتاسیم تعادلی} - \text{غاظت پتاسیم اولیه}$$

$$C = \text{غاظت بر حسب}$$

## بررسی تأثیر آنیون همراه پتاسیم بر روابط $\text{Q}/\text{I}$ در خاک های مورد مطالعه

یکی از عوامل مؤثر بر رابطه ( $\text{Q}/\text{I}$ ) و پارامترهای آن، آنیون همراه پتاسیم می باشد (۹). برای بررسی این موضوع با تغییر در منبع پتاسیم از کلرید پتاسیم به سولفات پتاسیم آنیون همراه پتاسیم از  $\text{Cl}^-$  به  $\text{SO}_4^{2-}$  تغییر داده شد تا بتوان تأثیر آنیون همراه پتاسیم را مورد بررسی دقیق قرار داد که با ۱۸ نمونه خاک که پیش از این ظرفیت بافری بالقوه آنها از منبع  $\text{KCl}$  تعیین شده بود انجام شد (۹ و ۲۴).

بوته ها به ۴ عدد تقلیل یافت. پس از ۸ هفته و در مرحله خوش روی بوته ها از یک سانتی متری سطح خاک قطع گردیدند. سپس نمونه ها با اسید رقیق و آب مقطر شسته شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $70^{\circ}\text{C}$  در آون نگهداشته شدند تا خشک شوند. پس از خشک شدن نمونه ها، وزن هر نمونه تعیین گردید. شاخص های گیاهی شامل پتاسیم جذب شده و عملکرد نسبی گندم تعیین شد. ارتباط پتاسیم عصاره گیری شده (با استات آمونیوم یک مولار) و شاخص های گیاهی با پارامترهای کمیت - شدت ( $\text{Q}/\text{I}$ ) مورد مطالعه قرار گرفت.

بررسی روابط  $\text{Q}/\text{I}$  در این خاک ها در چهار مرحله صورت گرفت که عبارت بودند از :

## تعیین زمان مناسب تعادل برای رسم نمودار $\text{Q}/\text{I}$ خاک ها

در منابع مختلف، زمان های تعادل متفاوتی قید شده است که به منظور تعیین زمان مناسب تعادل برای رسم نمودار  $\text{Q}/\text{I}$  خاک ها، پیش آزمایشی طراحی گردید. بدین صورت که چهار خاک با درصد های مختلف رس (۰/۹، ۰/۱۵، ۰/۴۱ و ۰/۴۹ درصد) و غاظت های مختلف پتاسیم محلول (۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۸ و ۰/۱۶) میلی اکی والان در لیتر) با نسبت ۱ به ۱۰ خاک به آب در دو تکرار و بعد از ۲ ساعت به هم زدن نمونه ها در زمان های تعادل ۰، ۲، ۴، ۸ و ۲۴ ساعت، مورد بررسی قرار گرفت.

## تعیین قسمت خطی نمودار $\text{Q}/\text{I}$

از آنجا که ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک شب قسمت خطی نمودار  $\text{Q}/\text{I}$  می باشد، تعیین دامنه ای از  $\text{AR}^K$  که در آن نمودار  $\text{Q}/\text{I}$  به صورت خطی است، الزامی می باشد. بدین منظور شش نمونه خاک با درصد های مختلف رس و در سه تکرار انتخاب گردید. سپس نمودار  $\text{Q}/\text{I}$  هر یک از خاک ها رسم شد و آنگاه دامنه ای از  $\text{AR}^K$  که در آن نمودار  $\text{Q}/\text{I}$  خطی بود تعیین گردید.

## تعیین نمودار $\text{Q}/\text{I}$ برای ۲۱ نمونه خاک در دامنه انتخاب شده

برای رسم نمودار کمیت - شدت پتاسیم خاک ( $\text{Q}/\text{I}$ ) برای هر

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ۲۱ نمونه خاک

قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس
$1/19 \pm 0/47$	$7/81 \pm 0/25$	$50/19 \pm 15/57$	$27/33 \pm 9/06$	$22/48 \pm 9/46$
پتاسیم محلول (mg/L)	پتاسیم محلول در استات آمونیوم (mg/kg)	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol <sub>+</sub> /kg)	رطوبت اشباع (%)	کربن آلی (%)
$9/55 \pm 6/42$	$20/267 \pm 74/16$	$12/47 \pm 3/65$	$35/76 \pm 8/21$	$0/69 \pm 0/47$

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر نوع خاک و کاربرد پتاسیم بر عملکرد ماده خشک اندام هوایی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مریعات
کود	۱	$0/627^*$
خاک	۲۰	$1/750^{**}$
کود × خاک	۲۰	$0/073^{ns}$
خطا	۸۴	$0/101$

\* و \*\* : به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی دار است. ns : معنی دار نیست.

بنابراین pH عامل محدود کننده‌ای در رشد گندم نبوده است (جدول ۱).

تجزیه واریانس برای عملکرد ماده خشک اندام هوایی در جدول ۲ آمده است، کاربرد پتاسیم در خاک بر عملکرد گیاه گندم در سطح ۵٪ تأثیر معنی دار داشت ولی بر همکنش بین کود و خاک معنی دار نیست.

### نتایج حاصل از مطالعات گلخانه‌ای

#### نتایج حاصل از تعیین زمان تعادل مناسب و تعیین قسمت خطی نمودار (Q/I)

تحلیل آماری انجام شده درباره غلظت پتاسیم تعادلی در زمان‌های تعادل مختلف نشان داد که بین این زمان‌ها تفاوت معنی داری وجود ندارد. از این رو زمان تعادل صفر (بعد از ۲ ساعت به هم زدن نمونه‌ها) به عنوان زمان مناسب تعادل انتخاب گردید. همچنین دامنه‌ای از AR<sup>K</sup> که در آن نمودار Q/I

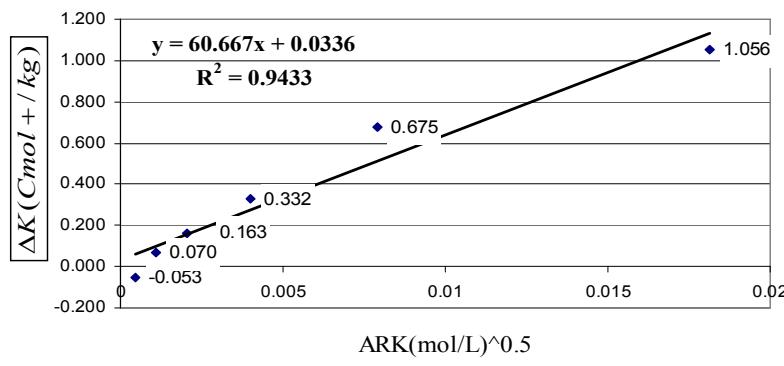
### روش‌های تجزیه آماری

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد و محاسبات آماری آن توسط نرم افزارهای آماری Excel و SPSS صورت گرفت.

### نتایج و بحث

#### خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

نتایج تجزیه فیزیکو شیمیایی خاک‌ها نشان داد که دامنه تغییرات خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک‌ها وسیع است. مقدار پتاسیم اولیه خاک‌ها (پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم یک نرمال) بین ۳۲۱ - ۶۶ میلی گرم در کیلوگرم، ظرفیت تبادلی خاک‌ها بین ۸/۹۱ - ۲۵/۰۶ سانتی مول بار بر کیلوگرم و شوری بین ۰/۶۴ - ۳/۲۲ دسی زیمنس بر متر می‌باشد که از نظر املاح محلول مشکلی برای رشد گندم ایجاد نمی‌کند. دامنه تغییرات pH خاک‌ها بین ۷/۹۳ - ۷/۵۷ بوده و با توجه به این که مناسب ترین pH برای گندم بین ۷-۸/۵ است،



شکل ۱. نمودار (Q/I)

جدول ۳. پارامترهای Q/I برای ۲۱ نمونه خاک

- $\Delta K_o$ ***	$AR_e^K$ **	$PBC^K$ *	R <sup>*</sup>	معادله خط ظرفیت بافری خاک	شماره نمونه
۰/۰۳۳۶	۰/۰۰۰۶	۶۰/۶۶۷	۰/۹۴۳	$y = ۶۰/۶۶۷x - ۰/۰۳۳۶$	۱
۰/۰۸۱۲	۰/۰۰۱۶	۵۱/۵۶۲	۰/۹۷۴	$y = ۵۱/۵۶۲x - ۰/۰۸۱۲$	۲
۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۰۱	۶۲/۲۸۴	۰/۹۵۸	$y = ۶۲/۲۸۴x - ۰/۰۰۹۳$	۳
۰/۲۰۵۵	۰/۰۰۱۱	۱۸۲/۳۹	۰/۹۹۹	$y = ۱۸۲/۳۹x - ۰/۲۰۵۵$	۴
۰/۱۷۵	۰/۰۰۳۵	۴۹/۷۳۶	۰/۹۸۸	$y = ۴۹/۷۳۶x - ۰/۱۷۵$	۵
۰/۱۱۱	۰/۰۰۱۵	۷۶/۳۷۶	۰/۹۹۶	$y = ۷۶/۳۷۶x - ۰/۱۱۱$	۶
۰/۱۸۴۸	۰/۰۰۳۰	۶۰/۸۷۸	۰/۹۹۳	$y = ۶۰/۸۷۸x - ۰/۱۸۴۸$	۷
۰/۳۰۱۹	۰/۰۰۲۹	۷۴/۱۰۰	۰/۹۹۶	$y = ۷۴/۱۰۰x - ۰/۳۰۱۹$	۸
۰/۴۰۳۹	۰/۰۱۲۰	۷۶/۲۰۰	۰/۹۸۶	$y = ۷۶/۲۰۰x - ۰/۴۰۳۹$	۹
۰/۱۲۵۲	۰/۰۰۱۱	۱۰۸/۸۷	۰/۹۸۵	$y = ۱۰۸/۸۷x - ۰/۱۲۵۲$	۱۰
۰/۲۶۹۹	۰/۰۰۴۴	۶۱/۳۷۸	۰/۹۹۳	$y = ۶۱/۳۷۸x - ۰/۲۶۹۹$	۱۱
۰/۲۵۰۳	۰/۰۰۴۱	۶۰/۴۰۹	۰/۹۹۵	$y = ۶۰/۴۰۹x - ۰/۲۵۰۳$	۱۲
۰/۲۸۹۱	۰/۰۰۳۷	۷۹/۱۶۷	۰/۹۸۹	$y = ۷۹/۱۶۷x - ۰/۲۸۹۱$	۱۳
۰/۴۵۲۳	۰/۰۰۸۵	۵۳/۲۹۲	۰/۹۹۴	$y = ۵۳/۲۹۲x - ۰/۴۵۲۳$	۱۴
۰/۲۳۵۰	۰/۰۰۲۴	۶۹/۷۱۸	۰/۹۸۸	$y = ۶۹/۷۱۸x - ۰/۲۳۵۰$	۱۵
۰/۲۶۴۱	۰/۰۰۵۷	۴۶/۶۰۲	۰/۹۹۷	$y = ۴۶/۶۰۲x - ۰/۲۶۴۱$	۱۶
۰/۴۷۴۳	۰/۰۰۷۴	۶۴/۲۹۴	۰/۹۹۸	$y = ۶۴/۲۹۴x - ۰/۴۷۴۳$	۱۷
۰/۴۷۳۶	۰/۰۱۰۴	۴۵/۵۳۸	۰/۹۹۰	$y = ۴۵/۵۳۸x - ۰/۴۷۳۶$	۱۸
۰/۴۵۰۷	۰/۰۰۵۸	۷۷/۷۷۲	۰/۹۹۷	$y = ۷۷/۷۷۲x - ۰/۴۵۰۷$	۱۹
۰/۳۸۶۸	۰/۰۰۵۱	۷۵/۹۶۰	۰/۹۹۷	$y = ۷۵/۹۶۰x - ۰/۳۸۶۸$	۲۰
۰/۲۰۷۳	۰/۰۰۲۶	۷۸/۵۹۲	۰/۹۹۴	$y = ۷۸/۵۹۲x - ۰/۲۰۷۳$	۲۱

\*[ $C\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})^2$ ] \*\* [ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ] \*\*\* [ $C\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

هم بستگی بین اجزای مختلف رابطه Q/I با خصوصیات خاک  
هم بستگی بین اجزای مختلف رابطه Q/I با خصوصیات خاک در  
جدول ۴ آمده است که این نتایج گزارش سایر محققان از جمله

به صورت خطی بود تعیین گردید. سپس نمودار Q/I کلیه خاک‌های مورد مطالعه در این دامنه رسم گردید و کلیه پارامترهای Q/I تعیین شد (شکل ۱ و جدول ۳).

جدول ۴. همبستگی بین پارامترهای Q/I و برخی از خصوصیات ۲۱ نمونه خاک

OC	SP	K(Soluble)	NH <sub>4</sub> OAc-K	Clay	CEC	منابع
۰/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۸۱۱**	-۰/۳۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۴۹۷ <sup>ns</sup>	۰/۹۲۱**	۰/۹۹۶**	PBC <sup>K</sup>
-۰/۴۷۷ <sup>ns</sup>	-۰/۷۹۴**	۰/۸۴۶**	۰/۷۳۰**	-۰/۶۰۲*	-۰/۴۸۹ <sup>ns</sup>	AR <sub>e</sub> <sup>K</sup>
۰/۰۴۵ <sup>ns</sup>	-۰/۵۵۱*	۰/۷۷۸**	۰/۸۷۱**	-۰/۲۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۸ <sup>ns</sup>	ΔK <sub>0</sub>

\* و \*\*: به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی دار است. ns : معنی دار نیست.

توسط گندم تغییر چنانی نکرد به طوری که همبستگی بین پتاسیم استخراج شده با استات آمونیوم و پتاسیم جذب شده توسط گیاه حتی در سطح ۵ درصد هم معنی دار نشد ( $R^2 = 0/134$ ). این امر نشان می‌دهد که جذب پتاسیم توسط گیاه گندم تنها تابع پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم نمی‌باشد، بلکه عوامل مهم دیگری جذب پتاسیم توسط گیاه را کنترل می‌کنند. همبستگی پارامترهای AR<sub>e</sub><sup>K</sup> و ΔK<sub>0</sub> با مقدار پتاسیم جذب شده توسط گندم نیز در سطح ۵ درصد معنی دار نشد. ولی بین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC<sup>K</sup>) با پتاسیم جذب شده توسط گندم همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد به دست آمد (شکل ۵). این امر نشان دهنده آن است که در خاک‌های مورد بررسی ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC<sup>K</sup>) نسبت به پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم همبستگی بیشتری با مقدار جذب پتاسیم توسط گیاه گندم دارد. دلیل این امر آن است که پارامترهایی چون ظرفیت بافری پتاسیم، شدت فعالیت پتاسیم در محلول خاک و ضریب پخشیدگی مؤثر، میزان پتاسیم جذب شده توسط ریشه گیاه را تحت کنترل دارد. شدت و ظرفیت بافری به طور مستقیم از منحنی Q/I استخراج می‌شود و ضریب پخشیدگی مؤثر به دیگر فاکتورهای ظرفیت بافری وابسته است (۱۳). این نتایج گزارش سایر محققان از جمله توایتا و همکاران (۲۳)، ملکین (۱۶) و هواکسین و همکاران (۱۲) را تأیید می‌کند. اما بیابانکی و حسین‌پور (۲) همبستگی معنی داری بین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک با پتاسیم جذب شده توسط گیاه سیر به دست نیاوردنده و همچنین اشنایدر و همکاران (۲۰) نشان دادند که حد

بالای (۱) بیابانکی و حسین‌پور (۲)، حسین‌پور و کلباسی (۳)، و خراسانی (۴) را نیز تأیید می‌کنند.

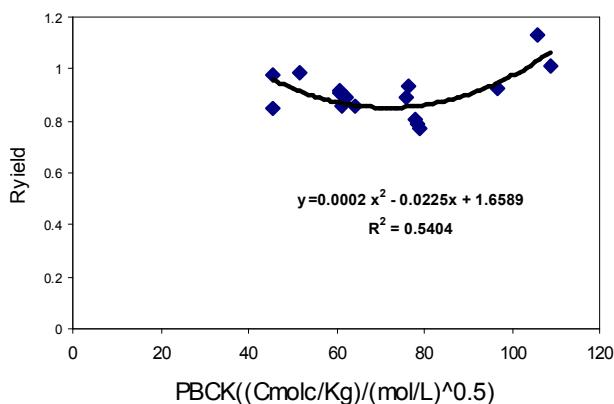
#### برآورد ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC<sup>K</sup>)

از آنجا که آزمایش‌های مربوط به تعیین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC<sup>K</sup>) وقت‌گیر و نیازمند اندازه‌گیری‌های دقیق و تخصصی می‌باشد، از این روی برآورد ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم (PBC<sup>K</sup>) به وسیله تعدادی از پارامترهای فیزیکوشیمیابی خاک که همبستگی بالایی با PBC<sup>K</sup> خاک داشته و همچنین اندازه‌گیری آنها در خاک سریع و آسان باشد روش مناسب است. برای این کار با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره مرحله‌ای، پارامترهای CEC، درصد رس، درصد کرین آلی و SP برای برآورد ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC<sup>K</sup>) مناسب تشخیص داده شده و در نهایت این مدل آماری از بین متغیرهای یاد شده تنها ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) را به عنوان ویژگی مناسب به منظور برآورد ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک (PBC<sup>K</sup>) مطابق رابطه زیر تعیین کرد. این نتایج گزارش سایر محققان از جمله بالای (۱) حسین‌پور و کلباسی (۳) و خراسانی (۴) را نیز تأیید می‌کند.

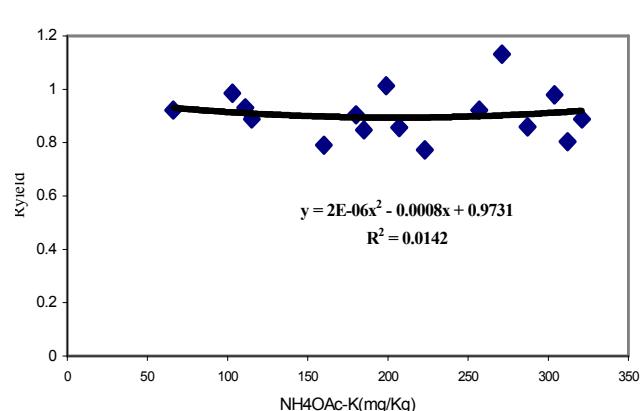
$$PBC^K = 7/419 \text{ CEC} - 19/743 \quad R^{adj} = 0/782$$

#### همبستگی بین اجزای مختلف رابطه Q/I و پتاسیم قابل استفاده با جذب پتاسیم توسط گندم

با وجود تفاوت قابل توجه پتاسیم قابل استفاده بومی خاک‌ها (۶۶ به ۳۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار پتاسیم جذب شده



شکل ۳. همبستگی  $PBC^K$  با عملکرد نسبی گندم



شکل ۲. همبستگی پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم با عملکرد نسبی گندم

جدول ۵. اثر آنیون همراه (کلرید و سولفات) بر پارامترهای Q/I و خصوصیات ۱۸ نمونه خاک

OC	SP	Soluble-K	NH <sub>4</sub> OAc-K	Clay	CEC	نوع محلول	خصوصیات خاک	
							پارامترهای Q/I	پارامترهای K
۰/۴۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۸۷۲**	-۰/۵۲۵*	-۰/۰۴۰ <sup>ns</sup>	۰/۹۰۸**	۰/۹۶۹**	KCl	$PBC^K$	$AR_e^K$
۰/۴۶۰ <sup>ns</sup>	۰/۸۷۶**	-۰/۶۲۱*	-۰/۰۹۱ <sup>ns</sup>	۰/۸۶۳**	۰/۹۵۹**	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
-۰/۶۲۶*	-۰/۷۴۰**	۰/۸۶۱**	۰/۶۶۶**	-۰/۶۰۸*	-۰/۴۹۴ <sup>ns</sup>	KCl	$\Delta K_0$	$AR_e^K$
-۰/۶۰۹*	-۰/۷۴۰**	۰/۹۰۲**	۰/۶۹۰**	-۰/۶۰۳*	-۰/۴۹۸ <sup>ns</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
-۰/۴۸۲ <sup>ns</sup>	-۰/۵۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۷۸۰**	۰/۸۲۲**	-۰/۳۳۳ <sup>ns</sup>	-۰/۱۸۴ <sup>ns</sup>	KCl	$PBC^K$	$AR_e^K$
-۰/۵۱۳ <sup>ns</sup>	-۰/۵۴۲*	۰/۷۶۹**	۰/۸۷۱**	-۰/۳۸۷ <sup>ns</sup>	-۰/۲۲۱ <sup>ns</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		

\* و \*\* : به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی دار است. ns : معنی دار نیست.

باشد که بسیاری از گیاهان و به خصوص تک لپهای ها (گندم) پتاسیم مورد نیاز خود را بیشتر از بخش غیر تبادلی تأمین می کنند (۲۲). هم چنین همبستگی بین  $AR_e^K$  و  $\Delta K_0$  با عملکرد نسبی گندم معنی دار نشد. اما بین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک ( $PBC^K$ ) با عملکرد نسبی گندم همبستگی معنی داری در سطح یک درصد وجود داشت (شکل ۲ و ۳ و جدول ۵).

### بررسی اثر آنیون همراه پتاسیم بر روابط Q/I و پارامترهای آن

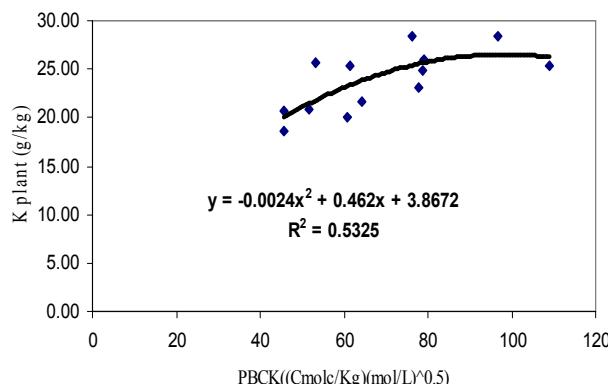
بین  $PBC^K$  حاصل از سولفات پتاسیم با کلرید پتاسیم اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ وجود داشت. هم چنین بین  $\Delta K_0$

بحرانی پتاسیم خاک با مقدار کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه گندم پاییزه و ذرت همبستگی معنی داری داشته اما غالباً بحرانی پتاسیم در محلول خاک همبستگی معکوسی با ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک ( $PBC^K$ ) داشته است.

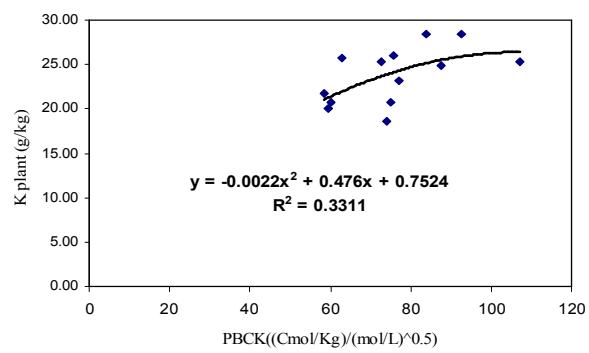
### همبستگی بین اجزای رابطه Q/I و پتاسیم استخراج شده

#### توسط استات آمونیوم با عملکرد نسبی گندم

بین پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم با عملکرد نسبی گندم همبستگی معنی داری دیده نشد. این امر نشان دهنده آن است که علی رغم تفاوت در پتاسیم قابل استفاده خاک، پاسخ گندم به کود پتاسیم تقریباً یکسان است. دلیل آن شاید این نکته



شکل ۵. همبستگی  $PBC^K$  حاصل از کلرید پتاسیم با پتاسیم جذب شده توسط گندم



شکل ۶. همبستگی  $PBC^K$  حاصل از سولفات پتاسیم با پتاسیم جذب شده توسط گندم

جدول ۶. همبستگی پارامترهای Q/I حاصل از دو محلول با پتاسیم جذب شده توسط گندم

$\Delta K_0$		$AR_e^K$		$PBC^K$		پارامترهای Q/I
KCl	$K_2SO_4$	KCl	$K_2SO_4$	KCl	$K_2SO_4$	خصوصیات گیاهی
-0/140 ns	-0/332 ns	-0/225 ns	-0/239 ns	0/729**	0/575*	K plant

\* و \*\* : به ترتیب در سطح ۱٪ و ۰.۵٪ معنی دار نیست. ns : معنی دار نیست.

در این حالت نیز بین  $PBC^K$  با پتاسیم جذب شده توسط گندم همبستگی معنی داری مشاهده شد. به طوری که همبستگی بین  $PBC^K$  با کلرید پتاسیم و سولفات پتاسیم با پتاسیم جذب شده توسط گندم به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی دار بود (شکل ۵ و ۶ و جدول ۶).

همبستگی بین  $\Delta K_0$  و  $AR_e^K$  حاصل از  $K_2SO_4$ , KCl با پتاسیم جذب شده توسط گندم (Kconcentration) معنی دار نشد. مقایسه پارامترهای Q/I حاصل از این دو محلول با پتاسیم جذب شده توسط گندم (Kconcentration) در جدول ۶ آمده است. با توجه به این نتایج می توان نتیجه گرفت که برای نمونه خاک های مورد استفاده در این تحقیق،  $PBC^K$  حاصل از محلول کلرید پتاسیم قادر است برآورد بهتری از نیاز گیاه به کاربرد پتاسیم را ارائه دهد.

### نتیجه گیری و پیشنهادها

مقدار پتاسیم در فاز تبادلی و نسبت فعالیت پتاسیم در فاز

حاصل از این دو محلول اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ ملاحظه گردید، اما چنان روندی در رابطه با  $AR_e^K$  دیده نشد. تمایل بیشتر  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  به تشکیل زوج های یونی با  $SO_4^{2-}$  نسبت به  $Cl^-$  می تواند بر روابط کمیت - شدت پتاسیم (Q/I) در سیستم خاک تأثیر بگذارد به طوری که این زوج یون ها نمی توانند با پتاسیم خاک واکنش تبادلی داشته باشند و پتاسیم تبادلی راحت تر با کاتیون های دیگر جایگزین شده و در اختیار ریشه قرار می گیرد. هم چنان جذب سطحی  $SO_4^{2-}$  و واکنش های رقابتی بین  $Ca^{2+}$ ,  $CaCl^{+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^{+}$  با  $SO_4^{2-}$  در فاز جامد در ایجاد این تفاوت ها مؤثر است (۲۴ و ۹). روابط بین اجزاء رابطه Q/I مربوط به این دو محلول با خصوصیات خاک در جدول ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود همبستگی بین اجزاء مختلف نمودار Q/I حاصل از این دو محلول با خصوصیات خاک دارای اختلاف معنی داری نبوده و هر دو محلول رفتار تقریباً مشابه ای با خصوصیات خاک دارند.

این باشد که  $PBC^K$  خاک شاخص خوبی از قابلیت استفاده پتاسیم خاک توسط گیاه است. بنابراین پیشنهاد می‌شود همبستگی پارامترهای  $I/Q$  و به خصوص  $PBC^K$  خاک با شاخص‌های گیاهی گندم و محصولات دیگر در خاک‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان شاخص جدیدی که تلقیقی از  $PBC^K$  و سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک می‌باشد را ارائه نمود.

محلول به تنها یک شاخص‌های مناسبی برای مقدار پتاسیم قابل استفاده گیاه و میزان پاسخ گیاه به کود پتاسه نمی‌باشد چون در مقادیر یکسان پتاسیم تبادلی و یا نسبت فعالیت پتاسیم تعادلی در فاز محلول در دو خاک، ظرفیت بافری بالقوه خاک‌ها ممکن است متفاوت باشد، لذا پاسخ به کود پتاسه در این خاک‌ها متفاوت خواهد بود. از طرف دیگر همبستگی بالای ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم با بعضی از پاسخ‌های گیاهی می‌تواند بیانگر

### منابع مورد استفاده

۱. بلالی، م. ر. ۱۳۷۶. بررسی ظرفیت بافری بالقوه ( $PBC^K$ ) در خاک‌های شالیزار شمال ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۲. بیبانکی، ف. س. و ع. ر. حسین پور. ۱۳۸۲. همبستگی پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم با پتاسیم قابل استفاده و شاخص‌های گیاهی. هشتمین کنگره علوم خاک، رشت، ایران.
۳. حسین پور، ع. ر. و م. کلباسی. ۱۳۷۹. نسبت کمیت - شدت پتاسیم و همبستگی پارامترهای آن با خصوصیات خاک در تعدادی از خاک‌های ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴(۱): ۴۲-۵۶.
۴. خراسانی، ر. ۱۳۷۴. بررسی روابط کمیت - شدت پتاسیم در خاک‌های شالیزار شمال کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۵. مسیح‌آبادی، م. ح. ۱۳۷۰. پیدایش و رده‌بندی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک آبیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
۶. ملکوتی، م. ج. و م. همایی. ۱۳۸۲. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
7. Cox, A. E., B. C. Joern, S. M. Brouder and D. Gao. 1999. Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:902-911.
8. Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. John Wiley & Sons, New York.
9. Evangelou, V. P. 1986. The influence of anion on potassium quantity- intensity relationship. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1182-1188.
10. Evangelou, V. P., J. Wang and R. E. Phillips. 1994. New developments and perspectives on soil potassium quantity/intensity relationships. *Adv. Agron.* 52:173-227.
11. Gething, P. A. 1992. Potash fact. Int. Potash Ins. Bern, Switzerland.
12. Huaxing, L. I., L. I. Guoful, M. A. Manzhuang and H. Xiaohong. 2006. Study on relationship between quantity-intensity characteristics of potassium in paddy soils and potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 685-689.
13. Jim, J. W., L. H. Dustin and F. B. Paul. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 654-661.
14. Jimenez, C. and M. H. Parra. 1991. Potassium quantity-intensity in calcareous Vertisols and Inceptisols of southwestern Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 985-989.
15. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1409-1412.
16. Melkin, B. 1997. Potassium quantity-intensity relationship in calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:20-25.
17. Nair, K. P., P. Sadanandan, A. K. Hamza and S. Abraham. 1997. The importance of potassium buffer power in the growth and yield of cardamom. *J. Plant Nutr.* 20:987-997

18. Olk, D. C. and K. G. Cassman. 1995. Reduction of potassium fixation by two humic acid fractions in vermiculitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1250-1258.
19. Richards, J. E. and T. E. Bates. 1988. Studies on the potassium-supplying capacities of southern Ontario soils: II. Nitric acid extraction of non-exchangeable K and its availability to crops. *Canad. J. Soil Sci.* 68:199-208.
20. Schneider, A., P. Castillon and S. Pellerin. 2003. Relationships between soil potassium supply characteristics based on soil solution concentration and buffer power and field responses of winter wheat and maize. *Plant and Soil* 254: 269-278.
21. Scott, A. D. and S. J. Smith. 1987. Sources amounts and forms of alkali elements in the soil. *Adv. Soil Sci.* 6:101-147.
22. Simard, R. and J. Zizka. 1994. Evaluating plant available potassium with strontium chloride. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:1779-1789.
23. Tewatia, R. K., N. Single, M. Singh and S. B. Mittal. 1987. Quantity- intensity parameters of potassium in some salt affected soils of Haryana. *J. Potassium.* 31: 26-33.
24. Thompson, T. L. and A. M. Blackmer. 1992. Quantity-intensity relationships of soil ammonia in long-term rotation plots. *Soil Sci Soc Am. J.* 56: 494-498
25. Tisdal, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton and J. L. Havlin. 2001. *Soil Fertility and Fertilizers.* 5<sup>th</sup> ed., Prentice- Hall of India Limited, New Delhi, India.
26. Vitosh, M. L., J. W. Johnson and D. B. Mengle. 1995. Tri-state fertilizer recommendation for corn, soybean, wheat, and alfalfa. Ext Bull. E2567, Michigan State Univ., East Lansing.