



## بررسی همبستگی کانی‌های غالب و پارامترهای منحنی کمیت - شدت با میزان پتاسیم قابل جذب در خاک‌های آهکی

اکرم فاطمی<sup>۱</sup>، \*محمدجعفر ملکوتی<sup>۲</sup>، کامبیز بازرگان<sup>۳</sup>، رسول راهنمایی<sup>۴</sup> و کامران افتخاری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، آستاد گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران،

<sup>۲</sup> استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، <sup>۳</sup> استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۴

### چکیده

پتاسیم از عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. گیاهان پتاسیم مورد نیاز خود را از فاز محلول جذب می‌کنند که در حال تعادل با فاز تبادل و کانی‌های معدنی خاک است. این پژوهش به منظور بررسی همبستگی بین کانی‌های غالب خاک و پارامترهای کمیت-شدت (Q/I) پتاسیم و بررسی ارتباط بین این پارامترها با مقدار پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری شده با روش استات آمونیوم انجام گردید. به این منظور ۱۸ نمونه خاک زراعی از استان‌های مختلف کشور تهیه شد. این نمونه‌ها علاوه بر تنوع در خصوصیات فیزیکوشیمیایی، دارای مقدار پتاسیم قابل جذب کم، متوسط و یا زیاد بودند. کانی‌های غالب بخش رس نمونه‌های خاک به روش پراش اشعه ایکس به صورت کیفی شناسایی شدند. براساس نتایج آزمایش‌ها منحنی Q/I نمونه‌ها ترسیم و پارامترهای آن محاسبه گردید. بر طبق نتایج همبستگی معنی‌داری بین نوع کانی‌های غالب و میزان پتاسیم قابل جذب مشاهده نشد، اما پتاسیم کل قابل جذب ( $K_L$ )، پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های اختصاصی ( $K_x$ ) و انرژی آزاد تبادل پتاسیم ( $\Delta G^0$ ) با پتاسیم قابل جذب همبستگی معنی‌داری را نشان دادند. با توجه به تأثیر نوع کانی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در پارامترهای منحنی Q/I پتاسیم، به نظر می‌رسد استفاده از پارامترهای این منحنی می‌تواند واکنش یا نبود واکنش گیاهان به کودهای پتاسیمی را با دقت بیشتری نسبت به روش استخراج پتاسیم با استات آمونیوم برآورد نماید.

واژه‌های کلیدی: کمیت-شدت، Q/I، نوع کانی، پتاسیم قابل جذب با استات آمونیوم

### مقدمه

پتاسیم دومین عنصر پرمصرف ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. گیاهان بخش اعظم پتاسیم مورد نیاز خود را از فاز محلول خاک برداشت می‌کنند. فاز تبادلی و کانی‌های معدنی خاک با عرضه پتاسیم به فاز محلول نقش غیرمستقیم در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاهان دارند. اگرچه بین منابع مختلف پتاسیم در خاک روابط شبه‌تعدالی وجود دارد اما به دلیل پیچیدگی این روابط، پیش‌بینی پتاسیم قابل جذب برای گیاهان با استفاده از این رابطه‌ها مشکل است. بنابراین عصاره‌گیری با محلول‌های نمکی مانند محلول استات آمونیوم به‌عنوان روش‌های جایگزین به‌منظور ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک‌ها و توصیه کودی پیشنهاد شده‌اند. در این روش، خصوصیات خاک مانند درصد و نوع رس‌های غالب خاک در نظر گرفته نمی‌شود و اعتقاد بر این است که میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده برآیند اثر عوامل مختلف مؤثر در وضعیت پتاسیم خاک است. در عین حال، براساس بعضی گزارش‌ها در خاک‌هایی که دارای مقادیر زیاد کانی‌های میکای آبدار و ورمی‌کولیت هستند، مقدار پتاسیم تبادلی بیش‌تر از مقدار واقعی آن ارزیابی می‌شود (ملکوتی و همایی، ۲۰۰۳؛ ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۵). این موضوع احتمالاً یکی از دلایل همبستگی ضعیف بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم و عکس‌العمل گیاه به کودهای پتاسیمی در این گونه خاک‌هاست (منگل و کرکبای، ۱۹۸۰).

تعیین رابطه  $Q/I$  پتاسیم در خاک، که نخستین بار توسط بکت (۱۹۶۴a) ارائه گردید، روشی دیگر برای ارزیابی وضعیت فراهمی این عنصر در خاک‌هاست. در این روش، تغییر غلظت پتاسیم در محلول خاک (عامل شدت) در اثر تغییر غلظت پتاسیم در فاز تبادلی (عامل کمیت) ارزیابی می‌شود. بنابراین نسبت به روش عصاره‌گیری پتاسیم خاک با استات آمونیوم، اطلاعات بیش‌تری از وضعیت حاصل‌خیزی خاک ارائه می‌کند. از جمله، اطلاعات مفیدی درباره ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم، پتاسیم جذب شده در سطوح<sup>۲</sup> و مناطق گوه‌ای کانی‌ها<sup>۳</sup> مقدار کل پتاسیم قابل جذب<sup>۴</sup> و انرژی آزاد تبادل پتاسیم با کلسیم و منیزیم<sup>۵</sup> ارائه می‌دهد (بکت، ۱۹۶۴a؛ بکت، ۱۹۶۴b؛ مک‌لین، ۱۹۷۶؛ مارتین و اسپارکس، ۱۹۸۳).

بررسی‌های متعددی در خصوص ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک‌ها با استفاده از روش  $Q/I$  در شرایط متنوع خاکی انجام شده و نتایج مشابه و گاه متفاوتی به‌دست آمده است. بکت و نغدی (۱۹۷۶)

- 1- PBCK
- 2-  $\Delta K^\circ$
- 3-  $K_x$
- 4- KL
- 5-  $\Delta G^\circ$

اثر کودهای پتاسیم بر پارامترهای Q/I را مطالعه و مشاهده نمودند فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل<sup>۱</sup> افزایش یافت و مقدار پارامتر پتاسیم جذب شده در سطوح منفی تر شد ولی ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم اثرپذیری کمی از کوددهی داشت. نتیجه مشابهی توسط اسپارکس و لیبهاردت (۱۹۸۱) در بررسی اثر کاربرد درازمدت آهک و کودهای پتاسیمی بر پارامترهای منحنی Q/I به دست آمد. پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های اختصاصی<sup>۲</sup> با افزایش کود پتاسیمی و عمق خاک افزایش یافته که علت آن به افزایش ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی وابسته به pH نسبت داده شد. خراسانی (۱۹۹۵) اثر کوددهی بر پارامترهای Q/I در خاک‌های مناطق شالیزاری شمال کشور را مورد بررسی قرار داد و چگونگی اثر کودهای پتاسیمی بر این پارامترها را گزارش نمود. در این پژوهش مشاهده شد که کوددهی منجر به افزایش پتاسیم جذب شده در سطوح، فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل و پتاسیم کل قابل جذب می‌شود ولی بر ظرفیت بافری خاک اثری ندارد. بلالی (۱۹۹۷) در مطالعه خاک‌های شالیزاری رابطه رگرسیونی معنی‌داری برای برآورد ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم با استفاده از ظرفیت تبادل کاتیونی به عنوان متغیر اصلی در این نوع خاک‌ها به دست آورد. در مطالعه اثر کوددهی پیوسته بر پارامترهای منحنی Q/I پتاسیم در مزارع تحت کشت ذرت، گندم و لوبیای چشم‌بلبلی که توسط بریج و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد، پارامترهای منحنی Q/I در توصیه‌های کودی مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. حسین‌پور و کلباسی (۲۰۰۰) نیز همبستگی معنی‌داری بین برخی پارامترهای Q/I و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک از جمله ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های مناطق مرکزی و شمالی ایران به دست آوردند.

بکت و بردی (۱۹۷۲) همبستگی خوبی بین جذب پتاسیم توسط ریگراس و مقدار پتاسیم پیش‌بینی شده از منحنی Q/I به دست آوردند. در این پژوهش مشاهده گردید نسبت فعالیت پتاسیم تعادلی خاک به مقدار بسیار جزئی کاهش یافت. شیندلر و همکاران (۲۰۰۵) قابلیت جذب پتاسیم را در خاک‌های مونتموریلونیتی با مقادیر پتاسیم کم و کافی تحت کشت ذرت را با استفاده از رابطه‌های Q/I اندازه‌گیری، و پارامترهای این منحنی را در دو نوع خاک بالا مقایسه نمودند. نتایج این پژوهش به توصیه کودی دقیق‌تر براساس پارامترهای یاد شده منجر شد. بررسی پارامترهای Q/I و شاخص‌های گیاهی گوجه‌فرنگی توسط صمدی (۲۰۰۶) به رابطه معنی‌دار بین این شاخص‌ها (ماده خشک، غلظت پتاسیم در

1- AReK

2- Kx

گیاه و جذب پتاسیم توسط گیاه) منجر نشد. بستانی و ثوابی فیروزآبادی (۲۰۰۶) پارامترهای منحنی  $Q/I$  در خاک‌های تخلیه شده از پتاسیم را بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر رابطه معنی‌دار بین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم و درصد رس، درصد ماده آلی و پتاسیم تبدالی بود ولی رابطه معنی‌داری با پتاسیم محلول، pH و سابقه کشت به‌دست نیامد. گلی کلانپا و همکاران (۲۰۰۸) اثر ترکیب کانی خاک‌های آهکی و مقادیر مختلف کود پتاسیمی را بررسی و نتیجه‌گیری نمودند که افزایش غلظت پتاسیم محلول و تبدالی پس از کوددهی تحت‌تأثیر کانی غالب خاک می‌باشد. در مطالعه‌ای گلخانه‌ای قنواتی و همکاران (۲۰۰۹) همبستگی بین پارامترهای منحنی  $Q/I$  و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و شاخص‌های گیاهی گندم، همچنین تأثیر آنیون همراه پتاسیم بر پارامترهای منحنی  $Q/I$  را بررسی نمودند. نتایج رابطه معنی‌دار بین عملکرد نسبی و غلظت پتاسیم در گیاه با ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم و رابطه غیرمعنی‌دار با فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل و پتاسیم جذب شده در سطوح را نشان داد.

در برخی از پژوهش‌هایی که در بالا اشاره گردید رابطه مثبت و معنی‌داری بین درصد رس و برخی از پارامترهای منحنی  $Q/I$  مانند فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل، پتاسیم جذب شده در سطوح و رابطه غیرمعنی‌دار پارامترهای دیگر این منحنی مانند ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم با درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌دست آمد (خراسانی، ۱۹۹۵؛ بلالی، ۱۹۹۷؛ بستانی و ثوابی فیروزآبادی، ۲۰۰۶؛ جلالی، ۲۰۰۷؛ قنواتی و همکاران، ۲۰۰۹). جلالی (۲۰۰۷) وضعیت پتاسیم خاک با استفاده از پارامترهای  $Q/I$  و اثر نوع کانی‌های خاک بر روی آن را ارزیابی کرد. در این پژوهش مقدار فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل در نمونه‌هایی که کاتولینیت حضور داشت بیش‌تر از نمونه‌های اسمکتیتی گزارش شد. اختر و دیکسون (۲۰۰۹) در بررسی قابلیت جذب پتاسیم با روش  $Q/I$  و مطالعه بار لایه‌های رس و ویژگی‌های ترکیب کانی اجزاء تشکیل‌دهنده خاک، برای مطالعه ایزوترم جذب پتاسیم از معادله لانگمویر استفاده نمودند. در این پژوهش خاک‌هایی که ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم کم‌تری داشته‌اند نسبت فعالیت پتاسیم در حالت تعادل بالاتری داشتند. ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم کم خاک‌ها به باز شدن لایه‌های میکا نسبت داده شد.

در بعضی موارد نیز گزارش شده است که با وجود این‌که مقدار پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیم خاک در محدوده کفایت قرار دارد، گیاه به مصرف کود پاسخ می‌دهد و یا در شرایطی که خاک به ظاهر و براساس نتایج عصاره‌گیری با استات آمونیم، دچار کمبود است، گیاه پاسخی به مصرف کود نداده است (صلاحی‌فراهی، ۲۰۰۵) یکی از عوامل مؤثر در این پدیده احتمالاً ترکیب کانی‌های خاک و

درجه هوادیدگی آن‌هاست (شاویو و همکاران، ۱۹۸۵؛ بوایید و همکاران، ۱۹۹۱؛ آید و همکاران، ۱۹۹۹) که مقدار و سینتیک عرضه پتاسیم به محلول خاک را تا حدی کنترل می‌کنند. اهداف این پژوهش عبارت بودند از:

- ۱- بررسی روابط  $Q/I$  در خاک‌هایی با ترکیب کانی‌های رس مختلف،
- ۲- ارزیابی رابطه بین پارامترهای  $Q/I$  در خاک‌های با ترکیب کانی‌های رسی متفاوت و مقدار پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم.

### مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها: از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری ۱۸ خاک استان‌های کردستان، آذربایجان غربی، همدان، قزوین، تهران، خراسان، فارس، گلستان، سمنان و مازندران در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ نمونه‌برداری گردید. نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که از نظر مقدار پتاسیم قابل جذب در ۳ گروه کم، متوسط و زیاد (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۵) قرار گیرند.

نمونه خاک‌ها هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.  $pH$  و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، بافت خاک به روش هیدرومتری، کربن آلی به روش اکسایش با دی‌کرومات پتاسیم، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک، ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۱</sup> به روش استات سدیم در  $pH=۸/۲$ ، پتاسیم قابل جذب با استفاده از استات آمونیوم نرمال و خشتی و میزان پتاسیم غیرتبادلی با استفاده از اسید نیتریک ۱ نرمال اندازه‌گیری شدند (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲).

شناسایی کانی‌های غالب: برای انجام مطالعات کانی‌شناسی جزء کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر خاک‌ها، کربنات‌ها و املاح محلول با استفاده از روش جکسون (۱۹۶۹)، مواد آلی با آب اکسیژنه ۳۰ درصد ( $H_2O_2$ ) و اکسیدهای آزاد آهن به روش مهرا و جکسون (۱۹۶۰) از نمونه‌های خاک حذف شد. سپس نمونه‌های خاک با یون‌های منیزیم و پتاسیم اشباع و منحنی‌های پراش اشعه ایکس آن‌ها با دستگاه اشعه ایکس مدل Simens-D500 توسط لامپ مسی در طول موج ۱/۵۴۹ انگسترم، اختلاف پتانسیل ۳۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر و در زوایای  $2\theta$  بین ۳۰-۲ درجه با سرعت ۲ گام در ثانیه تهیه گردید (کنز و دیکسون، ۱۹۸۶).

آزمایش  $Q/I$ : به‌منظور تعیین منحنی‌های  $Q/I$ ، ۳ گرم از هر خاک با محلول‌های ۱۰-۰ میلی‌مول در لیتر  $KCl$  شامل ۰/۰۱ مولار  $CaCl_2$  به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ثابت تیمار گردیدند. پس از سانتریفیوژ کردن از محلول صاف رویی نمونه‌برداری شد و غلظت یون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. قدرت یونی هر محلول با اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی آن با استفاده از رابطه تجربی ۱ محاسبه شد (گریفین و جوریناک، ۱۹۷۳).

$$I = 0.13 \times EC \quad (1)$$

در این رابطه،  $I$ : قدرت یونی محلول بر حسب مول بر لیتر و  $EC$ : قابلیت هدایت الکتریکی خاک بر حسب میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد.

غلظت یون پتاسیم به روش شعله‌سنجی و غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم به روش طیف‌سنجی جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

**تجزیه و تحلیل‌های آماری:** از آنجایی که رابطه معنی‌داری بین پارامترهای منحنی  $Q/I$  و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک توسط محققان (دانا و جوشی، ۱۹۹۰؛ جیمز و پارا، ۱۹۹۱؛ روی و همکاران، ۱۹۹۱؛ دس و همکاران، ۱۹۹۳) گزارش شده است، همبستگی این پارامترها با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه بررسی شد. برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری به‌منظور تعیین به‌دلیل توزیع غیرنرمال داده‌ها از آزمون کروس کالوالیس استفاده گردید (آساد، ۱۹۹۷).

## نتایج و بحث

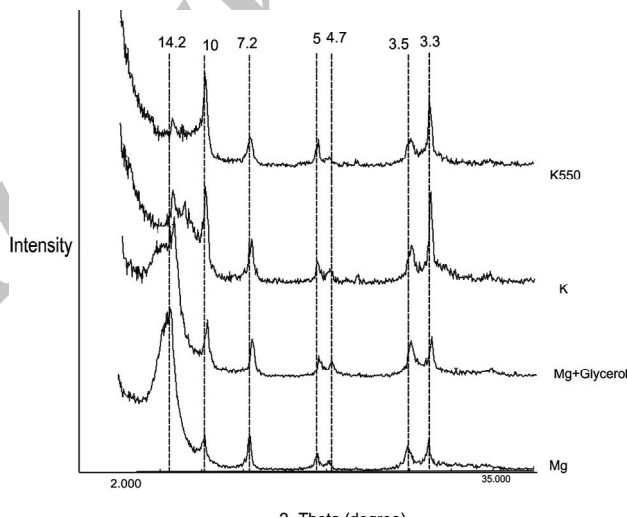
**خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک:** ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها از جمله  $pH$  خاک، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، درصد شن و سیلت و رس، مقادیر پتاسیم قابل جذب و غیرتبادلی، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی با روش‌های متداول اندازه‌گیری گردید (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، که مهم‌ترین آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. براساس نتایج آزمایش‌ها،  $pH$  نمونه‌های خاک در محدوده ۷/۸-۸/۶ و میزان قابلیت هدایت الکتریکی آن‌ها در محدوده ۰/۵-۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر قرار دارد. دامنه تغییرات  $pH$  و هدایت الکتریکی نشان می‌دهد که از این نظر تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نمونه‌های خاک وجود ندارد. مقدار کربنات کلسیم معادل نمونه‌های خاک

در محدوده ۵۵-۲ درصد قرار دارد که گستره وسیع خاک‌های آهکی کشور را به‌خوبی نشان می‌دهد. غلظت پتاسیم قابل جذب خاک‌ها نیز در محدوده ۶۱-۶۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار دارد. براساس این معیار نمونه‌های خاک مورد آزمایش در ۳ گروه طبقه‌بندی گردیدند. خاک‌های گروه ۱ دارای پتاسیم قابل جذب کم (کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، گروه ۲ دارای پتاسیم قابل جذب متوسط (۱۰۰-۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک‌های گروه ۳ دارای پتاسیم قابل جذب زیاد (بیش‌تر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک و مقادیر اندازه‌گیری شده پتاسیم قابل جذب و غیرتبادلی.

گروه	شماره نمونه	استان نمونه‌برداری	رس	سیلت	کربن آلی	ظرفیت تبادل کاتیونی	پتاسیم		
							قابل جذب	غیرتبادلی	
			درصد	سانتی مول بار بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم				
گروه ۱	۱	سمنان	۷	۱۵	۰/۲۰	۲/۶۸	۶۱	۱۶۲/۱۱	
	۲	گلستان	۲۰	۵۲	۰/۸۳	۱۱/۷۲	۶۴	۳۷۹/۳۹	
	۳	خراسان	۱۰	۲۶	۰/۳۶	۴/۷۳	۹۰	۱۳۳/۱۶	
	۴	مازندران	۲۰	۴۸	۱/۰۸	۱۴/۵۴	۹۷	۲۱۲/۱۰	
	۵	آذربایجان غربی	۲۵	۴۱	۱/۱۶	۱۸/۹۲	۹۷	۲۹۹/۹۴	
گروه ۲	۶	فارس	۲۸	۳۷	۱/۰۶	۱۸/۴۶	۱۳۹	۱۹۹/۴۸	
	۷	آذربایجان غربی	۳۵	۴۷	۱/۵۷	۱۹/۳۸	۱۴۲	۵۵۰/۲۱	
	۸	کردستان	۵۱	۳۷	۲/۲۵	۳۹/۶۸	۱۶۱	۶۹۸/۴۹	
	۹	فارس	۳۴	۵۰	۱/۲۶	۱۸/۴۶	۱۶۲	۲۳۵/۹۰	
	۱۰	خراسان	۲۹	۲۳	۰/۲۶	۱۰/۵۸	۲۳۴	۵۵۷/۸۶	
	۱۱	همدان	۳۰	۲۸	۰/۶۹	۱۸/۹۲	۲۴۱	۱۰۴۵/۹۰	
	گروه ۳	۱۲	آذربایجان غربی	۵۱	۳۹	۱/۵۱	۲۵/۲۳	۲۵۳	۱۱۴۴/۳۳
		۱۳	همدان	۱۲	۴۰	۰/۹۵	۱۲/۹۰	۲۵۹	۵۹۹/۴
		۱۴	گلستان	۳۰	۴۴	۱/۵۵	۱۶/۶۷	۲۷۶	۱۰۴۵/۹۰
		۱۵	تهران	۳۹	۳۷	۰/۶۳	۱۳/۷۱	۲۸۹	۸۱۴/۷۶
		۱۶	قزوین	۵۵	۳۹	۰/۸۷	۱۸/۴۶	۴۲۰	۱۰۵۳/۱۲
۱۷		آذربایجان غربی	۲۳	۲۵	۱/۰۶	۱۴/۹۶	۴۴۲	۶۹۷/۶۲	
۱۸		خراسان	۲۶	۵۴	۱/۵	۱۳/۳۰	۶۴۰	۶۸۰/۹۶	

**کانی‌های غالب جزء رس خاک:** براساس نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس، کانی‌های غالب جزء رس نمونه‌های خاک تعیین گردید که به ترتیب اهمیت برای هر نمونه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود کانی‌های غالب در داخل هر گروه متفاوت است و از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. به‌عنوان مثال در گروه ۱، کانی‌های غالب خاک‌های ۴-۲ ورمی‌کولیت و میکای آبدار است، اما کانی‌های غالب خاک ۱ اسمکتیت و کلریت است. چنین وضعیتی در خاک‌های گروه‌های ۲ و ۳ نیز مشاهده می‌شود. دلیل این تفاوت به مبنای گروه‌بندی نمونه‌های خاک یعنی میزان پتاسیم قابل جذب برمی‌گردد که خود تحت تأثیر میزان کوددهی به خاک‌ها، میزان برداشت پتاسیم توسط گیاهان، میزان آب‌شویی و درصد تثبیت توسط کانی‌ها قرار دارد. نکته جالب توجه در این جدول آن است که در بیش‌تر خاک‌های مورد بررسی میکای آبدار و ورمی‌کولیت کانی‌های غالب جزء رس خاک‌ها هستند. نمونه‌ای از دیاگرام کانی‌شناسی جزء رس خاک شماره ۸ در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل دیاگرام‌های مربوط به نمونه اشباع شده با منیزیم، منیزیم و گلیسرول، پتاسیم و پتاسیم حرارتی ارائه شده است. خطوط پیک‌های معرف کانی‌های کلریت، میکای آبدار، فلدسپات‌ها و کوارتز ترسیم شده و لازم به ذکر است که در این نمونه و برخی نمونه‌ها، کانی اسمکتیت به مقدار جزئی حضور داشت و در نمونه‌هایی که مقدار آن قابل توجه بود از درجه تبلور خوبی برخوردار نبود.



شکل ۱- دیاگرام کانی‌شناسی جزء رس نمونه خاک شماره ۸



جدول ۲- کانی‌های غالب نمونه‌های خاک مورد مطالعه (به استثناء خاک‌های شماره ۵ و ۶) تعیین شده به روش پراش پرتو ایکس.

گروه خاک	شماره خاک	کانی‌های غالب نمونه
گروه ۱	۱	اسمکتیت، کلریت، میکای آبدار، ورمی‌کولیت
	۲	میکای آبدار، ورمی‌کولیت، کلریت، فلدسپات‌ها
	۳	ورمی‌کولیت، میکای آبدار، کلریت
	۴	ورمی‌کولیت، میکای آبدار، کلریت
گروه ۲	۷	میکای آبدار، کلریت، ورمی‌کولیت (مقدار کم)
	۸	ورمی‌کولیت، میکای آبدار، کلریت، اسمکتیت، کوارتز و فلدسپات
	۹	کلریت، میکای آبدار، فلدسپات‌ها
	۱۰	ورمی‌کولیت، کلریت
	۱۱	ورمی‌کولیت، میکای آبدار، کلریت
گروه ۳	۱۲	کلریت، میکای آبدار، ورمی‌کولیت، اسمکتیت
	۱۳	میکای آبدار، کلریت، اسمکتیت، ورمی‌کولیت
	۱۴	میکای آبدار، کلریت، فلدسپات‌ها
	۱۵	کلریت، ورمی‌کولیت، میکای آبدار
	۱۶	ورمی‌کولیت، میکای آبدار، اسمکتیت، کلریت، فلدسپات و کوارتز
	۱۷	کلریت، اسمکتیت، میکای آبدار، فلدسپات‌ها
	۱۸	میکای آبدار، کلریت، ورمی‌کولیت، فلدسپات‌ها

رابطه کانی‌های غالب خاک و مقدار پتاسیم قابل جذب و پارامترهای منحنی Q/I: خاک‌ها براساس کانی غالب آن‌ها در ۳ گروه قرار گرفتند. در گروه اول خاک‌هایی که کانی غالب آن‌ها ورمی‌کولیت بود و در گروه دوم میکای آبدار و گروه سوم کلریت به‌عنوان کانی غالب در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار پتاسیم قابل جذب و پارامترهای منحنی Q/I بین گروه‌های بالا نشان نداد. بنابراین، خاک‌ها در گروه خاک‌های با کانی‌های غالب میکای آبدار و ورمی‌کولیت (کانی‌های تثبیت‌کننده) و گروه خاک‌های با کانی غالب کلریت گروه‌بندی شدند. از آنجایی‌که در این پژوهش کانی‌شناسی بصورت کمی انجام نشده است و از سوی دیگر درجه هوادهی خاک‌ها که از اقلیم‌های مختلف کشور نمونه‌برداری شدند، بررسی نشده بود، این روش نیز رابطه‌ای بین گروه‌بندی خاک‌ها براساس کانی‌های غالب آن‌ها و مقدار پتاسیم قابل جذب و پارامترهای منحنی Q/I نشان نداد.

منحنی‌های Q/I نمونه‌های خاک: با توجه به این‌که نمونه‌های خاک مورد مطالعه دارای حداقل ۲ درصد کربنات کلسیم معادل می‌باشند، فرض شد یون‌های کلسیم و منیزیم یون‌های اصلی فاز تبدلی هستند که برای جذب سطحی بر روی سطح کانی‌ها با یون پتاسیم رقابت می‌کنند. همچنین فرض گردید که انرژی جذب سطحی یون‌های کلسیم و منیزیم با هم برابر است و بنابراین غلظت آن‌ها در فاز محلول جمع‌پذیر می‌باشد. بر این اساس، میزان تغییر در غلظت پتاسیم جذب سطحی شده<sup>۱</sup> از اختلاف بین غلظت اولیه اضافه شده به نمونه‌های خاک و غلظت تعادلی آن محاسبه شد. همچنین میزان تغییر در غلظت پتاسیم در فاز محلول از طریق محاسبه نسبت فعالیت با استفاده از رابطه ۲ تعیین گردید (شکل ۲) (بکت، ۱۹۶۴a).

$$AR = \frac{(K)}{\sqrt{(Ca) + (Mg)}} \quad (2)$$

در این رابطه، K، Ca و Mg به ترتیب فعالیت یون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم بر حسب مول بر لیتر می‌باشد.

ضریب فعالیت یون‌ها نیز از رابطه دی‌بای-هاکل توسعه یافته<sup>۲</sup> (رابطه ۳) محاسبه، و با ضرب آن در غلظت فعالیت یون‌ها محاسبه شد (جیمنز و پارا، ۱۹۹۱).

$$\log \gamma = \frac{-Az^2\sqrt{I}}{1 + \beta d\sqrt{I}} \quad (3)$$

در این رابطه،  $\gamma$ : ضریب اکتیویته یون، A: مقدار ثابتی است که برای آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد معادل ۰/۵۰۹ می‌باشد، Z: بار الکتریکی یون، I: قدرت یونی محلول، B: مقدار ثابتی است که برای آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد معادل  $0.328 \times 10^8$  می‌باشد،  $\beta$ :  $\alpha$  به قطر مؤثر یون هیدراته مربوط می‌شود.

نتایج به دست آمده از محاسبه پارامترهای منحنی Q/I نمونه‌های خاک در جدول ۳ به تفکیک ارائه شده است. پیش‌بینی داده‌های آزمایشی با توجه به ضرایب محاسبه شده نیز در شکل ۲ برای نمونه‌های خاک به تفکیک گروه ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. با توجه به اهمیت داده‌های آزمایش و چگونگی تغییر آن‌ها در غلظت تعادلی پایین پتاسیم، داده‌های آزمایش در نسبت فعالیت کم‌تر از ۰/۰۲ (مول بر لیتر)<sup>۱/۲</sup>

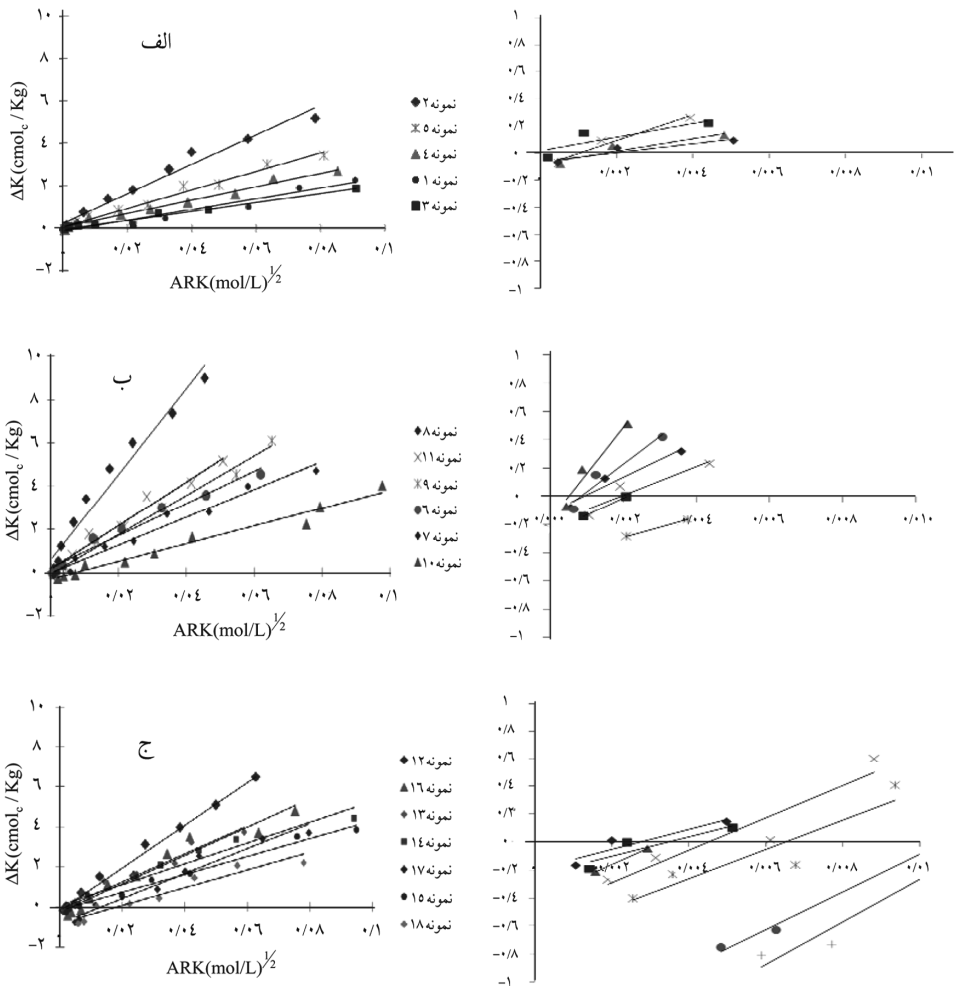
1-  $\Delta K$

2- Extended Debye-Hückel

بزرگ‌نمایی شده و برای هر یک از گروه‌های سه‌گانه نشان داده شده است. این بخش از داده‌ها نشان می‌دهد که در گروه ۱، میزان تغییر در غلظت پتاسیم جذب سطحی شده حداقل به صفر کاهش یافته در حالی که در خاک‌های گروه ۲ در نسبت فعالیت پتاسیم کم‌تر از  $0/005$  (مول بر لیتر)  $1/2$  میزان تغییر در غلظت پتاسیم جذب سطحی شده کوچک‌تر از صفر شده است. این روند در خاک‌های گروه ۳ متفاوت بوده و مقادیر میزان تغییر در غلظت پتاسیم جذب سطحی شده منفی‌تر می‌باشند.

همان‌گونه که از شکل ۲ مشخص است، متوسط شیب منحنی‌ها (ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم) در گروه ۱ از خاک‌های گروه‌های ۲ و ۳ کم‌تر می‌باشد. متوسط ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم در خاک‌های گروه‌های ۲ و تقریباً مشابه یکدیگر است. این موضوع نشان می‌دهد که اگرچه ۳ گروه خاک از نظر میزان پتاسیم قابل جذب تفاوت زیادی با یکدیگر دارند، رفتار منحنی‌های Q/I آن‌ها تفاوت کم‌تری را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل‌های آماری نیز تفاوت معنی‌داری بین ۳ گروه نشان نداد.

با توجه به این که گروه‌بندی خاک‌ها براساس کانی‌های غالب جزء رس آن‌ها نتوانست رابطه‌ای بین گروه‌ها و پارامترهای منحنی Q/I خاک نشان دهد، بنابراین خاک‌ها براساس پارامترهای منحنی Q/I گروه‌بندی شدند. از بین ویژگی‌های خاکی خصوصیتی که ثبات بیش‌تری دارد؛ یعنی ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم، به‌عنوان مبنای گروه‌بندی جدید و مقایسه خاک‌ها در نظر گرفته شد. علت این انتخاب یکی همبستگی بالای این پارامتر با ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس و درصد کربن آلی خاک (جدول ۵) و دیگری تأثیرپذیری کم آن از کوددهی می‌باشد (اسپارکس و لیبهاردت، ۱۹۸۱؛ بکت و نغدی، ۱۹۶۷؛ خراسانی، ۱۹۹۵). شیب قسمت خطی منحنی Q/I یا به‌عبارتی ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک‌ها، در واقع توان بالقوه خاک در تأمین فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل یا به‌عبارتی میزان مقاومت سیستم در مقابل تغییر شدت را نشان می‌دهد. براساس آزمون کلاستر ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم خاک‌ها به ۳ گروه طبقه‌بندی شد (جدول ۴). همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در خاک‌های با ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم مشابه، ترکیب کانی‌ها احتمالاً درجه هوادیدگی آن‌ها تا حد زیادی مشابه یکدیگر است. در بین نمونه‌ها بیش‌ترین مقدار ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم مربوط به خاک ۸ با بیش‌ترین مقدار کربن آلی و درصد رس و کم‌ترین مقدار آن در خاک ۱ با کم‌ترین مقدار رس و کربن آلی است.



شکل ۲- منحنی Q/I نمونه‌های خاک الف) گروه ۱، ب) گروه ۲ و ج) گروه ۳. رفتار داده‌های آزمایشی در نسبت فعالیت کم‌تر از ۰/۰۱ برای هر یک از گروه‌های خاک بزرگ‌نمایی شده و در سمت راست آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای منحنی Q/I نمونه‌های خاک.

شماره خاک	PBC <sup>K</sup> [CmolcKg <sup>-1</sup> (mol/L) <sup>1/2</sup> ]	*ΔK <sup>o</sup> (Cmolc Kg <sup>-1</sup> )	**K <sub>X</sub> (Cmolc Kg <sup>-1</sup> )	-K <sub>L</sub> (Cmolc Kg <sup>-1</sup> )	AR <sub>e</sub> <sup>K</sup> (mol/L) <sup>1/2</sup>	***ΔG <sup>o</sup> (KJmol <sup>-1</sup> )
گروه ۱						
۱	۱۶/۸۰	۰/۰۰۸	-	۰/۰۶۰	۰/۰۰۰۶	-۱۰/۳۸
۲	۶۵/۹۶	۰/۳۹۶	-	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰۴	-۱۱/۲۷
۳	۲۱/۵۱	-۰/۰۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۷۵	۰/۰۰۰۳	-۱۰/۴۱
۴	۳۰/۴۰	۰/۱۳۱	-	۰/۰۵۲	۰/۰۰۰۴	-۱۰/۶۴
۵	۴۱/۷۵	۰/۱۷۴	-	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰۴	-۱۰/۷۴
میانگین	۳۵/۲۸	-	۰/۰۳۵	۰/۰۵۲	۰/۰۰۱۱	-۱۰/۶۹
گروه ۲						
۶	۶۹/۲۹	۰/۴۵۵	-	۰/۱۱۳	۰/۰۰۰۷	-۱۰/۶۴
۷	۶۴/۰۴	-۰/۰۳۷	۰/۲۳	۰/۲۶۷	۰/۰۰۰۶	-۱۰/۵۷
۸	۱۷۵/۳۰	۱/۳۱۲	-	۰/۳۰۰	۰/۰۰۰۷	-۱۲/۳۰
۹	۸۹/۹۴	۰/۰۱۲	-	۰/۱۹۵	۰/۰۰۰۱	-۱۰/۳۱
۱۰	۴۱/۳۴	-۰/۳۱۴	۰/۰۱۱	۰/۳۲۵	۰/۰۰۰۸	-۹/۶۶
۱۱	۹۷/۰۱	۰/۳۰۳	-	۰/۱۶۷	۰/۰۰۰۳	-۱۰/۹۳
میانگین	۸۹/۴۵	-	۰/۱۲	۰/۵۷	۰/۰۰۰۳	-۱۰/۷۳
گروه ۳						
۱۲	۱۰۵/۹۰	-۰/۰۷۵	۰/۲۴۴	۰/۳۱۹	۰/۰۰۰۲	-۱۰/۹۳
۱۳	۶۷/۹۵	-۰/۰۶۷	۰/۱۷۲	۰/۲۳۹	۰/۰۰۰۱	-۱۰/۲۰
۱۴	۴۷/۵۳	۰/۳۳۵	-	۰/۲۸۸	۰/۰۰۰۷	-۱۰/۲۹
۱۵	۴۲/۶۵	-۰/۰۴۳	۰/۳۱۷	۰/۳۶۰	۰/۰۰۰۱	-۹/۹۸
۱۶	۶۱/۹۹	۰/۱۸۴	-	۰/۶۸۵	۰/۰۰۰۳	-۱۰/۰۷
۱۷	۵۷/۱۷	-۰/۵۵۰	۰/۸۹	۱/۴۴۰	۰/۰۱۰	-۹/۵۳
۱۸	۳۸/۱۴	-۰/۴۹	۱/۳۰۸	۱/۷۹۸	۰/۰۱۳	-۸/۹۴
میانگین	۶۰/۱۹	-	۰/۴۱۸	۰/۷۳۲	۰/۰۰۰۵	-۹/۹۹

\* به علت وجود مقادیر مثبت از مقادیر این ستون در تجزیه و تحلیل‌های آماری استفاده نشد. برای توضیحات بیش تر به متن مراجعه شود.

\*\* در نمونه‌هایی که مقدار ΔK<sup>o</sup> مثبت شد، مقدار این پارامتر محاسبه نگردید.

\*\*\* ΔG<sup>o</sup> از رابطه  $\Delta G^o = -2/3 \cdot RT \log AR^K$  (بکت، ۱۹۶۴b) در هر تیمار محاسبه و میانگین آنها برای هر خاک تعیین گردید.

جدول ۴- گروه‌بندی خاک‌ها براساس ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم.

شماره خاک	گروه‌بندی خاک براساس ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم	$PBC^K$ [CmolcKg <sup>-1</sup> (mol/L) <sup>-1/2</sup> ]	کانی‌های غالب نمونه
۸	۱	۱۷۵/۳۰	ورمی کولیت، میکای آب‌دار، کلریت، اسمکتیت، کوارتز و فلدسپات
۱		۱۶/۸۰	اسمکتیت، کلریت، میکای آب‌دار، ورمی کولیت،
۳		۲۱/۵۱	ورمی کولیت، میکای آب‌دار، کلریت
۴		۳۰/۴۰	ورمی کولیت، میکای آب‌دار، کلریت
۱۸		۳۸/۱۴	میکای آب‌دار، کلریت، ورمی کولیت، فلدسپات‌ها
۱۰	۲	۴۱/۳۴	ورمی کولیت، کلریت
۵		۴۱/۷۵	-
۱۵		۴۲/۶۵	کلریت، ورمی کولیت، میکای آب‌دار
۱۴		۴۷/۵۳	میکای آب‌دار، کلریت، فلدسپات‌ها
۱۷		۵۷/۱۷	کلریت، اسمکتیت، میکای آب‌دار، فلدسپات‌ها
۱۶		۶۱/۹۹	ورمی کولیت، میکای آب‌دار، اسمکتیت، کلریت، فلدسپات و کوارتز
۷		۶۴/۰۴	میکای آب‌دار، کلریت، ورمی کولیت (مقدار کم)
۲		۶۵/۹۶	میکای آب‌دار، ورمی کولیت، کلریت، فلدسپات‌ها
۱۳	۳	۶۷/۹۵	میکای آب‌دار، کلریت، اسمکتیت، ورمی کولیت
۶		۶۹/۲۹	-
۹		۸۹/۹۴	کلریت، میکای آب‌دار، فلدسپات‌ها
۱۱		۹۷/۰۱	ورمی کولیت، میکای آب‌دار، کلریت
۱۲		۱۰۵/۹۰	کلریت، میکای آب‌دار، ورمی کولیت، اسمکتیت

فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل شاخصی از مقدار پتاسیم قابل جذب است (بکت، ۱۹۶۴b). عواملی هم‌چون مقدار پتانسیل تثبیت پتاسیم، مقدار پتاسیم قابل جذب و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها باعث تغییر این پارامتر می‌شود (آید و همکاران، ۱۹۹۹). حدود تغییرات فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل در نمونه‌ها از ۰/۰۰۱-۰/۰۱۳ (مول بر لیتر) <sup>۱/۲</sup> با اختلاف حدود ۹۶ برابر تغییر کرد که به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۹ و ۱۸ بود. در حالی که این دو نمونه از نظر مقدار کربن آلی و درصد رس

وضعیت مشابهی داشتند. نمونه ۹ دارای CEC بالا و نمونه ۱۸ دارای پتاسیم غیرتبادلی بالا است و از نظر پتاسیم قابل جذب بیشترین مقدار را در بین نمونه‌ها دارد. از نظر نوع کانی، هر دو نمونه محتوی کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم (میکاهای آبدار و ورمی‌کولیت‌ها) می‌باشند. نمونه ۹ شامل میکای آبدار کم‌تری نسبت به نمونه ۱۸ بود، حضور کانی ورمی‌کولیت در خاک ۱۸ و حضور نداشتن آن در خاک ۹ شاید بتواند توضیح دیگری برای علت این تفاوت باشد. به‌طور کلی، میکاهای آبدار و ورمی‌کولیت‌ها بیشترین ظرفیت تثبیت پتاسیم را دارند (شاویو و همکاران، ۱۹۸۵). جلالی (۲۰۰۷) نیز دلیل پایین بودن فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل را وجود میکاهای آبدار گزارش کرده است. نتایج پژوهش‌ها بیانگر رابطه معکوس بین فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل و درصد رس (داتا و جوشی، ۱۹۹۰) و رابطه مستقیم با پتاسیم قابل جذب و غیرتبادلی و نیز درصد پتاسیم تبادلی می‌باشد (بکت، ۱۹۶۴b؛ جیمز و پارا، ۱۹۹۱). چنانچه مقدار فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل در محدوده  $0/01 - 0/006$  (مول بر لیتر)  $1/2$  باشد، پتاسیم در لبه‌ها و در مقادیر بالاتر از  $0/01$  در سطح کانی‌ها نگهداری می‌شود (اسپارکس و لیبهاردت، ۱۹۸۱). بنابراین در بیش‌تر نمونه‌های مورد پژوهش، پتاسیم در مکان‌های گوه‌ای شکل و یا لبه‌های میکاهای هوادیده جذب شده‌اند. با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌شود نمونه‌های با فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل یکسان از نظر مقاومت در مقابل تغییر غلظت پتاسیم خاک یا به عبارتی ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم رفتار مشابهی ندارند، به‌گونه‌ای که در خاک‌های با فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل برابر، اختلاف ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم از ۲-۵ برابر نیز رسید. خاک‌های با مقدار فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل برابر ممکن است ظرفیت یکسانی برای حفظ فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل در زمانی که پتاسیم خاک توسط ریشه گیاه مصرف می‌شود، نداشته باشند. بنابراین برای ارزیابی بهتر وضعیت پتاسیم خاک نه تنها باید پتانسیل فعلی ذخایر خاک را شناخت، بلکه باید ارتباط آن را با مقدار پتاسیم قابل ذخیره نیز (منحنی Q/I) تعیین نمود (بکت، ۱۹۶۴b).

پارامتر دیگری که به عقیده برخی محققان شاخص بهتری برای تخمین پتاسیم قابل جذب نسبت به روش متداول اندازه‌گیری پتاسیم تبادلی می‌باشد، پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های غیراختصاصی؛ مکان‌های تبادلی موجود در سطح خارجی کانی‌ها و سطوح قاعده‌ای کانی‌هایی مانند ورمی‌کولیت و مونتموریلونیت و نیز در لایه دوگانه اطراف کلوئیدهای آلی می‌باشد (بکت، ۱۹۶۴b). این پارامتر معیاری از پتاسیم به سهولت قابل تبادل است (اسپارکس و لیبهاردت، ۱۹۸۱). عقیده بر این است که پتاسیم جذب شده در سطوح نسبت به روش استات آمونیوم تخمین بهتری از مقدار پتاسیم نگهداری

شده در مکان‌های غیراختصاصی در خاک‌های با ظرفیت تثبیت بالا ارایه می‌دهد (مارتین و اسپارکس، ۱۹۸۳). همان‌گونه که در جدول ۴ ملاحظه می‌گردد مقدار این پارامتر بسیار متفاوت بوده و شامل مقادیر مثبت و منفی است. بالاتر بودن مقدار منفی پتاسیم جذب شده در سطوح نشان‌دهنده توانایی رهاسازی مقدار بیش‌تری از پتاسیم تبادلی به محلول خاک می‌باشد. مقادیر مثبت توسط شیندلر و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش شده است. لازم به ذکر است که به دلیل وجود مقادیر مثبت، مقدار پتاسیم جذب شده در سطوح در محاسبات آماری وارد نگردید.

پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های اختصاصی، به‌طور عمده با افزایش مقدار پتاسیم قابل جذب افزایش یافت. بین خاک‌های با مقادیر یکسان فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل نیز اختلاف زیادی در مقدار پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های گوه‌ای مشاهده شد که ناشی از تعداد مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم در خاک‌ها می‌باشد. این اختلاف می‌تواند ناشی از درجه هوادیدگی کانی‌های میکایی خاک‌ها باشد (بوایید و همکاران، ۱۹۹۱). در نمونه‌هایی که پتاسیم جذب شده در سطوح مثبت بود، پارامتر پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های اختصاصی محاسبه نشد و تنها در نمونه‌هایی که بخش خطی در قسمت منفی محور واقع می‌شد، محاسبه گردید.

پتاسیم کل قابل جذب برآوردی از پتاسیم قابل جذب خاک (مجموع پتاسیم جذب شده در سطوح و مناطق گوه‌ای) محل تقاطع بخش منحنی نمودار  $Q/I$  با محور  $\Delta K$ ، نشانگر مجموع پتاسیمی است که در مکان‌های اختصاصی و غیراختصاصی نگهداری می‌شود و می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد. کم‌ترین مقدار این پارامتر در گروه ۱ و بیش‌ترین مقدار در گروه ۴ مشاهده شد (جدول ۵). این به آن معناست که خاک‌های با ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم بالاتر وضعیت بهتری از نظر تأمین پتاسیم دارند (بکت، ۱۹۶۴b). رابطه واکنش گیاهان به کودهای پتاسیمی و پارامترهای منحنی  $Q/I$ : از آنجایی که فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل فعالیت نسبی پتاسیم را نسبت به کلسیم و منیزیم می‌سنجد، نسبت به روش اندازه‌گیری مقدار مطلق پتاسیم با استات آمونیوم برتری دارد. بر همین اساس و با توجه به پارامترهای به‌دست آمده از منحنی  $Q/I$  خاک‌ها می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود، مقدار فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل در برخی نمونه‌ها کم‌تر از حداقل نسبت فعالیت  $0/0005$  (مول بر لیتر)  $1/2$  است که به‌عنوان آستانه عکس‌العمل گیاه به مصرف کود تعریف شده است (بکت و بردی، ۱۹۷۲). بنابراین در این خاک‌ها با وجود مناسب و یا حتی زیاد بودن مقدار پتاسیم قابل جذب خاک (با شاخص استات آمونیوم) و نیز بالا بودن مقادیر ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم و درصد رس، انتظار می‌رود با مصرف کودهای شیمیایی با عکس‌العمل مثبت گیاه روبه‌رو شویم. بر همین اساس نمونه‌های ۲، ۳ و ۴ از گروه



۱، نمونه‌های ۹، ۱۱ و ۱۵ از گروه ۳ و نمونه‌های ۱۲، ۱۳، ۱۵ و ۱۶ از گروه ۴ خاک‌هایی هستند که به‌رغم اختلاف در مقدار پتاسیم قابل جذب (جدول ۱) و ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم آن‌ها (جدول ۳) انتظار می‌رود گیاهان کشت شده در آن‌ها به مصرف کودهای پتاسیمی واکنش نشان دهند. در سایر نمونه‌ها مصرف کودهای پتاسیمی با عکس‌العمل گیاه مواجه نخواهد شد.

براساس مقدار انرژی آزاد تبادل پتاسیم با کلسیم و منیزیم که می‌تواند شاخصی از قابلیت دسترسی پتاسیم در خاک باشد، خاک‌هایی که انرژی آزاد آن‌ها در محدوده ۱۴/۶۷- تا ۸/۳۸- کیلوژول بر مول باشد، از نظر مقدار پتاسیم قابل جذب در حد کفایت می‌باشند (مک‌لین، ۱۹۷۶)، بر این اساس انتظار می‌رود خاک‌های مورد پژوهش از نظر عرضه پتاسیم تبدالی دچار کمبود نباشند.

بررسی همبستگی پارامترهای متحنی  $Q/I$  با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک: با توجه به این‌که انجام آزمایش  $Q/I$  خاک‌ها وقت‌گیر و هزینه‌بر است، تخمین آن از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک دارای اهمیت می‌باشد. به این منظور همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم به روش رگرسیون چندمتغیره خطی چندمرحله‌ای بررسی و رابطه زیر به‌دست آمد:

$$PBC^K = 4/13 \times CEC - 4/41 \quad R^2 = 0/79^{***} \quad (5)$$

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری در جدول ۵ نشان داده شده است. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم و درصد رس و کربن آلی در سطح ۵ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی در سطح ۱ درصد در این پژوهش مشاهده گردید. این نتیجه با نتایج سایر محققان (جیمز و پارا، ۱۹۹۱؛ بلالی، ۱۹۹۷) مطابقت دارد. بین گروه‌ها نیز اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد.

به‌طورکلی، مقدار فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل با افزایش مقدار پتاسیم قابل جذب افزایش یافت اگرچه بین این دو رابطه معنی‌داری مشاهده نشد. افزون بر این، نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری بیانگر نبود رابطه معنی‌داری بین درصد رس و همچنین سایر ویژگی‌های خاک با این پارامتر بود. نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (داتا و جوشی، ۱۹۹۰؛ بلالی، ۱۹۹۷؛ حسین‌پور و کلباسی، ۲۰۰۰؛ قنوتی و همکاران، ۲۰۰۹).

پتاسیم کل قابل جذب با پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان داد. همچنین با پتاسیم غیرتبدالی و درصد رس در سطح ۱ درصد همبستگی مثبت مشاهده شد (روی و همکاران، ۱۹۹۱؛ دس و همکاران، ۱۹۹۳؛ خراسانی، ۱۹۹۵). رابطه معنی‌داری نیز در سطح

۵ درصد بین پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های اختصاصی و پتاسیم قابل جذب مشاهده گردید به دست آورده و بیانگر این است که بخشی از پتاسیم استخراج شده توسط استات آمونیوم مربوط به پتاسیمی است که در مکان‌های اختصاصی نگهداری می‌شوند (خراسانی، ۱۹۹۵).

جدول ۵- ضرایب همبستگی پارامترهای منحنی Q/I و خصوصیات خاک.

درصد پتاسیم قابل جذب <sup>۱</sup>	درصد رس <sup>۲</sup>	واکنش خاک <sup>۳</sup>	ظرفیت تبادل کاتیونی <sup>۴</sup>	پتاسیم غیرتبادلی <sup>۵</sup>	درصد پتاسیم کربن آلی <sup>۶</sup>	خصوصیات خاک	پارامترهای منحنی Q/I
۰/۲۵۳	۰/۵۲۳*	-۰/۱۵۲	۰/۶۸۳**	۰/۴۰۵	۰/۴۶۴*	ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم <sup>۷</sup>	
۰/۷۵۰*	۰/۲۵۰	۰/۲۶۸	۰/۵۳۶	۰/۶۳۳	۰/۵۱۷	پتاسیم نگهداری شده در مکان‌های اختصاصی <sup>۸</sup>	
۰/۷۹۲**	۰/۵۹۶**	-۰/۳۲۱	۰/۱۱۸	۰/۶۳۷**	۰/۱۷۰	پتاسیم کل قابل جذب <sup>۹</sup>	
۰/۰۳۲	-۰/۱۴۹	-۰/۰۳۵	-۰/۰۵۶	۰/۰۲۵	-۰/۰۵	فعالیت نسبی پتاسیم در حالت تعادل <sup>۱۰</sup>	
۰/۸۳۰**	۰/۴۲۷	-۰/۱۳۵	۰/۲۵۰	۰/۷۶۳**	۰/۳۶۱	انرژی آزاد <sup>۱۱</sup>	

۱-  $K_{ava}$ ، ۲- % clay، ۳- pH، ۴- CEC، ۵-  $K_{nex}$ ، ۶- % OC، ۷-  $PBC^K$ ، ۸-  $K_X$ ، ۹-  $K_L$ ، ۱۰-  $AR_e^K$  و ۱۱-  $\Delta G^\circ$

با توجه به تأثیر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بر پارامترهای منحنی Q/I پتاسیم، به‌نظر می‌رسد استفاده از این پارامترها بتواند واکنش یا نبود واکنش گیاهان به کودهای پتاسیمی را با دقت بیشتری نسبت به روش استخراج پتاسیم با استات آمونیوم، پیش‌بینی نماید.

### نتیجه‌گیری

بررسی کانی‌شناسی نمونه‌های خاک نشان داد که کانی‌های غالب بیشتر خاک‌های مورد مطالعه، میکای آب‌دار و ورمی‌کولیت است. بنابراین، روش عصاره‌گیری پتاسیم با استات آمونیوم، میزان پتاسیم قابل جذب را بیشتر برآورد می‌کند. ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک همبستگی بسیار بالایی نشان داد. از این‌رو از ظرفیت تبادل کاتیونی می‌توان برای تخمین ظرفیت بافری خاک‌ها و در نهایت توصیه بهینه کودهای پتاسیمی استفاده نمود. نسبت فعالیت پتاسیم خاک‌ها نشان داد در بیش‌تر نمونه‌ها پتاسیم در مکان‌های گوه‌ای و لبه‌های میکای هوادیده نگهداری می‌شود. خاک‌های با ظرفیت بافری بالقوه پتاسیم مشابه، ترکیب کانی‌ها و درجه هوادیدگی مشابهی داشتند.

## منابع

1. Aide, M.T., Cwick, G.J., and Cumming, M.F.S. 1999. Clay mineralogy and potassium status of selected soils in the glacial Lake Agassiz region of central Manitoba. *Can. J. Soil Sci.* 79: 1. 141-148.
2. 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.
3. Assad, M.T. 1997. Design and analysis of agricultural experiments, Shiraz University Press, 543p. (In Persian)
4. Balali, M.R. 1997. Buffering capacity review potential potassium (Pbck) in Paddy Soil of Northern Iran. M.Sc. Thesis Soil science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 124p. (In Persian)
5. Beckett, P.H.T. 1964a. 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.H.T. 1964b. Potassium-calcium exchange equilibria in soils: Specific adsorption sites for potassium. *J. Soil Sci.* 97: 376-383.
7. Beckett, P.H.T., and Nafady, M.H.M. 1967. Effect of K Release and Fixation on the Ion-Exchange Properties of Illite. *Soil Science*, 103: 6. 410-416.
8. Beckett, P., and Brady, N.C. 1972. Critical cation activity ratios. *Advances in Agronomy*, 24: 379-412.
9. Bostani, A.S., and Savaghebi Firoozabadi, Gh. 2006. Quantity-intensity of potassium (Q/I) and correlation of its parameters with soil properties under sugarcane cultivated of Khuzestan province, *J. Agric. Sci.* 37: 471-479. (In Persian)
10. Bouabid, R., Badraoui, M., and Bloom, P.R. 1991. Potassium Fixation and Charge characteristics of Soil Clays. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 5. 1493-1498.
11. Brij, L., Dhyani, S., and Dalla, S.C. 1998. Effect of continuous fertilizer use on Q/I parameter of potassium in a typic ustochrept cropped with maize, wheat and cowpea for 25 years. *J. Potassium Res.* 14: 1-4. 1-6.
12. Das, P.K., Panda, M., Panda, N., and Sahu, S.K. 1993. Quantity-intensity parameters of potassium in Balisahi soil series (Fluventic Ustochrept) of Orissa. *J. the Ind. Soc. Soil Sci.* 41: 3. 459-462.
13. Dutta, B.K., and Joshi, D.C. 1990. Quantity-intensity parameters of potassium and their parameter with available forms and soil properties in dune and interdune soils. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 38: 404-409.
14. Ghanavati, N., Malakouti, M.J., and Hossein-Pour, A. 2009. Correlation between intensity-quantity parameters with some soil properties and potassium uptake by wheat in a number of Abiak soils region, *Science and Technology Agriculture and Natural Resources*, 49: 1-12. (In Persian)
15. Goli-Kalanpa, E., Roostitalab, M.H., and Malakouti, M.J. 2008. Potassium availability as related to clay mineralogy and rates of potassium application, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 2721-2733.

- 16.Griffin, R.A., and Jurinak, J.J. 1973. Test of a new model for the kinetics of adsorption-desorption processes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 37: 869-872.
- 17.Hossein-Pour, A., and Kalbasi, M. 2000. Quantity-intensity parameters of potassium and its correlation with soil properties in a number of soils of Iran, *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4: 1. 43-55. (In Persian)
- 18.Jackson, M.L. 1969. *Soil Chemical Analysis-Advanced Course*. Soil Chemical Analysis-Advanced Course. Madison, Wisconsin USA, 895p.
- 19.Jalali, M. 2007. A study of the quantity/intensity parameters of potassium in some calcareous soils of Iran. *Arid Land Research and Management* 21: 2. 133-141.
- 20.Jimenez, C., and Parra, M.A. 1991. Potassium Quantity-Intensity Parameters in Calcareous Vertisols and Inceptisols of Southwestern Spain. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 4. 985-989.
- 21.Khorasani, R. 1995. Review of the quantity-intensity (Q/I) potassium parameters in the north Paddy Soil, Soil science M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 136p (In Persian)
- 22.Kunze, G.W., and Dixon, J.B. 1986. Pretreatment for mineralogical analysis. P 91-100, In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis, part 1*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, USA.
- 23.Malakouti, M.J., and Homae, M. 2003. *Soil Fertility of arid and semi-arid regions*. Second edition. Tarbiat Modares University press, 494p. (In Persian)
- 24.Malakouti, M.J., Shahabi, A.A., and Bazargan, K. 2005. *Potassium in agriculture of Iran*. First edition. Sana Press, 302p. (In Persian)
- 25.Martin, H.W., and Sparks, D.L. 1983. Kinetics of nonexchangeable potassium release from 2 Coastal-Plain Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 47: 5. 883-887.
- 26.Mehra, O.P., and Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a ditionite citrate system with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7: 317-327.
- 27.Mengel, K., and Kirkby, E.A. 1980 . Potassium in crop production. *Advances in Agronomy*, 35: 59-110.
- 28.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of soil analysis, part 2*, second edition, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, USA, 1159p.
- 29.Roy, H.K., Ajay, K., and Sarkar, A.K. 1991. Quantity-intensity relations of potassium in a representative acid sedentary soil of Ranchi. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 39: 175-177.
- 30.Salahi Farahi, M. 2005. Final report of research project study of soil potassium enrichment process and its effect on cotton permanent plots in Kordkuy area, *Agriculture and Natural Resources Research Center of Golestan*, 11p. (In Persian)
- 31.Samadi, A. 2006. Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of Western Azarbaijan Province, Iran. *Turkish J. Agric. and Forest.* 30: 3. 213-222.

- 32.Schindler, 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.Shaviv, A., Mohsin, M., Pratt, P.F., and Mattigod, S.V. 1985. Potassium Fixation Characteristics of Five Southern California Soils, 49: 1105-1109.
- 34.Sparks, D.L., and Liebhardt, W.C. 1981. Effect of long-term lime and potassium applications on quantity-intensity (Q/I) parameters in sandy soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 45: 4. 786-790.

Archive of SID



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(2), 2011*  
*www.gau.ac.ir/journals*

## **Correlation between Mineral Composition and Potassium Quantity-Intensity Parameters and available potassium in Calcareous Soils**

**A. Fatemi<sup>1</sup>, \*M.J. Malakouti<sup>2</sup>, K. Bazargan<sup>3</sup>,  
R. Rahnamaie<sup>4</sup> and K. Eftekhari<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran,

<sup>3</sup>Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran,

<sup>4</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2010/03/09; Accepted: 2010/12/25

### **Abstract**

Ammonium Acetate extracted soil potassium is the most common plant available potassium evaluation method in soils, but it has been shown that this method was not been suitable to fertilization recommendation of potassium in calcareous soils. This study was conducted to determine correlation between soil mineralogical combinations, potassium Q/I parameters with potassium extracted by normal extraction method determination. Therefore, 18 different soil samples collected from farms of different provinces. Beside difference in physical, chemical and mineralogical characteristics, soils were in different available potassium categories (low, medium, high). Dominant clay minerals of soil samples were identified by X-Ray, then the Q/I parameters were calculated. The results showed no significant correlation between the types of dominant minerals with available potassium. But, some of the Q/I parameters, potassium absorbed by specific sites ( $K_x$ ), labile potassium ( $K_L$ ), and free energy of potassium replacement ( $\Delta G^\circ$ ) were highly correlated with potassium ammonium extractable. Difference in physical, chemical and mineralogical properties could explain different Q/I parameters in soils. Results showed that different soil characteristics could directly affect Q/I parameters, so that it can give a better estimation of soil potassium availability than ammonium acetate extraction.

**Keywords:** Potassium, Quantity-intensity, Q/I, Soil available potassium, Ammonium Acetate

---

\* Corresponding Author; Email: [mjmalakouti@modares.ac.ir](mailto:mjmalakouti@modares.ac.ir)