بررسی تعادل پتاسیم-کلسیم در برخی از خاک‌های آهکی خراسان

رضا خراسانی و غلامحسین حق‌نیا[۱]

چکیده

در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک حضور مقدار زیاد کاتیون کلسیم در سیستم تعادلی خاک (محلول و تبادلی)، همواره واکنش‌های شیمیایی فاز محلول و تبادلی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پدیده تبادل از جمله این واکنش‌های شیمیایی است، که تأثیر کاتیون دو ظرفیتی کلسیم در آن بسیار مهم می‌باشد. یکی از تعادل‌هایی که در سیستم شیمیایی خاک‌های آهکی از اهمیت بیشتری برخوردار است، تعادل پتاسیم-کلسیم است، که می‌تواند پاسخ‌گوی بسیاری از مسائل در شیمی و حاصل‌خیزی خاک و قابلیت استفاده این عناصر، به ویژه پتاسیم باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در خاک‌های آهکی کشور در این زمینه پژوهش زیادی انجام نشده است. این بررسی در شماری از خاک‌های آهکی شمال خراسان انجام شد.

در مرحله نخست، رابطه رگرسیونی بین KAR (نسبت جذب پتاسیم) و EKR (نسبت پتاسیم تبادلی) در ۲۶ نمونه خاک تعیین گردید ($Y=0.02+2.48X$ $R^2=0.77$). بدین ترتیب K_G (ضریب گزینش‌پذیری گاپون) خاک‌ها حدود ۲/۴۸ برآورد شد. در مرحله دوم، در ۱۴ نمونه خاک اشباع با کلسیم، با افزودن غلظت‌های مختلف پتاسیم و برقراری تعادل، رابطه بین EKR و KAR با تقریب زیاد برای هر خاک تعیین شد. دامنه مقدار K_G در این خاک‌ها بین ۱/۲۱ تا ۳/۳۴ با ضریب تبیین (R^2) بالای ۰/۹۱ به دست آمد. در محدوده خاک‌های مورد بررسی، K_G در دامنه پتاسیم مورد آزمایش ثابت، و تقریباً مشابه با K_G حاصل از رابطه بین EKR و KAR در مرحله اول است. معادله پیشنهاد شده در حقیقت گویای ارتباط میان پتاسیم محلول و پتاسیم تبادلی است، که بر اساس آن می‌توان در خاک‌های آهکی تأثیر تغییرات پتاسیم محلول را بر پتاسیم تبادلی، در حضور کلسیم و منیزیم بررسی نمود.

واژه‌های کلیدی: *تعادل پتاسیم -کلسیم در خاک‌های آهکی، KAR، EKR، K_G*

---

۱. به ترتیب مربی و استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]

مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر غذایی اصلی گیاه است، که در خاک به شکل‌های مختلف محلول، تبادلی، غیر قابل تبادل و ساختمانی وجود دارد (۲). تعادل میان شکل‌های پتاسیم محلول و تبادلی، که در ارتباط مستقیم با پدیده تبادل و معادلات مربوط به آن است، می‌تواند نشان‌دهندهٔ وضعیت قابلیت استفاده پتاسیم در خاک باشد. طبق نظر بکت (۱۰)، تبادل در تعادل K-(Ca+Mg) از "قانون نسبت اسکوفیلد" (Schofielde Ratio Law) پیروی می‌کند، که در آن یون‌های Ca و Mg به عنوان یون ویژه عمل می‌کنند (۱۰ و ۲۱). بخش عمده عناصر ضروری مورد نیاز گیاه (مانند K، Ca و Mg) در فاز جامد خاک نگهداری می‌شود. قابلیت استفاده این عناصر تا حد زیادی به پتانسیل شیمیایی این عناصر در فاز جامد خاک بستگی دارد. بنابراین برای ارزیابی وضعیت تبادل K و Ca+Mg لازم است پتانسیل شیمیایی این عناصر در خاک تعیین گردد. ولی این پتانسیل‌ها به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند، و حتی به طور دقیق نیز تعریف نشده‌اند (۹). بنابراین، برای بررسی وضعیت تعادل و ارتباط فاز محلول و تبادل، از معادلات تبادل استفاده می‌شود، که از جمله آنها می‌توان به معادله گاپون (Gapon) اشاره کرد (۵، ٦ و ۱۱).

معادله گاپون در سال ۱۹۳۳ به وسیله شخصی به همین نام ارائه شد، و رفته رفته جای خود را در میان معادلات تبادل باز کرد (۲۳). به رغم ماهیت تقریبی معادله گاپون، این معادله ساده‌ترین معادله تبادلی یک ظرفیتی-دو ظرفیتی قابل اعتمادی است که می‌تواند در بیشتر موارد کاربرد داشته باشد (۳). گرچه ممکن است معادله‌های دیگر نسبت به معادل گاپون پایه نظری قوی‌تری داشته باشند، ولی به خاطر پیچیده بودن دارای کارایی کمتری هستند. به همین علت، بسیاری از پژوهندگان مایل‌اند برای بررسی وضعیت تبادل از معادله گاپون استفاده کنند (٤).

هنگامی که ضریب گزینش‌پذیری (Selectivity coefficient) میان کاتیون‌های دو ظرفیتی مختلف نزدیک به واحد باشد، می‌توان مجموع این کاتیون‌ها را در تبادل با کاتیون یک ظرفیتی به کار برد (۳). این شرط برای ضریب گزینش‌پذیری بین کلسیم و منیزیم صادق است. از این رو می‌توان این دو کاتیون را به عنوان یک یون ویژه در نظر گرفت (۳). از سوی دیگر، شباهت رفتار کلسیم با منیزیم در تبادل با پتاسیم، دلیل دیگری بر در نظر گرفتن مجموع کلسیم و منیزیم به عنوان یک یون ویژه است (۱۰). بر پایه پژوهش‌های انجام شده (٦)، تبادل پتاسیم-کلسیم بر اساس معادله گاپون را می‌توان به صورت زیر نوشت (یون‌های کلسیم و منیزیم به عنوان یک گونه شیمیایی به حساب آمده‌اند):

$$(Ca+Mg)_{1/2}X^0 + (K^+) \Leftrightarrow KX^0 + \frac{1}{2}(Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad [۱]$$

X^0 سطح تبادل کننده با بار ۱- است.

ضریب تبادل گاپون (K_G) از معادله زیر به دست می‌آید:

$$K_G = [KX^0] / [Ca+Mg]_{1/2}X^0 \times (Ca^{+2} + Mg^{+2})^{1/2} / (K^+) \quad [۲]$$

یا به عبارت دیگر:

$$K_G = [ExK] / [ExCa + ExMg] \times (Ca^{+2} + Mg^{+2})^{1/2} / (K^+) \quad [۳]$$

Ex : نشان‌دهنده فرم تبادلی است.

( ) : نشان‌دهندهٔ فعالیت کاتیون‌های محلول است (mol/L).

[ ] : نشان دهندهٔ غلظت کاتیون‌های تبادلی است (mol/kg).

از سویی، طبق تعریف، (Exchangeable Potassium EKR Ratio) یا نسبت پتاسیم تبادلی برابر است با:

$$EKR = [ExK] / [E\,xCa + ExMg] \quad [٤]$$

و KAR (Potassium Adsorption Ratio) یا نسبت جذب پتاسیم برابر است با:

$$KAR = (K^+) / (Ca^{+2} + Mg^{+2})^{1/2} \quad [۵]$$

از تلفیق معادلات ۳، ٤ و ۵ داریم:

$$K_G = EKR / KAR \quad [٦]$$

رابطه خطی میان EKR و KAR را می‌توان با توجه به معادله گاپون به این صورت بیان کرد:

$$EKR = K_G.KAR + C \quad [۷]$$

که C عرض از مبدأ خط و K_G شیب خط است. با به دست

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]

آوردن مقادیر EKR و KAR از معادلات فوق، می‌توان مقدار K_G را از معادله خط برآورد کرد.

البته با توجه به پیچیدگی ترکیب محلول خاک، شاید نتوان در همه خاک‌ها رابطه‌ای کاملاً مشخص بین EKR و KAR در نظر گرفت، ولی رابطه خطی مذکور را برخی از پژوهندگان گزارش کرده‌اند (٦ و ١٤). در پژوهشی که با ٤٠ نمونه خاک غیر آهکی انجام شد، میان EKR و KAR معادله خطی زیر مشاهده شد (١٤):

$$EKR = 0.0113 + 7.76KAR \qquad (R^2 = 0.845) \qquad [٨]$$

همین پژوهش نشان داد معادله خطی قوی‌تر زیر بین KAR و [ExK]/(CEC-[ExK]) وجود دارد:

$$[ExK]/(CEC-[ExK]) = 0.0037 + 6.88KAR$$
$$(R^2 = 0.954) \qquad [٩]$$

الکنعانی و همکاران (٦) در پژوهش دیگری که با ٢٠ نمونه خاک آهکی انجام دادند، معادله زیر را بین EKR و KAR ارائه کردند.

$$EKR = 0.0287 + 4.17KAR \qquad (R^2 = 0.963) \qquad [١٠]$$

در همین پژوهش، با در نظر گرفتن اثر جفت و کمپلکس یونی در محاسبات، معادله زیر به دست آمد:

$$EKR = 0.0104 + 3.35KAR \qquad (R^2 = 0.874) \qquad [١١]$$

معادله فوق در دامنه EKR کمتر از ٠/١١ به صورت زیر تغییر کرد:

$$EKR = 0.0154 + 5.16KAR \qquad (R^2 = 0.943) \qquad [١٢]$$

به طور کلی، هدف از این پژوهش، با توجه به تأثیر کلسیم در خاک‌های آهکی بر وضعیت پتاسیم به عنوان یک عنصر غذایی مهم، تعیین KAR و EKR و روابط بین آنها، و هم‌چنین پیشنهاد یک معادله خطی است که به وسیله آن بتوان اثر تغییرات KAR (در اثر افزودن کود، آب‌شویی، برداشت گیاه و ...) را بر مقدار EKR بررسی کرد. برای این منظور می‌توان از معادلات تبادل، از جمله معادله گاپون استفاده کرد. معادله گاپون در بررسی تعادل سدیم-کلسیم در خاک‌های سدیمی کاربرد بسیاری دارد، و بررسی‌های زیادی در این زمینه انجام شده است (١٣)، ولی در تعادل پتاسیم-کلسیم پژوهش چندانی صورت نگرفته است.

مواد و روش‌ها

از میان نمونه‌های اولیه خاک که در آزمایش‌های مقدماتی تجزیه شد، ٢٦ نمونه بر اساس گسترده بودن برخی از ویژگی‌ها مانند کربنات کلسیم معادل، بافت خاک و پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم، انتخاب گردید. نمونه‌های انتخاب شده از منطقه‌ای با طول جغرافیایی ٥٧ درجه و ٥ دقیقه تا ٥٧ درجه و ٥٥ دقیقه، و عرض جغرافیایی ٣٧ درجه و ١٦ دقیقه تا ٣٧ درجه و ٢٤ دقیقه، از دو سری شیروان با رده‌بندی Fine mixed mesic Typic Chromoxererts و اترک با رده‌بندی Fine mixed mesic Aquic Xerochrepts برداشت شد.

بافت خاک به روش هیدرومتر، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون با اسید (٢٠)، ماده آلی به روش والکلی-بلک (١٩)، pH در گل اشباع، EC در عصاره اشباع، CEC به روش چاپمن (١٢) و پتاسیم به روش استات آمونیوم تعیین شد. هم‌چنین، مینرالوژی ٢٢ نمونه از خاک‌ها که در منطقه دشت شیروان قرار داشتند به وسیله روش پراش پرتو-ایکس تعیین شد (١).

در آزمایش اصلی، در مرحله اول، پس از تهیه گل اشباع و استخراج عصاره اشباع، کاتیون‌های منیزیم، کلسیم، سدیم و پتاسیم، و آنیون‌های کلر، کربنات، بی‌کربنات و سولفات اندازه‌گیری گردید. از سوی دیگر، برای تعیین کاتیون‌های پتاسیم و سدیم (مجموع محلول و تبادلی) از عصاره‌گیر استات آمونیوم نرمال و خنثی استفاده شد. به سبب حل شدن برخی از کانی‌ها از جمله کلسیت در استات آمونیوم، مجموع کلسیم و منیزیم تبادلی از تفاضل CEC و مجموع پتاسیم و سدیم به دست آمد (٦ و ١٤).

سدیم و پتاسیم با فلیم فتومتر، کلر با روش تیتراسیون با نیترات نقره، سولفات با روش توربیدومتری، و کربنات و بیکربنات با روش تیتراسیون با اسید اندازه‌گیری شد.

مقادیر فعالیت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیز KAR و EKR

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]

محاسبه، و رابطه بین آنها بررسی گردید.

در مرحله دوم، با توجه به پیش آزمایش‌هایی که در همین قسمت انجام شد، برخی از خاک‌ها حذف شدند، و نهایتاً ۱٤ نمونه خاک از یک منطقه برای آزمایش بعدی انتخاب گردید. در این آزمایش مراحل مختلف زیر انجام شد (٦، ۷، ۱۵ و ۱٦):

الف) اشباع‌سازی با کلسیم

هر خاک در شش تکرار با نسبت ۱ به ۱۰، در مجاورت محلول کلرید کلسیم یک مولار، به مدت پنج دقیقه در دستگاه شیکر تکان داده شد. نمونه‌ها تا صاف شدن محلول فوقانی سانتریفوژ، و سپس محلول فوقانی دور ریخته شد. برای اطمینان از اشباع کامل خاک با کلسیم، این عمل سه بار تکرار گردید. پس از انجام آخرین مرحله، عمل شست‌شوی فاز محلول خاک با الکل اتیلیک (شامل افزودن الکل، تکان دادن و سانتریفوژ کردن) در چند مرحله انجام شد، که برای مشخص شدن تعداد این مراحل از تست کلر توسط نیترات نقره استفاده گردید. بدین ترتیب، نمونه اشباع شده با کلسیم آماده انجام عملیات بعدی شد.

ب) جایگزینی کلسیم با پتاسیم

در ادامه کار مرحله قبلی، غلظت‌های مختلف پتاسیم (صفر تا ده میلی‌مول بر لیتر) توسط محلول‌های حاوی مقادیر مشخص پتاسیم و کلسیم (شش محلول با قدرت یونی ثابت، که به وسیله کلرید کلسیم فراهم شده بود)، روی شش تکرار از هر خاک ریخته شد. یعنی به هر تکرار خاک یک غلظت از پتاسیم، که در حقیقت یک تیمار محسوب می‌شد، افزوده گردید. پس از دو ساعت تکان دادن و برقراری تعادل، تیمارها سانتریفوژ شده و محلول شفاف فوقانی جمع‌آوری گردید (که به آن محلول تعادلی اطلاق می‌شود). در محلول تعادلی، کلسیم با دستگاه جذب اتمی و پتاسیم با فیلم فتومتر اندازه‌گیری، و مانند مرحله قبل پس از محاسبه KAR و EKR ، رابطه میان آنها بررسی شد.

نتایج و بحث

دامنه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها در جدول ۱ آمده است.

کانی‌های غالب در خاک‌های مورد بررسی عبارت بودند از: مونتموریلونیت، کائولینیت، ایلیت، کلریت و کوارتز.

در این خاک‌ها، کاتیون‌های پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم به عنوان کاتیون‌های غالب، و آنیون‌های کلر، سولفات، کربنات و بی‌کربنات به عنوان آنیون‌های غالب در فاز محلول شناخته شد (جدول ۲). برای این منظور در برخی از منابع از نسبت‌های معین آب به خاک نیز استفاده شده است (٦).

کاتیون‌های تبادلی پتاسیم و سدیم از تفاضل مقادیر این کاتیون‌ها در عصاره اشباع از عصاره استات آمونیوم به دست آمد، و از آن جا که استات آمونیوم روش مناسبی برای تعیین کلسیم و منیزیم تبادلی در خاک‌های آهکی نیست، مقدار مجموع کاتیون‌های تبادلی کلسیم و منیزیم از تفاضل مجموع کاتیون‌های تبادلی سدیم و پتاسیم از CEC به دست آمد (۱٤) (جدول ۳).

با توجه به مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول، نخست قدرت یونی فاز محلول هر یک از خاک‌ها محاسبه گردید. سپس بر اساس فرمول بسط یافته دی‌بای‌هاکل (Debye-Huekel)، فعالیت پتاسیم، کلسیم و منیزیم برای هر خاک محاسبه شد (جدول ٤) و KAR، که نسبت فعالیت پتاسیم به فعالیت کلسیم و منیزیم است، به دست آمد.

با توجه به ضریب گزینش‌پذیری کلسیم و منیزیم و رفتار مشابه کلسیم با منیزیم در تعادل با پتاسیم، می‌توان مجموع کلسیم و منیزیم را به عنوان یک یون ویژه در نظر گرفت (۳). از سوی دیگر، نسبت پتاسیم تبادلی (EKR) از فرمول ExK/(ExCa+ExMg) محاسبه شد (Ex گویای فرم تبادلی است).

بر اساس معادله $EKR=K_G.KAR+C$، مقدار K_G که شیب معادله خط EKR و KAR است، به دست آمد (شکل ۱).

با توجه به معادله فوق، مقدار K_G برای این خاک‌ها برابر ۲/٤۸ به دست آمد. در یک پژوهش مشابه که در ۲۰ نمونه خاک آهکی انجام شد، هم‌بستگی میان KAR و EKR بررسی گردید و مقدار K_G برابر با ٤/۱۷ گزارش شد. در همین پژوهش،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]

جدول ۱. دامنه و میانگین ویژگی‌های عمومی خاک‌ها

ویژگی	دامنه	میانگین	انحراف معیار
رس (درصد)	۲۶/۷۲–۶۶/۷۶	۴۴/۱۴	۹/۹۰
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	۷/۱۱–۲۹/۲۳	۱۶/۹۶	۶/۲۹
مواد آلی (درصد)	۰/۲۰–۲/۴۲	۱/۰۰	۰/۷۴
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۱۵/۰۰–۴۵/۸۹	۲۵/۰۶	۸/۴۸
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۶۳–۱۰/۱۰	۲/۹۸	۱/۵۷
پتانسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (میلی‌مول بر لیتر)	۰/۹۰–۴/۰۰	۱/۷۰	۰/۷۰
پتاسیم تبادلی (درصد)	۱/۲۷–۷/۵۰	۴/۰۸	۱/۸۵
pH	۸/۱۳–۸/۷۰	۸/۴۴	۰/۱۸

جدول ۲. میانگین مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول

یون	میانگین (میلی‌مول بر لیتر)	انحراف معیار
کلسیم	۹/۵	۴/۱
پتاسیم	۱/۳	۰/۷
منیزیم	۳/۶	۳/۱
سدیم	۱۶/۶	۹/۵
کلر	۸/۷	۷/۰
سولفات	۳/۸	۴/۸
کربنات	۴/۰	۲/۰
بیکربنات	۷/۹	۹/۱

جدول ۳. میانگین مقادیر کاتیون‌های تبادلی

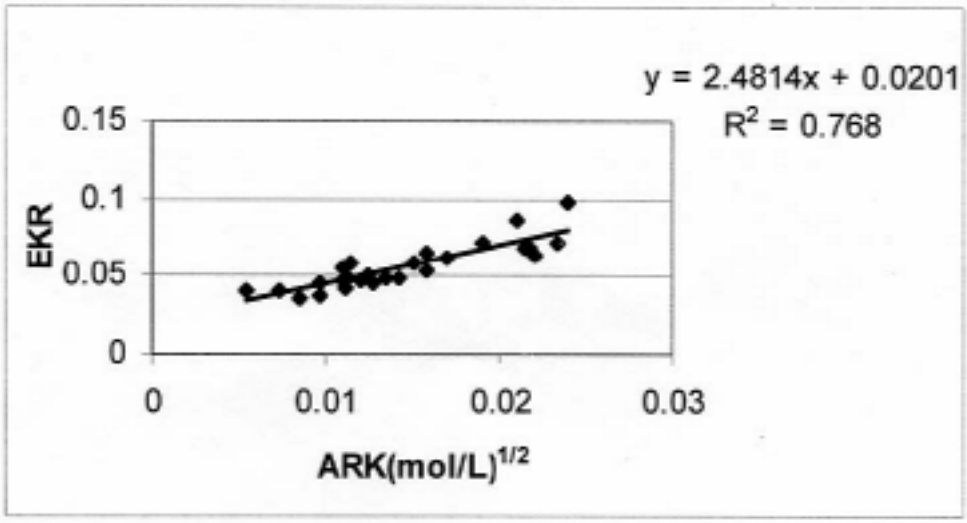
کاتیون	میانگین (میلی‌مول بر لیتر)	انحراف معیار
کلسیم + منیزیم	۱۸۳/۱	۴۰/۰
پتاسیم	۶/۲	۲/۰

جدول ۴. میانگین قدرت یونی و فعالیت کلسیم، منیزیم و پتاسیم

مقادیر	میانگین (میلی‌مول بر لیتر)	انحراف معیار
قدرت یونی	۵۱/۴	۲۵/۲
فعالیت کلسیم	۴/۱	۱/۰
فعالیت منیزیم	۱/۷	۱/۰
فعالیت پتاسیم	۱/۰	۰/۵

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]



شکل ۱. رابطه بین KAR و EKR

با در نظر گرفتن تأثیر جفت و کمپلکس یونی در فاز محلول خاک، مقدار K_G حدود ۳/۳۵ برآورد شد، که با افزایش R^2 همراه بود (٦). بر همین اساس، بررسی تأثیر جفت یونی و کمپلکس یونی در فاز محلول خاک توسط نرم‌افزار minteq2 انجام شد، و پس از تصحیح فعالیت پتاسیم، کلسیم و منیزیم، مقدار KAR مجدداً محاسبه، و رابطه آن با EKR بررسی گردید. ولی در وضعیت ضریب تبیین (R^2) معادله، افزایشی مشاهده نشد.

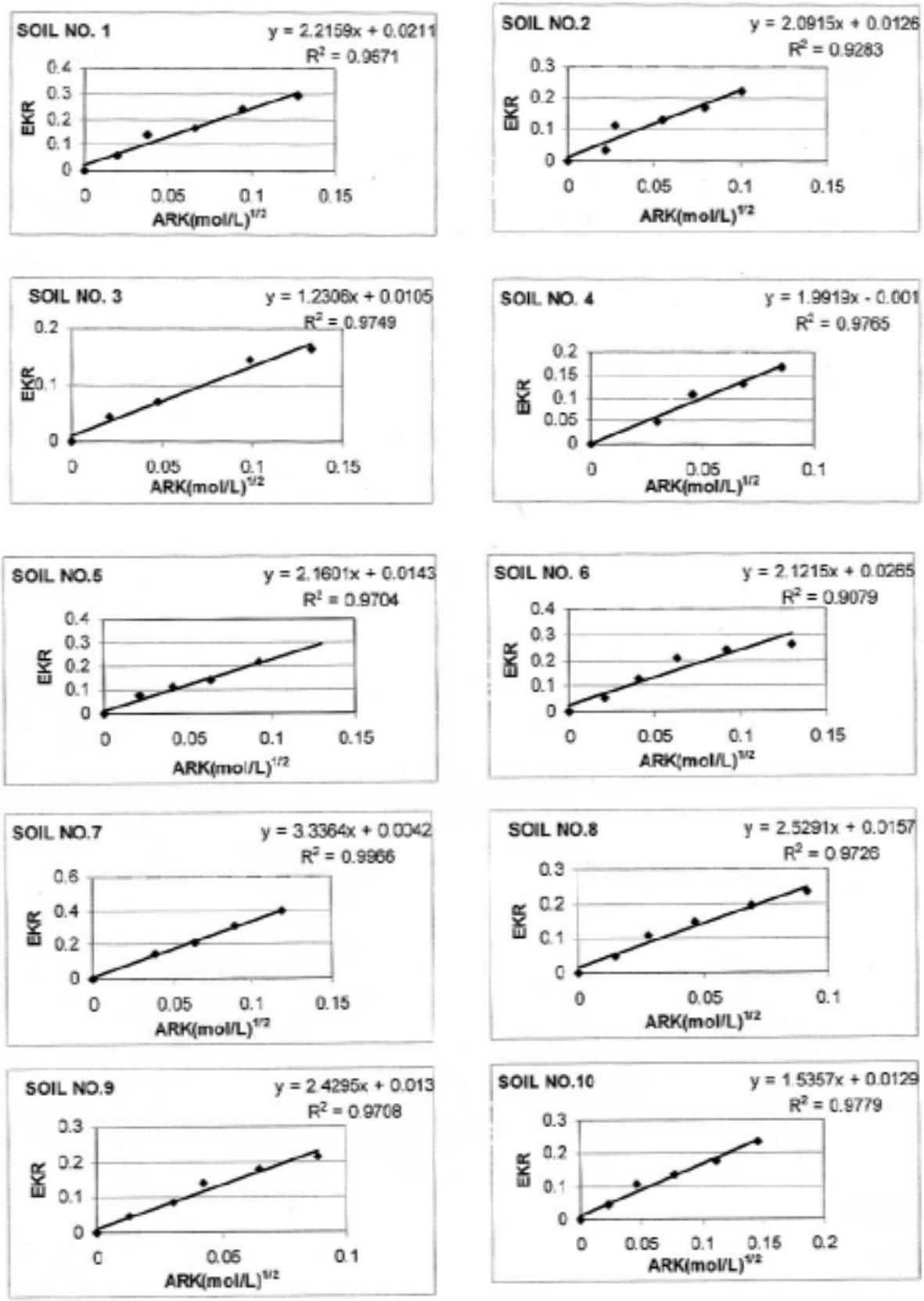
در خاک‌های مورد آزمایش، با بررسی رابطه میان EKR و KAR می‌توان تأثیر تغییرات KAR را روی مقدار EKR مطالعه کرد. به سخن دیگر، وقتی به این خاک‌ها کود پتاسیم افزوده شود، می‌توان با ثابت فرض کردن K_G، که در قسمت بعدی بررسی می‌شود، به وسیله اندازه‌گیری یون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول و محاسبه مقدار KAR، مقدار EKR را از معادله فوق برآورد نمود، و بر اساس آن تعیین کرد چه مقدار از پتاسیم اضافه شده در تعادل با کلسیم و منیزیم به شکل پتاسیم تبادلی، که در حقیقت ذخیره پتاسیم خاک است، تبدیل می‌شود. آگاهی از ذخیره و شدت پتاسیم در خاک به همراه تعیین مقدار نیاز گیاه به پتاسیم در پژوهش‌های بعدی، می‌تواند راهنمای مفیدی در توصیه کودی پتاسیم در این خاک‌ها برای محصولات مختلف باشد. البته با توجه به مقدار ضریب تبیین (R^2)، برآورد EKR به این ترتیب از تقریب خیلی زیادی برخوردار نخواهد بود. علت اصلی نسبتاً پایین بودن ضریب تبیین (R^2) در این پژوهش و پژوهش‌های مشابه دیگر، تفاوت در ویژگی‌های کانی‌شناختی خاک‌ها است، و هرچه این تفاوت کمتر باشد، مقدار ضریب تبیین افزایش می‌یابد (٦ و ١٤).

در بخشی دیگر از این پژوهش، به منظور تعیین K_G هر یک از خاک‌ها، ١٤ خاک انتخاب شد. نخست خاک‌ها با کلسیم اشباع، و سپس غلظت‌های مختلف پتاسیم به آن افزوده شد. پس از برقراری تعادل، غلظت پتاسیم و کلسیم در محلول تعادلی اندازه‌گیری شد (به مواد و روش‌ها رجوع شود).

با توجه به قدرت یونی محلول‌های تعادلی (شامل یون‌های پتاسیم و کلسیم و کلر)، فعالیت پتاسیم و کلسیم تعیین، و سپس KAR از فرمول $aK/aCa^{1/2}$ محاسبه شد. از سوی دیگر، پتاسیم تبادلی از تفاضل پتاسیم اولیه و پتاسیم تعادلی به دست آمد و مقدار کلسیم تبادلی از تفاضل CEC و پتاسیم تبادلی محاسبه شد (ظرفیت تبادل کاتیونی در حالت تعادل فقط از پتاسیم و کلسیم اشباع شده است). مقدار EKR نیز از فرمول ExK/ExCa به دست آمد و رابطه بین KAR و EKR برای هر خاک تعیین شد (شکل ٢).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

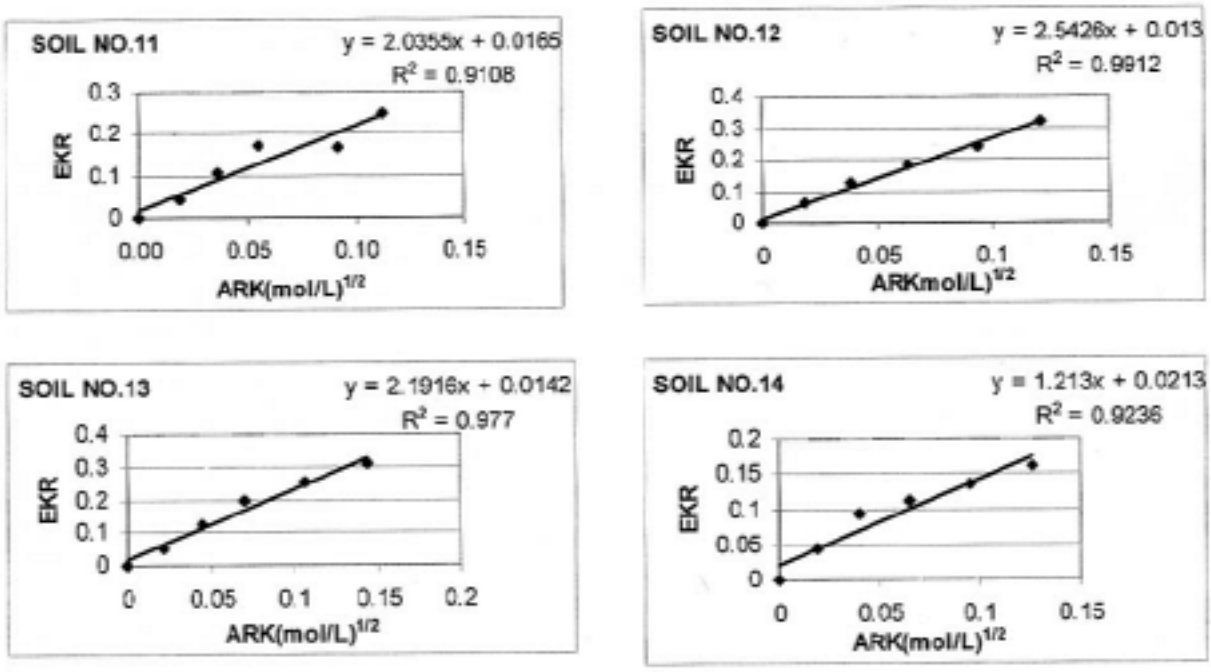
[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]



شکل ۲. رابطه EKR با KAR برای ۱۴ نمونه خاک اشباع با کلسیم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]



(دنباله شکل ۲)

مقدار K_G، که همان شیب معادله خط است، در این خاک‌ها با تقریب زیاد بین ۱/۲۱ تا ۳/۳٤ برآورد شد (شکل ۲). زیاد بودن K_G خاک گویای بیشتر بودن EKR نسبت به KAR است، و تمایل زیاد خاک را برای جذب پتاسیم در جایگاه‌های تبادلی نسبت به کلسیم و منیزیم نشان می‌دهد (۷، ۱۵ و ۱٦). تمایل بیشتر خاک برای جذب پتاسیم نسبت به کلسیم در غلظت‌های کم و متوسط پتاسیم محلول (KAR کم و متوسط) در خاک‌های حاوی میکا گزارش شده است (۱۸). مقدار K_G به درصد پتاسیم تبادلی (EPP) بستگی دارد (۸، ۱۷ و ۲۲)؛ به طوری که گزارش شده است با افزایش درصد پتاسیم تبادلی، K_G کاهش می‌یابد (۱۷).

در این پژوهش غلظت‌های پتاسیم در تیمارها به گونه‌ای در نظر گرفته شده بود که در دامنهٔ پتاسیم خاک‌های زراعی باشند. در این دامنه به خوبی مشاهده شده است که اولاً مقدار K_G در این شرایط ثابت است و با افزایش پتاسیم به خاک K_G تغییر نمی‌کند. بنابراین، تغییرات KAR ناشی از کاربرد کود پتاسیم، یا برداشت و آب‌شویی پتاسیم با یک ضریب ثابت و مشخص قادر است بر EKR تأثیر داشته باشد. در نتیجه می‌توان با تعیین KAR، مقدار EKR را با تقریب زیاد برآورد کرد. ثانیاً از مقایسه K_G به دست آمده از آزمایش و K_G حاصل از رابطه KAR و EKR در حالت طبیعی، می‌توان نتیجه گرفت که برآورد K_G از طریق رابطه KAR و EKR (بخش اول) برآورد مناسبی بوده است.

نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی می‌توان گفت: در این پژوهش اولاً رابطه‌ای بین EKR و KAR به صورت EKR=0.0201+2.481KAR در خاک‌های مورد بررسی به دست آمد، که می‌تواند گویای ارتباط میان پتاسیم محلول و تبادلی باشد، و بدین ترتیب اثر تغییرات پتاسیم محلول بر پتاسیم تبادلی در حضور کلسیم و منیزیم به عنوان کاتیون‌های اصلی خاک‌های آهکی مشخص خواهد شد. به وسیله این معادله و با محاسبه KAR در مقادیر مختلف پتاسیم (افزودن کود، برداشت گیاه، آب‌شویی و ...)، می‌توان EKR را با تقریب نسبتاً زیاد (r=0.88) برآورد کرد، که این

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]

می‌تواند راه‌گشای بسیاری از مسائل در توصیه کودی پتاسیم باشد. ثانیاً K_G محاسبه شده برای هر خاک نشان داد که در محدوده خاک‌های مورد بررسی، این ضریب در دامنه مقادیر پتاسیم خاک ثابت، و تقریباً مشابه با K_G حاصل از رابطه بین EKR و KAR است، که در این صورت می‌توان با اطمینان بیشتری از معادله فوق استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد برای تأمین هزینه طرح و جناب آقای دکتر فتوت به دلیل راهنمایی در استفاده از نرم‌افزار minteq2 قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. حق‌نیا، غ. ح. ۱۳۷۱. مطالعه و بررسی خصوصیات خاک بخشی از مزرعه آموزشکده شیروان به منظور زه‌کشی و اصلاح اراضی. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی. ۱۳۷۲. *اصول تغذیه گیاه* (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.

۳. کریمیان، ن. ۱۳۷۱. *شیمی خاک* (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی.

٤. مجللی، ح. ١٣٦٦. *شیمی خاک* (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی.

5. Al-Kanani, T., N. N. Barthakur and A. J. Hussein. 1991. Evaluation of potassium quantity-intensity relationships in calcareous soils. Soil Sci. 151: 167-173.
6. Al-Kanani, T., A. J. Hussein and N. N. Barthakur. 1989. Potassium exchange equilibria in calcareous soils. Soil Sci. 4: 286-292.
7. Bar-Tal, A., M. J. Eick, S. Feigenbaum, D. L. Spapke and S. Fishman. 1995. Determination of rate coefficients for potassium-calcium exchange on vermiculite using a stirred-flow chamber. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 760-765.
8. Baruah, T. C., P. L. Raj, S. R. Poonia and R. S. Siyag. 1995. Calcium-potassium, ammonium-potassium and calcium-ammonium exchange equilibria in soil semi-arid region of Haryana and humid region of Assam. J. Potassium Res. 11: 227-290.
9. Beckett, P. H. T. 1964a. Studies on soil potassium. I. Confirmation of the ratio law: Measurement of potassium potential. J. Soil Sci. 15: 1-8.
10. Beckett, P. H. T. 1964b. Studies on soil potassium. II. The immediate Q/I relation of labile potassium in the soil. J. Soil Sci. 15: 9-23.
11. Beckett, P. H. T. 1964. Potassium-calcium exchange equilibria in soil: specific adsorption site for potassium. Soil Sci. 97: 376-383.
12. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capability. PP. 891-901. *In*: C. A. Black et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
13. Curtin, D., F. Selles and H. Steppuhn. 1995. Sodium-calcium exchange selectivity as influenced by soil properties and methods of determination. Soil Sci. 159: 176-184.
14. Dufey, J. E. and B. Delvauy. 1989. Modeling potassium-calcium exchange isotherms in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1297-1299.
15. Escudey, M. and G. Galindo. 1988. Potassium-calcium exchange on inorganic clay fraction andepts. Geoderma 41: 275-285.
16. Knibbe, W. G. L. and G. W. Thomas. 1972. Potassium-calcium exchange coefficients in clay fractions of some Vertisols. Soil Sci. Soc. Am. J. 36: 568-572.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]

17. Kumar, R., S. C. Metha and M. Singh. 1997. Potassium-calcium exchange equilibria in some soil of Haryana. Agrochimica. 41: 171-176.
18. Mukhopad, S. S. 1996. Calcium-potassium exchange and thermodynamics in micaceous soil. J. Potassium Res. 12: 1-13.
19. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 539-579. *In*: A. L. Page, et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
20. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. PP. 181-197. *In*: A. L. Page et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
21. Schofield, R. K. and A. W. Taylor. 1955a. Measurement of the activities of bases in soil. J. Soil Sci. 6: 136-146.
22. Singh, Y. P., S. C. Mhta, S. Mhendra, K. S. Grewal, M. Singh and A. Kumar. 1995. Potassium-calcium exchange equilibria in Entisols and Inceptisols. J. Potassium Res. 11: 30-35.
23. Sposito, G. 1977. The Gapon and Vanselow selectivity coefficients. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 1205-1206.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.2.8]