مقایسه پارامترهای نسبت کمیت به شدت پتاسیم در برخی خاک‌های ورتی‌سولز استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری

مرتضی بهمنی*، علیرضا حسین‌پور و محمد حسن صالحی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۲/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۶)

چکیده

خصوصیات خاک تحت تأثیر اقلیم قرار دارند. پتاسیم قابل استفاده یکی از شاخص‌های حاصل‌خیزی خاک به شمار می‌رود. تحقیق حاضر برای مقایسه پارامترهای کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌های ورتی‌سولز استان‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری با رژیم‌های رطوبتی اریدیک و زریک انجام شد. نتایج کانی‌شناسی نشان داد که اسمکتیت کانی غالب در خاک‌های ورتی‌سول چهارمحال‌وبختیاری است. نتایج نشان داد که در افق‌های سطحی نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل (AR_e^k) در خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۰۲ تا ۰/۱۱ و ۰/۰۰۳۷ تا ۰/۰۰۷۸ ($mmolL^{-1})^{0.5}$ است. پتاسیم لبایل یا پتاسیم آسان قابل استفاده (ΔK^0) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۲۳ تا ۳/۸ و ۰/۷۲ تا ۱/۶ میلی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. پتاسیم نگه‌داری شده در مکان‌های اختصاصی یا پتاسیم سخت قابل استفاده (K_X) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۲/۸ تا ۷/۱ و ۲/۶ تا ۳/۷ میلی‌مول بر کیلوگرم است. گنجایش بافری پتاسیم (PBC^K) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۱۲ تا ۳۶ و ۱۹۱ تا ۲۱۰ ($(mmolL^{-1})^{0.5}/mmolkg^{-1}$) می‌باشد. میانگین این پارامتر دارای تفاوت معنی‌دار در افق‌های سطحی دو منطقه است. هم‌چنین پارامترهای Q/I با عمق خاک نیز تغییر می‌کردند. PBC^K در خاک‌های دو منطقه مورد مطالعه با افزایش عمق خاک افزایش یافت و تغییرات دیگر پارامترها متفاوت بود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، روابط کمیت به شدت، اقلیم، ورتی سولز

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: bahmanimorteza@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]

مقدمه

مطالعات اندکی در مورد شیمی و حاصل‌خیزی پتاسیم (K^+) در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شده است زیرا خاک‌های این مناطق به‌طور کلی ذخیره خوبی از این عنصر دارند. به هرحال، خاک‌هایی که تحت کشت مستمر قرار دارند در حال تخلیه شدن پتاسیم قابل استفاده گیاه هستند. در ایران هم استفاده از واریته‌های با راندمان بالا و سیستم‌های کشت فشرده باعث تخلیه پتاسیم قابل استفاده شده‌اند (۴). به طور کلی پتاسیم در خاک به چهار شکل متفاوت یافت می‌شود که براساس کاهش قابلیت استفاده شامل پتاسیم محلول، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم ساختمانی است. این شکل‌های مختلف در تعادل با یکدیگر قرار دارند (۱۴).

قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاهان به شدت، ظرفیت و سرعت تجدید آن در خاک بستگی دارد. شدت همان غلظت پتاسیم در محلول خاک می‌باشد، ظرفیت (کمیت)، مقدار کل پتاسیم قابل استفاده در فاز جامد است که وارد محلول خاک می‌شود و سرعت تجدید بیان‌کننده سرعت انتقال پتاسیم از فاکتور کمیت به فاکتور شدت است (۷). شواهد نشان می‌دهد که جذب پتاسیم به وسیله گیاهان از محلول خاک به غلظت کلسیم (Ca^{2+}) یا منیزیم (Mg^{2+}) نیز بستگی دارد (۱۰). برای تعیین پتاسیم قابل استفاده گیاه روش‌های عصاره‌گیری با استفاده از کاتیون های جانشین شونده استفاده می شود، که از همه متداول تر روش استات آمونیوم یک مولار است. این روش برای عصاره گیری پتاسیم تبادلی کارایی بالایی داشته اما برای اندازه گیری مقدار پتاسیم به آسانی قابل دسترس دارای خطا می‌باشد (۱۶).

در خاک‌های غنی از کانی‌های میکایی، به علت وجود مواضع اختصاصی جذب پتاسیم، مقدار زیادی از پتاسیم با انرژی بالا در این مواضع نگهداری می‌شود که هنگام عصاره‌گیری با استات آمونیوم بخشی از آن استخراج می‌شود (۲). این موضوع احتمالاً یکی از دلایل هم‌بستگی ضعیف بین پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم و عکس‌العمل گیاه به کودهای پتاسه در این خاک‌هاست (۳ و ۸). توانایی معین یک خاک برای ذخیره هر عنصر بخصوصی به وسیله مقدار کل آن عنصر در خاک و سطح انرژی یا شدت تأمین آن عنصر توصیف می‌شود (۱۷). روابط بین این دو پارامتر به وسیله روش کمیت به شدت تعیین می‌شوند (۸). روابط کمیت به شدت می‌توانند درک فوری از وضعیت پتاسیم خاک فراهم کنند. با استفاده از روابط کمیت به شدت محققان می‌توانند مقدار معین پارامترهایی که در ارزیابی وضعیت پتاسیم مهم هستند را به دست آورند (۲۶). وضعیت معمول رابطه کمیت به شدت (Q/I) پتاسیم در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل، ΔK عامل کمیت (Q) و نشان‌دهنده تغییر در پتاسیم تبادلی با تغییر عامل شدت (AR^K) است.AR^K عامل شدت (I) یا نسبت فعالیت پتاسیم است:

$$AR^K=[a_k/(a_{Ca+Mg})^{0.5}] \qquad [۱]$$

در این فرمول a_k، a_{Ca} و a_{Mg} به ترتیب فعالیت پتاسیم، کلسیم و منیزیم در محلول تعادلی خاک می‌باشند. هم‌چنین:

ΔK^0= پتاسیم آسان قابل استفاده (Labile)

AR^0= نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل

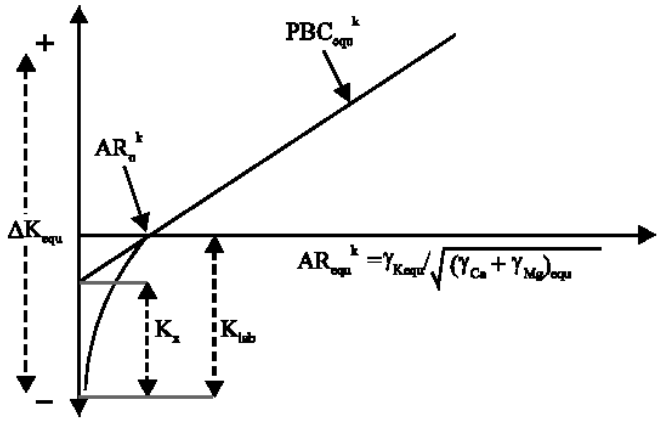
K_X= شاخصی از مقدار پتاسیم جذب شده در محل‌های اختصاصی که پتاسیم سخت قابل استفاده نامیده می‌شود.

PBC^K= شیب قسمت خطی نمودار Q/I، یا گنجایش بافری بالقوه پتاسیم خاک

تفسیرهای متفاوتی در مورد پارامترهای منحنی Q/I ارائه شده، بخش خطی نمودار به محل‌های جذب غیراختصاصی پتاسیم و بخش غیرخطی به محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم نسبت داده شده است (۸). محل‌های جذب غیراختصاصی مربوط به سطوح پایه‌ای می‌باشند، در حالی‌که محل‌های جذب اختصاصی به محل‌های لبه‌ای کانی‌های رسی و محل‌های گوه‌ای شکل میکاهای هوادیده نسبت داده می‌شود (۱۰). با توجه به تأثیر کانی‌های رسی بر پارامترهای نمودارهای کمیت به شدت پتاسیم، به دست آوردن روابط کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌هایی با خصوصیات متفاوت که در اقلیم‌های متفاوتی قرار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]



شکل ۱. منحنی مشخصه کمیت به شدت پتاسیم

دارند می‌تواند مفید باشد. هم‌چنین اطلاع از الگوی روابط Q/I در عمق‌های مختلف خاک می‌تواند در شناخت ذخیره طبیعی پتاسیم در اعماق پایین خاک مهم باشد. مطالعه حاضر با هدف تعیین پارامترهای نمودارهای کمیت به شدت پتاسیم در دو خاک ورتی‌سول در استان‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان در طول‌های جغرافیایی ″۵۳/۳۵ ′۴۶ °۵۱ و ″۵۱/۵۲ ′۴۷ °۵۱ و عرض‌های جغرافیایی ″۶۱/۵۴ ′۳۸ °۳۲ و ″۴۱/۲۲ ′۳۹ °۳۲ است. اقلیم این منطقه خشک با بارندگی سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال‌وبختیاری در دشت کوهرنگ و در طوهای جغرافیایی ″۳۶/۵۱ ′۰۷ °۵۰ و ″۴۱/۹۹ ′۰۷ °۵۰ و عرض‌های جغرافیایی ″۱۶/۷۵ ′۱۷ °۳۲ و ″۲۱/۷۸ ′۲۷ °۳۲ واقع شده است. اقلیم این منطقه نیمه‌خشک با بارندگی سالیانه ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال است. تعداد سه پروفیل در هر منطقه حفر و طبقه‌بندی خاک‌ها براساس سیستم رده‌بندی آمریکایی انجام شد (۲۷). نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مانند بافت به روش هیدرومتری (۱۱)، pH و هدایت الکتریکی در سوسپانسیون ۵:۱ (خاک:آب) اندازه‌گیری شدند (۲۳). کربن آلی با روش اکسیداسیون با دی‌کرومات (۲۱)، کربنات کلسیم معادل به وسیله تیتراسیون با اسید (۱۹) و گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم نرمال (۹) اندازه‌گیری شدند. پتاسیم محلول در عصاره‌های ۱۰:۱ (خاک: آب)، پتاسیم تبادلی با روش استات آمونیوم یک مولار (۱۶) و پتاسیم غیرتبادلی با اسید نیتریک یک مولار جوشان (۶) تعیین شدند. آنالیز کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها توسط دستگاه پرتو ایکس بروکر مدل دی- ۸ صورت گرفت (۱۵).

روابط کمیت به شدت پتاسیم

برای رسم منحنی‌های کمیت به شدت پتاسیم برای هر نمونه خاک اطلاعات لازم به شرح زیر به دست آمد: ۲۵ میلی‌متر محلول ۰/۰۰۲ مولار کلرید کلسیم، که غلظت پتاسیم (از منبع کلرید پتاسیم) در آنها به ترتیب صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۶ و ۲/۴ میلی‌مولار بود به نمونه‌های ۲/۵ گرمی از هر خاک (در سه تکرار) اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه تکان داده شدند. پس از سانتریفیوژ کردن در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) عصاره‌های خاک به وسیله دستگاه هدایت‌سنج، غلظت کلسیم +

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]

منیزیم به وسیله تیتراسیون با EDTA و غلظت پتاسیم با روش طیف‌سنجی نشر اتمی اندازه‌گیری شد.

تغییر در غلظت پتاسیم (ΔK)، از تفاوت غلظت پتاسیم در محلول اولیه و محلول تعادلی به دست آمد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم (معادله ۱)، ابتدا قدرت یونی محلول‌ها (I) با استفاده EC اندازه‌گیری شده و فرمول تجربی $I= ۰/۰۱۳ EC$ محاسبه شد. سپس ضرایب فعالیت یون با استفاده از معادله توسعه یافته دبی‌ها کل محاسبه و از ضرب کردن ضریب فعالیت در غلظت یون، فعالیت آن یون محاسبه شد (۱۸). با رسم مقدار پتاسیم جذب یا آزاد شده در مقابل نسبت فعالیت پتاسیم، برای هر خاک، منحنی‌های کمیت به شدت رسم و پارامترهای مربوطه برای هر خاک تعیین شدند. معادله بخش خطی نمودار کمیت به شدت ($\Delta K= a+ bAR^K$) با روش آزمون و خطا تعیین شد، به عبارت دیگر با وارد کردن نقاط به دست آمده در یک معادله رگرسیون خطی معادله‌ای که ضریب همبستگی آن بالاتر بود به عنوان معادله بخش خطی نمودار Q/I انتخاب شد. پارامترهای نمودارهای Q/I شامل شیب بخش خطی نمودار (گنجایش بافری بالقوه پتاسیم)، پتاسیم لبایل یا محل تقاطع بخش خطی نمودار Q/I با محور Y، نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل یا محل تقاطع بخش خطی نمودار Q/I با محور X می‌باشد. به منظور تعیین پتاسیم به سختی قابل تبادل معادله درجه دوم $\Delta K= A+ BAR^k+ C(AR^K)^2$ بر داده‌ها برازش (۲۴) و ضرایب آن محاسبه شد (A، B و C ثابت‌های معادله، AR^K و ΔK پارامترهای بحث شده قبلی می‌باشند). پتاسیم به سختی قابل تبادل اختلاف عرض از مبدأ معادله بخش خطی و عرض از مبدأ معادله درجه دوم است.

نتایج و بحث

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از دامنه تغییرات نسبتاً وسیعی در دو منطقه برخوردار است. به طور کلی pH، کربنات کلسیم معادل، میزان رس و گنجایش تبادل کاتیونی با افزایش عمق پروفیل افزایش می‌یابند در حالی که میزان کربن آلی با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

خاک‌های دو منطقه براساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی در رده ورتی‌سول قرار گرفتند. رده‌بندی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری تا سطح تحت گروه بزرگ به ترتیب Chromic Calcitorrerts و Typic Haploxererts می‌باشد.

پراش‌نگارهای پرتو ایکس مربوط به نمونه‌های یک پروفیل از هر منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج کانی‌شناسی رس خاک‌ها نشان داد که رس‌های غالب در خاک اصفهان شامل میکا، کلریت، اسمکتیت و مقادیر کمتری هم پالی‌گورسکیت و کائولینیت می‌باشد. در خاک چهارمحال‌وبختیاری رس‌های غالب اسمکتیت، میکا، کلریت و مقادیر کمتری کائولینیت هستند.

پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی

مقادیر پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی دارای تغییرات زیادی بین خاک‌های دو منطقه هستند (جدول ۱). غلظت پتاسیم محلول در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۱۷ تا ۲۷ و ۲/۱ تا ۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در حالی که غلظت پتاسیم محلول در افق‌های زیرسطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۳/۲ تا ۱۷ و ۰/۰۸ تا ۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

مقادیر پتاسیم تبادلی در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۲۸۲ تا ۲۹۴ و ۲۴۷ تا ۲۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در افق‌های زیرسطحی به ترتیب ۲۵۲ تا ۳۰۲ و ۲۳۸ تا ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. مقادیر پتاسیم غیرتبادلی در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۶۸۳ تا ۷۴۲ و ۳۰۶ تا ۳۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در افق‌های زیرسطحی به ترتیب ۶۰۸ تا ۸۱۲ و ۲۹۰ تا ۳۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]

جدول ۱. تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

منطقه	شماره پروفیل	افق	عمق (cm)	پ‌هاش	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol_c kg^{-1}$)	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رس	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)		
							(٪)			محلول	تبادلی	غیرتبادلی
اصفهان	یک	Ap	۰–۲۰	۸/۵	۰/۴۰	۱۵	۱/۶	۳۱	۵۰	۱۷	۲۸۸	۷۴۲
		Bw	۲۰–۳۵	۸/۷	۰/۳۰	۱۶	۰/۹۰	۳۳	۵۴	۸/۳	۲۸۸	۷۳۲
		Bkss1	۳۵–۵۵	۸/۵	۰/۴۰	۱۵	۰/۴۵	۳۴	۵۱	۳/۲	۲۷۹	۶۲۸
		Bkss2	۵۵–۸۵	۸/۵	۰/۷۰	۱۸	۰/۳۵	۳۹	۶۸	۶/۳	۳۰۲	۷۲۰
		Bkss3	۸۵–۱۴۰	۸/۶	۰/۷۰	۲۲	۰/۲۰	۴۳	۶۶	۳/۲	۲۷۳	۶۰۸
	دو	Ap	۰–۱۵	۸/۰	۰/۵۰	۲۱	۱/۴	۲۴	۴۴	۲۷	۲۸۲	۶۷۳
		Bw	۱۵–۲۷	۸/۱	۰/۴۰	۲۱	۰/۸۰	۲۶	۵۰	۱۵	۲۹۰	۷۰۳
		Bwg	۲۷–۶۴	۸/۲	۰/۴۰	۲۱	۰/۵۰	۲۶	۵۰	۵/۲	۲۸۳	۸۱۲
		Bkssg	۶۴–۹۰	۸/۴	۰/۴۰	۲۴	۰/۳۰	۲۵	۶۰	۷/۳	۲۹۳	۷۰۸
		Bkg	۹۰–۱۳۰	۸/۵	۰/۴۰	۱۹	۰/۲۰	۳۱	۶۶	۱۱	۲۸۱	۶۹۸
	سه	Ap	۰–۱۰	۷/۹	۰/۸۰	۱۶	۱/۵	۲۰	۴۷	۲۱	۲۹۴	۷۳۸
		Bw	۱۰–۱۵	۸/۱	۱/۷	۱۶	۰/۸۰	۲۴	۵۲	۱۱	۲۸۵	۶۸۸
		Bss1	۱۵–۴۰	۸/۲	۲/۱	۱۸	۰/۵۰	۲۲	۵۱	۱۶	۲۵۲	۶۵۸
		Bss2	۴۰–۷۰	۸/۲	۰/۸۰	۲۳	۰/۳۰	۲۹	۶۴	۱۷	۲۷۰	۶۶۸
		Bss3	۷۰–۱۱۰	۸/۳	۰/۷۰	۲۴	۰/۲۰	۲۸	۶۶	۱۲	۲۶۳	۶۰۸
چهارمحال‌وبختیاری (کوهرنگ)	یک	A	۰–۲۵	۷/۳	۰/۱۲	۲۳	۱/۴۲	۱/۱	۵۴	۳/۲	۲۴۷	۳۲۰
		Bss1	۲۵–۵۰	۷/۴	۰/۱۸	۲۶	۱/۰۱	۲/۰	۵۵	۲/۱	۲۵۰	۳۳۰
		Bss2	۵۰–۷۰	۷/۴	۰/۱۵	۲۷	۰/۸۶	۷/۷	۶۱	۰/۰۸۰	۲۳۸	۲۹۰
	دو	Ap	۰–۲۵	۷/۴	۰/۱۹	۲۴	۱/۱۵	۱/۶	۵۰	۲/۱	۲۶۴	۳۵۵
		Bss1	۲۵–۵۰	۷/۵	۰/۲۶	۲۶	۱/۰۴	۳/۶	۵۶	۱/۱	۲۷۵	۳۷۵
		Bss2	۵۰–۸۰	۷/۵	۰/۱۰	۲۶	۰/۵۶	۵/۷	۶۲	۰/۰۸۰	۲۸۲	۳۰۶
		Bss3	۸۰–۱۱۰	۷/۶	۰/۱۳	۲۳	۰/۲۴	۸/۰	۵۰	۱/۱	۲۶۹	۲۹۶
	سه	Ap	۰–۳۰	۷/۳	۰/۲۱	۲۴	۱/۲	۲/۱	۵۴	۲/۱	۲۶۲	۳۰۶
		Bss1	۳۰–۵۵	۷/۳	۰/۲۴	۲۴	۰/۹۰	۳/۲	۵۵	۱/۱	۲۶۷	۳۲۰
		Bss2	۵۵–۸۰	۷/۵	۰/۲۵	۲۷	۰/۵۲	۵/۷	۶۰	۲/۱	۲۹۰	۲۸۶
		Bss3	۸۰–۱۲۰	۷/۶	۰/۱۰	۲۶	۰/۴۸	۸/۹	۵۳	۲/۱	۲۶۰	۳۹۹

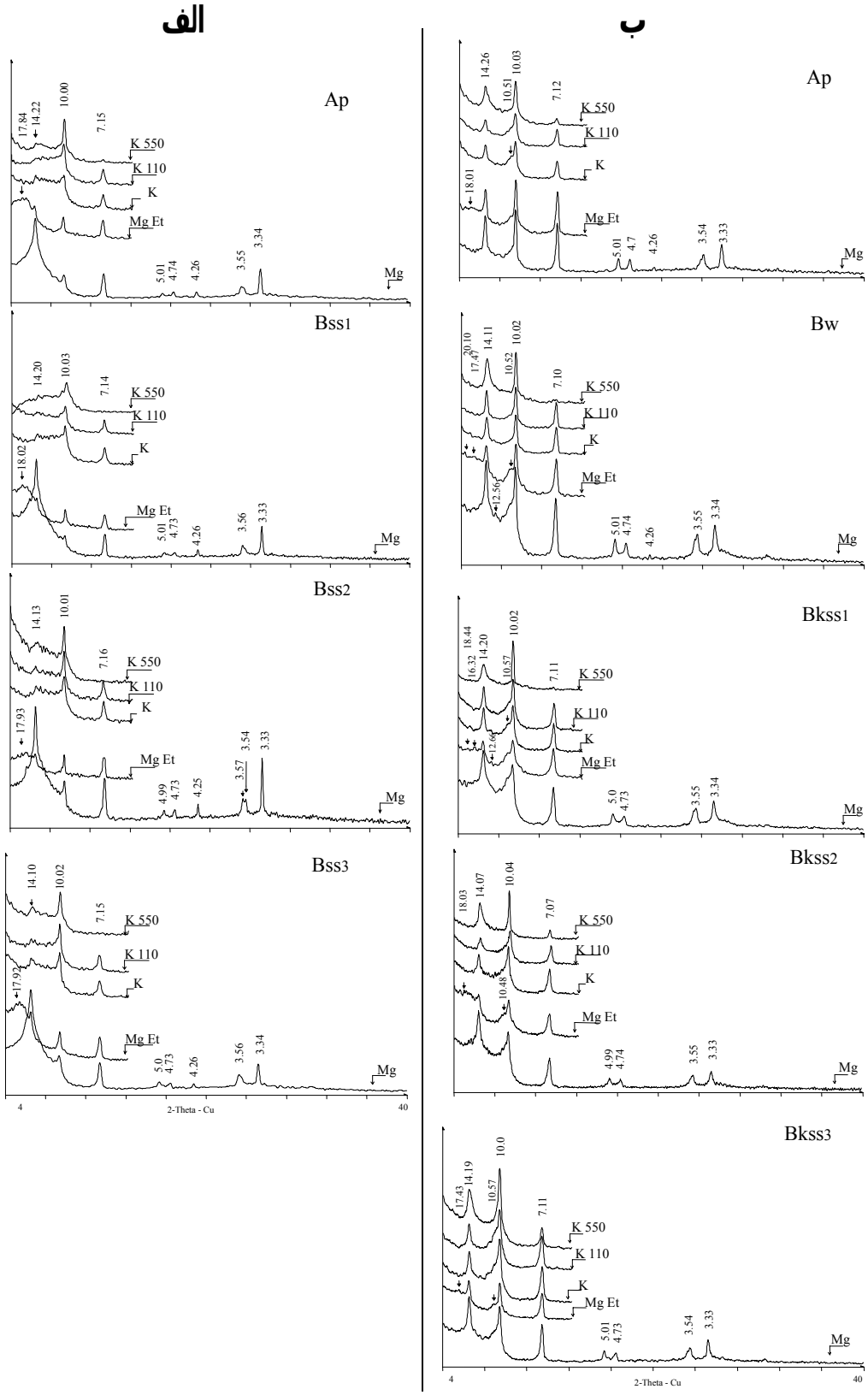
نتایج کانی‌شناسی بخش رس رسماً مؤید این امر است، به‌طوری‌که با کاهش میکا در خاک‌های چهارمحال‌وبختیاری (کوهرنگ) مقدار پتاسیم غیرتبادلی نیز کاهش یافته است.

روابط کمیت به شدت پتاسیم (Q/I)

نمودارهای کمیت به شدت شکل معمول گزارش شده در منابع را نشان می‌دهند (۲۵ و ۲۹). به طوری‌که در مقادیر کم نسبت فعالیت پتاسیم رابطه تغییر در پتاسیم تبادلی و نسبت فعالیت پتاسیم به صورت غیرخطی و در مقادیر بالای نسبت فعالیت پتاسیم این رابطه خطی است، ولی از نظر مقدار نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل، گنجایش بافری بالقوه پتاسیم، پتاسیم آسان قابل استفاده و پتاسیم به سختی قابل تبادل تفاوت‌های زیادی بین خاک‌های دو منطقه دیده می‌شود، که بیان‌گر وضعیت متفاوت پتاسیم در این خاک‌هاست. به عنوان مثال منحنی‌های کمیت به شدت پتاسیم در افق سطحی پروفیل شماره سه در خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری در شکل ۳ نشان داده شده است. در همه موارد، گنجایش بافری پتاسیم (PBC^K) با افزایش عمق خاک از نظر عددی افزایش می‌یابد ولی در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

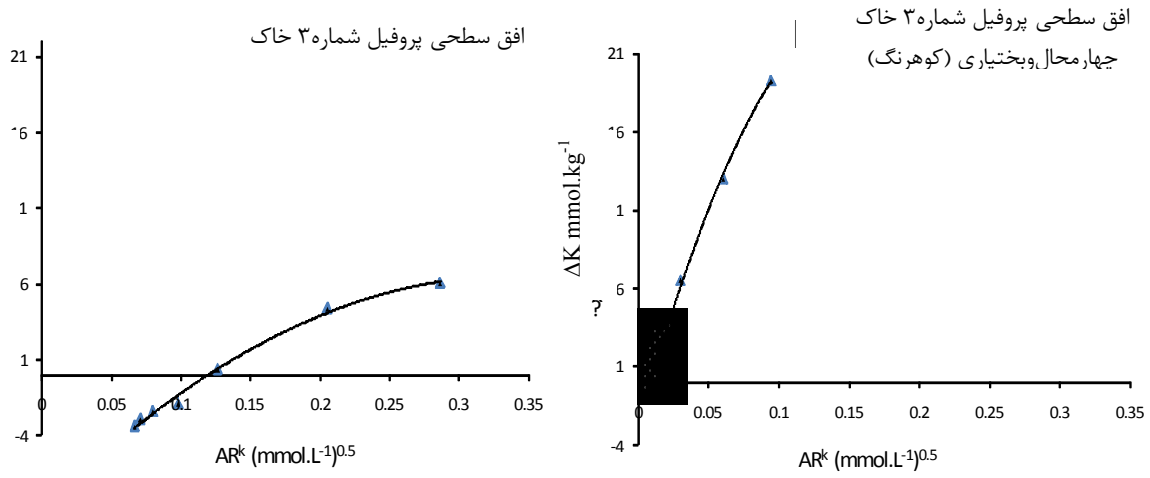
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]



شکل۲. نمونه پراش‌نگار پرتو ایکس خاک الف: چهارمحال‌وبختیاری (کوهرنگ). ب: خاک اصفهان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]



شکل ۳. نمودارهای کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری (کوهرنگ)

مقابل تغییرات نسبت فعالیت پتاسیم (AR_e^k)، پتاسیم لبایل (ΔK) و پتاسیم سخت قابل تبادل (K_X) دارای تغییرات نامنظمی در طول پروفیل خاک هستند (جدول ۲).

نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل که معرف شدت پتاسیم در خاک می‌باشد (۲۶) در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۰۲ تا ۰/۱۱ با میانگین ۰/۰۵۲ و ۰/۰۰۳۷ تا ۰/۰۰۷۸ با میانگین ۰/۰۰۵۳ $(mmolL^{-1})^{0.5}$ است. مقادیر نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل در خاک چهارمحال‌وبختیاری شبیه به نتایج جیمنز و پارا (۱۳) برای خاک‌های با اسمکتیت بالاست. نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل تحت تأثیر سه عامل مقدار پتاسیم تبادلی، گنجایش تبادل کاتیونی و ثابت تبادل واکنش تبادل کاتیونی است. این عامل با ثابت تبادل واکنش تبادل کاتیونی و گنجایش تبادل کاتیونی نسبت عکس و با پتاسیم تبادلی نسبت مستقیم دارد (۱). بنابراین، به دلیل CEC کمتر و پتاسیم تبادلی بالاتر در خاک اصفهان این پارامتر بیشتر از خاک چهارمحال‌وبختیاری است. مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۰۱۷ تا ۰/۱۱ با میانگین ۰/۰۴۴ و ۰/۰۰۱۶ تا ۰/۰۰۵۷ با میانگین ۰/۰۰۳۱ $(mmolL^{-1})^{0.5}$ است.

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد این پارامتر در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیر سطحی است که احتمالاً به دلیل بیشتر بودن پتاسیم تبادلی و ماده آلی در خاک سطحی و بیشتر بودن رس در افق‌های زیرسطحی است. نتایج مشابهی نیز توسط پال و سوباراو (۲۲) و وانگ و همکاران (۲۸) گزارش شده است. مقادیر میانگین نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل در خاک‌های سطحی دو منطقه دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد (جدول ۳).

ΔK^0 شاخصی از مقدار پتاسیم به سهولت قابل استفاده است که در مکان‌های غیراختصاصی نگهداری می‌شود. مقادیر این پارامتر در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۲۳ تا ۳/۸ با میانگین ۱/۶ و ۰/۷۲ تا ۱/۶ با میانگین ۱/۰۴ میلی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. مقادیر پتاسیم به سهولت قابل تبادل گزارش شده به وسیله همدان و همکاران (۱۲) و وانگ و همکاران (۲۸) به ترتیب در رنج ۰/۲۱ تا ۰/۳۶ و ۰/۱۰ تا ۰/۲۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. در تمام نمونه‌ها، مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم دارای اختلاف معنی‌دار با مقدار ΔK^0 است ($P<0/05$). صمدی (۲۵) در این مورد پیشنهاد می‌دهد که در این خاک‌ها مکان‌های اختصاصی جذب پتاسیم زیاد

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]

جدول ۲. پارامترهای کمیت به شدت پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه

منطقه	شماره پروفیل	افق	عمق (cm)	AR^0	PBC^k	ΔK^0	K_X
اصفهان	یک	Ap	۰–۲۰	۰/۰۲۰	۱۲	۰/۲۳	۲/۸
		Bw	۲۰–۳۵	۰/۰۵۳	۱۶	۰/۸۲	۳/۹
		Bkss1	۳۵–۵۵	۰/۱۱	۱۸	۱/۹	۳/۶
		Bkss2	۵۵–۸۵	۰/۰۳۱	۳۶	۱/۱	۳/۱
		Bkss3	۸۵–۱۴۰	۰/۰۴۸	۴۷	۲/۳	۳/۷
	دو	Ap	۰–۱۵	۰/۰۳۱	۲۶	۰/۷۹	۷/۱
		Bw	۱۵–۲۷	۰/۰۳۲	۲۰/۰	۰/۶۶	۴/۳
		Bwg	۲۷–۶۴	۰/۰۱۷	۳۱	۰/۵۲	۷/۶
		Bkssg	۶۴–۹۰	۰/۰۱۸	۳۱	۰/۵۴	۷/۱
		Bkg	۹۰–۱۳۰	۰/۰۲۰	۴۲	۰/۸۲	۷/۱
	سه	Ap	۰–۱۰	۰/۱۱	۳۶	۳/۷	۵/۲
		Bw	۱۰–۱۵	۰/۰۸۹	۲۷/۰	۲/۴	۷/۶
		Bss1	۱۵–۴۰	۰/۰۷۱	۴۱	۲/۹	۷/۳
		Bss2	۴۰–۷۰	۰/۰۴۴	۳۸	۱/۷	۷/۳
		Bss3	۷۰–۱۱۰	۰/۰۲۸	۶۳	۱/۷	۱۰/۶
چهارمحال‌و بختیاری (کوهرنگ)	یک	A	۰–۲۵	۰/۰۰۴۴	۱۹۱	۰/۸۳	۲/۹
		Bss1	۲۵–۵۰	۰/۰۰۵۷	۱۵۹	۰/۹۱	۳/۱
		Bss2	۵۰–۷۰	۰/۰۰۱۹	۲۷۴	۰/۵۱	۳/۷
	دو	Ap	۰–۲۵	۰/۰۰۷۸	۲۰۱	۱/۶	۲/۶
		Bss1	۲۵–۵۰	۰/۰۰۳۸	۲۲۱	۰/۸۵	۵
		Bss2	۵۰–۸۰	۰/۰۰۳۹	۲۱۵	۰/۸۳	۴/۲
		Bss3	۸۰–۱۱۰	۰/۰۰۱۷	۲۲۰	۰/۳۷	۴/۱
	سه	Ap	۰–۳۰	۰/۰۰۳۷	۱۹۸	۰/۷۲	۳/۷
		Bss1	۳۰–۵۵	۰/۰۰۳۳	۲۱۸	۰/۷۱	۴/۴
		Bss2	۵۵–۸۰	۰/۰۰۲۸	۲۴۰	۰/۶۸	۳/۵
		Bss3	۸۰–۱۲۰	۰/۰۰۱۶	۲۳۴	۰/۳۷	۴/۷

AR^0: نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل $(mmol/l)^{0.5}$ — PBC_k: گنجایش بافری پتاسیم $mmol.Kg^{-1}/(mmol/l)^{0.5}$

ΔK^0: پتاسیم آسان قابل استفاده یا لبایل $mmolKg^{-1}$ — K_X: پتاسیم به سختی قابل تبادل $mmolKg^{-1}$

جدول ۳. مقادیر میانگین پارامترهای کمیت به شدت در افق‌های سطحی خاک‌های مورد مطالعه

	AR°	ΔK°	K_X	PBC^K
اصفهان	۰/۰۵۲	۱/۶	۵/۱	۲۵
چهارمحال و بختیاری (کوهرنگ)	۰/۰۰۵۳	۱/۰۴	۳/۱	۱۸۷
$LSD_{0.05}$	۰/۰۷۱	۲/۶	۳/۶	۲۰/۷**

K_X : $mmolKg^{-1}$ — ΔK° : $mmolKg^{-1}$ — PBC^k : $mmol.Kg^{-1}/(mmol/l)^{0.5}$ — AR° :$(mmol/l)^{0.5}$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]

جدول ۴. میانگین پارامترهای Q/I پتاسیم در افق‌های مختلف خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری

منطقه		میانگین پارامتر			
		AR°	PBC^{k}	ΔK°	K_X
اصفهان	افق سطحی	۰/۰۵۲	۲۴/۴	۱/۶	۵/۱
	افق دوم	۰/۰۵۸	۲۱/۱	۱/۳	۵/۳
	افق سوم	۰/۰۶۵	۳۰/۰	۱/۸	۶/۲
	افق چهارم	۰/۰۳۱	۳۵	۱/۱	۵/۸
	افق پنجم	۰/۰۲۱	۵۰/۹	۱/۱	۸/۲
	$LSD_{0.05}$	۰/۰۵۹	۱۷	۲/۱	۴
چهارمحال‌وبختیاری (کوهرنگ)	افق سطحی	۰/۰۰۵۳	۱۹۷	۱/۰	۳/۰
	افق دوم	۰/۰۰۴۳	۱۹۹	۰/۸۲	۴/۱
	افق سوم	۰/۰۰۲۹	۲۴۳	۰/۶۷	۳/۸
	$LSD_{0.05}$	۰/۰۰۳۱	۵۲/۹	۰/۵۷	۱/۳

K_X : mmolKg $^{-1}$ ΔK° : mmolKg $^{-1}$ PBC^{k} : mmol.Kg $^{-1}$ /(mmol/l)$^{\circ/5}$ AR° :(mmol/l)$^{\circ/5}$

است. بـه عقیـده ریچـارد و بایـت (۲۴) اسـتات آمونیـوم از کانی‌هایی که دارای مکان‌های اختصاصی بـرای جـذب پتاسـیم هستند، پتاسیم بیشتری را اسـتخراج مـی‌کنـد. در نتیجـه میـزان پتاسیم تبادلی بیشتر از پتاسیم به سـهولت قابـل اسـتفاده (ΔK^0) خواهد بود. مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌هـای اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۰/۵۲ تـا ۲/۹ با میانگین ۱/۵ و ۰/۳۷ تا ۰/۹۱ میلـی‌مـول بـر کیلـوگرم اسـت. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد کـه مقـادیر ΔK^0 در دو منطقـه بـا عمق خاک تغییر می‌کند. تغییرات ΔK^0 در طـول پروفیـل خـاک توسط وانگ و اسکات (۲۹) نیـز گـزارش شـده اسـت. پـال و سوباراو (۲۲) عنوان کردند که ΔK^0 از الگوی تغییـرات پتاسـیم تبادلی در طول پروفیل خاک پیروی می‌کنند.

پتاسیم نگهداری شده در مکـان‌هـای اختـصاصی (K_X)، در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحـال‌وبختیـاری بـه ترتیب در دامنـه ۲/۸ تـا ۷/۱ بـا میـانگین ۵/۱ و ۲/۶ تـا ۳/۷ بـا میانگین ۳/۱ میلی‌مول بر کیلوگرم می‌باشد. پتاسیم سـخت قابـل تبادل به نـوع و مقـدار کـانی‌هـای رسـی بـستگی دارد (۳). در خاک‌هایی که دارای کانی‌هایی با محل‌هـای جـذب اختـصاصی پتاسیم بیشتر هستند، پتاسیم جذب شـده بـا انـرژی بـالا بیـشتر است، که به راحتی قابل تبادل نمـی‌باشـد. در نتیجـه، در چنـین خاک‌هایی مقدار K_X بیشتر می‌باشد. بنابراین، بـه دلیـل حـضور مقادیر بیشتر کانی‌هایی میکایی در خاک‌های اصفهان مقـدار K_X در این منطقه بیشتر از خاک‌های چهارمحال‌وبختیاری می‌باشـد. مقادیر این پارامتر در افق‌های زیرسطحی خاک‌هـای اصـفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۳/۱ تا ۱۰/۶ با میـانگین ۶/۱ و ۳/۱ تا ۵ با میانگین ۴/۱ میلی‌مول بر کیلوگرم است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر K_X نیز بـا عمـق خـاک تغییـر می‌کند. به طوری‌که مقادیر K_X در امتداد یک پروفیل با افـزایش عمق زیاد می‌شود و تغییرات نامنظمی در طول پروفیل‌های دیگر ممکن است رخ دهد. زیاد شدن مقـادیر K_X بـا افـزایش عمـق خاک را می‌توان بـه افـزایش میـزان رس و افـزایش کـانی‌هـای میکایی نسبت داد.

شیب بخش خطی نمودارهای Q/I پتاسـیم کـه سنجـشی از توانایی خاک در حفظ فعالیت (شدت) پتاسیم در محلول خـاک است، گنجایش پتانسیل بافری پتاسیم (PBC^K) نامیده مـی‌شـود. PBC^K نشان‌دهنده تغییر فاکتور کمیت برای هر واحـد تغییـر در فـاکتور شـدت اسـت. مقـادیر بیـشتر PBC^K، بیـانگر وضـعیت مناسب‌تر خاک‌ها از نظر قابلیت استفاده پتاسیم می‌باشد (۲۸). به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]

عبارت دیگر، در خاک‌های با PBC^K زیادتر، فعالیت پتاسیم محلول از نوسان کمتری برخوردار بوده و بهتر بافر می‌شود. مقادیر PBC^K در افق‌های سطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۱۲ تا ۳۶ با میانگین ۲۴ و ۱۹۱ تا ۲۰۱ با میانگین ۱۹۷ $(mmolkg^{-1})/(mmolL^{-1})^{0.5}$ می‌باشد. مقادیر کمتر PBC^K در خاک اصفهان نسبت به خاک چهارمحال‌وبختیاری می‌تواند به کمتر بودن میزان گنجایش تبادل کاتیونی و بالاتر بودن درصد اشباع پتاسیم نسبت داده شود (۵). پال و سوباراو (۲۲) گزارش کردند که بیشترین گنجایش بافری در خاک‌های با رس غالب اسمکتیت است و به دنبال آن خاک‌های با رس غالب ایلیت و کائولینیت قرار دارند. مقادیر PBC^K در افق‌های زیرسطحی خاک‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری به ترتیب در دامنه ۱۶ تا ۶۲ با میانگین ۳۴ و ۱۵۹ تا ۲۷۴ با میانگین ۲۲۳ $(mmolkg^{-1})/(mmolL^{-1})^{0.5}$ می‌باشد. نتایج گویای این مطلب است که مقادیر عددی PBC^K با افزایش عمق خاک زیاد می‌شود. بیشتر بودن PBC^K در خاک زیرسطحی نسبت به خاک سطحی توسط وانگ و اسکات (۲۹) و وانگ و همکاران نیز گزارش شده است(۲۸). در حالی‌که لامبانراجا و ایوانگلو (۲۰) گزارش کرده‌اند که هیچ روند خاصی برای PBC^K در رابطه با عمق خاک دیده نشد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که از نتایج این مطالعه بر می‌آید، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها در دو اقلیم مورد مطالعه متفاوت می‌باشند. به طوری‌که، کانی اسمکتیت در خاک چهارمحال‌وبختیاری (کوهرنگ) دارای مقادیر بیشتری نسبت به خاک اصفهان است. بالاتر بودن پارامتر پتاسیم سخت قابل تبادل در خاک‌های اصفهان نسبت به خاک‌های چهارمحال‌وبختیاری به دلیل زیاد بودن کانی‌های میکایی در این خاک‌ها است و بالاتر بودن گنجایش بافری پتاسیم در خاک‌های چهارمحال‌وبختیاری نسبت به خاک‌های اصفهان به دلیل زیادتر بودن کانی‌های اسمکتیت و در نتیجه بیشتر بودن گنجایش تبادل کاتیونی در این خاک‌هاست. بنابراین، وجود تفاوت در پارامترهای نسبت کمیت به شدت پتاسیم در دو استان به دلیل تفاوت خصوصیات کانی‌شناسی خاک‌های دو منطقه است. این مطالعه نشان داد که پارامترهای کمیت به شدت پتاسیم به خصوص PBC^K تفاوت زیادی در ورتی‌سول‌های با رژیم رطوبتی متفاوت دارند. لذا با توجه به تأثیر گنجایش بافری پتاسیم خاک بر جذب پتاسیم توسط گیاه پیشنهاد می‌گردد با کاشت گیاه در خاک‌های ورتی‌سول استان‌های اصفهان و چهارمحال‌وبختیاری اثر این پارامتر بر جذب پتاسیم توسط گیاهان بررسی گردد.

منابع مورد استفاده

۱. امیری، م.، س. درودی. و و. م. فلاح. ۱۳۷۴. بررسی رابطه کمیت- شدت پتاسیم در بعضی از خاک‌های خراسان. مجموعه مقالات خاک و آب. نشریه فنی و تحقیقاتی مؤسسه آب و خاک ۹: ۷۴ - ۸۹.

۲. بیابانکی، ف. س. و ع. ر. حسین‌پور. ۱۳۸۲. هم‌بستگی پارامترهای کمیت- شدت پتاسیم با پتاسیم قابل استفاده و شاخص‌های گیاهی. هشتمین کنگره علوم خاک، رشت، ایران.

۳. حسین‌پور، 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. ملکوتی، م.، ع. شهابی. و ک. بازرگان. ۱۳۸۴. پتاسیم در کشاورزی ایران چاپ اول. انتشارات سنا، به سفارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی.

5. Abaslou, H. and A. Abtahi. 2008. Potassium Quantity-Intensity parameters and its correlation with selected soils properties in some soils of Iran. J. Appl. Sci. 8(10): 1875-1882.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]

6. Al-Kanani, T., A. F. Mackenzi and G. J. Ross. 1984. Potassium status of some Quebec soils: K release by nitric acid and sodium tetraphenylboron as related to particle size and mineralogy. Can. J. Soil Sci. 64: 99-106.
7. Barber, S. A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. John Wiley & Sons, New York.
8. Beckett, P. H. T. 1964. The "immediate" Q/I relations of labile potassium in the soil. J. Soil Sci. 15: 9-13.
9. Bower, C. A. and J. T. Hatchea. 1986. Simulation determination of surface area and cation exchange capacity. Soil Sci. Soc. Amer. J. 30: 525-527.
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. Gee, W. And J. W. Bauder. 1986. Particle Size Analysis. PP: 383-411. *In*: A. Klute (Ed.), Method of Soil Analysis. Part 1, SSSA. Madison, Wisconsin.
12. Hamdan, J., C. P. Burnham. and B. Ruhana. 1999. Evaluation of quantity-intensity of potassium in deeply weathered soil profile develop over granite from relationships Peninsular Malaysia. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 30(17-18): 2311-2321.
13. Jimenez, C. and M. A. Parra. 1991. Potassium quantity-intensity relationships in calcareous vertisols and Inceptisols of southern Spain. Soil Sci. Soc. Amer. J. 55:985–989.
14. Johnston, A. E. and K. W. T. Goulding. 1990. The use of plant and soil analyses to predict the potassium supplying capacity of soil. PP: 177–204. *In*: Proceedings of the Development of K-Fertilizer Recommendations. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
15. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. Soil Sci. 96: 312-325.
16. Knudsen, D., G. A. Peterson. and P. F. Pratt. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. PP: 225-246. *In*: A.L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed., ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Lerox, J. and M. E. Sumner. 1968. Labile potassium in soils: I. Factors affecting the Q/I parameters. Soil Sci. 106: 35-41.
18. Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. 1st ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
19. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and Gypsum, PP: 437-474. *In*: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part3. Chemical Methods. ASA Inc., Madison, WI.
20. Lumbanraja, J. and V. P. Evangelou. 1992. Potassium Quantity-Intensity relationships in the presence and absence of NH_4 for three Kentucky soils. Soil Sci. 154 (5): 366- 376.
21. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total Carbon, Oorganic Carbon, and Organic Matter, PP: 539-579. *In*: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed., Agron. Monogr 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
22. Pal, S. K. and A. Subbarao. 1997. Potassium quantity-intensity parameters in relation to clay mineralogy and period of equilibrium. J. Ind. Soc. Soil Sci. 45: 33-38.
23. Rhodes, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-534. *In*: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
24. Richards, J. E. and T. E. Bates. 1988. Studies on the potassium supplying capacities of southern Ontario: II. Nitric acid extraction of non-exchangeable K and its availability to crops. Can. J. Soil Sci. 68:199-208.
25. Samadi, A. 2006. Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of western Azarbaijan Province, Iran. Turk. J. Agric. For. 33(7): 213-222.
26. Schindler, F. V., H. J. Woodard and J. J. Doolittle. 2005. Assessment of soil potassium sufficiently as related to quantity- intensity in montmorillonitic soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 36: 2255-2270.
27. Soil Survey Staff. 2010. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Marking and Interpreting Soil Surveys. USDA, NRCS, US. Govt. Print. Office, Washington, D. C.
28. Wang, J. J., D. L. Harrell and P. F. Bell. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils exchangeable potassium. Soil Sci. Soc. Amer. J. 68:654–661.
29. Wang, J. J. and A. D. Scott. 2001. Effect of experimental relevance on potassium Q/I relationships and its implications for surface and subsurface soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 2561-2575.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.7.9]