

شکل‌های شیمیایی و روابط کمیت-شدت (Q/I) پتاسیم در اراضی تحت کشت پسته

مناطق رفسنجان و انار

صمد عبدی^{۱*}، احمد تاج آبادی پور^۲، محسن حمید پور^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۰

چکیده

پارامترهای کمیت-شدت اطلاعات مفیدی را در ارتباط با قابلیت استفاده پتاسیم فراهم می‌کنند. اطلاعات مربوط به روابط کمیت-شدت در خاک‌های تحت کشت پسته مناطق رفسنجان و انار موجود نیست. لذا این مطالعه به منظور بررسی وضعیت و شکل‌های شیمیایی پتاسیم با استفاده از عصاره‌گیرهای رایج و هم‌چنین مطالعه روابط کمیت-شدت در اراضی مذکور انجام گردید. برای این منظور در ۲۰ نمونه خاک از مناطق رفسنجان، انار، نوق و کبوترخان پتاسیم خاک توسط عصاره‌گیرهای استات‌آمونیم یک مولار، استات‌سدیم یک مولار، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، اسیدنیتریک ۰/۱ مولار، کلرید سدیم دو مولار، آب و اسیدنیتریک یک مولار جوشان استخراج شد و شکل‌های شیمیایی و همبستگی این عصاره‌گیرها با غلظت پتاسیم برگ تعیین شد. نتایج نشان داد که میزان پتاسیم محلول در این خاک‌ها بین ۳۳/۹ تا ۱۹۳/۶، پتاسیم تبادلی بین ۷۱/۸ تا ۶۸۳/۶ و پتاسیم غیرتبادلی بین ۲۵۰/۱ تا ۱۱۱۲/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. عصاره‌گیرهای مورد بررسی همبستگی معنی‌داری با غلظت پتاسیم برگ درختان پسته نشان ندادند. مطالعه کانی‌شناسی نشان داد که کانی‌های غالب در این منطقه مونت‌مویلونیت، ایلیت، کلریت، کائولینیت و پالیگورسکایت می‌باشند. مطالعه روابط کمیت-شدت نشان داد که دامنه مقادیر پارامترهای پتانسیل بافری (PBC) در این خاک‌ها از ۳۰/۷ تا ۷۸/۸، دامنه نسبت فعالیت تعادلی (AR^k_e) ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۲۲ و پتاسیم به سهولت قابل تبادل (ΔK) از ۰/۰۸۸ تا ۱/۶۶ می‌باشد. پارامتر ΔK همبستگی معنی‌داری با شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی و پارامتر AR^k_e همبستگی معنی‌داری با شکل‌های محلول و تبادلی نشان دادند اما پارامتر PBC با شکل‌های شیمیایی پتاسیم و ویژگی‌های خاک همبستگی معنی‌داری نشان نداد.

کلمات کلیدی: پتانسیل بافری، عصاره‌گیر، قابلیت استفاده، نسبت فعالیت پتاسیم

^۱ - دانشجوی سابق دکتری گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

*نویسنده مسئول: sabdi1100@yahoo.com

^۲ - دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ایران

^۳ - دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ایران

مقدمه

پسته یکی از مهم‌ترین محصولات باغی و از عمده‌ترین محصولات صادراتی غیرنفتی کشور است که با رعایت اصول مصرف بهینه کودی به ویژه کودهای پتاسیمی، به سهولت می‌توان عملکرد این محصول را افزایش داد. نتایج تحقیقات در مورد نقش پتاسیم در پسته حاکی از آن است که وجود پتاسیم در شرایط کمبود آب و شوری مناطق پسته‌خیز بسیار مورد توجه بوده است، اندازه، رنگ و خاصیت انباری میوه را بهبود بخشیده و باعث افزایش مقاومت گیاه به آفات، بیماری‌ها، سرما و خشکسالی می‌شود (۶). روزکرانس و همکاران (۳۸) گزارش کردند که پسته یک گیاه پرتوقع نسبت به پتاسیم است و جذب پتاسیم توسط برگ و میوه این درخت تقریباً برابر نیتروژن است. پتاسیم یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان زراعی است و نقش مهمی در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه دارد. حدود ۵۰ آنزیم که مسئول انتقال انرژی، تشکیل قند، نشاسته و پروتئین هستند توسط پتاسیم فعال می‌شوند (۳۲). مناطق تولید پسته در ایران به‌طور عمده در نواحی خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند که در این مناطق کیفیت پایین آب آبیاری، شوری خاک، عدم تعادل عناصر غذایی و تنش‌های گرما و خشکی مهم‌ترین عوامل محدود کننده محصول هستند و تحت این شرایط گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاه تولید می‌شود (۲۸). مطالعات متعددی نشان داده است که بهبود وضعیت تغذیه پتاسیمی گیاهان می‌تواند به طور چشمگیر تولید ROS را کاهش دهد (۱۶). بن‌میمون و همکاران (۱۵) گزارش کردند که محلول‌پاشی پتاسیم می‌تواند وزن و درصد خندانی دانه‌های پسته را افزایش دهد. نتیجه تحقیقات ملکوتی و شهابی (۹) نشان داده است که درختان پسته استان کرمان به‌طور عمده از کمبود پتاسیم، روی و کلسیم رنج می‌برند.

مقدار پتاسیم خاک‌ها بستگی به نوع ماده مادری و درجه هواپدگی کانی‌های آن دارد. شکل‌های محلول، تبدلی، غیرتبدلی و ساختمانی چهار شکل پتاسیم می‌باشند که با یکدیگر در تعادل هستند (۲۳). در اثر جذب پتاسیم محلول و تبدلی توسط گیاه و آبشویی پتاسیم محلول، پتاسیم غیرتبدلی به شکل تبدلی آزاد می‌شود (۲۶). روش‌های متعددی برای ارزیابی وضعیت و قابلیت استفاده پتاسیم به کار برده شده است. به‌عنوان مثال بسیاری از پژوهشگران پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم مولار خنثی را به عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی قابلیت استفاده پتاسیم در نظر گرفته‌اند (۳۶) در صورتی که برخی دیگر بر پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید قوی تاکید کرده‌اند (۳۵). روش‌های دیگری مانند پارامترهای ترمودینامیکی شامل قدرت یونی، ضریب فعالیت، فعالیت یونی، نسبت فعالیت، ظرفیت بافری و انرژی آزاد جایگزینی نیز برای ارزیابی وضعیت و قابلیت استفاده پتاسیم به کار برده شده است (۱۲). قابلیت استفاده پتاسیم برای گیاهان بستگی به شدت، ظرفیت و سرعت تجدید آن در خاک دارد. شدت همان غلظت

پتاسیم در محلول خاک می‌باشد. ظرفیت مقدار کل پتاسیم قابل استفاده در فاز جامد است که وارد محلول خاک می‌شود و سرعت تجدید بیان کننده انتقال پتاسیم از فاکتور ظرفیت به فاکتور شدت می‌باشد (۱۴). رابطه بین این دو فاکتور به وسیله رسم دیاگرام کمیت-شدت (Q/I) تعیین می‌شود (۴۴). یک منحنی تیپیک Q/I در شکل ۱ آمده است. با استفاده از این دیاگرام می‌توان یک درک فوری از وضعیت پتاسیم خاک را فراهم کرد و پارامترهای مفیدی برای ارزیابی وضعیت پتاسیم خاک بدست آورد (۴۰). شیب قسمت خطی این دیاگرام (PBC^k) ظرفیت بافری پتاسیم خاک را نشان می‌دهد که بیانگر توانایی خاک برای تامین و نگهداری سطوح بالای پتاسیم در محلول خاک می‌باشد، هر چه میزان ظرفیت بافری پتاسیم خاک بالاتر باشد بدین معنی است که قابلیت جذب پتاسیم به وسیله گیاه برای مدت زمان طولانی پایدار و قابل ملاحظه خواهد بود. از طرف دیگر مقادیر کم این پارامتر بیانگر نیاز به کودپاشی منظم خاک‌هاست (۵). پارامتر AR^k نسبت فعالیت پتاسیم در حال تعادل می‌باشد و معیاری از شدت یا قابلیت استفاده پتاسیم در محلول خاک است. این پارامتر اثر بخشی پتاسیم محلول خاک در تغذیه گیاه را در حضور سایر کاتیون‌ها به ویژه کلسیم و منیزیم نشان می‌دهد. پارامتر ΔK^0 نشان دهنده پتاسیم به سهولت قابل تبادل می‌باشد که مقادیر آن در خاک بستگی به نوع کانی‌های رسی موجود در خاک و میزان مصرف کود پتاسیم دارد (۴۱). هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، پتاسیم بیشتری به درون محلول خاک آزاد می‌شود (۳۳). محققان زیادی روابط کمیت-شدت را برای توصیف وضعیت پتاسیم قابل استفاده خاک به کار برده‌اند. بهمنی و همکاران (۲) پارامترهای این روابط را در خاک‌های دشت مبارکه استان اصفهان و دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری با هم مقایسه کردند و نشان دادند وضعیت حاصلخیزی پتاسیم این دو منطقه متفاوت است. دولتی و همکاران (۵) شکل‌های مختلف پتاسیم و رابطه آن‌ها با پارامترهای کمیت-شدت را در اراضی تحت کشت آفتابگردان منطقه خوی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که خاک‌های این منطقه تا حدودی از پتاسیم تخلیه شده‌اند. صمدی (۳۹) قابلیت استفاده و پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم در چهار سری خاک آذربایجان غربی را در ارتباط با پاسخ‌های گیاه گوجه فرنگی مورد مطالعه قرار داد و نشان داد که یک رابطه معنی‌دار مثبت (۰/۹۸) بین ظرفیت (ΔK) و پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیم مولار خنثی در این خاک‌ها وجود دارد.

با توجه به محدود بودن اطلاعات در مورد روابط Q/I پتاسیم در اراضی تحت کشت پسته رفسنجان و انار، هدف‌های این مطالعه تعیین وضعیت پتاسیم با استفاده از تعدادی از عصاره‌گیرهای رایج و تعیین پارامترهای کمیت-شدت و همچنین تعیین همبستگی بین شکل‌های شیمیایی و پارامترهای کمیت-شدت با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی مذکور بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مناطق رفسنجان و انار در جنوب غرب استان کرمان از بزرگ‌ترین مناطق تولید کننده پسته در کشور هستند. بارندگی سالانه این مناطق کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر تعرق آن‌ها بیشتر از ۳۰۰۰ میلی‌متر است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی آن به ترتیب اریدیک و ترمیک می‌باشد (۲۵). شهرستان رفسنجان با وسعتی حدود ۷۶۷۸ کیلومتر مربع دارای بخش‌های مرکزی، نوق، کشکوئیه، فردوس و کبوترخان می‌باشد که شهرستان انار در شمال غرب رفسنجان در سال ۱۳۸۸ از این شهرستان جدا و مستقل گردیده است.

نمونه‌برداری خاک، برگ و آماده‌سازی نمونه‌ها

در این تحقیق تعداد ۲۰ نمونه خاک از عمق ۰-۴۰ سانتی‌متری و ۸۰-۴۰ سانتی‌متری از اراضی تحت کشت پسته مناطق انار، رفسنجان، نوق و کبوترخان (از هر کدام ۵ نمونه) به طور تصادفی گرفته شد. پس از هوا خشک کردن و نرم کردن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل pH و قابلیت هدایت الکتریکی در سوسپانسیون ۱:۵، بافت با روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل (CCE) با روش تیتراسیون، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم نرمال، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد. هم‌زمان با نمونه‌برداری خاک، نمونه‌های برگ هم از درختان پسته گرفته شد. نمونه‌های برگ پس از شستشو و رفع آلودگی در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک شدند. سپس آسیاب و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شدند. خاکسترهای حاصله در اسید کلریدریک دو مولار حل شدند و در عصاره به‌دست آمده، غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه شعله‌سنجی اندازه‌گیری شد.

استخراج پتاسیم نمونه های خاک با استفاده از عصاره‌گیرهای رایج

در این پژوهش از هفت عصاره‌گیر استفاده شد که ترکیب شیمیایی و روش کار آنها در جدول ۱ آمده است. با استفاده از این عصاره‌گیرها شکل‌های محلول، تبدالی و غیرتبدالی محاسبه شد. پتاسیم محلول از آب، پتاسیم تبدالی از تفاضل آب از استات آمونیم یک مولار و پتاسیم غیرتبدالی از تفاضل مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم از اسید نیتریک یک مولار جوشان (۲۷) به‌دست آمد.

تعیین همبستگی بین پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیرهای مورد مطالعه و غلظت پتاسیم برگ پسته

همبستگی بین غلظت پتاسیم برگ و میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف تعیین شد و از این طریق عصاره‌گیرها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

روابط کمیت-شدت (Q/I)

برای تعیین روابط Q/I، ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم که حاوی پتاسیم با غلظت‌های ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر بود به نمونه‌های ۲/۵ گرمی خاک درون لوله سانتریفیوژ اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور شیکردار تکان داده شد. نمونه‌ها با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و در محلول رویی، قابلیت هدایت الکتریکی توسط هدایت سنج، غلظت پتاسیم با دستگاه شعله‌سنجی و غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم جذب یا آزاد شده (ΔK) از تفاوت غلظت اولیه (C_0) و غلظت تعادلی (C) با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$\Delta K (mg kg^{-1}) = \frac{(C_0 - C)V}{M_s}$$

در این رابطه V حجم محلول (میلی‌لیتر) و M_s جرم خاک (گرم) می‌باشد. برای محاسبه نسبت فعالیت پتاسیم از رابطه زیر استفاده شد:

$$AR_k = \frac{aK}{\sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}}}$$

که در این رابطه a_k ، a_{Ca} و a_{Mg} به ترتیب فعالیت یون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم هستند. برای بدست آوردن فعالیت این یون‌ها، ابتدا با استفاده از رابطه تجربی $I=0.0127 EC$ قدرت یونی محاسبه شد و سپس با استفاده از معادله دیویس، ضریب فعالیت یون‌ها محاسبه شد و در نهایت از ضرب ضریب فعالیت در غلظت یون‌ها، فعالیت آنها محاسبه شد. سپس با ترسیم ΔK در مقابل AR^k ، پارامترهای منحنی Q/I محاسبه شد.

مطالعه کانی‌شناسی منطقه

با توجه به این که کانی‌شناسی مناطق انار، رفسنجان و نوق توسط دیگر محققان انجام شده بود، در این مطالعه تنها کانی‌شناسی منطقه کبوترخان با استفاده از روش پراش پرتو ایکس تعیین شد. جهت خالص‌سازی رس این منطقه از روش کیتریک و هپ (۳۰) استفاده شد. برای این کار ابتدا یک نمونه مرکب از خاک‌های مورد مطالعه تهیه شد و سپس برای خارج کردن گچ و نمک‌های محلول، چند مرتبه نمونه مورد نظر با آب مقطر شسته شد. جهت خارج کردن

کربنات‌ها و اکسیدهای آهن به ترتیب از استات سدیم با $\text{pH}=5$ و بی‌کربنات سیترات دیتیونات سدیم استفاده شد. از رس جدا شده نمونه‌های اشباع با پتاسیم و اشباع با منیزیم تهیه گردید و در آزمایشگاه XRD تیمار پتاسیم با ۵۵۰ درجه سلسیوس حرارت و تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول نیز تهیه و اسلایدهای مربوطه در دستگاه قرار داده شد و دیفراکتوگرام نمونه تهیه گردید.

نتایج و بحث

با توجه به مشابه بودن نتایج در دو عمق ۰-۴۰ و ۴۰-۸۰ سانتی‌متری در خاک‌های مورد مطالعه، نتایج ارائه شده تنها مربوط به عمق ۰-۴۰ سانتی‌متری می‌باشد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. به طوری که ملاحظه می‌شود در خاک‌های مورد مطالعه، دامنه مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی از ۰/۵ تا ۴/۴ دسی‌زیمنس بر متر، دامنه pH از ۸/۱ تا ۹/۶، مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی از ۷/۸ تا ۲۲/۳ سانتی مول بر کیلوگرم خاک، ماده آلی از ۰/۲ تا ۲/۲ درصد، کربنات کلسیم معادل از ۵/۵ تا ۲۸ درصد، رس از ۶ تا ۲۸/۸ درصد، سیلت از ۴ تا ۳۸ درصد و دامنه مقادیر شن از ۴۱/۶ تا ۸۶ درصد متفاوت است.

کانی‌شناسی

نتایج مطالعه حسینی‌فرد و همکاران (۲۵) نشان داد که کانیهای میکا، اسمکتیت، کلریت و فلدسپار در خاک‌های رفسنجان و نوق موجود است و در خاک‌های منطقه انار علاوه بر این کانیها، کانیهای کائولینیت و پالیگورسکایت هم موجود می‌باشد. همچنین نتایج مطالعه فرپور و همکاران (۲۰) در خاک‌های رفسنجان و نوق نشان داد که پالیگورسکایت، ایلیت، کلریت و اسمکتیت موجود است. در شکل ۲ دیفراکتوگرام خاک منطقه کبوترخان نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در خاک این منطقه کانیهای مونت‌موریلونیت، کلریت، ایلیت و کائولینیت مشاهده می‌شوند.

قابلیت استفاده و شکل‌های شیمیایی پتاسیم

در جدول ۳ مقدار پتاسیم استخراج شده با عصاره‌گیرهای مختلف و غلظت پتاسیم در برگ درختان پسته آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عصاره‌گیرهای مختلف مقادیر متفاوت پتاسیم را عصاره‌گیری کرده‌اند. به‌طور متوسط اسید نیتریک مولار جوشان ۱۰۵۱/۸، اسید نیتریک ۰/۱ مولار ۳۶۷/۳، استات سدیم مولار خنثی ۳۵۳/۹، استات آمونیم مولار خنثی ۳۳۲/۵، کلرید سدیم ۲۲۲/۶، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار ۱۸۸/۱ و آب ۸۶/۷ میلی گرم در

کیلوگرم پتاسیم را عصاره‌گیری کرده‌اند. در مطالعه عبدی و همکاران (۷) در ده نمونه از خاک‌های استان فارس به‌طور متوسط پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک مولار جوشان ۷۱۷/۳، استات آمونیم ۳۱۰/۷، کلرید سدیم ۱۷۷، اسید نیتریک ۰/۱ مولار ۱۷۰ و آب ۳۵/۰۳ میلی گرم در کیلوگرم بود. در مطالعه جلالی (۲۷) در ده نمونه از خاک‌های استان همدان پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک مولار جوشان ۷۳۷، استات آمونیم مولار خنثی ۳۱۲، کلرید سدیم ۲۵۱، استات سدیم ۲۹۵، اسید نیتریک ۰/۱ مولار ۱۹۴، و آب ۱۰/۸۹ میلی گرم در کیلوگرم بود. میزان پتاسیم زیاد خارج شده توسط اسید نیتریک مولار جوشان به علت خاصیت اسیدی بالای آن است که قادر به تخریب کانی‌ها است. در حضور اسید نیتریک مولار جوشان پهاش سیستم به شدت کاهش می‌یابد که باعث حل شدن کانی‌ها می‌شود (۲۱).

مقادیر بالای پتاسیم عصاره‌گیری شده با آب می‌تواند به دلیل فقدان آبشویی نمک‌های محلول از عمق مورد مطالعه باشد. علاوه بر این در مناطق مورد مطالعه پتاسیم از طریق آب آبیاری می‌تواند به خاک‌ها اضافه شود و میزان آن در فاز محلول افزایش دهد (۲۶). نتایج کرمانی و صالحی (۲۹) نشان داد که در اراضی تحت کشت پسته انار و نوق مقدار ۸ تا ۲۸ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در سال از طریق آب آبیاری می‌تواند به خاک اضافه شود. بارانی مطلق و ثوابی فیروزآبادی (۱) گزارش کردند که در اراضی تحت کشت نیشکر خوزستان میزان پتاسیم اضافه شده به خاک از طریق آب آبیاری می‌تواند ۸۳/۸۶ کیلوگرم در هکتار در سال باشد. میزان پتاسیم تبدلی خاک‌های مورد مطالعه بین ۷۱/۸ تا ۶۸۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم متفاوت است. حسینی‌فرد و همکاران (۲۵) پیشنهاد کرده‌اند که در خاک باغاتی که حدود چهل سال سن دارند در صورتی که میزان پتاسیم تبدلی در آنها کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است کودپاشی پتاسیمی صورت گیرد. بنابر گزارش کیمرین و همکاران (۱۷) مقدار بالای پتاسیم غیرتبدلی می‌تواند بدلیل مقادیر بالای کانی رسی ایلیت در خاک باشد، که نتایج کانی‌شناسی منطقه این واقعیت را تایید می‌کند. ملکوتی و طباطبایی (۱۰) حد آستانه پتاسیم قابل عصاره‌گیری با استات آمونیم برای درختان پسته را ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند. با در نظر گرفتن این عدد به عنوان حد آستانه، خاک‌های شماره ۵، ۷، ۱۵، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ دارای کمبود پتاسیم می‌باشند. غلظت پتاسیم در برگ درختان پسته در مناطق مورد مطالعه از ۰/۶۵ تا ۲/۲ درصد متفاوت است. آشورس و همکاران (۱۳) حد آستانه غلظت پتاسیم در برگ درختان پسته برای بروز کمبود را حدوداً ۰/۷ تا ۰/۹ درصد در نظر گرفتند. ژنگ و همکاران (۱۹) در باغات پسته کالیفرنیا، حد بحرانی ۱/۷ درصد را برای تغذیه پتاسیمی مناسب دانستند. بنابراین در برخی از باغات منطقه مصرف کود پتاسیمی ضروری است.

در جدول ۴ همبستگی بین عصاره‌گیرها، شکل‌های شیمیایی و غلظت پتاسیم در برگ درختان پسته نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود بین عصاره‌گیرهای مختلف در خاک‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری وجود دارد. استات آمونیم با شکل تبدالی و اسید نیتریک مولار جوشان با شکل غیرتبدالی همبستگی معنی‌داری نشان داده است که این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (۲۷، ۳۴، ۷). عصاره‌گیرهای مورد مطالعه در هر دو عمق با غلظت پتاسیم در برگ همبستگی معنی‌داری نشان ندادند. بنابراین لازم است سایر عصاره‌گیرها نیز مورد ارزیابی قرار گیرند و سعی شود علاوه بر غلظت پتاسیم برگ از دیگر پاسخ‌ها مانند عملکرد برای این منظور استفاده شود. هولتز (۲۴) در یک آزمایش مزرعه‌ای دو ساله روی باغات پسته کالیفرنیا نشان داد که بین غلظت پتاسیم برگ درختان پسته و عملکرد آنها رابطه معنی‌دار مثبتی وجود دارد. به طور کلی دلیل این که یک عصاره‌گیر در یک خاک ممکن است موفق و در خاک دیگر ناموفق باشد، احتمالا می‌تواند مربوط به نقش متفاوت شکل‌های مختلف پتاسیم خاک (با توجه به نوع و مقدار کانی‌های موجود در خاک) در تامین نیازهای گیاهی باشد (۳).

پارامترهای کمیت-شدت پتاسیم

در شکل ۳ روابط کمیت شدت برای چهار نمونه از خاک‌های مورد مطالعه آورده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود نمودارهای حاصله عمدتاً خطی بوده و فاقد انحنای می‌باشند. این بدین معنی است که این خاک‌ها به سطح حداقل پتاسیم تبدالی نرسیده‌اند و پتاسیم غیرتبدالی آنها نیز تخلیه نشده است. دولتی و همکاران (۵) با بررسی روابط کمیت-شدت پتاسیم در اراضی تحت کشت آفتابگردان در منطقه خوی شکل خطی نمودار کمیت-شدت را مشاهده کردند. شکل خطی با عدم وجود همبستگی بین درصد رس و پتاسیم تبدالی مطابقت دارد. پارامترهای کمیت-شدت برای ۲۰ نمونه خاک مورد مطالعه در جدول ۵ آمده است. دامنه پتانسیل بافری برای خاک‌های مورد مطالعه از $30/685$ تا $78/758 \text{ (Cmol}_c \text{ kg}^{-1}/(\text{mol l}^{-1})^{0.5})$ متغیر است. هر چقدر میزان پتانسیل بافری کمتر باشد نیاز به کودپاشی منظم خاک‌هاست. مقدار بالای ظرفیت بافری نشان می‌دهد که خاک توانایی بالایی برای حفظ غلظت بالای پتاسیم محلول دارد (۳۹). بالاترین مقدار PBC مربوط به خاک شماره ۱۵ و کمترین مقدار مربوط به خاک شماره ۵ می‌باشد. یکی از عواملی که بر مقدار ظرفیت بافری اثرگذار است ثابت گزینش‌پذیری گاپون است ($K_G = \text{PBC}/\text{CEC}$) که با کاهش پتاسیم تبدالی و افزایش مقدار ماده آلی مقدار این پارامتر افزایش می‌یابد (۴۱). ظرفیت بافری در خاک‌های مورد مطالعه با هیچ کدام از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک همبستگی معنی‌داری نشان نداده است (جدول ۷). برخی

محققان وجود همبستگی معنی‌دار بین پتانسیل بافری و ظرفیت تبادل کاتیونی را گزارش کرده‌اند (۵، ۴، ۴۲). در حالی که الکنعانی و همکاران (۱۱) رابطه معنی‌داری بین این دو پارامتر مشاهده نکردند. عوامل زیادی روی مقدار PBC اثرگذار است. ونگ و همکاران (۴۴) اعتقاد دارند که PBC صرفاً به مقدار رس وابسته نبوده و امکان دارد تغییر ماهیت سطوح تبدلی باعث تغییرات این پارامتر شود.

دامنه تغییرات AR^k_e یا نسبت فعالیت تعادلی پتاسیم از $0/002$ تا $0/022$ $(mol\ l^{-1})^{0.5}$ متغیر است (جدول ۵). مقادیر کم این پارامتر می‌تواند به دلیل غالبیت رس کلرایت در خاک باشد که به دلیل مکان‌های تبدلی کم، آزاد سازی پتاسیم در آن‌ها به مقدار کم صورت می‌گیرد. وجود کانی‌های ایلیت و اسمکتیت در خاک که دارای مواضع اختصاصی می‌باشند می‌تواند باعث کاهش چشمگیر AR^k_e شود (۳۷). مقادیر گزارش شده برای این پارامتر توسط صمدی (۳۹) در خاک‌های آذربایجان غربی بین $0/014$ تا $0/021$ و توسط قنواتی و همکاران (۸) در ۲۱ نمونه از خاک‌های منطقه آبیگ قزوین بین $0/006$ تا $0/012$ گزارش شده است. طبق تحقیق وودراف (۴۵) مقادیر $0/027$ تا $0/03$ برای رفع نیاز پتاسیم اکثر گیاهان زراعی مناسب است. براین اساس مقدار این پارامتر برای خاک شماره ۱۵ مناسب نیست اما برای سایر خاک‌ها مناسب است. اسپارکس و لیبهارد (۴۲) گزارش کردند که در اثر کشت مستمر گیاهان مقدار این پارامتر کاهش می‌یابد و مقدار پتاسیم قابل استفاده تقلیل می‌یابد.

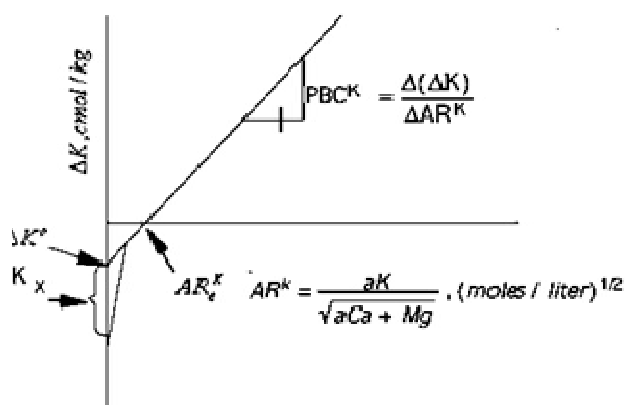
در جدول ۶ همبستگی بین شکل‌های پتاسیم و پارامترهای کمیت-شدت آمده است. به طوری که ملاحظه می‌شود پارامتر AR^k_e همبستگی معنی‌داری با پتاسیم محلول و تبدلی نشان می‌دهد که با نتایج سایر محققان هم‌خوانی دارد (۸، ۵). این همبستگی می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که فعالیت پتاسیم محلول توسط فاز تبدلی کنترل می‌شود. مقدار پارامتر $\square K^0$ یا پتاسیم به سهولت قابل تبادل از $0/0885$ تا $1/66$ $(Cmol_e\ Kg^{-1})$ در بین خاک‌های مورد مطالعه متغیر است. همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است این پارامتر همبستگی معنی‌داری با هر سه شکل پتاسیم نشان داده است و از طرفی با AR^k_e هم همبستگی معنی‌داری را نشان می‌دهد. بنابراین این پارامتر می‌تواند در خاک‌های مورد مطالعه به خوبی نمایانگر وضعیت قابلیت استفاده پتاسیم باشد.

در جدول ۷ همبستگی بین شکل‌های پتاسیم و پارامترهای کمیت-شدت با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها آمده است. دو پارامتر ΔK^0 و AR^k_e تنها با pH همبستگی معنی‌داری نشان داده‌اند و بقیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک رابطه معنی‌داری با پارامترهای کمیت-شدت نشان نداده‌اند. این نتیجه کاملاً با یافته‌های دیگر محققان (۲، ۴، ۵، ۸) تفاوت دارد که حکایت از متفاوت بودن کانی‌شناسی و دیگر عوامل خاکساز در منطقه مورد مطالعه است.

اسپارکس و لیبهارد (۴۲) بیان می‌کنند که با افزایش pH در اثر آهک‌دهی بار وابسته به pH افزایش می‌یابد و این موضوع می‌تواند باعث افزایش پتانسیل بافری و ΔK شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه وضعیت پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق نشان می‌دهد که عصاره‌گیرهای مطالعه شده و پارامترهای کمیت-شدت همبستگی معنی‌داری با غلظت پتاسیم در برگ درختان پسته نشان نمی‌دهند و این موضوع نشان دهنده پیچیده بودن فرایندهای کنترل کننده قابلیت استفاده پتاسیم در این خاک‌هاست. لذا توصیه می‌شود علاوه بر مطالعه رفتار عصاره‌گیرهای دیگر و دیگر پاسخ‌های درخت پسته، مباحث مربوط به آزادسازی پتاسیم هم در خاک‌های مورد مطالعه بررسی گردد تا دید بهتری از دینامیک پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه حاصل شود.



شکل ۱: منحنی تیپیک Q/I

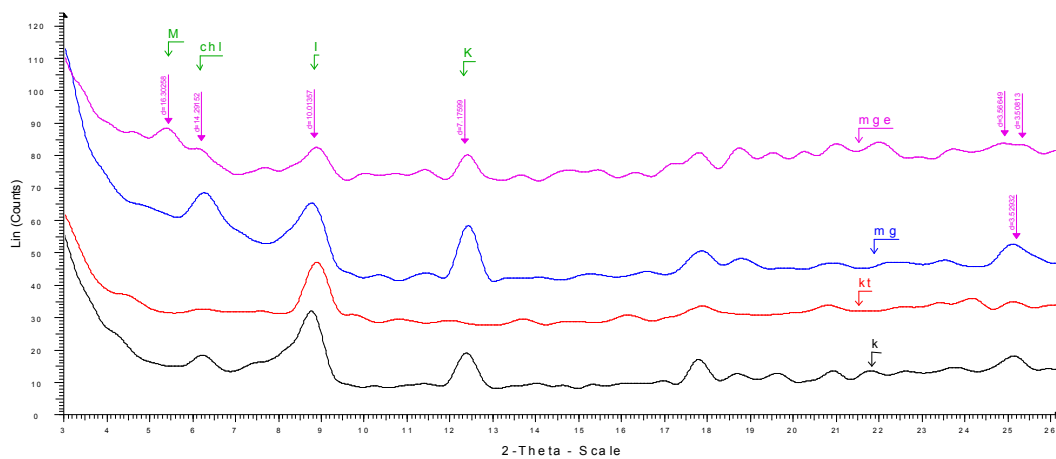
جدول ۱: عصاره‌گیرهای مورد استفاده و شرح روش عصاره‌گیری

منبع	زمان تکان دادن (دقیقه)	نسبت خاک به عصاره‌گیر	عصاره‌گیر
۲۶	۳۰	۱:۲۰	کلرید سدیم ۲ مولار
۲۶	۳۰	۱:۲۰	اسید نیتریک ۰/۱ مولار
۳۱	۳۰	۱:۲۰	استات آمونیوم مولار پ هاش ۷
۲۶	۳۰	۱:۵	آب
۳۱	۲۵	۱:۱۰	اسید نیتریک مولار جوشان
۱۸	۱۰	۱:۲۰	استات سدیم مولار پ هاش ۷
۲۲	۶۰	۱:۱۰	کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار

جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

شماره خاک	محل نمونه برداری	قابلیت هدایت الکتریکی (۱:۵) (dSm ⁻¹)	pH (۱:۵)	×CEC (Cmol(+)kg ⁻¹)	ماده آلی	×CCE*	رس (%)	سیلت (%)	شن
۱	انار ۱	۴/۴۰	۸/۲۰	۱۱/۴۰	۱/۷۰	۱۴/۰۰	۲۸/۸۰	۲۹/۶۰	۴۱/۶۰
۲	انار ۲	۲/۱۰	۸/۳۰	۱۳/۳۰	۱/۲۰	۱۶/۰۰	۱۷/۴۰	۲۶/۰۰	۵۶/۶۰
۳	انار ۳	۰/۶۷	۸/۷۰	۸/۹۰	۱/۳۰	۱۵/۵۰	۲۲/۸۰	۲۲/۰۰	۵۵/۲۰
۴	محمد آباد	۱/۴۰	۸/۴۰	۲۲/۳۰	۰/۳۴	۱۵/۵۰	۲۴/۸۰	۲۵/۶۰	۴۹/۶۰
۵	ناصرح آباد	۰/۵۰	۸/۸۰	۱۲/۰۰	۲/۲۰	۲۰/۰۰	۶/۰۰	۲۹/۴۰	۶۴/۶۰
۶	حسن آباد نواب	۰/۷۶	۹/۴۰	۱۰/۱۰	۰/۵۷	۱۳/۰۰	۱۶/۰۰	۳۷/۴۰	۴۶/۶۰
۷	کشکوئیه	۱/۱۰	۹/۰۰	۵/۸۰	۱/۴۰	۸/۰۰	۱۱/۴۰	۱۲/۰۰	۷۶/۶۰
۸	کوثر ریز	۰/۵۰	۹/۲۰	۱۶/۸۰	۲/۰۰	۱۳/۰۰	۱۳/۲۰	۲۳/۶۰	۶۳/۲۰
۹	عرب آباد	۱/۲۰	۹/۶۰	۱۶/۱۰	۰/۶۴	۱۲/۵۰	۲۶/۰۰	۲۱/۴۰	۵۲/۶۰
۱۰	امیر آباد	۰/۵۷	۸/۹۰	۱۳/۹۰	۲/۲۰	۱۸/۰۰	۱۰/۸۰	۳۳/۶۰	۵۵/۶۰
۱۱	کبوترخان ۱	۰/۶۴	۹/۵۰	۱۵/۴۰	۰/۳۷	۱۳/۰۰	۱۰/۰۰	۷/۴۰	۸۲/۶۰
۱۲	کبوترخان ۲	۰/۸۷	۸/۱۰	۱۳/۳۰	۱/۸۰	۱۷/۵۰	۱۶/۰۰	۱۱/۴۰	۷۲/۶۰
۱۳	کبوترخان ۳	۰/۵۳	۸/۹۰	۱۰/۱۰	۰/۹۴	۹/۵۰	۱۰/۰۰	۴/۰۰	۸۶/۰۰
۱۴	کبوترخان ۴	۱/۱۰	۸/۶۰	۱۲/۶۰	۱/۳۰	۱۲/۰۰	۲۸/۰۰	۱۷/۴۰	۵۴/۶۰
۱۵	کبوترخان ۵	۰/۳۹	۹/۱۰	۱۶/۸۰	۱/۶۰	۸/۰۰	۱۱/۴۰	۸/۰۰	۸۰/۶۰
۱۶	شاهرخ آباد	۲/۱۰	۸/۴۰	۸/۹۰	۱/۱۰	۱۳/۵۰	۶/۰۰	۸/۰۰	۸۶/۰۰
۱۷	حاجی آباد	۱/۷۰	۸/۷۰	۱۶/۰۰	۱/۶۰	۲/۰۰	۱۶/۰۰	۳۸/۰۰	۴۶/۰۰
۱۸	دقوق آباد	۰/۵۰	۸/۴۰	۱۳/۳۰	۲/۱۰	۲۸/۰۰	۷/۴۰	۲۰/۰۰	۷۲/۶۰
۱۹	فتح آباد	۰/۵۰	۸/۹۰	۱۳/۹۰	۲/۰۰	۵/۵۰	۸/۰۰	۱۸/۰۰	۷۴/۰۰
۲۰	مهدی آباد	۰/۶۰	۹/۱۰	۷/۸۰	۰/۲۰	۱۳/۰۰	۱۴/۰۰	۱۲/۰۰	۷۴/۰۰
	میانگین	۱/۱۰	۸/۸۰	۱۲/۹۰	۱/۳۰	۱۴/۳۰	۱۵/۲۰	۲۳/۸۰	۶۴/۶۰

*CEC ظرفیت تبادل کاتیونی، *CCE کربنات کلسیم معادل. شماره های ۱ تا ۵ مربوط به منطقه انار، ۶ تا ۱۰ رفسنجان، ۱۱ تا ۱۵ کبوترخان و ۱۶ تا ۲۰ منطقه نوق.



شکل ۲: دیفرانکتوگرام پراش پرتو ایکس خاک منطقه کبوترخان.

M: مونت موریلونیت، chl: کلریت، I: ایلیت، K: کانولینیت

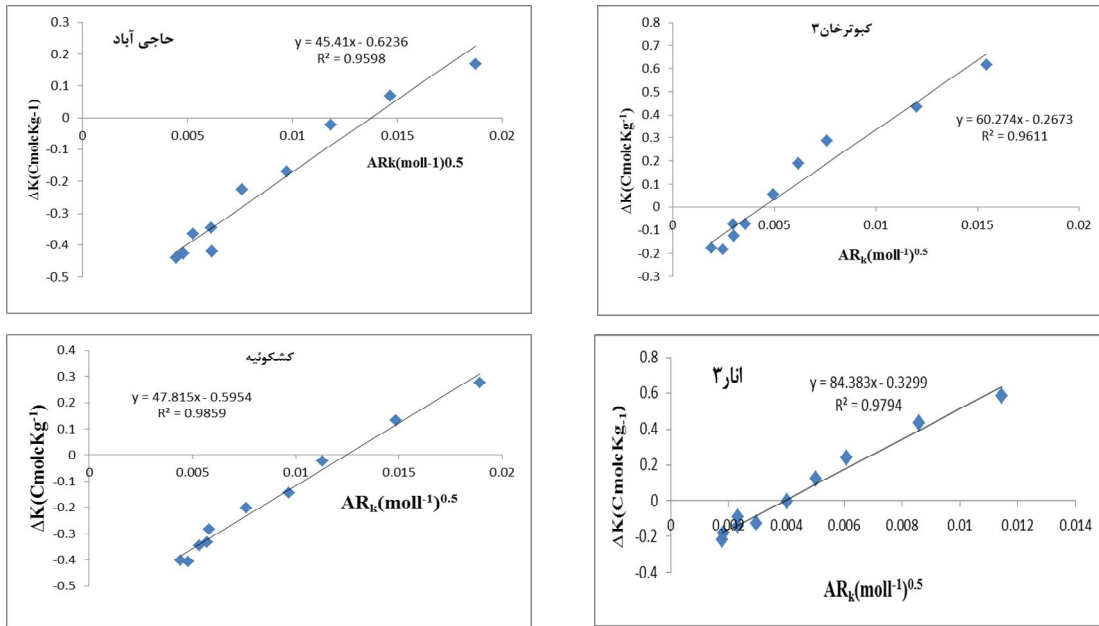
جدول ۳: مقدار پتاسیم استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف، شکل‌های شیمیایی پتاسیم و غلظت پتاسیم در برگ درختان پسته.

شماره خاک	کلرید سدیم	اسیدنیتریک	استات آمونیم	آب	اسیدنیتریک	استات سدیم	کلرید کلسیم	تبادلی	غیرتبادلی	غلظت پتاسیم برگ
۲ مولار	۰/۱ مولار	مولار خنثی	مولار خنثی	آب	جوشان	مولار خنثی	۰/۰۱ مولار	تبادلی	غیرتبادلی	برگ
میلی گرم در کیلوگرم										
۱	۳۰۵/۷۰	۵۲۱/۲۰	۴۳۶/۱۰	۱۹۳/۶۰	۱۵۴۸/۷۰	۴۲۸/۵۰	۲۹۶/۱۰	۲۴۲/۵۰	۱۱۱۲/۶۰	۱/۱۰
۲	۱۹۸/۸۰	۳۱۱/۹۰	۲۶۲/۶۰	۱۰۸/۹۰	۱۱۸۸/۸۰	۳۸۰/۳۰	۱۹۸/۸۰	۱۵۳/۷۰	۹۲۶/۲۰	۰/۹۱
۳	۱۹۸/۸۰	۲۸۳/۶۰	۲۲۴/۵۰	۵۴/۳۰	۹۰۴/۲۰	۳۲۰/۰۰	۱۶۷/۶۰	۱۷۰/۲۰	۶۷۹/۷۰	۱/۷۰
۴	۱۶۳/۴۰	۲۸۳/۶۰	۲۱۲/۳۰	۷۴/۴۰	۱۳۰۴/۱۰	۳۴۹/۶۰	۲۴۰/۹۰	۱۳۷/۹۰	۱۰۹۱/۸۰	۱/۵۰
۵	۱۰۹/۹۰	۱۸۰/۸۰	۱۷۷/۰۰	۴۲/۳۰	۷۷۴/۴۰	۲۳۸/۱۰	۱۰۵/۶۰	۱۳۴/۸۰	۵۹۷/۳۰	۲/۲۰
۶	۲۹۱/۴۰	۵۳۹/۱۰	۵۰۱/۵۰	۱۲۵/۹۰	۱۴۲۴/۱۰	۵۶۹/۵۰	۳۳۵/۷۰	۳۷۵/۷۰	۹۲۲/۵۰	۱/۸۰
۷	۱۸۶/۷۰	۳۵۶/۳۰	۲۰۰/۳۰	۹۶/۸۰	۸۰۶/۰۰	۴۱۲/۱۰	۲۱۵/۲۰	۱۰۳/۵۰	۶۰۵/۷۰	۱/۴۰
۸	۳۲۰/۳۰	۴۸۶/۱۰	۵۰۱/۵۰	۱۰۰/۷۰	۱۲۶۵/۱۰	۵۳۲/۵۰	۲۹۶/۱۰	۴۰۰/۸۰	۷۶۳/۶۰	۱/۹۰
۹	۵۱۷/۵۰	۸۳۹/۱۰	۸۰۰/۹۰	۱۱۷/۲۰	۱۸۵۷/۸۰	۸۱۵/۱۰	۴۷۹/۹۰	۶۸۳/۶۰	۱۰۵۶/۹۰	۱/۹۰
۱۰	۳۰۵/۷۰	۴۵۲/۱۰	۴۶۸/۴۰	۸۵/۳۰	۱۳۴۳/۶۰	۴۷۹/۲۰	۲۹۶/۱۰	۳۸۳/۱۰	۸۷۵/۲۰	۱/۹۰
۱۱	۳۰۵/۷۰	۵۵۷/۳۰	۴۶۸/۴۰	۱۰۸/۹۰	۱۰۰۷/۰۰	۵۶۹/۵۰	۳۳۵/۷۰	۳۵۹/۵۰	۵۳۸/۶۰	۱/۰۰
۱۲	۲۹۱/۴۰	۴۶۹/۰۰	۳۸۹/۶۰	۱۱۳/۰۰	۱۲۶۵/۱۰	۴۷۹/۲۰	۲۸۶/۶۰	۲۷۶/۵۰	۸۷۵/۶۰	۱/۴۰
۱۳	۱۹۸/۸۰	۲۹۷/۶۰	۲۴۹/۷۰	۳۹/۴۰	۸۰۶/۰۰	۳۰۵/۷۰	۱۹۰/۸۰	۲۱۰/۲۰	۵۵۶/۴۰	۱/۵۰
۱۴	۲۳۶/۸۰	۴۳۵/۵۰	۴۲۰/۴۰	۱۲۱/۵۰	۱۱۵۱/۴۰	۴۷۹/۲۰	۲۴۰/۹۰	۲۹۸/۸۰	۷۳۱/۰۰	۰/۷۵
۱۵	۱۳۰/۵۰	۲۱۷/۴۰	۱۴۳/۹۰	۳۳/۹۰	۶۵۲/۸۰	۲۳۸/۱۰	۱۱۸/۴۰	۱۱۰/۰۰	۵۰۸/۹۰	۱/۶۰
۱۶	۱۳۰/۵۰	۲۴۴/۱۰	۳۴۵/۱۰	۶۰/۸۰	۵۹۵/۲۰	۳۹۶/۱۰	۱۸۲/۹۰	۲۸۴/۳۰	۲۵۰/۱۰	۱/۷۰
۱۷	۱۹۸/۸۰	۳۲۶/۴۰	۳۵۹/۷۰	۱۰۸/۹۰	۹۷۲/۲۰	۳۸۰/۳۰	۲۰۶/۹۰	۲۵۰/۸۰	۶۱۲/۵۰	۱/۳۰
۱۸	۱۰۹/۹۰	۱۳۵/۶۰	۱۲۳/۰۰	۵۱/۲۰	۴۶۰/۲۰	۲۲۵/۵۰	۸۷/۵۰	۷۱/۸۰	۳۳۷/۲۰	۱/۶۰
۱۹	۱۰۹/۹۰	۱۹۲/۷۰	۱۷۷/۰۰	۶۰/۸۰	۸۷۰/۹۰	۲۶۴/۳۰	۱۳۸/۶۰	۱۱۶/۳۰	۶۹۳/۹۰	۲/۲۰
۲۰	۱۴۱/۲۰	۲۱۷/۴۰	۱۸۸/۶۰	۳۶/۶۰	۸۳۸/۲۰	۲۶۴/۳۰	۱۱۸/۴۰	۱۵۱/۹۰	۶۴۹/۷۰	۰/۶۵
میانگین	۲۲۲/۶۰	۳۶۷/۳۰	۳۳۲/۵۰	۸۶/۷۰	۱۰۵۱/۸۰	۳۵۳/۹۰	۱۸۸/۱۰	۲۴۵/۸۰	۷۱۹/۳۰	۱/۵۰

جدول ۴: ضریب همبستگی بین عصاره‌گیرها، شکل‌های شیمیایی پتاسیم با غلظت پتاسیم در برگ درختان پسته

اسیدنیتریک ۰/۱ مولار	کلرید سدیم ۲ مولار	اسیدنیتریک ۰/۱ مولار	استات آمونیم	آب	اسیدنیتریک جوشان	استات سدیم	کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار	تبادلی	غیرتبادلی
۰/۹۸ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۷۱ ^{**}	۰/۶۵ ^{**}	۰/۷۳ ^{**}	۰/۷۹ ^{**}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۸۹ ^{**}	۰/۳۸	-۰/۰۷
استات آمونیم	۰/۹۴ ^{**}	۰/۶۵ ^{**}	۰/۸۱ ^{**}	۰/۸۱ ^{**}	۰/۹۶ ^{**}	۰/۹۳ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۱۵	
آب	۰/۶۵ ^{**}	۰/۷۱ ^{**}	۰/۸۱ ^{**}	۰/۷۳ ^{**}	۰/۹۶ ^{**}	۰/۹۳ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۱۵	
اسیدنیتریک جوشان	۰/۸۶ ^{**}	۰/۸۵ ^{**}	۰/۸۱ ^{**}	۰/۷۳ ^{**}	۰/۷۹ ^{**}	۰/۷۳ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۱۵	
استات سدیم	۰/۹۴ ^{**}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۹۶ ^{**}	۰/۶۴ ^{**}	۰/۷۹ ^{**}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۱۵	
کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار	۰/۹۵ ^{**}	۰/۹۸ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۰/۷۰ ^{**}	۰/۷۹ ^{**}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۱۵	
تبادلی	۰/۹۱ ^{**}	۰/۹۰ ^{**}	۰/۹۰ ^{**}	۰/۴۷ ^{**}	۰/۷۳ ^{**}	۰/۹۳ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۱۵	
غیرتبادلی	۰/۵۹ ^{**}	۰/۵۹ ^{**}	۰/۴۸ ^{**}	۰/۶۳ ^{**}	۰/۹۱ ^{**}	۰/۴۸ ^{**}	۰/۶۲ ^{**}	۰/۱۵	
غلظت پتاسیم برگ	۰/۰۲۶	-۰/۰۳	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۵	-۰/۰۷

^{**} و ^{*} به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد و پنج درصد.



شکل ۳: نمودارهای کمیّت-شدت در تعدادی از خاک‌های مورد مطالعه.

جدول ۵: پارامترهای کمیّت شدت برای ۲۰ نمونه خاک مورد مطالعه.

ΔK^0	AR_k^k	PBC ^K	R ²	معادله خط ظرفیت بافری	شماره خاک
۰/۷۸۴	۰/۰۱۵	۵۱/۴۸	۰/۹۸	$Y = 51/476 X - 0/8737$	۱
۰/۳۹۶	۰/۰۰۶	۶۷/۴۷	۰/۹۸	$Y = 67/475 X - 0/3963$	۲
۰/۳۳۰	۰/۰۰۴	۸۴/۳۸	۰/۹۸	$Y = 84/38 X - 0/3299$	۳
۰/۱۵۹	۰/۰۰۴	۳۷/۹۳	۰/۹۴	$Y = 37/93 X - 0/159$	۴
۰/۰۸۸	۰/۰۰۳	۳۰/۶۸	۰/۹۸	$Y = 30/68 X - 0/0885$	۵
۱/۰۱۴	۰/۰۲۲	۴۵/۲۹	۰/۹۹	$Y = 45/288 X - 1/0144$	۶
۰/۵۹۵	۰/۰۱۲	۴۷/۸۱	۰/۹۹	$Y = 47/81 X - 0/5954$	۷
۰/۸۴۶	۰/۰۱۶	۵۲/۳۵	۰/۹۱	$Y = 52/352 X - 0/8464$	۸
۱/۶۶۰	۰/۰۲۷	۶۱/۲۸	۰/۹۴	$Y = 61/284 X - 1/66$	۹
۰/۸۴۹	۰/۰۲۰	۴۱/۸۵	۰/۹۷	$Y = 41/85 X - 0/8493$	۱۰
۰/۹۴۴	۰/۰۲۱	۴۵/۷۷	۰/۹۵	$Y = 45/766 X - 0/9439$	۱۱
۰/۸۳۱	۰/۰۱۵	۵۴/۲۴	۰/۹۷	$Y = 54/237 X - 0/8309$	۱۲
۰/۲۶۷	۰/۰۰۴	۵۶/۳۲	۰/۹۷	$Y = 60/274 X - 0/2673$	۱۳
۰/۸۷۸	۰/۰۱۴	۶۱/۸۸	۰/۹۹	$Y = 61/876 X - 0/8778$	۱۴
۰/۱۲۱	۰/۰۰۲	۷۸/۷۶	۰/۹۶	$Y = 78/758 X - 0/1209$	۱۵
۰/۳۴۷	۰/۰۰۷	۵۱/۴۷	۰/۹۹	$Y = 51/474 X - 0/3471$	۱۶
۰/۶۲۴	۰/۰۱۴	۴۵/۴۱	۰/۹۶	$Y = 45/41 X - 0/6236$	۱۷
۰/۱۶۴	۰/۰۰۳	۴۶/۹۱	۰/۹۶	$Y = 46/91 X - 0/1639$	۱۸
۰/۱۸۹	۰/۰۰۴	۴۶/۲۲	۰/۹۹	$Y = 46/223 X - 0/1887$	۱۹
۰/۲۶۰	۰/۰۰۶	۴۶/۸۳	۰/۹۹	$Y = 46/828 X - 0/26$	۲۰

جدول ۶: همبستگی بین شکل‌های پتاسیم و پارامترهای کمیت - شدت.

AR ^k _e	PBC ^K	غیر تبادلی	تبادلی	محلول	
				۰/۴۷*	تبادلی
			۰/۳۸	۰/۶۳	غیر تبادلی
		-۰/۰۲۵	۰/۰۹۲	۰/۰۴۱	PBC ^K
	-۰/۱۳	۰/۴۴	۰/۸۵**	۰/۶۲**	AR ^k _e
۰/۹۷**	۰/۰۳۷	۰/۴۷*	۰/۹۰**	۰/۶۳**	ΔK ⁰

** و * به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد و پنج درصد

جدول ۷: همبستگی بین شکل‌های پتاسیم، پارامترهای کمیت-شدت با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ΔK ⁰	AR ^k _e	PBC ^K	غیر تبادلی	تبادلی	محلول	
۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۸	-۰/۰۳۷	۰/۳۲	-۰/۱۱	رس
۰/۲۱	۰/۳۰	-۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۶۸**	سیلت
-۰/۳۱	-۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۱۳	شن
۰/۴۷*	۰/۴۹*	۰/۰۲	-۰/۱۶	-۰/۲۳	-۰/۰۲	pH
۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۰۷	۰/۰۰۴	EC
۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۷۳**	۰/۳۲	۰/۶۱**	CEC
-۰/۱۹	-۰/۱۷	-۰/۰۱	۰/۵۱*	۰/۱۸	۰/۴۱	ماده آلی
-۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۳۶	-۰/۷۴**	۰/۲۹	-۰/۶۱**	CCE

** و * به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد و پنج درصد

منابع

۱. بارانی مطلق، م. و غ. ثواقبی فیروزآبادی. ۱۳۸۴. بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های زیر کشت نیشکر خوزستان، مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۶(۵): ۱۱۸۵-۱۱۹۶.
۲. بهمنی، م.، م.ح. صالحی، و ع. حسین پور. ۱۳۹۱. مطالعه پارامترهای نسبت کمیت-شدت پتاسیم خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری. نشریه آب و خاک، ۲۶(۲): ۳۴۹-۳۶۰.
۳. حسین پور، ع. ۱۳۸۳. کاربرد معادلات سینتیکی در توصیف سرعت آزاد شدن پتاسیم غیرتبادلی در شماری از خاک‌های همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۸(۳): ۸۵-۹۳.
۴. حسین پور، ع. 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، ۱۱(۴): ۴۳-۵۶.
۵. دولتی، ب.، ش. اوستان، و ع. صمدی. ۱۳۸۷. شکل‌های مختلف پتاسیم و روابط Q/I در خاک‌های تحت کشت آفتابگردان (منطقه خوی). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۶): ۶۲۳-۶۳۶.
۶. سرچشمه پور، م. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۴. ضرورت کوددهی پتاسیم در پسته (افزایش محصول با بهبود کیفیت). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۷ صفحه.
۷. عبدی، ص.، ر. قاسمی فسایی، ن.ع. کریمیان، و م. فیضیان. ۱۳۹۳. قابلیت استفاده و سینتیک آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی در برخی خاک‌های آهکی استان فارس. نشریه آب و خاک، ۲۸(۴): ۷۶۶-۷۷۷.
۸. قنواتی، ن.، م.ج. ملکوتی، و ع. حسین پور. ۱۳۸۷. بررسی اثر آنیون همراه بر روابط کمیت-شدت (Q/I) پتاسیم خاک و تعیین همبستگی آن با خصوصیات خاکی و شاخص‌های گیاهی گندم. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۸۰: ۱۷۶-۱۷۰.
۹. ملکوتی، م.ج. و ع.ا. شهابی. ۱۳۸۴. تعیین معیارهای کیفی میوه‌های صادراتی، افزایش عملکرد و ارتقا کیفی آنها با استفاده از مصرف بهینه کود و آب در کشور (گزارش نهایی). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
۱۰. ملکوتی، م.ج. و س.ج. طباطبایی. ۱۳۷۹. کوددهی متعادل باغات برای عملکرد بالاتر و کیفیت میوه بهتر در خاک‌های آهکی ایران. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.

ایران

11. Al-kanani, T., N.N. Bartabar and A.J. Hussien. 1991. Evaluation of potassium quantity- intensity relationship in calcareous soil. *Soil Science*, 151:167-173.
12. Al-Zubaidi, A., S. Yanni and I. Bashour. 2008. Potassium status in some Lebanese soils. *Lebanese Science Journal*, Vol. 9, No. 1.
13. Ashworth, L. J., S.A. Gaona and E. Surber. 1985. Nutritional diseases of pistachio trees: potassium and phosphorus deficiencies and boron toxicities. *Phytopathology*, 75(10):1084-1091
14. Barber, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley and Sons. New York, P: 397.
15. Ben-Mimoun, M., O. Loumi., M. Ghrab., K. Latiri, R. Hellali. 2004. Foliar potassium application on pistachio tree. *Horticulture Science*, 111:224-228.
16. Cakmak, I.2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stress in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168:521-530.
17. Cimrin, K.M., E. Akca., M. Senol., G. Buyuk and S. Kapur. 2004. Potassium potential of the soils of the Gavas region in Eastern Anatolia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28:259-266.
18. Csatho, P. 1998. Correlation between two soil extractants and corn leaf potassium contents from Hungarian field trails. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29:2149-2160.
19. Zeng, D. Q., P.H. Brown and B. A. Holtz. 1999. Potassium fertilization and diagnostic criteria for Pistachio trees. *Better Crops*, 83(3):10-12.
20. Farpoor, M.H., H. Khademi and M.K. Eghbal. 2002. Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces. *Iranian Agricultural Research*, 21:39-60.
21. Feigenbaum, S., R. E. Edelman and I. Shainberg. 1981. Release rate of potassium and structural cations from micas to ion exchanger in dilute solution. *Soil Science Society of American Journal*, 45:501-506.
22. Grzebisz, W. and J.J. Oertli. 1993. Evaluation of universal extractants for determining plant available potassium in intensively cultivated soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24:1295-1308.
23. Havlin, J.L., S.L. Tisdale., W.L. Nelson and J. Beaton. 2004. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Prentice Hall., UK, 528pp.
24. Holtz, A.B. 2001. Potassium fertilization affects soil K, leaf K concentration, and nut yield and quality of mature pistachio trees. *Hortscience*, 36(1):85-89.
25. Hosseinifard, S. J., H. Khademi and M. Kalbasi. 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistacia vera L.*) trees in Rafsanjan, Iran. *Geoderma*, 155:289-297.
26. Jalali, M. 2005. Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36:1903-1917.
27. Jalali, M. 2006. Kinetics of nonexchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of Western Iran. *Geoderma*, 135:63-71.
28. Karimi, H.R., S. Sevandi- Nasab., H. R. Roosta. 2012. The effect of salicylic acid and potassium on some characteristics nut and physiological parameters of pistachio trees Cv. Owhadi. *Journal of Nuts*, 3(3):21-26.
29. Kermani, M.M., F. Salehi. 2006. Determination of pistachio crop evapotranspiration (ETc). *Proceedings of the fourth international symposium on pistachios and almonds. Acta Horticulture*, 726, 441-447.
30. Kittrick, J.A., and E.W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-Ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96: 312-325.
31. Knudsen, D., G.A. Peterson and P.E. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. In: A. L. Page, et al. (eds.). *Methods of soil analysis, Part II*. 2nd ed. Agron Monog. 9. ASA and SSSA Madison, WI., USA. pp:225-246.

32. Krauss, A. 1997. Potassium, the forgotten nutrient in West Asia and North Africa. Accomplishment and future challenges in dryland soil fertility research in Mediterranean area, Ed. J. Ryan, ICARDA.
33. Leroux, J. and M. E. Sumner. 1968. Labile potassium in soils: I. Factors affecting the quantity-intensity (Q/I) parameters. *Soil Science*, 106:35-41.
34. Lopez-Pineiro, A., and A. Garcia Navarro. 1997. Potassium release kinetics and availability in unfertilized Vertisol of Southwestern Spain. *Soil Science*, 162:912-918.
35. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
36. Mishra, M.K. and M. Singh. 1994. Soil test/crop response to potassium with respect to yield and quality. *Potash Review*, subject II, 9th suite, No. 3.
37. Rich, C. I., and W. R. Black. 1964. Potassium exchange as affected by cation size and mineral structure. *Soil Science*, 47:384-390.
38. Rosecrance, R.C., S.A. Weinbaum and P.H. Brown. 1996. Assessment of nitrogen, phosphorus, and potassium uptake capacity and root growth in mature alternate-bearing pistachio (*Pistacia vera*). *Tree Physiology*, 16: 949-956.
39. Samadi, A. 2006. Potassium exchange isotherms as a plant availability index in selected calcareous soils of Western Azarbaijan province, Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30:213-222.
40. Schindler, F.V., J.W. Howard and J.J. Doolittle. 2005. Assessment of soil potassium sufficiently as related to quantity- intensity in montmorillonitic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36:2255-2270.
41. Shaviv, A., M. Mohsin, P.F. Pratt and S.V. Matigod. 1985. Potassium fixation characteristics of five Southern California soils. *Soil Science society of American Journal*, 49:1105-1109.
42. Sparks, D.L. and W.C. Liebhardt. 1981. Effect of long-term lime and potassium application on quantity-intensity relationships in sandy soil. *Soil. Science society of American Journal*, 45:786-790.
43. Wang, J., L. Dustin., F. Harrel and F. Paul. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Science society of American Journal*, 68:654-661.
44. 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. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:2561-2575.
45. Woodruff, C.M. 1955. The energies of replacement of calcium by potassium in soil. *Soil Science society of American Journal*, 19:36-40.