



دانشگاه گیلان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیستم، شماره اول، ۱۳۹۲  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## بررسی تأثیر اندازه ذرات و نوع عصاره‌گیر بر شکل‌های مختلف پتاسیم برخی کانی‌های میکایی و فلدسپات پتاسیم

حدیث حاتمی<sup>۱</sup>، \*علیرضا کریمی<sup>۲</sup>، امیر فتوت<sup>۳</sup> و حسین خادمی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۳</sup> استاد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۱

### چکیده

پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر پر مصرف، به‌طور عمده از هوادیدگی آلومینوسیلیکات‌هایی مانند فلدسپات‌های پتاسیم و میکاها در خاک تامین می‌شود. این مطالعه به منظور بررسی تأثیر اندازه و نوع عصاره‌گیر بر شکل‌های مختلف پتاسیم در تعدادی از کانی‌های میکایی و فلدسپات پتاسیم و تعیین ارتباط بین پتاسیم آزاد شده توسط تیزاب‌سلطانی با نوع کانی‌های پتاسیم‌دار انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل دربرگیرنده ۵ نوع کانی پتاسیم‌دار (بیوتیت، فلوگوپیت، موسکویت، فلدسپات‌زنجان و فلدسپات‌یزد)، دو اندازه (۱۰۰-۵۰ و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون) و ۳ نوع عصاره‌گیر (آب مقطر، استات آمونیوم و اسیدنیتریک) با ۳ تکرار انجام شد. مقدار پتاسیم ره‌اشده از این کانی‌ها با دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که فلدسپات‌ها، به اندازه میکاهای سه‌جایی (بیوتیت و فلوگوپیت) در تامین پتاسیم محلول و تبادل‌ی خاک مهم می‌باشند ولی کانی دوجایی موسکویت، اهمیت کم‌تری حتی نسبت به فلدسپات‌ها دارد. میزان پتاسیم غیرتبادل‌ی که ذخیره پتاسیم خاک می‌باشد در بیش‌ترین مقدار خود، در میکاهای سه‌جایی بیش از ۱۷ گرم بر کیلوگرم بود اما در میکای دوجایی و فلدسپات‌ها ۳ گرم بر کیلوگرم می‌باشد. نتایج عصاره‌گیری با تیزاب‌سلطانی نشان داد که این عصاره‌گیر مقدار زیادی از پتاسیم موجود در کانی‌های سه‌جایی را آزاد می‌کند (۸۱ گرم بر کیلوگرم) ولی قادر نیست پتاسیم چندانی از کانی‌های موسکویت و فلدسپات خارج کند (حدود ۴ گرم بر کیلوگرم). کوچک شدن اندازه تأثیری بر آزادسازی پتاسیم عصاره‌گیری شده با

\* مسئول مکاتبه: [karimi-a@um.ac.ir](mailto:karimi-a@um.ac.ir)

تیزاب سلطانی در کانی‌های سه‌جایی ندارد اما در کانی‌های موسکویت و فلدسپات باعث افزایش قابل توجه پتاسیم آزاد شده تا بیش از ۳/۵ برابر می‌گردد. ذرات کوچک‌تر در آزادسازی شکل‌های مختلف پتاسیم، اختلاف معنی‌داری با ذرات درشت نشان دادند. پتاسیم آزاد شده توسط تیزاب سلطانی می‌تواند شاخصی از نوع کانی‌های پتاسیم‌دار خاک و قدرت خاک برای تامین پتاسیم باشد البته پژوهش‌ها بیشتر، در این‌باره ضروری به‌نظر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌های سیلیکاته، پتاسیم غیرتبادلی، تیزاب سلطانی

#### مقدمه

پتاسیم به‌طور متوسط ۲/۸۵ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و از نظر مقدار مورد نیاز گیاه، حد واسط نیتروژن و فسفر است (شلدریک، ۱۹۸۵)؛ بنابراین، اگر پتاسیم در خاک به‌مقدار کافی وجود نداشته باشد، رشد گیاه به‌شدت کاهش می‌یابد (جلالی، ۲۰۰۲). شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک به‌ترتیب قابلیت استفاده برای گیاه شامل پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی (ثبیت شده) و ساختمانی می‌باشند (اسپارکس و هوانگ، ۱۹۸۵؛ مارتین و اسپارکس، ۱۹۹۵). حدود ۹۸ درصد از پتاسیم خاک در فلدسپات‌های پتاسیم و فیلسیلیکات‌ها وجود دارد (آندرسن رانگل و همکاران، ۲۰۱۰). فلدسپات‌ها معمولاً در بخش سیلت و شن خاک‌های جوان و با تکامل متوسط یافت می‌شوند (اسپارکس و هوانگ، ۱۹۸۵). فیلسیلیکات‌ها تقریباً در تمام بخش‌های خاک وجود دارند. می‌توان گفت ذرات رس مهم‌ترین منبع عرضه پتاسیم در خاک بوده و هم‌زمان با کاهش غلظت پتاسیم و رسیدن آن به زیر نقطه تعادل، پتاسیم را به‌درون محلول خاک آزاد می‌کنند (اسپارکس و هوانگ، ۱۹۸۵).

میزان رهاسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار، به نوع و مقدار این کانی‌ها بستگی دارد. کانی‌های گروه فلدسپات، در تقسیم‌بندی کلی کانی‌های سیلیکاته در گروه تکتوسیلیکات‌ها قرار می‌گیرند. پتاسیم در فلدسپات‌های پتاسیم به‌وسیله پیوند کووالانسی درون چارچوب کریستال‌ها متصل شده است و رهاسازی پتاسیم تحت‌تأثیر هوادیدگی صورت می‌گیرد (اگارد و راگ‌استاد، ۲۰۰۵). فلدسپات‌های پتاسیم علاوه‌بر پتاسیم موجود در شبکه بلور (پتاسیم ساختمانی) دارای پتاسیم تبادلی نیز می‌باشند. در فلدسپات‌ها، بار الکتروستاتیک به‌دست آمده از جانشینی  $Al^{3+}$  به‌جای  $Si^{4+}$  با ورود کاتیون‌هایی مانند پتاسیم و سدیم خنثی می‌شود (اتردی، ۱۹۹۶). همچنین، پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که گروه‌های هیدروکسیل موجود در سطح فلدسپات‌ها، عامل ایجاد پتاسیم تبادلی در این کانی می‌باشند

(تالیان، ۱۹۸۱). در میکاها که نوعی از سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ می‌باشند؛ پتاسیم به‌وسیله نیروهای الکتروستاتیک نگهداری می‌شود. رهاسازی پتاسیم از میکاها می‌تواند به‌وسیله دو فرآیند انحلال ساختار بلور و یا تبادل پتاسیم بین‌لایه‌ای با کاتیون آب‌پوشیده انجام شود (اگارد و راگاستاد، ۲۰۰۵). هوادیدگی میکاها به‌طور عمده به‌وسیله غلظت یون  $H_2O^+$  یا به‌عبارت دیگر pH، در محیط خاک کنترل می‌شود، ولی در این میان، ویژگی‌های ساختمانی انواع کانی‌های میکایی مانند کج‌شدگی و چرخش چهاروجهی، جهت‌گیری یون هیدروکسیل، کاتیون‌های هشت‌وجهی، نواقص ساختمانی و اندازه ذرات در رهاسازی پتاسیم نقش مهمی ایفا می‌نمایند (بولت و همکاران، ۱۹۶۳).

پژوهش‌های انجام شده در مورد آزاد شدن پتاسیم بین‌لایه‌ای در کانی‌های خالص نشان داده است که پتاسیم بین‌لایه‌ای در میکاهای هشت‌وجهی سه‌جایی آسان‌تر از میکاهای هشت‌وجهی دوجایی آزاد می‌شود (شازین و همکاران، ۲۰۰۷؛ رید و اسکات، ۱۹۶۸). مقدار آزادسازی پتاسیم از بیوتیت به‌ترتیب ۱۶-۱۳ و ۱۰۵-۷۵ برابر فلوگوپیت و موسکویت گزارش شده است (اسپارکس، ۱۹۸۰). پال و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که پتاسیم رهاسده از کانی بیوتیت پس از ۳۵ بار عصاره‌گیری متوالی با محلول کلریدباریم ۰/۱ مولار، خیلی بیش‌تر از موسکویت می‌باشد و میزان پتاسیم آزاد شده برای کانی‌های بیوتیت و موسکویت در اندازه ۱۰۰-۵۰ میکرون، به‌ترتیب ۲۲۹۵ و ۰/۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم کانی اندازه‌گیری شد. پال و دروگ (۱۹۹۳) نشان دادند که بیوتیت در مقایسه با موسکویت نقش مهم‌تری در تامین پتاسیم خاک دارد. همچنین، مطالعات نشان داده است که رهاسازی پتاسیم از بیوتیت ۱۹۰-۱۱۸ برابر فلدسپات‌های پتاسیم است (اسپارکس، ۱۹۸۰). کین‌هوا و همکاران (۲۰۱۱) میزان پتاسیم غیرتبادلی ۵ کانی فلوگوپیت، بیوتیت، ورمی‌کولیت، موسکویت و فلدسپات را با استفاده از سدیم تترافنیل بران ( $NaBPh_4$ ) اندازه‌گیری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ترتیب رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی در این کانی‌ها به‌صورت فلدسپات > موسکویت > ورمیکولیت > بیوتیت > فلوگوپیت می‌باشد.

علاوه بر نوع کانی، اندازه ذرات، عامل مؤثر دیگر در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار است. اسنال و لیلجفورس (۲۰۰۰) نشان دادند که با کاهش اندازه ذرات، مقدار رهاسازی پتاسیم از کانی‌های بیوتیت و میکروکلاین افزایش می‌یابد. به‌گونه‌ای که میزان پتاسیم آزادشده از میکروکلاین در اندازه ۲۰-۱۰ میکرون، ۳-۲ برابر ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون و ۱۰ برابر اندازه کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر می‌باشد. در کانی بیوتیت، آزادسازی پتاسیم در اندازه ۲-۰/۵ میلی‌متر در مقایسه با اندازه ۲۰-۱۰ میکرون، حدود ۶۰ درصد کم‌تر می‌باشد. پال و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که میزان پتاسیم آزاد شده در اندازه ۶-۲ میلی‌متر کانی موسکویت، بیش از ۲ برابر اندازه ۱۰۰-۵۰ میکرون این کانی می‌باشد.

برای آگاهی از وضعیت پتاسیم در خاک از عصاره‌گیرهای گوناگونی استفاده می‌شود. به صورت معمول، شکل‌های محلول، تبادل و غیرتبادلی، به ترتیب توسط آب مقطر، استات آمونیوم مولار و اسیدنیتریک جوشان اندازه‌گیری می‌شوند. همچنین، از اسیدهای رقیق و غلیظ مانند اسیدنیتریک ۱ مولار، اسیدسولفوریک (پال و همکاران، ۲۰۰۱)، اسیدکلریدریک ۰/۰۱ مولار (ماجم‌دار و همکاران، ۲۰۰۲)، اسیدسیتریک ۰/۵ مولار (سیمارد و همکاران، ۱۹۸۹) و ۰/۰۱ مولار (جلالی، ۲۰۰۵)، اسیدکلریدریک غلیظ ۶/۵ مولار جوشان (نائوکی و همکاران، ۲۰۰۲) و نمک‌هایی مانند سدیم تترافنیل بران (پال و همکاران، ۲۰۰۱)، کلریدکلسیم ۰/۲ مولار (بدرویی و همکاران، ۱۹۹۲) و ۰/۰۱ مولار و کلرید باریم ۰/۰۵ مولار (پال و همکاران، ۲۰۰۱) اشاره نمود. تیزاب سلطانی به‌عنوان یک عصاره‌گیر عمومی برای اندازه‌گیری عناصر سنگین و تهیه اطلس‌های ژئوشیمیایی به‌صورت گسترده استفاده می‌شود (سالمین و همکاران، ۲۰۰۴؛ ریمن و همکاران، ۲۰۰۳؛ مک‌گراث و لولند، ۱۹۹۲). اخیراً آندرسیت‌رانگل و همکاران (۲۰۱۰)، از تیزاب سلطانی برای تعیین وضعیت پتاسیم در خاک‌های مرتعی معتدل شمالی اسکاتلند استفاده کردند. آن‌ها با تعیین کمی انواع کانی‌های پتاسیم‌دار به‌روش پراش پرتو ایکس، نشان دادند که پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی، همبستگی قابل‌قبولی با پتاسیم موجود در فیلسیلیکات‌ها به‌جز کانی‌های موسکویت و فلدسپات دارد. به‌عبارت دیگر، موسکویت و فلدسپات‌ها نقشی در میزان پتاسیم آزاد شده توسط تیزاب سلطانی ندارند.

معمولاً تفسیرهای ارایه شده درباره شکل‌های مختلف پتاسیم، بدون توجه به کانی‌شناسی آن‌ها صورت می‌گیرد. البته این مسأله چندان عجیب نیست؛ زیرا تعیین کمی دقیق کانی‌های خاک، مشکل بوده و هزینه‌بر است. آگاهی از شکل‌های مختلف پتاسیم تک‌تک کانی‌های پتاسیم‌دار، می‌تواند ما را به تفسیر و نتیجه‌گیری درباره پتاسیم خاک‌ها رهنمون سازد؛ ولی تاکنون پژوهش‌های جامعی درباره شکل‌های مختلف پتاسیم کانی‌های پتاسیم‌دار انجام نشده است. از سوی دیگر، ارتباط پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی (آندریست‌رانگل و همکاران، ۲۰۱۰)، براساس اندازه‌گیری کمی کانی‌ها و فرضیاتی در مورد میزان پتاسیم در آن‌ها انجام شده است و ممکن است با خطاهایی همراه باشد. در صورتی‌که بتوان ادعای انجام شده توسط آندرسیت‌رانگل و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از کانی‌های خالص اثبات کرد، می‌توان شکل تیزاب سلطانی را به‌عنوان یک شکل معتبر برای ارزیابی پتاسیم خاک استفاده کرد. با توجه به موارد گفته شده اهداف این مطالعه؛ ۱- مقایسه شکل‌های مختلف پتاسیم در کانی‌های موسکویت، بیوتیت، فلوگوپیت و فلدسپات پتاسیم، ۲- بررسی تأثیر

اندازه ذرات کانی در رهاسازی پتاسیم و ۳- بررسی میزان پتاسیم آزاد شده توسط تیزاب سلطانی از کانی‌های گفته شده و امکان معرفی شکل تیزاب سلطانی به عنوان یک شاخص مناسب از وضعیت پتاسیم در خاک است.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، سه نوع کانی میکایی بیوتیت، فلوگوپیت، موسکویت و دو کانی فلدسپات پتاسیم استفاده شد. کانی‌های بیوتیت و موسکویت از معادنی در همدان، فلوگوپیت از معدنی در ارومیه و فلدسپات‌های پتاسیم از معادنی در یزد و زنجان تهیه شدند. کانی‌ها پس از آسیاب شدن، در دو اندازه کوچک‌تر از ۵۰ و ۵۰-۱۰۰ میکرون تفکیک شدند. برای تعیین ترکیب عنصری کانی‌ها، به روش طیف‌سنجی فلورسنس پرتو ایکس (XRF) به کانی‌های آسیاب شده، محلول لیتیوم تتراورات با نسبت ۱:۶ اضافه شد. نمونه‌ها به درون بوتله‌های پلاتینی، برای قرار گرفتن در کوره (دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) منتقل شدند. سپس از ماده مذاب سرد شده، قرص‌هایی تهیه گردید. فراوانی عناصر مورد نظر توسط دستگاه XRF مدل PW-1480 در شرکت کانساران بینالود تهران اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری شکل‌های محلول، تبدلی و غیرتبدلی، به ترتیب از عصاره‌گیرهای آب مقطر، استات آمونیوم یک مولار در  $\text{pH}=7$  (نادسن و همکاران، ۱۹۸۲) و اسیدنیتریک ۱ مولار جوشان (هلمکی و اسپارکس، ۱۹۹۶) استفاده شد. عصاره‌گیری با تیزاب سلطانی نیز با استفاده از نسبت ۳:۱ اسیدکلریدریک به اسیدنیتریک غلیظ انجام شد (اسمولدرز و همکاران، ۱۹۹۹).

برای اندازه‌گیری شکل محلول در آب، ابتدا ۱ گرم از هر یک از اندازه‌های کانی‌ها به دقت توزین شده و داخل یک ظرف پلی‌اتیلن ۵۰ میلی‌لیتری منتقل گردید و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به هر ظرف اضافه شد. سپس، نمونه‌ها توسط یک تکان‌دهنده الکتریکی رفت و برگشتی با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۱ ساعت تکان داده شدند. پس از پایان این زمان، نمونه‌ها با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۵ دقیقه ساتریفوژ و محلول زلال رویی جمع‌آوری گردید. غلظت پتاسیم در محلول رویی به وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر مدل JENWAY PFP 7 اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شکل تبدلی به کانی توزین شده در مرحله قبل که شکل محلول آن خارج شده است، ۱۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم

۱ مولار (pH=۷) اضافه شده و مانند مرحله قبل، به مدت ۱ ساعت تکان داده شد. سپس، به مدت ۵ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و محلول زلال رویی جمع‌آوری شده و غلظت پتاسیم در محلول رویی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شکل غیرتبادلی، ابتدا ۰/۵ گرم از هر یک از اندازه‌های کانی‌ها، توزین شده و داخل ارلن‌های ۵۰ میلی‌لیتری منتقل گردید و ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۱ مولار به ظرف‌ها اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه پس از به‌جوش آمدن، در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند پس از این مرحله، نمونه‌های سرد شده، صاف گردیدند و غلظت پتاسیم در محلول‌های صاف شده اندازه‌گیری شد (پس از ریختن نمونه‌ها روی کاغذ صافی، محتویات هر ارلن چند بار توسط اسیدنیتریک ۰/۱ مولار شسته شده و بر روی کاغذ صافی منتقل شد). پتاسیم غیرتبادلی، با کم کردن مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسیدنیتریک ۱ مولار جوشان، از مجموع مقدار پتاسیم محلول و تبادلی محاسبه گردید. روش اندازه‌گیری پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی به این ترتیب بود که ابتدا ۱ گرم از هر یک از اندازه‌های کانی‌ها به‌دقت وزن شده و داخل ارلن‌های ۵۰ میلی‌لیتری منتقل گردیده و به هر نمونه به‌ترتیب ۷/۵ و ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک و اسیدنیتریک غلیظ اضافه شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها بر روی صفحه داغ، در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت حرارت داده شدند. سپس، به هر نمونه ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۰/۵ مولار اضافه شده و نمونه‌ها صاف شدند. غلظت پتاسیم در محلول‌های صاف شده توسط دستگاه فلیم‌فتمتر اندازه‌گیری شد.

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در ۳ تکرار انجام شد. سطح اول ۵ نوع کانی پتاسیم‌دار (بیوتیت، فلوگوپیت، موسکویت، فلدسپات یزد و فلدسپات زنجان)، سطح دوم شامل دو اندازه (کوچک‌تر از ۵۰ میکرون و ۵۰-۱۰۰ میکرون) و سطح سوم شکل پتاسیم (محلول، تبادلی، غیرتبادلی) انتخاب شد. مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

## نتایج

نتایج XRF کانی‌های مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. مقدار اکسید پتاسیم کل کانی‌های بیوتیت، فلوگوپیت، موسکویت، فلدسپات زنجان و فلدسپات یزد به‌ترتیب ۹/۴۱، ۱۰/۷۹، ۱۱/۸۰، ۱۳/۹۸ و ۱۳/۷۵ درصد می‌باشد (جدول ۱). بنابراین میزان پتاسیم دو نوع فلدسپات بیش از

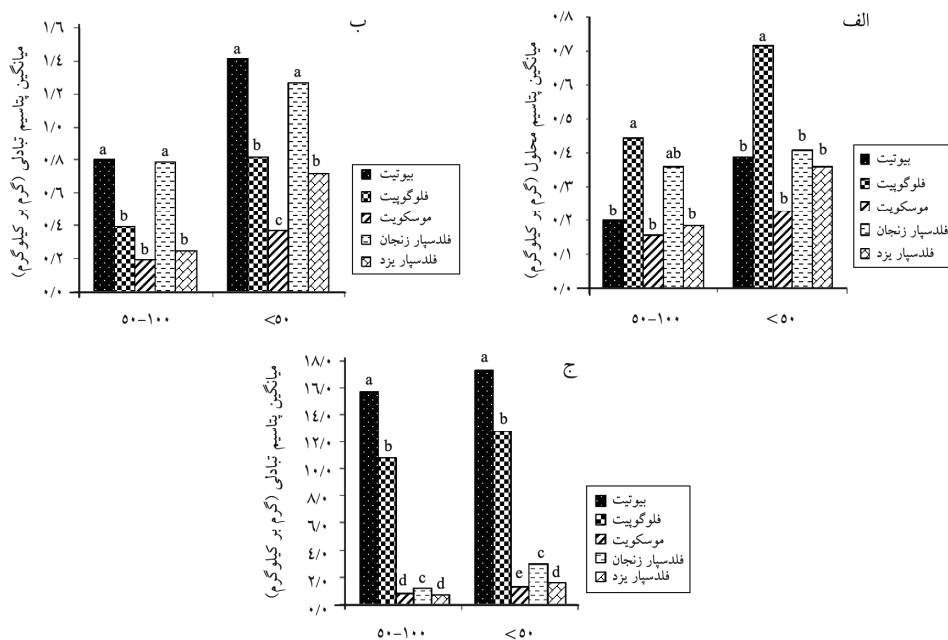
کانی‌های میکایی مورد مطالعه بوده است. کانی موسکویت یک میکای دوجایی است و بدون آهن و منیزیم در لایه هشت‌وجهی خود می‌باشد. میکاهای سه‌جایی بیوتیت و فلوگوپیت دارای مقدار قابل توجهی  $MgO$  و  $Fe_2O_3$  هستند. مقدار  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  در کانی موسکویت، بیش از بیوتیت و فلوگوپیت است که این مسأله وجود آلومنیوم در لایه هشت‌وجهی میکاهای دوجایی را تأیید می‌نماید. کانی‌های فلدسپات پتاسیم به‌عنوان تکتوسیلیکات دارای میزان  $SiO_2$  بیش‌تری در مقایسه با کانی‌های میکایی می‌باشند. مقدار قابل توجه  $K_2O$  نشان می‌دهد که پتاسیم کاتیون اصلی خنثی‌کننده بار الکتریکی در فلدسپات‌ها می‌باشد؛ البته مقداری از بار الکتریکی توسط سدیم خنثی شده است.

جدول ۱- درصد اکسید عناصر به‌دست آمده از تجزیه XRF کانی‌های مورد استفاده.

LOI*	MnO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	کانی
۱/۴۶	۰/۰۳	۷/۰۲	۰/۳۱	۰/۴۲	۹/۴۱	۱۱/۴۲	۱۲/۹۶	۱۴/۹۱	۴۱/۷۳	بیوتیت
۲/۷۰	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۹۷	۱۰/۷۹	۵/۵۴	۲۳/۸۴	۱۴/۶۶	۴۰/۶۹	فلوگوپیت
۴/۸۱	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۶۳	۰/۱۲	۱۱/۸۰	۲/۵۴	۰/۱۱	۳۲/۵۶	۴۵/۶۷	موسکویت
۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۲/۲۹	۰/۰۷	۱۳/۹۸	۰/۴۴	۰/۰۱	۱۷/۱۴	۶۵/۲۴	فلدسپات‌زنجان
۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۲/۹۸	۰/۱۵	۱۳/۷۵	۰/۲۲	۰/۰۱	۱۷/۵۸	۶۳/۹۱	فلدسپات‌یزد

\* کاهش وزن در دمای بالا (Loss on Ignition).

شکل‌های مختلف اندازه‌گیری شده پتاسیم شامل محلول، تبدالی و غیرتبدالی و تأثیر اندازه کانی در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌کنیم کم‌ترین و بیش‌ترین میزان پتاسیم آزاد شده هر کانی، به‌ترتیب مربوط به شکل‌های محلول و غیرتبدالی می‌باشند. اختلاف بین شکل‌های محلول و تبدالی در مقایسه با پتاسیم غیرتبدالی کم‌تر می‌باشد به‌گونه‌ای که میزان پتاسیم تبدالی ۲-۱/۳ برابر پتاسیم محلول است اما میزان پتاسیم غیرتبدالی ۳/۱۲-۳/۶ برابر پتاسیم تبدالی و ۲۴-۴/۶ برابر پتاسیم محلول می‌باشد. با کوچک شدن اندازه ذرات، میزان آزادسازی پتاسیم در شکل‌های محلول، تبدالی و غیرتبدالی افزایش می‌یابد اما همچنان تفاوت‌های گفته شده بین شکل‌های پتاسیم وجود دارد.



شکل ۱- میانگین شکل‌های پتاسیم از کانی‌های گوناگون در دو اندازه ۵۰-۱۰۰ و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون (الف) شکل محلول، (ب) شکل تبادلی و (ج) شکل غیر تبادلی.

میزان رهاسازی شکل‌های مختلف پتاسیم در کانی‌های مختلف متفاوت است. همان‌گونه که در شکل ۱- الف مشاهده می‌کنیم، از بین کانی‌های مورد مطالعه، فلوگوپیت و موسکویت به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین پتاسیم محلول را آزاد کرده‌اند. به‌طور کلی می‌توان گفت کانی فلوگوپیت با تمام کانی‌های مورد مطالعه در رهاسازی پتاسیم از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد اما کانی موسکویت با کانی‌های بیوتیت، فلدسپات زینجان و یزد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در رهاسازی پتاسیم ندارد. با کوچک شدن اندازه ذرات، میزان پتاسیم محلول آزاد شده در همه کانی‌ها افزایش داشته است اما با توجه به جدول ۲، بیش‌ترین افزایش (حدود ۲ برابر) مربوط به کانی فلدسپات یزد و بیوتیت می‌باشد.

روند رهاسازی پتاسیم تبادلی با پتاسیم محلول متفاوت می‌باشد (شکل ۱- ب). بیش‌ترین مقدار پتاسیم تبادلی در اندازه ۵۰-۱۰۰ و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون به ترتیب توسط کانی فلدسپات زینجان و بیوتیت آزاد شده است اما همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود در هر دو اندازه، تفاوت معنی‌داری



بین این دو کانی مشاهده نشده است. روند رهاسازی سایر کانی‌ها در هر دو اندازه مشابه یکدیگر و به صورت موسکویت > فلدسپات یزد > فلوگوپیت می‌باشد. بنابراین، کانی موسکویت، کم‌ترین پتاسیم تبدلی را از بین کانی‌های مورد مطالعه آزاد کرده است، با این تفاوت که در اندازه ۱۰۰-۵۰ میکرون، کانی موسکویت با کانی‌های فلدسپات یزد و فلوگوپیت تفاوت معنی‌داری ندارد؛ اما، با کوچک شدن اندازه، کانی موسکویت با دو کانی ذکر شده، دارای تفاوت معنی‌دار می‌گردد اما همچنان تفاوت بین کانی‌های فلدسپات یزد و فلوگوپیت در هر دو اندازه معنی‌دار نمی‌باشد. کوچک شدن اندازه ذرات، با بیش‌ترین تأثیر بر کانی فلدسپات یزد، موجب افزایش پتاسیم به میزان بیش از ۲ برابر شده است (جدول ۲). این روند مشابه با شکل محلول می‌باشد.

جدول ۲- نسبت رهاسازی شکل‌های مختلف پتاسیم از کانی‌های بیوتیت، فلوگوپیت، موسکویت، فلدسپات یزد و فلدسپات زنجان با کوچک شدن اندازه ذرات.

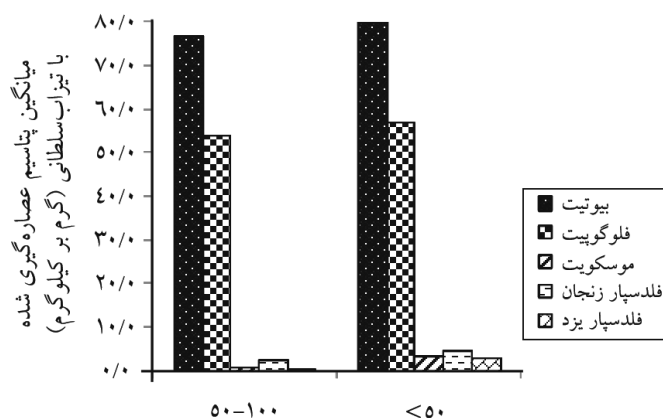
شکل	کانی				
	بیوتیت	فلوگوپیت	موسکویت	فلدسپات زنجان	فلدسپات یزد
محلول	۱/۹۳	۱/۶۱	۱/۴۷	۱/۱۳	۱/۹۵
تبدلی	۱/۷۸	۲/۰۷	۱/۸۹	۱/۵۸	۲/۹۰
غیرتبدلی	۱/۱۰	۱/۱۷	۱/۵۷	۲/۴۷	۲/۲۴
تیزاب سلطانی	۱/۰۵	۱/۰۵	۳/۰۳	۱/۷۵	۳/۶۷

میانگین پتاسیم غیرتبدلی کانی‌ها در شکل ۱- ج نشان داده شده است. کانی بیوتیت در هر دو اندازه، دارای بیش‌ترین مقدار پتاسیم غیرتبدلی می‌باشد. کم‌ترین مقدار پتاسیم در اندازه‌های ۱۰۰-۵۰ و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون به ترتیب در کانی‌های فلدسپات یزد و موسکویت وجود داشته است. بین تمام کانی‌های مورد مطالعه در اندازه کوچک‌تر از ۵۰ میکرون تفاوت معنی‌دار مشاهده شد اما در اندازه ۱۰۰-۵۰ میکرون بین کانی‌های موسکویت و فلدسپات یزد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که کوچک شدن اندازه ذرات سبب افزایش رهاسازی پتاسیم غیرتبدلی در تمام کانی‌ها شده است اما بیش‌ترین افزایش در کانی فلدسپات زنجان مشاهده شد.

میانگین پتاسیم آزاد شده از کانی‌های مورد مطالعه توسط عصاره‌گیر تیزاب سلطانی را در دو اندازه ۱۰۰-۵۰ و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون در شکل ۲ نشان داده شده است. روند رهاسازی در هر دو اندازه

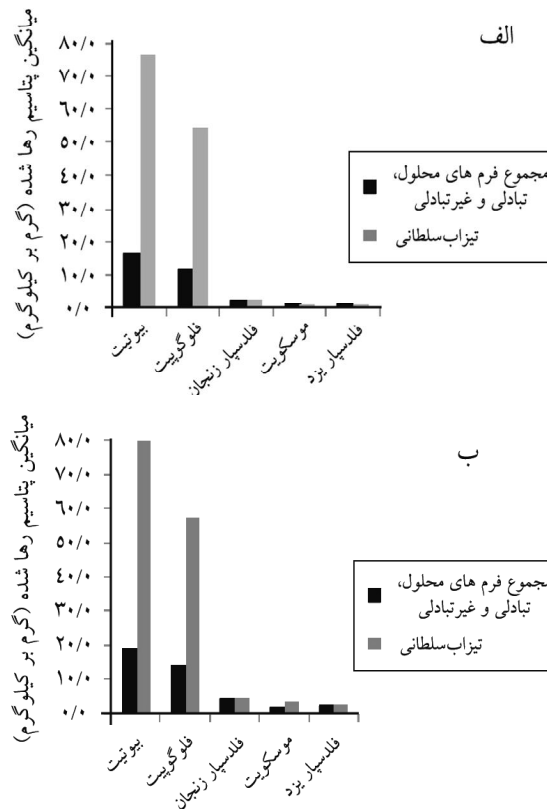
یکسان می‌باشد. به‌گونه‌ای که کانی بیوتیت بیش‌ترین پتاسیم و کانی فلدسپات یزد کم‌ترین میزان پتاسیم را داشته‌اند. کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت در مقایسه با کانی‌های موسکویت، فلدسپات‌زنجان و فلدسپات‌یزد میزان پتاسیم بسیار بیش‌تری را توسط تیزاب سلطانی آزاد کرده‌اند. به‌عنوان مثال، در کانی بیوتیت میزان پتاسیم آزاد شده در اندازه ۵۰-۱۰۰ میکرون به‌ترتیب بیش از ۲۷ برابر، ۶۱ برابر و ۹۰ برابر کانی‌های فلدسپات‌زنجان، موسکویت و فلدسپات‌یزد می‌باشد. این نسبت‌ها در کانی فلوگوپیت به‌ترتیب بیش از ۱۹، ۴۳ و ۶۴ برابر کانی‌های فلدسپات‌زنجان، موسکویت و فلدسپات‌یزد است. با کوچک شدن اندازه ذرات به‌دلیل افزایش بیش‌تر پتاسیم در کانی‌های فلدسپات‌زنجان، موسکویت و فلدسپات‌یزد این نسبت‌ها کوچک‌تر می‌شوند. کوچک شدن اندازه ذرات در رهاسازی پتاسیم در کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت تقریباً تأثیری نداشته است (جدول ۲).

جدول ۲ نسبت رهاسازی شکل‌های پتاسیم را از کانی‌های مورد مطالعه با کوچک شدن اندازه کانی‌ها نشان می‌دهد. تأثیر اندازه در رهاسازی شکل‌های مختلف پتاسیم برای تمام کانی‌ها در سطح ۵ درصد از نظر آماری معنی‌دار شد (آنالیزهای آماری مربوط به اندازه ذرات نمایش داده نشده است). اما تأثیر اندازه در پتاسیم غیرتبادلی و پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی در فلدسپات‌ها و موسکویت، بیش‌تر از بیوتیت و فلوگوپیت می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که می‌توان گفت اندازه ذرات در مورد کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت تأثیری در رهاسازی پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی نداشته است.



شکل ۲- میانگین پتاسیم رها شده از کانی‌ها توسط تیزاب سلطانی در دو اندازه ۵۰-۱۰۰ و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون.

شکل ۳، بیانگر رابطه بین مجموع پتاسیم آزاد شده در شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی با پتاسیم آزاد شده توسط تیزاب سلطانی در دو اندازه ۵۰-۱۰۰ و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون است. در هر دو اندازه، میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی در کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت در مقایسه با مجموع شکل‌ها، بسیار بیشتر می‌باشد و دارای اختلاف زیادی می‌باشند. در کانی‌های موسکویت و فلدسپات‌یزد، میزان پتاسیم آزاد شده، بسیار کم‌تر از کانی‌های فلوگوپیت و بیوتیت است و نکته جالب توجه این‌که، شکل تیزاب سلطانی با مجموع شکل‌ها در این کانی‌ها تفاوت چندانی ندارد. حتی در اندازه ۵۰-۱۰۰ میکرومتر، میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی در کانی‌های فلدسپات و موسکویت، کم‌تر از مجموع شکل‌های دیگر است.



شکل ۳- مقایسه مجموع پتاسیم آزاد شده در شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی با پتاسیم آزاد شده توسط تیزاب سلطانی در اندازه ۵۰-۱۰۰ (شکل الف) و کوچک‌تر از ۵۰ میکرون (شکل ب).

## بحث

پتاسیم محلول، شکلی از پتاسیم است که به‌طور مستقیم توسط گیاهان و میکروارگانیسم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در اثر آب‌شویی به سرعت از خاک خارج می‌شود (اسپارکس، ۱۹۸۷). پتاسیم محلول، در واقع پتاسیم قابل‌تبادل با یون هیدرونیوم موجود در آب می‌باشد. غلظت یون هیدرونیوم در خوش‌بینانه‌ترین حالت، در آب مقطر در تعادل با دی‌اکسیدکربن اتمسفر،  $10^{-5.7}$  می‌باشد که عدد کوچکی است؛ بنابراین کوچک‌ترین مقدار اندازه‌گیری شده مربوط به شکل محلول می‌باشد. پتاسیم تبدلی، پتاسیمی است که توسط نیروهای الکتروستاتیک بارهای منفی کلوئیدهای آلی و معدنی خاک نگهداری می‌شود (باربر، ۱۹۹۵). این شکل از پتاسیم از طریق تبادل یون آمونیوم موجود در استات‌آمونیوم، قابل‌جداسازی می‌باشد. غلظت استات‌آمونیوم در این پژوهش، ۱ مولار بود و در مقایسه با آب‌مقطر می‌تواند پتاسیم بیش‌تری را خارج کند. علاوه‌بر این، یون آمونیوم دارای شعاع هیدراته نزدیک به یون پتاسیم می‌باشد، به همین دلیل، به‌راحتی قادر است جایگزین پتاسیم گردد. پتاسیم غیرتبدلی (ثبیت شده)، به آسانی قابل‌تبادل نبوده و در زمان‌های به‌نسبت کوتاه توسط محلول‌های نمکی آزاد نمی‌شود ولی بخشی از آن با اسید نیتریک جوشان قابل استخراج می‌باشد (جلالی، ۲۰۰۵؛ مارتین و اسپارکس، ۱۹۸۵). این شکل از پتاسیم از طریق حمله یون هیدرونیوم موجود در اسیدنیتریک خارج می‌گردد. یون هیدرونیوم موجود در اسیدنیتریک، قادر است پتاسیم موجود در مناطق گوه‌ای‌شکل و نیز پتاسیم موجود در حفره‌های شش‌گوش واقع در بین ورقه‌های چهاروجهی را خارج کند (اسپارکس، ۱۹۸۷).

با توجه به شکل ۱ می‌توان گفت، روند کلی آزادسازی شکل‌های محلول، تبدلی و غیرتبدلی پتاسیم به‌صورت میکا دوجایی > فلدسپات‌ها > میکاهای سه‌جایی می‌باشد. گروه‌های هیدروکسیل موجود در لایه اکتاهدال میکاهای دوجایی به‌سمت فضای خالی موجود در این لایه می‌روند بنابراین پتاسیم با قدرت زیادی نگهداری می‌شود اما در میکاهای سه‌جایی به‌دلیل فاصله کم‌تری که بین گروه‌های هیدروکسیل لایه اکتاهدال وجود دارد، پتاسیم بین لایه‌ها دارای پایداری کمی می‌باشد و سبب آزادسازی پتاسیم بیش‌تری می‌شود (اسپارکس و هوانگ، ۱۹۸۵). علت زیاد بودن پتاسیم محلول و تبدلی در کانی‌های فلدسپات را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که پتاسیم محلول و تبدلی، پتاسیم‌های موجود در سطح و مناطق گوه‌ای‌شکل کانی هستند بنابراین از آن‌جایی که فلدسپات‌ها، پتاسیم کل بیش‌تری نسبت به سایر کانی‌ها دارند (جدول ۱) پتاسیم محلول و تبدلی بیش‌تری آزاد می‌کنند ولی

پتاسیم غیرتبادلی، از بین لایه‌ها آزاد می‌شود از آنجایی که به‌طور کلی در فلدسپات‌ها حالت لایه‌ای وجود ندارد بنابراین میزان پتاسیم غیرتبادلی آن‌ها در مقایسه با میکاهای بیوتیت و فلوگوپیت بسیار کوچک‌تر می‌باشد ولی میزان پتاسیم غیرتبادلی آن‌ها با میکای موسکویت تفاوت زیادی ندارد به‌گونه‌ای که در اندازه ۵۰-۱۰۰ میکرون تفاوت معنی‌داری بین فلدسپات‌یزد و موسکویت دیده نمی‌شود ولی فلدسپات‌زنجان پتاسیم غیرتبادلی بیش‌تری از موسکویت آزاد کرده که تفاوت آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نیز می‌باشد. مطالعات نشان داده است که آزادسازی فلزات قلیایی موجود در ساختار بلور در فلدسپات‌ها ( $\text{Na}^+$  یا  $\text{K}^+$ ) از طریق جابه‌جایی این فلزات با یون هیدرونیوم انجام می‌شود (لیان و همکاران، ۲۰۰۸). کاتیون‌های غالب در لایه هشت‌وجهی کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت  $\text{Mg}$  و  $\text{Fe(II)}$  و در کانی موسکویت  $\text{Al}$  می‌باشند. حلالیت  $\text{Fe(II)}$  و  $\text{Mg}$  ساختمانی در فلوگوپیت و بیوتیت از طریق حمله یون‌های هیدرونیوم بسیار بیش‌تر از حلالیت  $\text{Al}$  موجود در ساختمان موسکویت است. این واکنش‌ها منجر به آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی بیش‌تر از ساختمان فلوگوپیت و بیوتیت در مقایسه با موسکویت می‌شوند (نوروزی و خادمی، ۲۰۰۹).

در رهاسازی پتاسیم، اندازه ذرات نیز عامل بسیار مهمی می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌کنیم کوچک شدن ذرات در تمام کانی‌ها و شکل‌های اندازه‌گیری شده اثرگذار بوده است. به‌طور کلی، هرچه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد آزادسازی پتاسیم افزایش می‌یابد؛ زیرا، سطح ویژه با کاهش اندازه افزایش می‌یابد (اسنال و لیلجفورس، ۲۰۰۰). نتایج پال و همکاران (۲۰۰۱) که در مقدمه به آن اشاره شد یکی از معدود مواردی است که نشان داده است با کوچک شدن اندازه ذرات، میزان رهاسازی پتاسیم کاهش می‌یابد. آن‌ها دلیلی برای این نتیجه‌گیری ارائه نکرده‌اند. اسپارکس و هوانگ (۱۹۸۵) بر این باور هستند که آزادسازی پتاسیم به تناوب و تکرار ناپیوستگی‌ها و درجه خم شدن لایه‌های سیلیکات بستگی دارد. اگر اندازه ذرات بزرگ میکا به‌وسیله آسیاب شدن کاهش یابند، ممکن است نسبت صفحات ضعیفی که شکاف در طول ناپیوستگی آن‌ها به‌وجود می‌آید، کاهش یافته و باعث کاهش آزادسازی پتاسیم گردد که می‌تواند توجیهی برای نتایج پال و همکاران (۲۰۰۱) باشد. در بین کانی‌های مورد مطالعه، کوچک شدن اندازه، تأثیر بیش‌تری بر پتاسیم غیرتبادلی فلدسپات‌ها داشته است. در این باره می‌توان گفت از آنجایی که فلدسپات‌ها حالت لایه‌ای ندارند بنابراین با کوچک شدن کانی‌ها سطح بیش‌تری در اختیار عصاره‌گیر موردنظر قرار می‌گیرد و در نتیجه پتاسیم بیش‌تری آزاد می‌گردد.

روند آزادسازی پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی مشابه سایر شکل‌های اندازه‌گیری شده و به‌صورت میکای دوجایی > فلدسپات‌ها > میکای سه‌جایی می‌باشد (شکل ۲). نکته‌ای که نباید از نظر دور بماند این است که، موسکویت و به‌ویژه فلدسپات‌ها در حالی از نظر رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و تیزاب سلطانی در رده آخر قرار می‌گیرند که پتاسیم کل بیش‌تری نسبت به بیوتیت و فلوگوپیت دارند (جدول ۱). کوچک کردن اندازه ذرات تقریباً اثری در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت نداشته است ولی در مورد فلدسپات‌ها اثرگذار بوده است و در فلدسپات‌یزد سبب افزایش بیش از ۳/۵ برابری خروج پتاسیم شده است (جدول ۲). اسنال و لیلجفورس (۲۰۰۰) میزان خروج عناصر پرمصرف را از کانی‌های بیوتیت، کلریت، میکروکلاین، موسکویت، هورنبلاند و اسفن، تحت‌تأثیر عصاره‌گیرهای تیزاب سلطانی، اسیدنیتریک و اسیدهیدروکلریک با غلظت‌های مختلف و در سه اندازه کم‌تر از ۲ میلی‌متر، کم‌تر از ۶۳ میکرون و بین ۲۰-۱۰ میکرون بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کانی بیوتیت در تمام اسیدهای به‌کار رفته، بیش از سایر کانی‌ها پتاسیم خود را آزاد کرده است. همچنین آن‌ها بیان کردند که رهاسازی پتاسیم توسط تیزاب سلطانی در کانی بیوتیت ارتباطی به اندازه کانی نداشته است که این نتیجه با نتایج این پژوهش تطابق دارد.

نتایج نشان داد که تیزاب سلطانی از کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت پتاسیم بسیار بیش‌تری در مقایسه با موسکویت و فلدسپات‌ها آزاد می‌کند که مشابه نتایج آندرسیت‌رانگل و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. بنابراین، می‌توان این ادعا را بیان کرد که تیزاب سلطانی می‌تواند بیان‌کننده نوع کانی‌های میکایی تشکیل‌دهنده خاک باشد. یعنی اگر مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی زیاد باشد، به معنی غالب بودن کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت در خاک می‌باشد و اگر این مقدار کوچک باشد به این معنی است که کانی‌های موسکویت و فلدسپات‌پتاسیم خاک غالب می‌باشند. بنابراین با استفاده از تیزاب سلطانی می‌توان به‌گونه‌ای کیفی و تخمینی نوع کانی‌های پتاسیم‌دار خاک را حدس زد. شکل ۳ نیز می‌تواند تأییدکننده گفته‌های بالا باشد. همان‌گونه که در شکل ۳- الف مشاهده می‌کنیم میزان پتاسیم عصاره‌گیری شده با تیزاب سلطانی برای کانی‌های بیوتیت و فلوگوپیت بیش از ۴ برابر مجموع شکل‌های محلول، تبدلی و غیرتبادلی در این کانی‌ها می‌باشد. اما در موسکویت و فلدسپات‌ها تیزاب سلطانی نتوانسته است بیش از مجموع سایر عصاره‌گیرهای به‌کار رفته در این پژوهش پتاسیم را آزاد نماید و حتی در فلسپاریزد عدد مربوط به تیزاب سلطانی کوچک‌تر نیز می‌باشد. با کوچک شدن اندازه ذرات کانی‌ها (شکل ۳- ب) میزان پتاسیم در کانی‌های به‌ویژه در موسکویت و فلدسپات‌ها

افزایش می‌یابد اما همچنان روند گفته شده صادق است. بنابراین شکل‌های محلول، تبادل‌ی و غیرتبادل‌ی نمی‌توانند معیار خوبی برای سنجش کانی‌شناسی خاک محسوب شوند.

### نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد فلدسپات‌ها که دارای پتاسیم‌کل بیش‌تری نسبت به سایر کانی‌های پتاسیم‌دار خاک می‌باشند، در تامین کوتاه‌مدت پتاسیم خاک می‌توانند به اندازه کانی‌های میکایی سه‌جایی مهم باشند ولی در درازمدت که رهاسازی ذخیره پتاسیم خاک مهم می‌باشد فلدسپات‌ها به دلیل آزادسازی کم پتاسیم غیرتبادل‌ی چندان موفق نخواهند بود. از این‌رو، در زمان کاهش شکل‌های محلول و تبادل‌ی پتاسیم، خاک‌هایی که دارای مقادیر بیش‌تری از میکاهایی مانند بیوتیت و فلوگوپیت می‌باشند می‌توانند با سرعت بیش‌تری کاهش پتاسیم را جبران کنند. عصاره‌گیر تیزاب‌سلطانی می‌تواند در شناسایی سریع‌تر خاک‌هایی که دارای این کانی‌ها باشند کمک فراوانی نماید. همچنین اندازه ذرات کانی‌ها اثر بسیار مهمی بر آزادسازی شکل‌های مختلف پتاسیم از کانی‌های میکایی و فلدسپات‌ها دارد به‌طوری‌که ذرات ریز پتاسیم بیش‌تری را آزاد می‌نمایند. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود مقدار پتاسیم خاک‌های مختلف با عصاره‌گیر تیزاب‌سلطانی اندازه‌گیری شود تا بتوان به رابطه کمی و دقیق‌تری بین میزان شکل تیزاب‌سلطانی و کانی‌شناسی خاک دست یافت.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، برای تامین بخشی از هزینه انجام این پژوهش و شرکت‌های آوین‌سنگ، گیلان میکا و راهیان خضر آسیا و آقای دهقان در تامین کانی‌های مورد استفاده صمیمانه سپاسگزاری می‌نمائیم.

### منابع

1. Andrist-Rangel, Y., Hillier, S., Öborn, I., Lilly, A., Towers, W., Edwards, A., and Paterson, E. 2010. Assessing potassium reserves in northern temperate grassland soils: A perspective based on quantitative mineralogical analysis and aqua-regia extractable potassium. *Geoderma*, 158: 303-314.
2. Atradi, S. 1996. *Mineralogy of Silicates*. Payame Noor University Press, 291p.
3. Badraoui, M., Bloom, P.R., and Delmaki, A. 1992. Mobilization of nonexchangeable K by ryegrass in five Moroccan soils with and without mica. *Plant and Soil*, 140: 55-63.

4. Barber, S.A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley and Sons, New York, 414p.
5. Bolt, M., Sumner, E., and Kamphorst, A. 1963. A study of the equilibria between three categories of potassium in anillitic soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 294-299.
6. Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium and potassium, P 551-574. In: Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Sultanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Jhonston, and M.E. Sumner (eds.), *Methods of Soil Analysis, part 2, Chemical and Microbiological Properties.*, Soil Sci. Soc. Am., WI. USA.
7. Jalali, M. 2005. Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1903-1917.
8. Jalali, M. 2002. The effect potassium fertilizer on the soil solution and exchangeable potassium. *J. Soil and Water Sci.* 16: 1. 1-12.
9. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium, P 225-246, In: Page, A.L., R.H. Miller, D.R. Keeney (eds.), *Methods of Soil Analysis, 2<sup>nd</sup> ed., Part 2, Chemical and Microbiological Properties.*, Am. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
10. Lian, B., Wang, B., Pan, M., Liu, C., and Henry Teng, H. 2008. Microbial release of potassium from K-bearing minerals by thermophilic fungus *Aspergillus fumigates*. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 72: 87-98.
11. Majumdar, K., Sanyal, S.K., and Datta, S. 2002. Potassium release and fixation behavior of mineralogically different soils of India. 17<sup>th</sup> WCSS, 14-21 August, Thailand.
12. Martin, W.H., and Sparks, D.L. 1995. On the behaviour of nonexchangeable potassium in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16: 133-162.
13. Mc Grath, S.P., and Loveland, P.J. 1992. *The Soil Geochemical Atlas of England and Wales.* Blackie Academic and Professional, Glasgow.
14. Naoki, M., Junta, Y., and Takashi, K. 2002. Depletion of nonexchaneable potassium in the maize rhizosphere and its possible releasing processes, 17<sup>th</sup> WCSS, 14-21 August, Thailand, 2233: 1-10.
15. Norouzi, S., and Khademi, H. 2009. Potassium release from muscovite and phlogopite as influenced by selected organic acids. *J. Water and Soil.* 23: 1. 263-273.
16. Ogaard, A.F., and Krogstad, T. 2005. Release of interlayer potassium in Norwegian grassland soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 80-88.
17. Pal, D.K., and Durge, S.L. 1993. Potassium release from clay micas. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 41: 67-69.
18. Pal, D.K., Srivastava, P., Durge, S.L., and Bhattacharyya, T. 2001. Role of weathering of fine-grained micas in potassium management of Indian soils. *Appl. Clay Sci.* 20: 39-52.
19. QinHua, S., Huo Yan, W., Jian Min, Z., Hong Ge, L., and Zhi Hai, S. 2011. Release characters of non-exchangeable potassium from potassium-bearing minerals in NaBPh<sub>4</sub> solutions. *Plant Nutr. and Fert. Sci.* 17: 477-485.



20. Read, M.G., and Scott, A.D. 1968. Kinetics of potassium release from biotite and muscovite in sodium tetraphenylboron solutions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 437-440.
21. Reiman, C., Siewers, U., Tarvainen, T., Bityukova, L., Eriksson, J., Giucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashev, V.K., Matinian, N.N., and Pasieczna, A. 2003. *Agricultural Soils in Northern Europe. A Geochemical Atlas.* E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany, 279p.
22. Salminen, R., Chekushin, V., Tenhola, M., Bogatyrev, I., Fedotova, E., Tomilina, O., Zhdanova, L., Glavatskikh, S.P., Selenok, I., Gregorauskiene, V., Kashulina, G., Niskavaara, H., Polischuok, A., and Rissanen, K. 2004. *Geochemical Atlas of Eastern Barents Region.* Elsevier, Amsterdam.
23. Sheldrick, W.F. 1985. World potassium reserves, P 3-29. In: Munson, R.D. (ed), *Potassium in Agriculture*, Am. Soc. Agron. Crop Sci. Am. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
24. Shu-Xin, T., Zhi-Fen, G., and Jin-He, S. 2007. Effect of oxalic acid on potassium release from typical chinese soils and minerals. *Pedosphere.* 174: 457-466.
25. Simard, R.R., Dekimpe, C.R., and Zizka, J. 1989. The kinetics of nonexchangeable potassium and magnesium release from Quebec soil. *Can. J. Soil Sci.* 69: 663-675.
26. Smolders, E., Brans, K., Foldi, A., and Merckx, R. 1999. Cadmium fixation in soils measured by isotopic dilution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 78-85.
27. Snall, S., and Liljefors, T. 2000. Leachability of major elements from minerals in strong acids. *J. Geochem. Exp.* 71: 1-12.
28. Sparks, D.L. 1980. Chemistry of soil potassium in Atlantic coastal plain soils. A review. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 435-449.
29. Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv. Soil Sci.* 6: 1-63.
30. Sparks, D.L., and Huang, P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. P. 201-276, In: Munson, R.D. (ed.), *potassium in Agriculture.* ASA, CSSA, SSSA. Madison. WI.
31. Talibudeen, O. 1981. Cation exchange in soils, P 115-177. In: Greenland, D. and M. Hayes (eds), *The Chemistry of Soil Processes.* Wiley, Chichester.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(1), 2013*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Investigating the effect of grain size and extractant type on the different forms of potassium in micaceous minerals and potassium feldspars**

**H. Hatami<sup>1</sup>, \*A.R. Karimi<sup>2</sup>, A. Fotovat<sup>3</sup> and H. Khademi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>4</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 02/04/2012; Accepted: 07/01/2012

### **Abstract**

Potassium (K) as a macroelement is frequently made available by weathering of aluminosilicates such as K-feldspar and micaceous minerals in the soils. The objectives of this study were to determine the effect of mineral grain size and type of extractant on the different forms of K of micaceous and K-feldspar minerals and to find out a relationship between aqua-regia extractable K and type of K-bearing minerals. Water soluble, exchangeable, non-exchangeable and aqua-regia extractable K of 50-100 and <50  $\mu\text{m}$  sizes of biotite, phlogopite, muscovite, zanzan and yazd K-feldspars were investigated. The amount of released K was measured by flame photometer. The results indicated that the amounts of soluble and exchangeable K of trioctahedral micas (biotite and phlogopite) and feldspars are not greatly different, but in this regards, dioctahedral muscovite is less important even than feldspars. Soil reservoir of non-exchangeable potassium is significantly higher in trioctahedral micas (up to 17  $\text{g kg}^{-1}$ ) than muscovite and feldspars (up to 3  $\text{g kg}^{-1}$ ). The small particles (<50  $\mu\text{m}$ ) had a significant effect on the different forms of K in all minerals. The amount of aqua-regia extractable K from trioctahedral micas exceeded to 81  $\text{g kg}^{-1}$ . This value was 4  $\text{g kg}^{-1}$  for other minerals. The mineral size had no effect on the aqua-regia extractable K in trioctahedral micas while in muscovite and feldspars this form of K increase up to 3.5 times with particle size reduction. More investigations are necessary to propose aqua-regia extractable K as an indicator for assessing type and amount of K-bearing minerals and soil potassium supplying power.

**Keywords:** Silicate minerals, Nonexchangeable potassium, Aqua-regia

---

\* Corresponding Author; Email: karimi-a@um.ac.ir