

## عوامل مؤثر بر توزیع شکل‌های پتاسیم در برخی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد

مهدی نجفی قیری<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا اولیایی<sup>۲</sup>، حمیدرضا بوستانی<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹)

### چکیده

عوامل متعددی می‌توانند بر توزیع شکل‌های پتاسیم در خاک‌های آهکی مؤثر باشند. بدین منظور، تعداد ۷۰ نمونه سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متر) و زیرسطحی (۲۰-۴۰ سانتی‌متر) از خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد انتخاب شد. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها و شکل‌های مختلف پتاسیم آنها شامل محلول، تبادل، غیرتبادلی و ساختمانی اندازه‌گیری شد. خاک‌های مورد مطالعه در رژیم‌های رطوبتی زیرک و یوسستیک و رژیم‌های حرارتی مزیک، ترمیک و هایپرترمیک تکامل یافته بودند. خاک‌ها دارای کانی‌های ایلیت، اسمکتیت، کلریت و پالیگورسکیت و مقدار کمی ورمیکولیت، کائولینیت و کوارتز بودند. در مناطق مرطوب‌تر، کانی‌های عمده خاک اسمکتیت و ایلیت و در مناطق خشک‌تر پالیگورسکیت بود. مقادیر پتاسیم محلول، تبادل، غیرتبادلی و ساختمانی در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب از ۱/۲ تا ۱۲/۱، ۱۱۱ تا ۵۲۱، ۱۵۳ تا ۱۷۰۵ و ۴۵۸۴ تا ۱۰۳۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های سطحی و از ۰/۲ تا ۵، ۲۵ تا ۴۰۳، ۷۲ تا ۱۰۱۶ و ۳۲۲۷ تا ۹۵۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های زیرسطحی متغیر بود. مقدار پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و ارتباط منفی و معنی‌داری با مقدار کربنات کلسیم داشتند. شکل‌های مختلف پتاسیم (به جز شکل محلول) نیز با یکدیگر ارتباط مثبت و معنی‌داری (ضریب همبستگی از ۰/۴۸ تا ۰/۹۹) داشتند که این امر نشان از تعادل بین شکل‌های مختلف پتاسیم دارد. مطالعات کانی‌شناسی نشان داد که مقدار پتاسیم تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه با اسمکتیت و مقدار پتاسیم غیرتبادلی با ایلیت ارتباط دارند، در حالی که مقدار پتاسیم ساختمانی و کل در خاک‌های دارای اسمکتیت و ایلیت بالاتر، به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر خاک‌ها بود. با این حال نیاز به مطالعات بیشتر در زمینه کانی‌شناسی بخش شن و سیلت خاک‌های مورد مطالعه و بررسی ارتباط آن‌ها با وضعیت پتاسیم خاک وجود دارد.

**واژه‌های کلیدی:** اسمکتیت، ایلیت، پالیگورسکیت، پتاسیم تبادلی، کربنات کلسیم

نجفی قیری م.، اولیایی ح. ر.، بوستانی ح. ر. ۱۳۹۸. عوامل مؤثر بر توزیع شکل‌های پتاسیم در برخی خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷ شماره ۲. ص: ۱۹۶-۲۰۷.

۱-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز (مکاتبه کننده)

۲-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۳-استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

\*پست الکترونیک: [mnajafighiri@yahoo.com](mailto:mnajafighiri@yahoo.com)

## مقدمه

توزیع پتاسیم خاک در شکل‌های مختلف شامل محلول، تبادل، غیرتبادلی و ساختمانی در مناطق مختلف جغرافیایی متفاوت است. علت این امر می‌تواند تفاوت در عوامل خاکساز و غالب بودن یک یا چند عامل خاکساز باشد که ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نجفی قیری و همکاران (Najafi-Ghiri *et al.*, 2011) بیان کردند که عواملی مانند تکامل خاک، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی و وضعیت فیزیوگرافی خاک، بر توزیع شکل‌های پتاسیم اثر دارند. شارپلی (Sharpley, 1989)، ناتاراجان و رنوکادوی (Natarajan & Renukadevi, 2003)، نبی‌الهی و همکاران (Nabiollahy *et al.*, 2006) عواملی مانند کانی‌شناسی خاک به خصوص مقدار ایلیت، تکامل، شوری و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را در توزیع پتاسیم در شکل‌های مختلف دخیل دانسته‌اند. یکی از مهمترین عوامل خاکساز مؤثر بر پتاسیم خاک می‌تواند اقلیم منطقه باشد. دو پارامتر اصلی اقلیم شامل دما و بارندگی می‌تواند اثرهای قابل توجهی بر خاک‌های آهکی داشته باشند. نجفی قیری و همکاران (Najafi-Ghiri *et al.*, 2011) نشان دادند که عواملی مانند مقدار کربنات کلسیم معادل، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک قرار می‌گیرند. به طوری که کمترین مقدار کربنات کلسیم معادل، بیشترین مقدار رس و بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی، مربوط به خاک‌های با رژیم رطوبتی زریک و حرارتی مزیک بودند. همه این فاکتورها از عواملی هستند که بر توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم تأثیر دارند و ارتباط آن‌ها با شکل‌های پتاسیم خاک توسط پژوهشگران مختلف به اثبات رسیده است (Sharpley, 1989; Najafi-Ghiri *et al.*, 2011; Igwe *et al.*, 2008).

پتاسیم در ذرات مختلف خاک مانند شن، سیلت و رس یافت می‌شود، اما مقدار نسبی آن در این ذرات متفاوت می‌باشد. پتاسیم بر اثر هواپیدگی ذرات خاک می‌تواند آزاد شده و در فازهای تبادل و محلول قرار گیرد، اما مقدار و سرعت آزادسازی به عوامل مختلفی بستگی دارد. منگل و رحمت‌الله (Mengel & Rahmatullah, 1998) بیان کردند که خاک‌های لسی پاکستان، پتاسیم آزاد شده از ذرات شن و سیلت می‌تواند به اندازه ذرات رس باشد، درحالی‌که مان همکاران (Munn *et al.*, 1976) مشارکت ذرات رس، سیلت و شن در آزادسازی پتاسیم خاک‌های مختلف را

به ترتیب ۳۰-۷۴، ۲۴-۵۶ و ۳-۲۱ درصد بیان کردند. نجفی قیری و جابری (Najafi-Ghiri & Jaberi, 2013) بر نقش رس در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه تأکید کردند و نقش سیلت و شن را کمتر از ۴۰ درصد کل پتاسیم آزاد شده از خاک گزارش کردند.

نقش خاک‌های زیرسطحی در تغذیه گیاهان و تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه می‌تواند به اندازه خاک‌های سطحی مهم باشد (Beringer, 1985). گیاهان دارای ریشه‌های عمیق می‌توانند مقدار قابل توجهی از پتاسیم مورد نیاز خود را از خاک‌های زیرسطحی جذب کنند. سرینیواسارائو و همکاران (Srinivasarao *et al.*, 2001) بیان کردند که مقدار کل شکل‌های پتاسیم در خاک زیرسطحی (۱۵-۳۰ سانتی‌متر) ۲۲ سری از خاک‌های هند به اندازه ۹۶ درصد خاک‌های سطحی می‌باشد.

استان کهگیلویه و بویراحمد با وسعتی بالغ بر ۱۶ هزار کیلومتر مربع دارای خاک‌های با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی (Owliaie *et al.*, 2006) مختلف و احتمالاً دامنه گسترده‌ای از شکل‌های مختلف پتاسیم می‌باشد. این استان از نظر کشاورزی وضعیت مناسبی داشته و بررسی وضعیت شکل‌های پتاسیم در خاک‌های استان می‌تواند از نظر مدیریت پایدار این عنصر و چرخه آن و همچنین حاصلخیزی پتاسیم اهمیت داشته باشد. اگرچه خاک‌های مناطق مختلف ایران دارای مقدار بالایی پتاسیم می‌باشند، اما امروزه به دلیل کشاورزی فشرده و استفاده از ارقام پرمحصول با قابلیت استفاده بالای پتاسیم و همچنین استفاده کم از کودهای پتاسیم‌دار، مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک‌ها کاهش یافته است (Balali & Malakout, 1998). بنابراین هدف از این پژوهش بررسی وضعیت پتاسیم و توزیع شکل‌های مختلف آن در خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های خاک و کانی‌شناسی رس و بررسی تأثیر احتمالی اقلیم بر این شکل‌ها می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند در پیش‌بینی کمبود پتاسیم در مناطق مختلف استان کهگیلویه و بویراحمد و مدیریت صحیح حاصلخیزی پتاسیم با توجه به سایر ویژگی‌های خاک مهم باشد.

## مواد و روش‌ها

## آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی

اندازه‌گیری پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان، ۲/۵ گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ نرمال به مدت ۱۰ دقیقه جوشانده شد و پس از آن عصاره صاف شده به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم کل خاک، در کروزه های تفلونی به ۰/۵ گرم خاک ۱ میلی‌لیتر از محلول تیزاب سلاطانی (مخلوط یک قسمت اسید نیتریک غلیظ و سه قسمت اسید کلریدریک غلیظ) و ۱۰ میلی‌لیتر از اسید فلوریدریک افزوده شد و در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت در آون حرارت داده شد. سپس مخلوط به والیومتریک پلاستیکی حاوی ۲/۸ گرم اسید بوریک انتقال داده شده و تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رقیق گردید. غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه شعله سنج مدل Corning 405 اندازه‌گیری گردید. پتاسیم غیرتبادلی با کسر مقدار پتاسیم استخراج شده به وسیله اسید نیتریک از استات آمونیم محاسبه گردید. پتاسیم ساختمانی نیز با کسر مقدار پتاسیم کل از پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک به دست آمد. همه اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار صورت گرفت.

جهت بررسی آماری نمونه‌ها از نرم‌افزارهای SPSS و Excel و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاک‌های مورد مطالعه دارای دامنه وسیعی از تغییرات بودند (جدول ۱). بیشتر خاک‌ها آهکی و مقدار کربنات کلسیم معادل در آن‌ها در افق‌های سطحی بیش از ۵۰ درصد و در افق‌های زیرسطحی بیش از ۶۰ درصد بود. دامنه مقدار رس نیز در خاک‌ها وسیع و در برخی خاک‌ها بالای ۶۰ درصد بود. همه خاک‌ها دارای واکنش قلیایی ضعیف بوده و پهاش آن‌ها در دامنه ۷/۲ تا ۷/۹ متغیر بود. بیشترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در این خاک‌ها ۴۱ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم بود.

بر اساس مطالعات قبلی و نقشه‌های هوایی و توپوگرافی، ۳۵ واحد خاک در نقاط مختلف استان در بازه زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۴ شناسایی شدند. سعی شد خاکهایی با ویژگی‌های مختلف (فیزیکی، شیمیایی و اقلیمی) انتخاب شوند. خاک‌های انتخاب شده دارای رژیم‌های رطوبتی زیریک و یوستیک و رژیم‌های حرارتی مزیک، ترمیک و هایپرترمیک بودند (Banaei, 1998). نمونه‌برداری از افق‌های سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) و زیرسطحی (۴۰-۲۰ سانتی‌متر) با استفاده از مته نمونه‌برداری صورت گرفت. پس از هواخش کردن نمونه‌ها و عبور از الک ۲ میلی‌متری، آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی بر روی آن‌ها انجام شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی شامل توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (Rowel, 1994)، پهاش خاک در گل اشباع (Salinity Laboratory Staff, 1954)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (Salinity Laboratory Staff, 1954)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک (Salinity Laboratory Staff, 1954)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیم ۱ نرمال (Chapman, 1965) و مقدار کربن آلی به روش سوزاندن تر (Nelson & Sommers, 1982) روی نمونه‌ها صورت گرفت.

آزمایش‌های مربوط به کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس، پس از حذف کربنات‌ها، ترکیبات آلی و اکسیدهای آهن (Mehra & Jackson, 1960; Jackson, 1975) انجام گردید. اندازه‌گیری نیمه کمی کانی‌های مختلف نیز انجام شد (Johns *et al.*, 1954).

#### اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم

اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم به روش پرات (Pratt, 1965) انجام شد. در این روش، جهت اندازه‌گیری پتاسیم تبادلی، ۵ گرم خاک چهار مرتبه به‌وسیله ۲۵ میلی‌لیتر استات آمونیم ۱ نرمال پهاش ۷ به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شده، سانتیفریژ و سپس محلول زلال رویی جمع‌آوری گردید. محلول به دست آمده با استات آمونیم به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. جهت

جدول ۱. کانی‌شناسی رس خاک‌های مورد مطالعه بر اساس رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک

Table 1. Clay mineralogy of the studied soils according to soil moisture and temperature regimes

| Moisture and temperature regimes | Depth (cm) | Clay mineralogy |        |              |          |         |
|----------------------------------|------------|-----------------|--------|--------------|----------|---------|
|                                  |            | Smectite        | Illite | Palygorskite | Chlorite | Others* |
| Xeric-mesic                      | 0-20       | ++++            | ++++   | -            | +        | +       |
|                                  | 20-40      | +++             | +++    | -            | ++       | ++      |
| Xeric-thermic                    | 0-20       | +++             | ++     | ++           | +        | +       |
|                                  | 20-40      | ++              | ++     | ++           | ++       | +       |
| Ustic-hyperthermic               | 0-20       | ++              | +      | ++++         | ++       | +       |
|                                  | 20-40      | ++              | +      | ++++         | ++       | +       |

++++: 35-50%; +++: 25-35%; ++: 10-25; +: 5-10; -: no mineral

\*Other minerals include vermiculite, kaolinite and quartz.

کیلوگرم) که این می‌تواند در نتیجه انتقال املاح محلول از جمله پتاسیم از اعماق خاک به سطح در نتیجه تبخیر رطوبت حاصل از آبیاری و بارندگی، هوادیدگی بیشتر کانی‌های پتا سیم‌دار در سطح، مقادیر بی‌شتر مواد آلی در سطح، جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه از اعماق خاک و اضافه شدن آن به سطح پس از مرگ گیاه و افزودن کودهای شیمیایی پتاسیم‌دار در سطح خاک باشد. خاک‌های مورد مطالعه تغییرات کمی از نظر مقدار پتاسیم محلول نشان دادند و حداکثر مقدار آن در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب به ۱۲/۷ و ۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید که در مقایسه با خاک‌های استان فارس که تا بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Najafi-Ghiri et al., 2011)، بسیار کمتر اما مشابه نتایج ناتاراجان و رنوکادوی (Natarajan & Renukadevi, 2003) برای خاک‌های جنوب هند (کمتر از ۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. البته باید بیان کرد که مقادیر بالای پتا سیم محلول در خاک‌های استان فارس مربوط به خاک‌های مناطق خشک با رژیم رطوبتی اریدیک و حرارتی هایپرترمیک و اراضی پست می‌باشد (Najafi-Ghiri et al., 2011) که در استان کهگیلویه و بویراحمد چنین شرایطی کمتر یافت می‌شود. مقدار پتاسیم محلول خاک تحت تأثیر مقادیر سایر شکل‌های پتاسیم، رطوبت خاک و مقدار سایر کاتیون‌ها در محلول خاک و نقاط تبدیلی قرار می‌گیرد (Sparks & Huang, 1985; Sparks, 2000).

#### کانی‌شناسی بخش رس خاک‌های مورد مطالعه

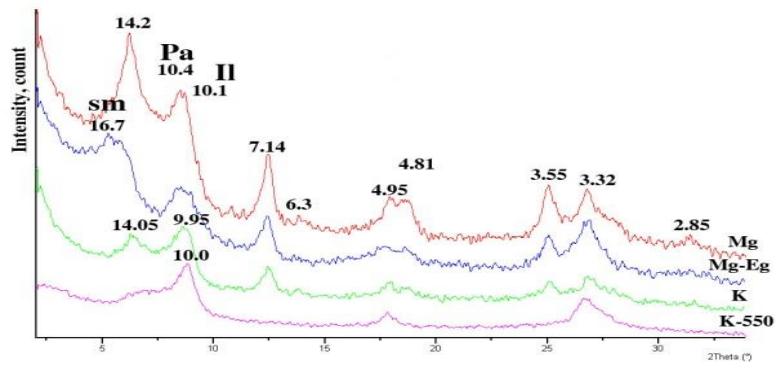
مطالعات کانی‌شناسی نشان داد که بخش رس خاک‌های مورد مطالعه از کانی‌های اسمکتیت<sup>۱</sup>، ایلیت<sup>۲</sup>، کلریت<sup>۳</sup>، پالیگورسکیت<sup>۴</sup> و مقدار کمی ورمیکولیت<sup>۵</sup>، کائولینیت<sup>۶</sup> و کوارتز<sup>۷</sup> تشکیل شده است (جدول ۱). دیفراکتوگرام‌های پراش پرتو ایکس مربوط به سه نمونه رس خاک با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی یوستیک-هایپرترمیک، زیریک-ترمیک و زیریک-مزیک در شکل ۱ نشان داده شده است. اگر چه بیشتر خاک‌ها از نظر نوع کانی‌های رسی مشابه بودند، اما مقادیر نسبی آن‌ها در خاک‌های مختلف متفاوت بود. به‌طور کلی خاک‌های مناطق مرطوب‌تر دارای اسمکتیت و ایلیت بیشتر و خاک‌های مناطق خشک‌تر دارای پالیگورسکیت بیشتر بودند. این یافته‌ها موافق نتایج خرمالی و ابطاحی (Khormali & Abtahi, 2003)، اولیایی و همکاران (Owliaie et al., 2006) و نجفی قیری و همکاران (Najafi-Ghiri & Abtahi, 2013) برای خاک‌های آهکی جنوب ایران می‌باشد. مقدار اسمکتیت در خاک‌های سطحی بیشتر از خاک‌های زیرسطحی بود، در حالی که کلریت در خاک‌های زیرسطحی فراوان‌تر یافت می‌شد.

#### مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم

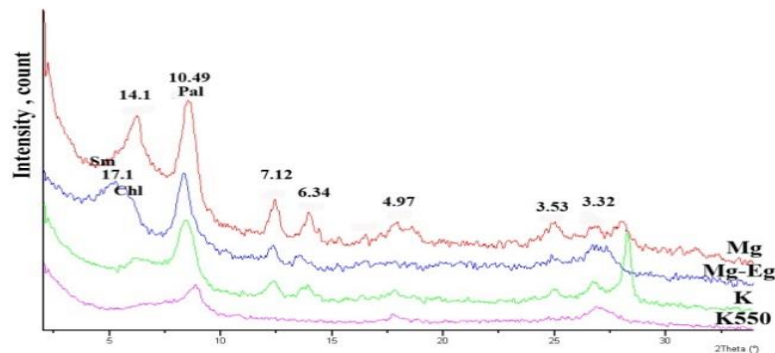
مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم در افق‌های سطحی و زیرسطحی در جدول ۲ آورده شده است. مقدار پتاسیم محلول در افق‌های سطحی به‌طور معنی‌داری بیشتر از افق‌های زیرسطحی بود (به ترتیب ۶/۰ و ۲/۴ میلی‌گرم بر

5. Vermiculite  
6. Kaolinite  
7. Quartz

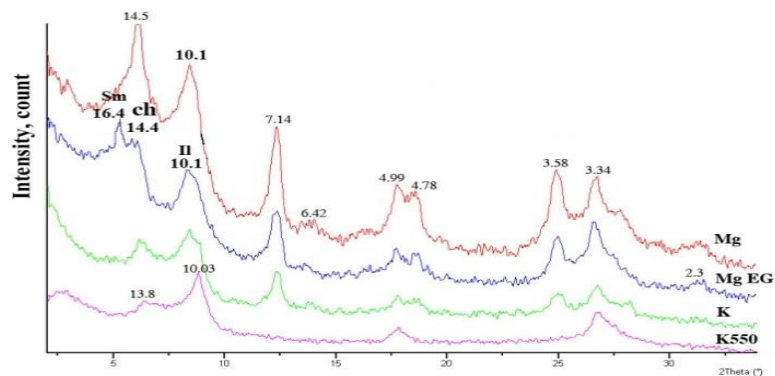
1. Smectite  
2. Illite  
3. Chlorite  
4. Palygorskite



(a)



(b)



(c)

شکل ۱. دیفراکتوگرام‌های اشعه ایکس بخش‌های رس در مناطق با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی متفاوت در استان کهگیلویه: الف)

یوستیک-هایپر ترمیک، ب) زریک-ترمیک، و ج) زریک-مزیک

Figure 1. X-Ray diffractograms of the clay fractions with different soil moisture and temperature regimes of Kohgiluyeh province: a) ustic-hyperthermic, b) xeric-thermic, and c) xeric-mesic

و در برخی نقاط به بیش از ۴ درصد می‌رسد. ارتباط معنی‌داری بین مقدار پتاسیم محلول و ویژگی‌های خاک شامل کربنات کلسیم معادل، رس و ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین نوع کانی‌های خاک به دست نیامد (جدول ۳). این عدم ارتباط می‌تواند به دلیل وجود عوامل متعددی باشد که بر مقدار پتاسیم محلول خاک اثر می‌گذارند. شکل‌های مختلف پتاسیم نیز دارای تعادل

پتاسیم محلول ۰/۰۹ و ۰/۰۴ درصد از پتاسیم کل خاک را به ترتیب در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به خود اختصاص داد که این مقدار بسیار کمتر از مقدار مورد نیاز گیاه بوده و این نشان می‌دهد که پتاسیم محلول به تنهایی نمی‌تواند نیازهای پتاسیم گیاه را رفع کند. بر اساس گزارش نجفی قیری و همکاران (Najafi-Ghiri *et al.*, 2011) این مقدار برای خاک‌های استان فارس بسیار بیشتر

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 2. Some physicochemical properties of studied soils

| Soil properties                  | Surface soil (0-20 cm) |       |                   | Subsurface soil (20-40 cm) |       |                   |
|----------------------------------|------------------------|-------|-------------------|----------------------------|-------|-------------------|
|                                  | Min                    | Max   | Mean              | Min                        | Max   | Mean              |
| Clay (%)                         | 14                     | 62    | 35 <sup>a</sup>   | 15                         | 53    | 34 <sup>a</sup>   |
| CEC (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )  | 9                      | 39    | 23 <sup>a</sup>   | 8                          | 41    | 16 <sup>b</sup>   |
| Calcium carbonate equivalent (%) | 3                      | 51    | 33 <sup>b</sup>   | 4                          | 61    | 38 <sup>a</sup>   |
| pH                               | 7.2                    | 7.8   | 7.5 <sup>a</sup>  | 7.3                        | 7.9   | 7.6 <sup>a</sup>  |
| K forms (mg kg <sup>-1</sup> )   |                        |       |                   |                            |       |                   |
| Soluble                          | 1.2                    | 12.7  | 6.0 <sup>a</sup>  | 1.2                        | 5.0   | 2.4 <sup>b</sup>  |
| Exchangeable                     | 111                    | 521   | 247 <sup>a</sup>  | 25                         | 403   | 156 <sup>b</sup>  |
| Non-exchangeable                 | 153                    | 1705  | 520 <sup>a</sup>  | 72                         | 1016  | 401 <sup>b</sup>  |
| Mineral                          | 4584                   | 10379 | 6086 <sup>a</sup> | 3227                       | 9541  | 5985 <sup>a</sup> |
| Total                            | 4880                   | 12222 | 6854 <sup>a</sup> | 3387                       | 10711 | 6545 <sup>b</sup> |
| Exchangeable to soluble K ratio  | 16                     | 175   | 55 <sup>b</sup>   | 9                          | 954   | 126 <sup>a</sup>  |
| K saturation (%)                 | 1.6                    | 5.1   | 2.8 <sup>a</sup>  | 0.6                        | 4.3   | 1.8 <sup>b</sup>  |

جدول ۳. ارتباط بین شکل‌های مختلف پتاسیم و برخی ویژگی‌های خاک

Table 3. Relationships between different forms of K and some soil properties

| K forms          | Surface soil (0-20 cm) |        |        | Subsurface soil (20-40 cm) |        |        |
|------------------|------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
|                  | CCE                    | Clay   | CEC    | CCE                        | Clay   | CEC    |
| Soluble          | -0.09                  | 0.09   | -0.10  | 0.13                       | -0.09  | -0.21  |
| Exchangeable     | -0.93**                | 0.76** | 0.69** | -0.70**                    | 0.56** | 0.49** |
| Non-exchangeable | -0.93**                | 0.77** | 0.65** | -0.82**                    | 0.60** | 0.58** |
| Mineral          | -0.85**                | 0.66** | 0.58** | -0.61**                    | 0.44** | 0.36*  |
| Total            | -0.89**                | 0.71** | 0.61** | -0.68**                    | 0.49** | 0.42*  |

CCE: Calcium carbonate equivalent; CEC: Cation exchange capacity

\* and \*\* show significance of correlation coefficient at level of 5 and 1 %, respectively.

نداشت، اما در خاک‌های سطحی ارتباط مثبت و معنی‌داری بین این شکل پتاسیم و شکل ساختمانی و پتاسیم کل به دست آمد (جدول ۴).

با یکدیگر هستند و تغییرات در یک شکل پتاسیم می‌تواند تغییر در مقدار سایر شکل‌ها را به دنبال داشته باشد. در خاک‌های مورد مطالعه، پتاسیم محلول در خاک‌های زیرسطحی ارتباط معنی‌داری با سایر شکل‌های پتاسیم

جدول ۴- ارتباط بین شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه

Table 4. Relationships among different forms of K in the studied soils

| K forms          | Surface soil (0-20 cm) |              |                  |         | Subsurface soil (20-40 cm) |              |                  |         |
|------------------|------------------------|--------------|------------------|---------|----------------------------|--------------|------------------|---------|
|                  | Soluble                | Exchangeable | Non-exchangeable | Mineral | Soluble                    | Exchangeable | Non-exchangeable | Mineral |
| Exchangeable     | 30                     | 1.00**       |                  |         | -0.22                      | 1.00**       |                  |         |
| Non-exchangeable | 0.27                   | 0.93**       | 1.00**           |         | -0.17                      | 0.68**       | 1.00**           |         |
| Mineral          | 0.38*                  | 0.86**       | 0.87**           | 1.00**  | -0.20                      | 0.48**       | 0.66**           | 1.00**  |
| Total            | 0.37*                  | 0.90**       | 0.93**           | 0.99**  | -0.21                      | 0.57**       | 0.75**           | 0.99**  |

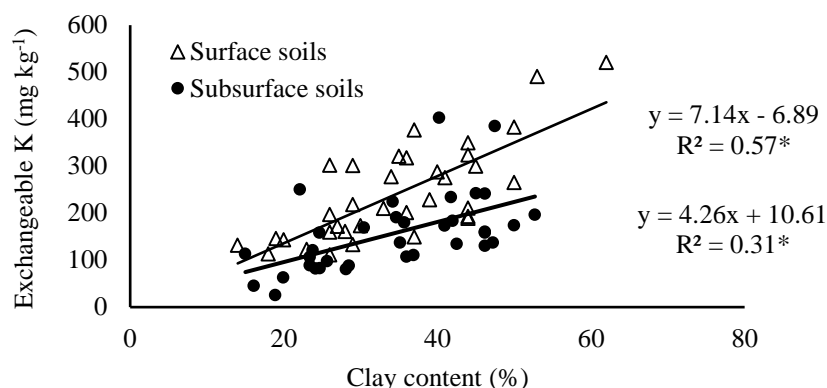
\* and \*\* show significance of correlation coefficient at level of 5 and 1 %, respectively.

در بیشتر خاک‌ها به اندازه‌ای است که نیاز گیاهان را برآورده سازد. مقدار پتاسیم تبدلی خاک‌های آهکی جنوب ایران ارتباط مستقیم با عوامل متعددی دارد. اما به طور

پتاسیم تبدلی به عنوان مهمترین شکل پتاسیم خاک مطرح می‌باشد. این شکل پتاسیم کاملاً قابل جذب برای گیاه بوده و پتانسیل آبشویی نیز ندارد. از طرفی مقدار آن

معنی داری با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های غرب بنگال (هند) دارد. شکل ۲ ارتباط بین مقدار پتاسیم تبدالی و مقدار رس در خاک‌های سطحی و زیرسطحی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در خاک‌های سطحی و زیرسطحی با افزایش مقدار رس، مقدار پتاسیم تبدالی نیز افزایش می‌یابد، زیرا شیب معادلات مثبت می‌باشد. نکته حائز اهمیت مقایسه شیب معادله برای خاک‌های سطحی و زیر سطحی است. این مقدار برای خاک‌های سطحی (۷/۱) بیشتر از خاک‌های زیرسطحی (۴/۳) می‌باشد. یعنی با افزایش هر واحد در مقدار رس، مقدار پتاسیم تبدالی در خاک سطحی بیشتر از خاک زیرسطحی افزایش می‌یابد. این می‌تواند مربوط به تفاوت در نوع رس باشد. در خاک‌های مورد مطالعه، مقدار اسمکتیت‌ها (به‌عنوان کانی‌های دارای بار منفی زیاد) در خاک‌های سطحی به طور قابل توجهی بیشتر از خاک‌های زیر سطحی بوده (۵۰-۳۵ در مقابل ۳۵-۲۵ درصد) و تأثیر آن در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و نگهداری پتاسیم به شکل تبدالی بیشتر از کانی‌های موجود در خاک‌های زیرسطحی می‌باشد. از طرف دیگر مقدار بالاتر رس در خاک‌های سطحی می‌تواند انباشت بیشتر مواد آلی را به دنبال داشته باشد که این فرآیند نیز منجر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های سطحی و پتانسیل بیشتر نگهداری پتاسیم به شکل تبدالی می‌شود. در حالی که خاک‌های زیرسطحی دارای ماده آلی محدودتری می‌باشند. پتاسیم تبدالی به ترتیب ۳/۴ و ۲/۴ درصد از پتاسیم کل خاک را در افق‌های سطحی و زیرسطحی به خود اختصاص داد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین این دو وجود داشت. در خاک‌های سطحی به دلیل هوادیدگی بیشتر، مقدار بیشتری از پتاسیم موجود در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار آزاد شده و در بخش تبدالی قرار می‌گیرد. از طرف دیگر مقدار بیشتر ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های سطحی (به‌دلیل وجود مقدار بیشتر ماده آلی و رس‌های اسمکتیت) سبب تمرکز بیشتر پتاسیم آزاد شده در فاز تبدالی می‌گردد.

کلی در خاک‌های مناطق مرطوب بیشتر از خاک‌های مناطق خشک می‌باشد (Najafi-Ghiri *et al.*, 2011). مقدار پتاسیم تبدالی در افق‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب ۲۴۷ و ۱۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۲). مقدار کمتر پتاسیم تبدالی مربوط به مناطق خشک‌تر استان با رژیم‌های رطوبتی اریدیک و حرارتی ترمیک و کانی‌های رسی غالب پالیگورسکیت و کلریت بود. در حالی که خاک‌های دارای اسمکتیت و اپلیت که بیشتر در مناطق با رژیم‌های رطوبتی زیریک و حرارتی مزیک تکامل یافته بودند، دارای مقادیر بالاتر پتاسیم تبدالی بودند. به‌طور کلی، مقدار پتاسیم تبدالی در خاک‌های مورد مطالعه با اسمکتیت خاک ارتباط بهتری نشان داد. به‌طوری که مقدار آن در خاک‌های با مقدار اسمکتیت ۵۰-۳۵ درصد که بیشتر در مناطق با رژیم‌های رطوبتی زیریک و حرارتی مزیک وجود داشته‌اند، ۳۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در خاک‌های با مقدار اسمکتیت ۲۵-۳۵ درصد (میانگین ۱۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. خاک‌های سطحی مقدار پتاسیم تبدالی بیشتری نسبت به خاک‌های زیر سطحی داشتند که این می‌تواند به دلیل وجود کربنات کلسیم کمتر در خاک‌های سطحی (به دلیل اثر رقت)، افزودن کودهای پتاسیم به سطح خاک، هوادیدگی بیشتر کانی‌های پتاسیم‌دار در سطح و تبدیل بخشی از پتاسیم ساختمانی به تبدالی و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر (به‌دلیل ماده آلی بیشتر و غالبیت رس اسمکتیت) باشد. محققان زیادی گزارش کرده‌اند که خاک‌های زیرسطحی هم می‌توانند بخش عمده‌ای از پتاسیم مورد نیاز گیاه را تأمین کنند (Kuhlman, 1990; Ganeshamurthy, 1983). ارتباط مثبت و معنی‌داری بین پتاسیم تبدالی با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی برای خاک‌های سطحی و زیرسطحی به دست آمد، در حالی که مقدار کربنات کلسیم خاک‌ها ارتباط منفی با مقدار پتاسیم تبدالی داشت. سینها و بیسواس (Sinha & Biswas, 2003) بیان کردند که پتاسیم محلول، قابل استفاده و غیرتبدالی ارتباط مثبت و



شکل ۲- ارتباط بین پتاسیم تبادلی و مقدار رس در خاک‌های سطحی و زیرسطحی منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Relationship between exchangeable K and clay content in surface and subsurface soils of the studied region

پتاسیم غیرتبادلی به‌عنوان بخشی از پتاسیم خاک که در بین لایه‌های کانی‌های تثبیت‌کننده پتاسیم مانند ایلیت، ورمیکولیت و اسمکتیت قرار گرفته است، مطرح می‌باشد. این شکل پتاسیم می‌تواند در طول فصل رشد گیاه به‌صورت تدریجی آزاد شده و بخشی از نیاز گیاه به پتاسیم را برطرف نماید (Havlin *et al.*, 1999). به‌طور کلی مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مورد مطالعه بیش از دو برابر مقدار پتاسیم تبادلی بود. این مقدار در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به‌ترتیب ۵۲۰ و ۴۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای خاک‌های سطحی به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های زیرسطحی بود. مقدار پتاسیم غیرتبادلی در برخی خاک‌های مورد مطالعه به بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد. این امر نشان‌دهنده اهمیت این شکل پتاسیم در این خاک‌ها جهت تأمین طولانی مدت پتاسیم مورد نیاز گیاه می‌باشد. از طرف دیگر، در برخی خاک‌ها این مقدار بسیار کم (کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده و نیاز به مدیریت بیشتر این عنصر برای رفع نیاز گیاه احساس می‌شود. پتاسیم غیرتبادلی به‌ترتیب ۷/۱ و ۵/۸ درصد از پتاسیم کل خاک‌های سطحی و زیرسطحی را به خود اختصاص داد و این تفاوت معنی‌دار بود. اگر چه درصد کمی از پتاسیم کل خاک به شکل غیرتبادلی است، اما این شکل پتاسیم به همراه شکل‌های تبادلی و محلول، می‌تواند نیاز گیاه را برای مدت طولانی در بیشتر خاک‌ها برآورده کند.

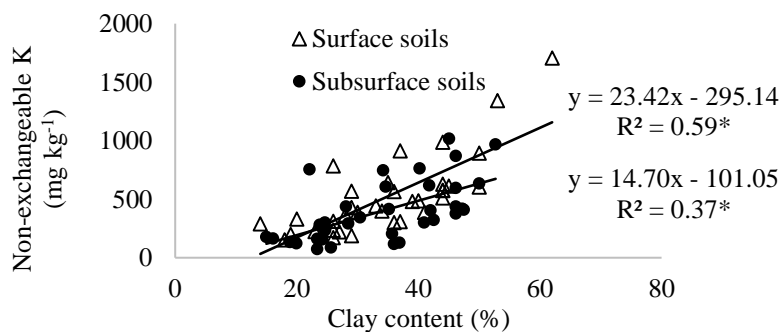
پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های سطحی و زیرسطحی نیز مانند پتاسیم تبادلی ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی و ارتباط منفی با مقدار

پتاسیم تبادلی به‌عنوان بخشی از پتاسیم که می‌تواند پتاسیم محلول خاک را بافر کند مطرح می‌باشد (Havlin *et al.*, 1999; Najafi-Ghiri *et al.*, 2011). در صورت کاهش غلظت پتاسیم محلول در نتیجه جذب گیاه و یا آبشویی، پتاسیم تبادلی می‌تواند آن را جایگزین کند. هر چه نسبت پتاسیم تبادلی به پتاسیم محلول بیشتر باشد، نشان‌دهنده توانایی بیشتر خاک جهت بافر نمودن تغییرات غلظت پتاسیم محلول و همچنین پتانسیل آبشویی کمتر خاک می‌باشد. این نسبت برای خاک‌های سطحی و زیرسطحی در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک‌های زیرسطحی دارای نسبت پتاسیم تبادلی به محلول بیشتری نسبت به خاک‌های سطحی می‌باشند و این به دلیل مقدار کمتر پتاسیم محلول در آن‌ها است. بنابراین، افاق‌های زیرسطحی علی‌رغم مقدار پتاسیم قابل استفاده کمتر (مجموع پتاسیم محلول و تبادلی)، توانایی بیشتری در جلوگیری از نوسانات غلظت پتاسیم محلول و همچنین پتانسیل کمتری برای آبشویی پتاسیم دارند. نسبت پتاسیم تبادلی به محلول در خاک‌های سطحی ارتباط مثبت و معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) با ظرفیت تبادل کاتیونی (ضریب همبستگی ۰/۴۱) و ارتباط منفی و معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) با مقدار کربنات کلسیم معادل (ضریب همبستگی -۰/۳۶) داشت. ارتباط معنی‌داری بین این نسبت با ویژگی‌های خاک‌های زیرسطحی به دست نیامد. شارپلی (Sharpley, 1989) بیان کرد که نسبت پتاسیم تبادلی به محلول به کانی‌شناسی خاک بستگی داشته و در خاک‌های کائولینیتی کمتر از خاک‌های اسمکتیتی می‌باشد.



کانی‌های تثبیت کننده پتاسیم هستند، بیشتر از خاک‌های زیرسطحی می‌باشد. به‌طور کلی مقدار پتاسیم غیرتبادلی با مقدار ایلیت در خاک‌های مورد مطالعه ارتباط داشت و در خاک‌هایی که دارای کانی ایلیت ۵۰-۳۵، ۲۵-۱۰ و ۱۰-۵ درصد بودند، به‌ترتیب ۷۲۶، ۳۵۴ و ۲۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ارتباط بین پتاسیم غیرتبادلی و کانی‌های میکایی به‌وسیله نجفی قیری و همکاران (Najafi-Ghiri *et al.*, 2011) برای خاک‌های آهکی استان فارس گزارش شده است. پتاسیم غیرتبادلی ارتباط مثبت و معنی‌داری با شکل‌های دیگر پتاسیم شامل تبادلی، ساختمانی و کل داشت، اما ارتباطی بین این شکل پتاسیم با پتاسیم محلول به دست نیامد. به‌رحال پتاسیم محلول در خاک‌ها دارای نوسانات بسیار زیادی بوده و عوامل متعددی بر آن تأثیر دارند و معمولاً تعادل بین شکل‌های پتاسیم بیشتر مربوط به شکل‌های تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی می‌باشد.

کربنات کلسیم معادل خاک داشت (جدول ۳). وجود کربنات کلسیم در خاک‌ها به دلیل اثر رقت سبب کاهش مقدار شکل‌های پتاسیم خاک می‌گردد (Najafi-Ghiri *et al.*, 2011). نبی‌الهی و همکاران (Nabiollahy *et al.*, 2006) نیز بیان کردند که شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های ورتی‌سولز بیشتر از سایر راسته‌های خاک می‌باشند. آنها دلیل این امر را مقدار بالای رس و غالبیت کانی‌اسمکتیت در این خاک‌ها بیان کردند. نگاهی به شکل ۳ و مقایسه شیب معادلات نشان می‌دهد که با افزایش یک واحد در مقدار رس، مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک سطحی بیشتر از خاک زیرسطحی افزایش می‌یابد. این تفاوت نیز می‌تواند مربوط به نوع رس‌ها باشد. در خاک‌های سطحی، وجود اسمکتیت‌ها و میکاهای هواپدیده، ظرفیت خاک را جهت تثبیت پتاسیم افزایش می‌دهد و بنابراین، تأثیر افزایش یک درصد رس در خاک سطحی که دارای



شکل ۳- ارتباط بین پتاسیم غیرتبادلی و مقدار رس در خاک‌های سطحی و زیرسطحی در منطقه مورد مطالعه

Figure 3. Relationship between non-exchangeable K and clay content in surface and subsurface soils of the studied region

و ظرفیت تبادل کاتیونی و ارتباط منفی و معنی‌داری با مقدار کربنات کلسیم معادل داشت. مطالعات کانی‌شناسی نشان داد که خاک‌های دارای ایلیت و اسمکتیت بیشتر (مجموع بیشتر از ۷۰ درصد)، دارای میانگین مقدار پتاسیم ساختمانی ۶۷۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر خاک‌ها (۵۴۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. پتاسیم ساختمانی با پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی نیز ارتباط مثبت و معنی‌داری داشت. در خاک‌های سطحی، ارتباط منفی بین پتاسیم ساختمانی و محلول به‌دست آمد. نجفی قیری و همکاران (Najafi-Ghiri *et al.*, 2011) نیز در مطالعه خاک‌های استان فارس با ویژگی‌های بسیار متفاوت فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی، ارتباط معنی‌داری بین شکل‌های مختلف پتاسیم به دست آوردند، ولی ارتباط بین شکل محلول

پتاسیم ساختمانی که در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار مانند میکاها و فلدسپات‌ها وجود دارد، غیرقابل استفاده گیاه بوده، اما در طولانی مدت و بر اثر هواپدگی می‌تواند به شکل‌های دیگر پتاسیم که قابل استفاده گیاه می‌باشند، تبدیل شود. این شکل پتاسیم به علت غیرقابل استفاده بودن آن برای گیاه، اهمیت چندانی در مطالعات حاصلخیزی پتاسیم نداشته و بیشتر مرتبط با وضعیت کانی‌شناسی خاک‌ها می‌باشد. پتاسیم ساختمانی به‌ترتیب ۸۹/۴ و ۹۱/۸ درصد از پتاسیم کل خاک‌های سطحی و زیرسطحی را به خود اختصاص داد. میانگین مقدار پتاسیم ساختمانی در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به‌ترتیب ۶۰۸۶ و ۵۹۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار این شکل پتاسیم در برخی خاک‌ها به بیش از یک درصد می‌رسد. پتاسیم ساختمانی ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار رس

ایران بیان کردند که پتاسیم ساختمانی و غیرتبادلی و مقدار رس در خاک‌های دارای ایلیت ۳۰ تا ۵۰ درصد به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های با مقدار ایلیت ۱۰ تا ۳۰ درصد می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

خاک‌های آهکی استان کهگیلویه و بویراحمد دارای تنوعی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی و در نتیجه شکل‌های مختلف پتاسیم بوده و مطالعات نشان داد که این تغییرات می‌تواند به دلیل تفاوت در وضعیت مواد مادری خاک و تفاوت اقلیمی مناطقی باشد که این خاک‌ها در آن تکامل یافته‌اند. به‌طور کلی، مقادیر شکل‌های پتاسیم در خاک‌های اسمکتیتی که در مناطق مرطوب‌تر تکامل یافته‌اند، بیشتر بود که این می‌تواند به دلیل آبشویی کربنات‌ها از نیم‌رخ این خاک‌ها و هوادیدگی کانی‌های پتاسیم‌دار باشد. خاک‌های مناطق خشک‌تر دارای مقدار کربنات کلسیم بیشتر به دلیل اثر رقت، کانی پالیگورسکیت (به دلیل شرایط مناسب تشکیل این کانی و عدم تخریب آن) و در نتیجه مقدار کمتر پتاسیم می‌باشند. به‌هرحال در بیشتر نمونه‌ها، مقدار پتاسیم قابل استفاده گیاه شامل محلول، تبادلی و تا حدودی غیرتبادلی به اندازه‌ای است که نیاز گیاه به پتاسیم را برآورده کند. در خاک‌های مورد مطالعه، ارتباط معنی‌داری بین شکل‌های مختلف پتاسیم و ویژگی‌های خاک به‌دست آمد و به‌نظر می‌رسد با افزایش مقدار رس، مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم نیز افزایش می‌یابد. به هر حال نیاز به مطالعات بیشتری در زمینه کانی‌شناسی بخش شن و سیلت خاک‌های مورد مطالعه و ارتباط آن‌ها با وضعیت پتاسیم خاک می‌باشد.

پتاسیم با دیگر شکل‌ها را بسیار ضعیف‌تر گزارش کردند. ارتباط مثبت بین شکل‌های مختلف پتاسیم نشان از تعادل دینامیک بین این شکل‌ها می‌باشد. نتایج به دست آمده در مورد ارتباط بین شکل‌های پتاسیم با یافته‌های نبی‌الهی و همکاران (Nabiollahy *et al.*, 2006)، پادول و ماهاجان (Padol & Mahajan, 2003) و شارپلی (Sharpley, 1989) مطابقت دارد. به‌طور کلی پتاسیم به‌ترتیب ۶۸۵۴ و ۶۵۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (معادل ۰/۶۹ و ۰/۶۵ درصد) از خاک‌های سطحی و زیر سطحی را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده بود. این مقدار کمتر از مقادیر گزارش شده به‌وسیله شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2006) برای برخی خاک‌های هند، ایگو و همکاران (Igwe *et al.*, 2008) برای برخی خاک‌های نیجر و حسینی‌فرد و همکاران (Hosseinfard *et al.*, 2010) برای برخی خاک‌های ایران (رفسنجان) می‌باشد. این شکل پتاسیم ارتباط منفی با مقدار کربنات کلسیم معادل خاک داشت (جدول ۳) و در واقع مقدار بیشتر پتاسیم در خاک‌های سطحی به دلیل مقدار کمتر کربنات کلسیم (به دلیل اثر رقت) در آن‌ها است. ارتباط مثبت پتاسیم کل خاک با مقدار رس نیز نشان دهنده وجود کانی‌های پتاسیم‌دار در بخش رس خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد. به‌طور کلی مقدار پتاسیم کل در خاک‌های مناطق مرطوب‌تر و با اسمکتیت و ایلیت بالاتر، بیشتر از خاک‌های مناطق خشک‌تر با کانی پالیگورسکیت و کلریت بیشتر بود (۷۷۵۴ در مقابل ۶۳۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم). شارپلی (Sharpley, 1989) با مطالعه خاک‌های قاره آمریکا، افزایش معنی‌دار در مقدار رس، پتاسیم ساختمانی و پتاسیم کل را در خاک‌های اسمکتیتی نسبت به خاک‌های با کانی‌های مخلوط و خاک‌های کائولینیتی گزارش کرد. نبی‌الهی و همکاران (Nabiollahy *et al.*, 2006) نیز برای خاک‌های

### Reference

- Balali M.R., and Malakouti M.J. 1998. Study of exchangeable K changes in agriculture soils of Iran. *Soil and Water*, 12(3): 59-70. (In Persian)
- Banaei M.H. 1998. Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran. Soil and Water Research Institute. Ministry of Agriculture, Iran, 300p.
- Beringer H. 1985. Adequacy of soil testing for predicting fertilizer requirements. *Plant and Soil*, 83: 21-37.
- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 891-901.
- Ganeshamurthy A.N. 1983. An estimate of the uptake of subsurface soil potassium by crops in two long-term experiments. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 101: 495-497.
- Havlin J., Beaton J., Tisdale S., and Nelson W. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 503p.

- Hosseini-fard S.J., Khademi H., and Kalbasi M. 2010. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistacia vera* L.) trees in Rafsanjan, Iran. *Geoderma*, 155(3-4): 289–297.
- Igwe C.A., Zarei M., and Stahr K. 2008. Factors affecting potassium status of flood plain soils, eastern Nigeria. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54(3): 309-319.
- Jackson M.L. 1975. Soil Chemical Analysis: Advanced Course. Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, *Madison, Wisconsin*, 930p.
- Khormali F., and Abtahi A. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semiarid soils of Fars province, southern Iran. *Clay Minerals*, 38: 511–527.
- Kuhlmann H. 1990. Importance of the subsoil for the K nutrition of crops. *Plant and Soil*, 127: 129–136.
- Mehra O.P., and Jackson M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionate citrate system with sodium bicarbonate. *Clay Minerals*, 7: 317-327.
- Mengel K., and Rahmatullah H.D. 1998. Release of potassium from the silt and sand fraction of Loess-derived soils. *Soil Science*, 163: 805–813.
- Munn D.A., Wilding L.P., and McLean E.O. 1976. Potassium release from sand, silt, and clay soil separates. *Soil Science Society of America Journal*, 40: 364–366.
- Nabiollahy K., Khormali F., Bazargan K., and Ayoubi S. 2006. Forms of K as a function of clay mineralogy and soil development. *Clay Minerals*, 41: 739-749.
- Najafi-Ghiri M., and Abtahi A. 2013. Potassium fixation in soil size fractions of arid soils. *Soil and Water Research*, 8(2): 49-55.
- Najafi-Ghiri M., and Jaber H.R. 2013. Effect of soil minerals on potassium release from soil fractions by different extractants. *Arid land research and management*, 27(2): 111-127.
- Najafi-Ghiri M., Abtahi A., Owliaie H., Hashemi S.S., and Koohkan H. 2011. Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid land research and management*, 25(4): 313-327.
- Natarajan S., and Renukadevi A. 2003. Vertical distribution of forms of potassium in major soil series of Tamil Nadu. *Acta Agronomica Hungarica*, 51(3): 339-346.
- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 539-579.
- Owliaie H.R., Abtahi A., and Heck R.J. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. *Geoderma*, 134: 62-81.
- Padol V.R., and Mahajan S.B. 2003. Status and release behavior of potassium in some swell-shrink soils of Vidarbha, Maharashtra. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 28(1): 3-7
- Pratt P.F. 1965. Potassium. In: Black C.A. (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties*. Madison (WI): American Society of Agronomy, pp. 1022–1030.
- Rowell D.L. 1994. *Soil Science: Methods and applications*. Longman Scientific and Technical.
- Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook No. 60, United States Department of Agriculture, Washington, D.C, 160p.
- Sharma B.D., Mukhopadhyay S.S., and Sawhney J.S. 2006. Distribution of potassium fractions in relation to landforms in a Himalayan catena. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52(4): 469–476.
- Sharpley A.N. 1989. Relationship between potassium forms and mineralogy. *Soil Science Society of American Journal*, 52: 1023–1028.
- Sinha A.K., and Biswas S. 2003. Distribution of different forms of potassium in surface and subsurface horizons of some well-established soils of West Bengal under the order Inceptisols. *Journal of Interacademia*, 7 (3): 286-291.
- Sparks D.L. 2000. Bioavailability of soil potassium. In: Sumner M.E. (Ed.), *Handbook of Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 38-52.
- Sparks D.L., and Huang P.M. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: Mounson R.D. (Ed.), *Potassium in Agriculture*. ASA, Madison, WI, pp. 201-276.
- Srinivasarao S., Rupa T.R., Subba Rao A., and Bansal S.K. 2001. Subsoil potassium availability in twenty-two benchmark soil series of India. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 32(5–6): 863–876.

## Factors Affecting Chemical forms of Potassium Distribution in some Calcareous Soils of Kohgilouye and Boyerahmad Province

Mahdi Najafi-Ghiri<sup>1\*</sup>, Hamidreza Owliaie<sup>2</sup> and Hamid Reza Boostani<sup>3</sup>

(Received: October 2017      Accepted: April 2018)

### Abstract

Different factors may affect potassium (K) content in calcareous soils. Potassium forms distribution as a function of various soil physicochemical properties was examined on seventy surface (0-20 cm) and subsurface (20-40 cm) soil samples of Kohgilouye and Boyerahmad province, southwest of Iran. Soil physical, chemical and mineralogical properties were determined according to standard methods. The soil was classified in Xeric and Ustic moisture regimes and Mexic, Termic, and Hyperthermic thermal regimes. As the result, the common clay minerals associations were found to be illite, smectite, chlorite and palygorskite with less content of vermiculite, kaolinite and quartz. Smectite, illite, and palygorskite were the main clay minerals occurring in humid and arid regions respectively. Soil soluble, exchangeable, non-exchangeable and structural K concentrations ranged from 1.2-12.1, 111-521, 153-1705 and 4584-10379 mg kg<sup>-1</sup> at the surface and 0.2-5.0, 25-403, 72-1016 and 3227-9541 mg kg<sup>-1</sup> at the subsurface soil samples respectively. Exchangeable, non-exchangeable, structural and total K concentrations positively correlated with soil clay content and cation exchange capacity (CEC), however negatively significant correlation was obtained with calcium carbonate content. Different forms of K (except soluble K) had positive and significant relationships with each other (r of 0.48-0.99) and this indicated the equilibration among K forms. Mineralogical studies indicated the positively influence of clay minerals, especially illite and smectite, on exchangeable and nonexchangeable soil K. While the structural and total K contents most affected by smectite and illitic clay minerals. Future studies are required about the mineralogy of soil sand and silt fractions and their influence on soil K status.

**Keywords:** Calcium carbonate, Climate, Exchangeable K, Smectite

Najafi-Ghiri M., Owliaie H. R. and Boostani, H. R. 2019. Factors affecting potassium pools distribution in some calcareous soils of Kohgilouye and Boyerahmad province. *Applied Soil Research*, 7(2): 196-207.

1. Associate professor of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

2. Associate professor of Soil Science, Yasouj University

3. Assistant professor of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

\* Corresponding Author Email: [mnajafighiri@yahoo.com](mailto:mnajafighiri@yahoo.com)