نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۵، ص. ۱۸۵-۱۷۲

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 172-185

ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با کانی‌های رسی و تکامل خاک در برخی خاک‌های استان فارس

نیلوفر صدری[۱]- حمیدرضا اولیایی[۲*]- ابراهیم ادهمی[۳]- مهدی نجفی قیری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸

چکیده

ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با نوع کانی‌های رسی و تکامل خاک با استفاده از چهارده نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) از مناطق انتخابی استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. پتاسیم محلول در آب، قابل استخراج با استات آمونیوم یک مولار خنثی، اسید نیتریک یک مولار جوشان و پتاسیم کل اندازه‌گیری شد. نتایج کانی‌شناسی نشان داد که کانی‌های اسمکتیت، ایلیت، پالیگورسکیت و کلریت کانی‌های غالب در خاک‌های مطالعه‌شده بودند. این پژوهش همچنین نشان داد که مقدار پتاسیم تبادلی، غیر تبادلی و کل در خاک‌ها به‌ترتیب در دامنه ۲۳۰ تا ۴۳۶، ۲۸۲ تا ۱۲۳۵ و ۲۳۱۲ تا ۹۲۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بوده‌اند. خاک‌های مورد مطالعه به طور کلی بر اساس تکامل خاک، کانی‌شناسی و مقدار پتاسیم کل در سه گروه قرار گرفتند. خاک‌های تکامل یافته‌تر (آلفی‌سولز)، کم‌تر تکامل یافته (اریدی‌سولز و اینسپتی‌سولز) و بدون تکامل پروفیلی (انتی‌سولز) به ترتیب در گروه‌های ۱، ۲ و ۳ تقسیم شدند. بیشترین مقدار تمام شکل‌های پتاسیم، جز پتاسیم محلول در گروه ۱ مشاهده شد. رابطه معنی‌داری همچنین بین تمام شکل‌های پتاسیم به جز محلول با مقدار ایلیت برقرار شد. نتایج کانی شناسی بیانگر غالب بودن کانی اسمکتیت و ایلیت در خاک آلفی‌سولز بوده که سبب افزایش پتاسیم قابل دسترس در این خاک‌ها شده است.

واژه‌های کلیدی: ایلیت، پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی، تکامل خاک

مقدمه

وضعیت یک عنصر در یک خاک معین را نمی‌توان تنها با مقدار آن مشخص نمود، چون عناصر در شکل‌ها و وضعیت‌های متفاوتی یافت می‌شوند و علاوه بر آن تبدیل از شکلی به شکل دیگر سبب ایجاد نظامی پویا در خاک خواهد شد. در میان عناصرغذایی ضروری برای گیاه، پتاسیم بیشترین فراوانی را در خاک دارد و به طور متوسط ۲/۶ درصد وزنی پوسته زمین را تشکیل می دهد (۳۹) و نقش مهمی را در چندین فرآیند متابولیکی در گیاه ایفا می‌کند. حدود ۵۰ آنزیم مرتبط با انتقال انرژی و تغیر شکل قند، نشاسته و پروتئین شناخته شده است که تحت تأثیر حضور پتاسیم در گیاه فعال هستند (۷ و ۲۰). محتوای پتاسیم در خاک به نوع مواد مادری، نوع کانی‌ها و درجه هوادیدگی آن‌ها وابسته است. پتاسیم خاک بر اساس قابل دسترس بودن برای گیاه به ۴ گروه پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی تقسیم می‌شوند. پتاسیم محلول به طور مستقیم برای گیاه و ریزجانداران قابل دسترس بوده و همچنین پتانسیل بالقوه‌ای برای آبشویی دارد. پتاسیم تبادلی توسط پیوندهای الکترواستاتیکی به سطح کانی‌های خاک و مواد هیومیکی متصل می‌شوند (۲). این دو شکل از پتاسیم به عنوان پتاسیم به آسانی قابل دسترس برای گیاه بیان می‌شوند. با این حال مقدارآن‌ها در خاک نسبتاً کم می‌باشد (۸ و ۴۴).

پتاسیم عصاره‌گیری شده به وسیله استات آمونیوم یک مولار خنثی، از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی توانایی خاک در تأمین نیاز گیاه به پتاسیم در بسیاری از خاک‌ها است. در این روش مجموع پتاسیم تبادلی و محلول در آب اندازه‌گیری می‌شود. پتاسیم قابل تبادل که با جایگزینی آمونیوم از استات آمونیوم تعیین می‌شود، توسط بارهای منفی ذرات رس و مواد آلی نگه‌داری می‌شود و به سهولت برای گیاه قابل استفاده است (۵). پتاسیم استخراج شده به وسیله استات آمونیوم، مقدار پتاسیم تبادلی را در خاک‌هایی که دارای مقدار

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
(*- نویسنده مسئول: Email: owliaie@gmail.com)
۴-استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه داراب

زیادی ورمیکولیت یا ایلیت هستند بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد، زیرا آمونیوم قادر است بخشی از پتاسیم نگه‌داری شده در مواضع گوه‌ای شکل و بین لایه‌ای کانی را نیز آزاد کند (۲۳).

پتاسیم قابل استخراج به وسیله اسیدنیتریک بیانگر پتاسیم قابل تبادل و پتاسیم استخراج شده از داخل ساختمان سیلیکات‌های شبکه‌ای و ورقه‌ای و آن بخش از پتاسیم است که در مواضع گوه‌ای شکل و حفره‌های شش‌گوش واقع در بین لایه چهار وجهی مجاور کانی‌های میکا، ورمیکولیت و سایر کانی‌های حدواسط نگه‌داری می‌شود. پتاسیم غیرتبادلی و ساختمانی به عنوان منابع به کندی قابل دسترس یا غیرقابل دسترس برای گیاهان مطرح می‌شوند. با این وجود، این منابع ممکن است تأثیر مهمی در تغذیه گیاه در دراز مدت داشته باشند (۳۳). مقدار کمی پتاسیم قابل دسترس و غیر قابل‌دسترس در خاک به نوع خاک و تعادل بین واکنش‌های موجود در منابع پتاسیم وابسته است. بنابراین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک همچنین برهمکنش میان خاک و گیاه و فعالیت میکروبی خاک بر آزادسازی و تثبیت پتاسیم مؤثر می‌باشد. بیشتر پتاسیم در خاک به شکل ساختمانی بوده که شامل کانی‌های اولیه از قبیل موسکویت، بیوتیت و فلدسپات می‌شود. فلدسپات‌های پتاسیم‌دار ممکن است به طور مستقیم پتاسیم را به محلول خاک آزاد کنند، در صورتی که پتاسیم بین لایه‌ای در میکا توسط نیروهای الکترواستاتیک محکم نگه داشته شده است. هوادیدگی فلدسپات‌های پتاسیم‌دار و میکاها باعث تولید کانی‌های ثانویه شده که منابع قابل دسترس پتاسیم برای گیاه را نشان می‌دهند (۲۵ و ۴۳). اسمکتیت، کلریت، ایلیت، کائولینیت، پالی‌گورسکیت و ورمی‌کولیت از کانی‌های عمده خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران است (۱۷).

نجفی‌قیری و همکاران (۲۷)، در مطالعه شکل‌های مختلف پتاسیم خاک‌های آهکی جنوب ایران گزارش کردند که شکل‌های مختلف پتاسیم شامل پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل در این خاک‌ها نسبتاً بالا است و به ترتیب شامل ۲۰، ۲۴۴، ۷۶۳، ۵۳۰۰ و ۶۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های سطحی بودند. رضاپور و همکاران (۳۷)، در بررسی شکل‌های پتاسیم در خاک‌های آهکی دشت ارومیه، مقدار پتاسیم کل ۱/۱- ۰/۵۴ درصد، پتاسیم غیرقابل تبادل ۴۵۰-۲۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل تبادل را ۳۳۰-۲۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند. گوش و سینگ (۱۱)، در مطالعه خاک‌های هند، مقادیر پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی را برای خاک های راسته اینسپتی سولز ۳۶/۶ تا ۱۸۱، انتی سولز ۸۵ تا ۵۹۸ و آلفی سولز ۱۴۸/۵ تا ۸۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به دست آوردند.

شارپلی (۴۲)، با استفاده از روابط بین اشکال مختلف پتاسیم، کانی‌های غالب و رده‌بندی خاک‌ها نسبت به پیش‌بینی نحوه واکنش کود پتاسه در خاک، شبیه‌سازی چرخه پتاسیم و برداشت آن از خاک توسط گیاه اقدام نمود. توزیع پتاسیم اضافه شده به خاک در شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی به تراکم بارهای سطحی و فضای بین لایه‌ای کانی‌های رسی بستگی دارد.

خاک‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک معمولا دارای مقادیر زیادی پتاسیم به شکل‌های تبادلی و غیرتبادلی هستند. عدم پاسخ گیاه به کاربرد کود پتاسیم در این نواحی ممکن است مربوط به منابع بزرگ پتاسیم قابل استفاده باشد که تحت شرایط آبشویی کم خاکرخ، هوادیدگی نسبتا مناسب و وجود کانی‌های حاوی پتاسیم، به مقدار زیاد در خاک انباشته شده است. در سال‌های اخیر نشانه‌هایی از کمبود پتاسیم و پاسخ گیاهی به کاربرد کود پتاسیم در این نواحی مشاهده شده است که این به علت افزایش سیستم‌های کشت آبی و استفاده فشرده از اراضی (آبشویی سریع پتاسیم از لایه‌های بالایی به علت آبیاری، افزایش جذب پتاسیم به‌وسیله گیاه به علت عملکرد بیشتر و تبادل پتاسیم در لایه‌های بالایی با آمونیوم به کار رفته) و عدم توازن در کاربرد کودهای مختلف می باشد.

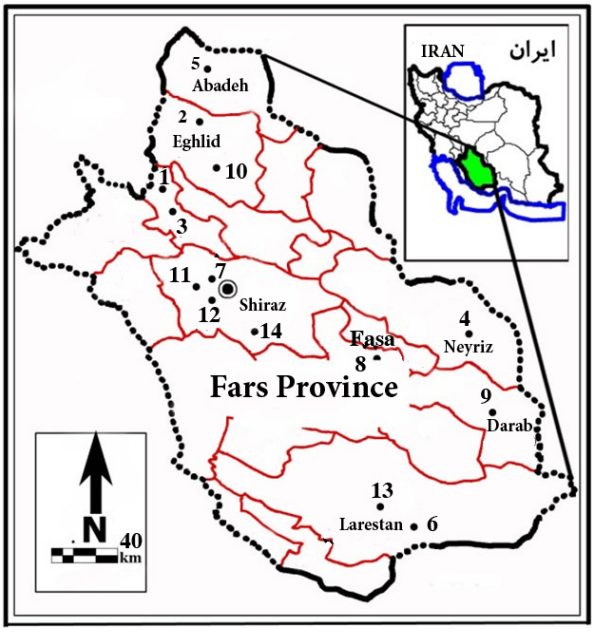
از آنجا که روابط بین شکل‌های مختلف پتاسیم با برخی ویژگی‌های خاک و نوع کانی‌های رسی و تکامل خاک در پیش بینی وضعیت حاصلخیزی پتاسیم خاک‌ها و چرخه پتاسیم در خاک و در نتیجه مدیریت این عنصر در خاک دارای اهمیت می‌باشد، بنابراین، هدف از این مطالعه اندازه‌گیری شکل‌های پتاسیم در برخی خاک‌های انتخابی استان فارس، یافتن ارتباط بین این شکل‌ها و خصوصیات خاک، کانی‌های رسی و همچنین میزان تکامل خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ابتدا بر اساس مطالعات قبلی (۲۷)، ۱۴ نمونه از خاک‌های استان فارس با ویژگی‌های متفاوت از نظر تکامل انتخاب و مکان هر کدام مشخص گردید (شکل ۱). سپس از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری این خاک‌ها نمونه برداری صورت گرفته و پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری آزمایش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی روی آن‌ها انجام شد. آزمایش‌های انجام شده شامل تعیین بافت به روش هیدرومتری (۴۰)، پهاش خاک در خمیر اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (۴۱)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۴۱)، کربن آلی به روش سوزاندن تر با بی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید کرومیک غلیظ و تیتراسیون با فروسولفات آمونیوم (۲۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم ۱ نرمال در پهاش ۸/۲ (۳) اندازه‌گیری شدند.

شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل به ترتیب در عصاره اشباع، عصاره‌گیری با استات آمونیوم ۱ نرمال با پهاش ۷، عصاره‌گیری با اسید نیتریک یک مولار جوشان به مدت یک ساعت، و هضم با اسید فلوریدریک و مخلوط اسیدهای غلیظ کلریدریک و نیتریک تعیین شدند (۳۶). سپس پتاسیم با استفاده از

دستگاه شعله سنجی مدل Corning 405 اندازه‌گیری گردید. پتاسیم ساختمانی از تفاضل پتاسیم کل از پتاسیم عصاره‌گیری شده توسط اسید نیتریک جوشان محاسبه گردید. جهت انجام مراحل کانی‌شناسی، مرحله خالص‌سازی بخش رس خاک‌ها به روش کیتریک و هوپ (۱۸) انجام گرفت، سپس بر روی هر یک از نمونه‌های رس بدست آمده چهار تیمار شامل منیزیم، منیزیم و اتیلن گلیکول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس اعمال گردید و با دستگاه پراش پرتو ایکس Brucker مدل D8-ADVANCE اسکن گردیدند. تجزیه نیمه کمی مقدار رس بر اساس سطح زیر منحنی پیک‌های هر کانی در تیمار منیزیم و اتیلن گلیکول صورت گرفت (۱۴). تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت.



شکل ۱- موقعیت خاک‌های مطالعه شده در استان فارس
Figure 1- Location of the studied soils in Fars Province

نتایج و بحث

اطلاعات کلی خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. ارتفاع از سطح دریا در خاکرخ‌های مطالعه‌شده از۸۵۴ تا ۲۲۰۴ متر متغیر می‌باشد. خاک‌های مورد مطالعه از مواد مادری آهکی و آهکی-گچی نشأت گرفته‌اند.کلیه خاکرخ‌ها دارای سطح ایستابی بیش از ۲ متر بوده‌اند و فاقد محدودیت شدید زهکشی می‌باشند. کاربری خاک‌ها شامل مرتع، زراعی و باغ میوهبوده است.

جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.خاک‌های مورد مطالعه در چهار راسته انتی‌سولز، اینسپی‌سولز، اریدی‌سولز و آلفی‌سولز قرار گرفته‌اند. شاید بتوان مهم‌ترین ویژگی خاک‌های مورد مطالعه را مقدار کربنات کلسیم آن‌ها دانست. این خاک‌ها به طور عمده دارای مواد مادری آهکی بوده و درصد کربنات کلسیم در همه‌ی خاک‌های مورد مطالعه بیشتر از ده درصد می‌باشد. مقادیر کربنات کلسیم معادل در این خاک‌ها در دامنه ۱۴ تا ۷۳ (میانگین ۴۱ درصد) می‌باشد.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میزان کربنات کلسیم معادل در مناطق مرطوب‌تر شمال و شمال‌غرب استان نسبت به سایر مناطق به مراتب کمتر است که این به دلیل آبشویی زیادتر در این خاک‌ها می‌باشد. در فصول سرد و بارانی، آهک موجود در افق‌های سطحی خاک حل شده و به اعماق پایین‌تر حمل می‌گردد و در فصل گرم و خشک در آنجا رسوب می‌نماید و اگر میزان بارندگی زیاد باشد آب تا اعماق بیشتری نفوذ کرده و این امر موجب شستشوی آهک می‌گردد (۳۵). بنابراین با افزایش بارندگی و هوادیدگی از میزان کربنات کلسیم کاسته می‌شود.

مقدار کربن آلی در خاک‌های مطالعه‌شده در دامنه صفر تا ۳/۰ درصد با میانگین ۱/۳ درصد می‌باشد. قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به عنوان نمایانگر مقدار شوری خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۰/۵ تا ۱۳/۰دسی زیمنس بر متر (میانگین ۲/۴ دسی زیمنس بر متر) می‌باشد. دامنه ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک‌ها از ۷ تا ۳۹ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم (میانگین ۲۲ سانتی‌مول بار در کیلوگرم) خاک می‌باشد که می‌توان به نوع و میزان رس و مقدار ماده آلی آن‌ها نسبت داد. همان‌طور که مشاهده می‌شود همه خاک‌ها دارای واکنش قلیایی ضعیف هستند که به دلیل آهکی بودن این خاک‌ها می‌باشد. دامنه تغییرات درصد رس خاک‌ها از ۲۱ تا ۴۵ درصد، سیلت خاک‌ها بین ۲۳ تا ۵۵ درصد و شن خاک‌های مورد بررسی بین ۱۳ تا ۴۹ درصد می‌باشد. بیشترین مقادیر رس، در خاک‌های آلفی‌سولز مناطق دارای رژیم رطوبتی و حرارتی زریک و مزیک وجود دارد که در قسمت‌های شمال و شمالی غربی استان فارس واقعاند. شیب کمتر و پایداری واحدهای فیزیوگرافی به تکامل بیشتر این خاک‌ها کمک نموده است. برعکس خاک‌های با بافت سبک‌تر به طور عمده در مناطق مرکز تا جنوب استان با رطوبت کمتر گسترش داشته‌اند (جدول ۲).

مهم‌ترین کانی‌های بخش رس خاک‌های مورد مطالعه شامل اسمکتیت، ایلیت، پالیگورسکیت، کلریت و کائولینیت می‌باشد (جدول ۲ و شکل ۲). فراوانی کانی اسمکتیت در مناطق با بارندگی زیاد و تبخیر و تعرق پایین (رژیم رطوبتی و حرارتی زریک و مزیک) زیاد می‌باشد، در حالی‌که در مناطق کم باران مقدار این کانی نیز کم می‌شود (۲۷). در خاک‌های مناطق شمالی استان، کانی اسمکتیت بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد پس از اسمکتیت کانی ایلیت و بعد از آن کانی کلریت فراوان‌ترین کانی‌های مورد مطالعه در این گروه هستند.

کانی‌های کلریت و ایلیت به عنوان کانی‌های اولیه برای تشکیل پدوژنیک بیشتر کانی‌ها در خاک‌های مناطق خشک در نظر گرفته

می‌شود (۱۶). کانی پالیگورسکیت در مناطق خشک‌تر وجود دارد و در مناطق با بارندگی بیشتر این کانی وجود ندارد و یا مقدار آن ناچیز است. این کانی‌ها در محیط‌های مختلفی مانند رسوبات دریایی و دریاچه‌ای، در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و در مناطق نزدیک به فعالیت‌های گرمایی وجود دارد (۳۱). همان‌طور که مشاهده می‌شود کانی پالیگورسکیت در مناطق خشک‌تر کانی غالب خاک است. هر سه منشاء توارث، تغییر شکل و نوتشکیلی برای حضور این کانی در خاک‌های جنوب ایران پیشنهاد شده است. با افزایش بارندگی پالیگورسکیت ناپایدار به اسمکتیت تغییر شکل می‌یابد (۱۷ و ۳۱).

اولیایی و همکاران (۳۱) و خرمالی و ابطحی (۱۷) رابطه معکوسی بین مقدار اسمکتیت و پالیگورسکیت در خاک‌های آهکی جنوب ایران به دست آوردند. در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران، کانی کلریت به مقدار فراوان یافت می‌شود که با توجه به مقدار زیاد این کانی در سنگ‌های مادریمی‌توان نتیجه گرفت که منشأ موروثی دارد. به علاوه مقدار زیاد اسمکتیت از آهک‌های مارنی به ارث برده شده است یا ممکن است از هوادیدگی و تغیر شکل ایلیت و پالیگورسکیت به وجود آمده باشد (۳۱). خرمالی و ابطحی (۱۷) بیان می‌کنند که کلریت و ایلیت اصلی‌ترین کانی‌های رسی خاک‌های انتی‌سولز مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و واریزه‌ای جنوب ایران می‌باشد. شکل ۲ منحنی پراش پرتو ایکس تعدادی از نمونه‌های رس در خاک‌های مطالعه شده رانشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات عمومی خاکرخ‌های مورد مطالعه

Table 1- General characteristics of the pedons studied

شماره خاک Soil No.	منطقه Location	رده‌بندی خاک Soil Taxonomy, 2014	رژیم رطوبتی Moist. Regime	رژیم حرارتی Temp. Regime	ارتفاع (متر) Elevation (m)	کاربری Land use	واحد فیزیوگرافی Physiographic Unit	مواد مادری Parent material
1	سپیدان Sepidan	Calcic Haploxeralfs	xeric	mesic	2204	مرتع Pasture	دشت مرتفع Plateau	آهکی Calcareous
2	آسپاس Aspas	Calcic Haploxeralfs	xeric	mesic	2096	کشت لوبیا Bean farm	دشت مرتفع Plateau	آهکی Calcareous
3	سپیدان Sepidan	Calcic Haploxeralfs	xeric	mesic	1980	آیش Fallow	دشت مرتفع Plateau	آهکی Calcareous
4	نی‌ریز Neyriz	Typic Haplocalcids	aridic	thermic	1599	باغ انار Pomegranate	کوه‌پایه Piedmont	آهکی Calcareous
5	آباده Abadeh	Calcic Petrogypsids	aridic	thermic	2056	کشت ذرت Corn farm	کوه‌پایه Piedmont	گچی-آهکی Gyps. Calcareous
6	لار Lar	Sodic Haplocambids	aridic	hyper thermic	854	مرتع Pasture	رسوبات رودخانه‌ای River plain	آهکی Calcareous
7	شیراز Shiraz	Typic Xerorthents	xeric	thermic	1848	مرتع Pasture	واریزه بادبزنی شکل Colluvial fan	آهکی Calcareous
8	فسا Fasa	Typic Calcixerepts	xeric	thermic	1450	باغ مرکبات Citrus	دشت دامنه‌ای Piedmont	آهکی Calcareous
9	داراب Darab	Typic Calciustepts	Aridic-ustic	htper thermic	1105	مزرعه گندم Wheat	دشت دامنه‌ای Piedmont	آهکی Calcareous
10	دژکرد Dezkord	Typic Calcixerepts	xeric	thermic	2231	مرتع Pasture	دشت مرتفع Plateau	آهکی Calcareous
11	شیراز Shiraz	Typic Xerorthents	xeric	thermic	1848	مرتع Pasture	واریزه بادبزنی شکل Colluvial fan	آهکی Calcareous
12	شیراز Shiraz	Typic Xerorthents	xeric	thermic	1789	مرتع Pasture	دشت دامنه‌ای Piedmont	آهکی Calcareous
13	لار Lar	Aridic Ustorthents	aridic	hyper thermic	1100	مرتع Pasture	دشت مرتفع Plateau	آهکی Calcareous
14	بیدزرد Bidzard	Typic Xerorthents	xeric	thermic	1494	مرتع Pasture	دشت دامنه‌ای Piedmont	آهکی Calcareous

جدول۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 2- Physico-chemical of the soils studied

شماره خاک Soil no.	کلاس بافت Textural class	Clay (٪)	Sand (٪)	Silt (٪)	OC (%)	CCE (%)	CEC ($cmol_{(+)}\ kg^{-1}$)	EC (ds/m)	pH	کانی‌شناسی Mineralogy
1	Clay loam	45	26	29	1	14	39	1.0	8.02	S>I=K>C> P
2	Silty loam	35	15	50	1.1	15	32	1.6	7.3	S>I=C>K
3	Silty loam	36	13	50	0.7	18	30	0.5	7.6	S>I=C
Average of Group 1		39^a	18^b	43^a	1^a	16^b	34^a	1^a	7.6^a	
4	Sandy loam	23	43	34	0.8	45	13	3.7	7.3	S>I=C>P
5	Silty loam	21	33	46	0.6	49	8	1.8	7.4	C>I=S=P
6	Silty loam	22	23	55	1	51	7	13	7.5	C>S>P>I
7	Clay loam	37	30	33	1	29	30	2.2	7.5	P>C>I>S>K
8	Sandy loam	26	49	26	1	48	19	1.2	7.9	P>I=C>S>K
9	Silty loam	31	29	40	2	53	24	1.2	8.2	P>C=S>I>K
10	Loamy	37	27	35	0	28	33	1.0	8	S>I=C>P>K
Average of Group 2		28^b	33^a	38^a	1^a	43^a	19^a	3^a	7.6^a	
11	Loamy	37	25	37	2	55	23	2.1	7.3	C>P>S>I>K
12	Sandy loam	27	49	23	1	66	22	0.9	7.9	C>P>I>S>K
13	Sandy loam	27	42	31	2	73	15	2.0	7.7	P>C>I>S>K
14	loamy	31	36	33	3	34	19	2.2	7.8	P>I>C>S>K
Average of Group 3		31^b	38^a	31^a	2^a	57^a	20^a	2^a	7.6^a	

CCE: کربنات کلسیم معادل؛ CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی؛ EC: قابلیت هدایت الکتریکی،P، پالیگورسکیت؛ C،کلریت؛ S، اسمکتیت؛ I، ایلیت؛ K، کائولینیت.

CCE (Calcium Carbonate Equivalent); CEC (Cation Exchangeable Capacity); EC (Electrical Conductivity); P (Palygorskite); C (Chlorite); S (Smectite); I (Illite); K (Kaolinite).

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.05$)

مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل و درصد نسبی هر کدام در جدول ۳ نشان داده شده است. به طور میانگین پتاسیم کل خاک ۵۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. از این مقدار پتاسیم موجود در خاک حدود ۸۴/۵-۶۹/۱ درصد آن در ساختمان کانی‌ها وجود داشته و به عنوان پتاسیم ساختمانی در نظر گرفته می‌شود.

شکل محلول پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه از ۲/۴ تا ۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. این شکل از پتاسیم به طور میانگین ۰/۲ درصد از پتاسیم کل خاک‌های مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد.کمترین آن در خاک شماره ۳ (در منطقه مرطوب سپیدان) و بیشترین آن در خاک شماره ۶ (در منطقه خشک لارستان) مشاهده شد. پتاسیم تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه نیز از۲۳۰ تا ۴۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده و به طور میانگین ۷ درصد از پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهد. کمترین آن در خاک شماره ۱۲ (منطقه شیراز با بافت شنی لومی) و بیشترین آن در خاک شماره ۲ (منطقه آسپاس) مشاهده شد. مقدار پتاسیم غیرتبادلی که شامل پتاسیم محلول و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم و اسید نیتریک جوشان می‌باشد در محدوده ۲۸۲ تا ۱۲۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۶۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که به طور میانگین ۱۲/۹ درصد از پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهند. کمترین آن در خاک شماره ۱۲ (منطقه شیراز با بافت شنی لومی) و بیشترین آن در خاک شماره ۲ (آسپاس) مشاهده شد. مقادیر پتاسیم کل در خاک‌های مورد مطالعه ۹۲۰۱-۲۳۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۴۹۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمترین آن در خاک شماره ۱۳ (لارستان با بافت شنی لومی) و بیشترین آن در خاک شماره ۳ (سپیدان با بافت سیلتی لومی) می‌باشد.

مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم شامل پتاسیم محلول، تبادلی، قابل استخراج با اسید نیتریک و کل نشان می‌دهد که دامنه تغییرات آن‌ها در خاک‌های مورد مطالعه نسبتاً زیاد می‌باشد. بیشترین میزان تغییرات در پتاسیم محلول دیده می‌شود که این به علت وجود عوامل بسیار متعددی است که می‌تواند روی مقدار این شکل از پتاسیم در کوتاه مدت اثر داشته باشد. غلظت پتاسیم در عصاره اشباع خاک‌ها عموماً تا بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نوسان است که مقادیر زیاد مربوط به مناطق خشک یا شور می‌باشد. مقدار پتاسیم محلول برای نواحی مرطوب بین ۱ تا ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر می‌باشد (۹). اثر مقدار پتاسیم موجود در محلول خاک بر عملکرد گیاهان بستگی به حضور سایر کاتیون‌ها، به ویژه کلسیم و منیزیم دارد (۲۲).

غلظت پتاسیم محلول خاک در درجه اول به سطح پتاسیم تبادلی مربوط نیست، بلکه با مقدار و نوع کانی‌های رسی در ارتباط است. در

خاک‌های رسی، غلظت پتاسیم محلول با افزایش مقدار پتاسیم تبادلی، به کندی افزایش می‌یابد، در حالی‌کـه در خـاک‌هـای شـنی، افـزایش مزبور با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (۱۵). همان‌گونه که ذکر شد مقادیر بالای این شکل از پتاسیم مربوط به خاک‌های با شوری بیشتر مناطق خشک‌تر است (خاک‌های ۴، ۵، ۶ و ۱۳).

جدول۳ - توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم در راسته‌های مختلف خاک‌های مورد مطالعه

Table 3- Distribution of different K forms of the soil studied

Soil no.	راسته Soil order	شکل‌های پتاسیم Potassium forms ($mgkg^{-1}$)					Potassium forms شکل‌های پتاسیم (٪)				Illite
		Solut.	Exch.	Non-exch.	Structural	Total	Solut.	Exch.	Non-exch.	Structural	٪
1	Alfisols	3.0	421	1107	6906	8437	0.03	4.9	13.1	81.8	25
2	Alfisols	4.1	436	1235	7255	8930	0.04	4.8	13.8	81.2	25
3	Alfisols	2.4	398	1020	7781	9201	0.02	4.3	11.0	84.5	30
Average of Group 1 میانگین گروه ۱		3^{c}	418^{a}	1121^{a}	7314^{a}	8856^{a}	0.03^{a}	4.6^{a}	12.6^{a}	82.5^{a}	26.6^{b}
4	Aridisols	11.0	243	790	4353	5397	0.20	4.5	14.6	80.6	20
5	Aridisols	12.2	244	857	4372	5485	0.22	4.4	15.6	79.7	20
6	Aridisols	46.0	251	689	4674	5660	0.81	4.4	12.1	82.5	15
7	Inceptisols	6.5	293	472	3726	4498	0.14	6.5	10.4	82.8	20
8	Inceptisols	6.5	238	367	2644	3256	0.19	7.3	11.2	81.2	20
9	Inceptisols	6.6	238	445	3223	3912	0.16	6.0	11.3	82.3	20
10	Inceptisols	9.3	321	623	3756	4709	۰/۱۹	6.8	13.2	79.7	20
Average of Group 2 میانگین گروه ۲		14^{a}	261^{b}	606^{b}	3821^{b}	4702^{b}	0.27^{a}	5.7^{a}	12.6^{a}	81.2^{a}	19.3^{a}
11	Entisols	7.0	257	312	1778	2354	0.29	10.9	13.2	75.5	10
12	Entisols	4.6	230	282	2008	2523	0.18	9.1	11.1	79.5	20
13	Entisols	13.6	299	401	1598	2312	0.58	12.9	17.3	69.1	15
14	Entisols	8.7	303	412	2270	2994	0.29	10.1	13.7	75.8	20
Average of Group 3 میانگین گروه ۳		8^{b}	298^{b}	352^{b}	1914^{c}	2546^{c}	0.27	10.7^{b}	13.8^{b}	74.9^{a}	16.2^{a}

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

جدول ٤- ضرایب همبستگی (r) بین شکل‌های مختلف پتاسیم و خصوصیات خاک.

Table 4- Coefficient of correlation (r) between K forms and soil properties

Property	CCE	Clay	Silt	Sand	CEC	EC	Illite	Potassium forms				
								Solu.	Exch.	Non-exch.	Structural	Total
CCE	1											
Clay	-0.66**	1										
Silt	-0.283	-0.140	1									
Sand	0.655**	-0.52*	-0.77**	1								
CEC	-0.69**	0.936**	-0.193	-0.434	1							
EC	0.202	-0.452	0.494*	-0.132	-0.565*	1						
Iliite	-0.72**	0.329	0.157	-0.064	0.532*	-0.398	1					
Solu.K	0.316	-0.53*	0.475*	-0.064	-0.64**	0.967**	-0.455	1				
Exch. K	-0.80**	0.703**	0.259	-0.66**	0.718**	-0.269	0.660**	-0.337	1			
Non-exch. K	-0.73**	0.267	0.554*	-0638**	0.324	0.010	·0.682**	-0.661	0.757**	1		
Structural K	-0.82**	0.362	0.569*	-0.71**	0.433	0.017	0.78**	-0.08	0.765**	0.947**	1	
Total K	-0.80**	0.362	0.567*	-0.71**	0.430	0.012	0.771**	-0.08	0.780**	0.961**	0.999**	1

*، ** به ترتیب یعنی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی دار می‌باشد

*,**statistically significant at 5 and 1% probabilty levels, respectively.

جدول ۴ نیز همبستگی بالایی را میان پتاسیم محلول و هدایت الکتریکی نشان می‌دهد (r = ۰/۹۶۷). مهم‌ترین عامل در تعیین مقدار پتاسیم محلول میزان آبشویی است هر چه مقدار آبشویی در خاک‌ها کمتر باشد غلظت پتاسیم محلول افزایش می‌یابد. اگرچه پتاسیم محلول در این خاک‌ها فقط درصد کمی از پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهد (میانگین ۰/۲۱ درصد) اما این می‌تواند در خاک‌های شور تا بیش از ۴ درصد از پتاسیم کل افزایش یابد. الزبیدی (۱) بیان کرد که مقدار پتاسیم محلول خاک عراق در محدوده ۲۳۴-۴ میلی‌گرم بر لیتر است. پتاسیم محلول در محدوده ۱۲۵/۶-۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های هند مشاهده شد (۶). به علت حساسیت پتاسیم محلول به تغییر عوامل محیطی مختلف، این شکل از پتاسیم با هیچ‌کدام از شکل‌های مختلف پتاسیم ارتباط معنی‌داری را برقرار نکرده است اما با مقدار رس ارتباط منفی و معنی‌داری را برقرار کرده است (جدول ۴).

شکل تبادلی پتاسیم به عنوان به آسانی قابل دسترس در گیاه در نظر گرفته می‌شود. دامنه تغییرات آن در خاک‌های مورد مطالعه از ۲۳۰ تا ۴۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متغیر است. عوامل متعددی بر پتاسیم تبادلی تأثیرگذار است، مانند: مقدار و نوع کانی‌ها، آبشویی، توزیع اندازه ذرات، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، پ‌هاش خاک، عمق لایه و وجود ترکیبات فسفات در خاک‌ها (۱۰، ۱۳و ۳۳).

جدول ۴ همبستگی بین شکل‌های مختلف پتاسیم و خصوصیات موثر بر توزیع این شکل‌ها مانند مقدار آهک، بافت خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی را نشان می‌دهد. در حالی که پتاسیم محلول فقط با مقدار سیلت در سطح ۵ درصد رابطه مثبتی نشان داد، مقدار پتاسیم تبادلی فقط با مقدار رس در سطح ۱ درصد رابطه مثبت و معنی‌دار و با میزان شن خاک در سطح یک درصد رابطه منفی نشان می‌دهد. همچنین میزان پتاسیم‌های کمتر در دسترس شامل غیر تبادلی، ساختمانی و کل در سطح ۵ درصد با میزان سیلت خاک همبستگی داشته‌است. بر این اساس به نظر می‌رسد که در حالیکه بخش رس خاک تامین‌کننده اصلی پتاسیم تبادلی در خاک‌های مطالعه شده می‌باشد، بخش سیلت خاک، در تامین پتاسیم‌های غیرتبادلی و کل نقش اساسی را به عهده داشته‌است. این امر تا حدودی بیانگر نقش مواد مادری خاک در تامین این اشکال می‌باشد. ذرات درشت شن نقش معنی‌داری در تامین شکل‌های مختلف پتاسیم عصاره‌گیری نداشته‌است. نجفی قیری (۲۷) در مطالعه صورت گرفته در خاک‌های جنوب ایران نتایج مشابهی را گزارش نمود.

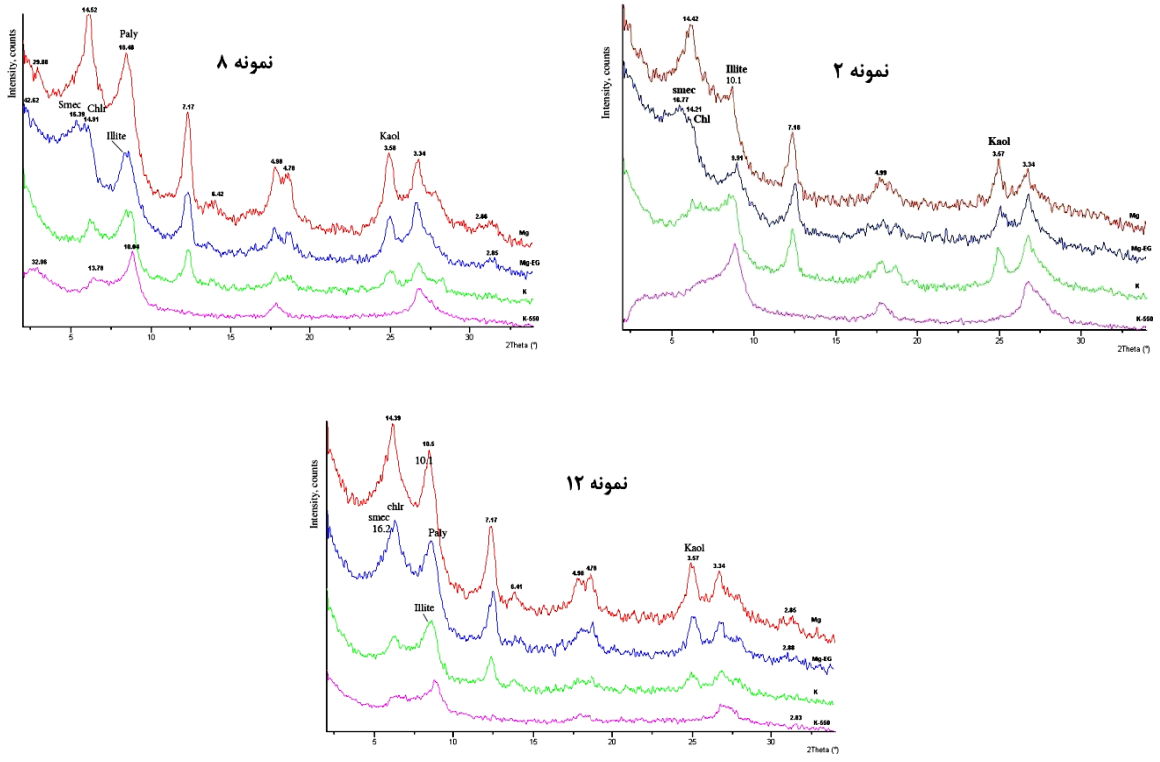
پتاسیم تبادلی با همه شکل‌های پتاسیم به جز پتاسیم محلول رابطه مثبت و معنی‌داری را نشان می‌دهد. بین مقدار کربنات کلسیم معادل و شکل‌های پتاسیم به جز محلول، مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و ایلیت رابطه منفی و معنی‌داری وجود دارد.همچنین بین میزان شوری و میزان پتاسیم محلول همبستگی بالایی مشاهده شد.

پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک از ۲۸۲ تا ۱۲۳۵میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۶۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متغیر است. پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک مجموع پتاسیم محلول، تبادلی و بخشی از غیرتبادلی را در بر می‌گیرد و طبق جدول ۴ ارتباط مثبت و معنی‌داری را با تمام شکل‌های پتاسیم به جز محلول نشان می‌دهد. همچنین با کربنات کلسیم رابطه منفی و معنی‌داری را برقرار کرده است و همچنین بین ایلیت و پتاسیم غیرتبادلی ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

مقادیر پتاسیم کل در خاک‌ها در دامنه ۲۳۰۰ (خاک ۱۳ منطقه لارستان) تا ۹۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (خاک ۳ منطقه سپیدان در راسته آلفی‌سول) متغیر است. پتاسیم کل عبارتست از مجموع پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی. پتاسیم ساختمانی درصد بالایی از پتاسیم کل خاک‌های مطالعه شده را تشکیل می‌دهد (به

طور میانگین ۷۹ درصد). پتاسیم غیرتبادلی نیز حدود ۱۲/۹ درصد پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این دو شکل پتاسیم بیش از ۹۱ درصد کل پتاسیم خاک‌های مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. این دو شکل از پتاسیم در بخش رس خاک بیشتر در ساختمان کانی ایلیت (گروه میکا) قرار دارند و همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین پتاسیم ساختمانی و پتاسیم کل با مقدار ایلیت موجود در خاک‌ها وجود دارد. کانی‌های میکایی که به طور عمده در ابعاد شن، سیلت و رس درشت هستند، نقش مهمی در تامین پتاسیم خاک دارند. همبستگی بالاتر میان میزان این کانی و شکل‌های ساختمانی و کل، بیانگر اهمیت بیشتر این کانی‌ها در تامین این اشکال پتاسیم است. پتاسیم ساختمانی همبستگی مثبت و معنی‌داری با پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی و کل دارد، اما با کربنات کلسیم به علت اثر رقت ارتباط منفی و معنی‌داری را نشان می‌دهد.

بین ایلیت و پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل رابطه مثبت و معنی‌داری مشاهده شده است. درصد ایلیت به عنوان تابعی از محتوای رس و با افزایش ایلیت مقدار پتاسیم موجود در کانی‌ها و پتاسیم قابل استخراج با اسیدنیتریک افزایش می‌یابد. کیمرین و همکاران (۴)، به این نتیجه رسیدند که منشأ پتاسیم غیرتبادلی خاک‌های منطقه گاواس ترکیه عمدتاً از ایلیت می‌باشد و پتاسیم تبادلی (قابل دسترس) از مواد آلی و ایلیت منشأ می‌گیرد. ماجومادر و همکاران (۲۱) و پال و همکاران (۳۴)، گزارش کردند که آزادسازی پتاسیم و مقدار پتاسیم غیرتبادلی خاک‌های قرمزلاتریتی و ورتی‌سولزهای هند با مقدار ایلیت ارتباط داشته است. نبی الهی و همکاران (۲۶)، با مطالعه خاک‌های غرب ایران نشان دادند که پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی در خاک‌هایی که دارای مقدار ایلیت کمتر (۳۰-۱۰ درصد) بودند، کمتر از خاک‌هایی با رس ایلیت بیشتر (۵۰-۳۰ درصد) است. گازل و همکاران (۱۲) و منگل و کرکبای (۲۴) نشان دادند که مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مناطق خشک از جمله ترکیه ارتباط مستقیم با مقدار ایلیت و پتاسیم تبادلی ارتباط مستقیم با مقدار ماده آلی و ایلیت خاک دارد. شکل ۳ نمودار همبستگی بین شکل‌های پتاسیم (تبادلی، غیرتبادلی و کل) با مقدار ایلیت (درصد) را نشان می‌دهد ارتباط مثبت و معنی‌داری بین شکل‌های پتاسیم با مقدار ایلیت وجود دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پتاسیم کل نسبت



شکل ۲ – منحنی‌های پراش پرتو ایکس برخی نمونه‌های رس در خاک‌های مطالعه شده

Figure 2- XRD diffractograms of some clay samples in the soils studied (samples 8 (left up), 2 (right up) and 12 (down))

به پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی با مقدار ایلیت همبستگی بالاتری را نشان می‌دهند و نمودار مربوط به پتاسیم کل از شیب بیشتری

برخوردار است، یعنی با افزایش مقدار ایلیت پتاسیم کل افزایش شدیدتری می‌یابد.

در مجموع با توجه به مطالب ذکر شده به طور کلی می‌توان خاک‌های مورد مطالعه را بر اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی، وضعیت پتاسیم و میزان تکامل خاک در سه گروه قرار داد:

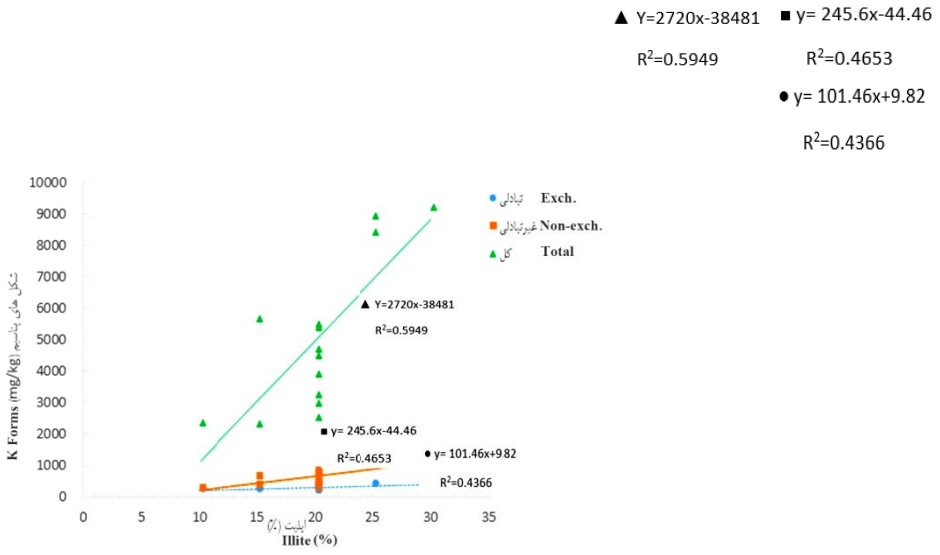
گروه یک: خاک‌های تکامل یافته (آلفی‌سولز) دارای آهک کمتر از ۲۰ درصد، کانی غالب اسمکتیت و ایلیت و میانگین پتاسیم کل آنها حدود ۸۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. این خاک‌ها دارای رژیم رطوبتی و حرارتی، زریک و مزیک بوده و ارتفاع آن‌ها بین ۲۲۰۴-۱۹۸۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این گروه از خاک‌ها در مناطق سپیدان و آسپاس در شمال و شمال غربی استان فارس واقع شده‌اند.

گروه دوم: خاک‌های نسبتاً تکامل یافته (اریدی‌سولز و اینسپتی‌سولز) دارای آهک بیشتر از ۲۰ درصد (میانگین ۴۳ درصد)، کانی غالب آن‌ها کلریت، پالیگورسکیت و ایلیت و میانگین پتاسیم کل آن‌ها حدود ۴۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بودند. این خاک‌ها دارای رژیم رطوبتی زریک و اریدیک و حرارتی ترمیک و هایپرترمیک بوده و ارتفاع آن‌ها بین ۲۲۳۱-۱۱۰۰ متر از سطح دریا می‌رسد. این گروه از خاک‌ها به طور عمده در مناطق جنوبی استان فارس واقع شده‌اند.

گروه سوم: خاک‌های بدون تکامل پروفیلی (انتی‌سولز) که دارای بیشتر از ۲۰ درصد آهک (میانگین ۵۷ درصد) و کانی غالب آن‌ها پالیگورسکیت، کلریت و ایلیت و میانگین پتاسیم کل آن‌ها حدود ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بودند. این خاک‌ها دارای رژیم رطوبتی و حرارتی، اریدیک و ترمیک بوده و ارتفاع این خاک‌ها بین ۲۰۵۶-۸۵۴ متر از سطح دریا می‌رسد. این گروه از خاک در مرکز به سمت جنوب استان فارس واقع شده‌اند.

جدول ۳ توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم و درصد نسبی هر کدام را نشان می‌دهد پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی به ترتیب ۱۰/۹-۴/۳ (میانگین ۷)، ۱۷/۳-۱۱/۰ (میانگین ۱۳) و ۸۴/۵-۶۹/۱ (میانگین ۷۹/۶) درصد از پتاسیم کل را به خود اختصاص داده‌اند. نجفی‌قیری و همکاران (۲۸)، در مطالعه بر روی برخی خاک‌های انتخابی استان فارس بیان کردند که شکل محلول پتاسیم می‌تواند تا حدود ۴/۳ درصد و پتاسیم تبادلی حدود ۱۰/۲-۱/۰ درصد از کل پتاسیم خاک را تشکیل دهد. همچنین اظهار نمودند که حدود ۱۱/۰ درصد از پتاسیم کل خاک به صورت غیرتبادلی می‌باشد.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد خاک‌های مورد مطالعه در ۴ راسته انتی سولز، اینسپتی‌سولز، اریدی‌سولز و آلفی‌سولز قرار گرفته‌اند. مقدار رس در خاک‌های انتی‌سولز به دلیل عدم تکامل،کمتر از خاک‌های دیگر است و مقدار رس در خاک‌های آلفی‌سولز به دلیل تکامل خاک زیاد می‌باشد (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین انجام شده (جدول ۳) خاک‌های انتی‌سولز، اینسپی‌سولز و اریدی‌سولز کمترین مقدار پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی را به خود اختصاص داده‌اند و در خاک‌های انتی‌سولز کمترین مقدار پتاسیم ساختمانی نسبت به آلفی‌سولزها (گروه ۱) مشاهده شد، زیرا مقدار کل رس آن‌ها از سایر خاک‌ها کمتر بوده و رس غالب نیز عمدتا پالیگورسکیت و کلریت بوده است.



شکل۳- نمودار همبستگی بین شکل‌های پتاسیم با مقدار ایلیت (درصد)

Figure 3- Correlation plot between K forms and illite content (%)

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که هر چه از مناطق با رطوبت کمتر به سمت مناطق مرطوب‌تر حرکت کنیم، نوع کانی‌های رسی نیز تغییر می‌کند، به طوری‌که از میزان پالیگورسکیت کاسته شده و به مقدار ایلیت و اسمکتیت افزوده می‌شود. با بررسی وضعیت پتاسیم خاک‌ها نیز مشاهده می‌شود که با تکامل خاک‌ها به سمت آلفی‌سولز همزمان با افزایش در میزان رس و تنوع کانی‌های رسی، بر میزان پتاسیم‌های تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی افزوده می‌شود. کاهش اثر رقت کربنات کلسیم در خاک‌های تکامل یافته نیز خالی از اهمیت نمی‌باشد. بنابراین عامل اقلیم با عوامل مؤثر آن بر تشکیل و تکامل خاک، اعم از دما و رطوبت در تنوع کانی‌شناسی و تغییرات عواملی چون عنصر تغذیه‌ای پتاسیم تأثیرگذار است. در مورد پتاسیم محلول به علت وجود املاح محلول و تأثیر سایر عوامل بر تغییر مقدار پتاسیم محلول، نمی‌توان به نتیجه صحیحی در مورد ارتباط آن با تحول خاک دست یافت.

پتاسیم ساختمانی روند زیر را در خاک‌های مختلف نشان داد:

آلفی‌سولز> اریدی و اینسپتی سولز > انتی‌سولز

خاک‌های گروه ۱ دارای مقدار پتاسیم غیرتبادلی بیشتری نسبت به گروه دو و سه می‌باشند در حالی‌که بین گروه دو و سه از این لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. به هر حال با توجه به مقادیر بالاتر ایلیت در گروه یک و ارتباطی که بین پتاسیم غیرتبادلی خاک‌ها و مقدار این کانی وجود دارد، این نتیجه‌گیری قابل توجیه می‌باشد. در مورد پتاسیم غیرتبادلی نیز روند مشابهی در خاک‌ها مشاهده شد. خاک‌هایی که دارای کانی‌های با محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم بیشتری هستند، پتاسیم را با قدرت بیشتری جذب کرده که به راحتی قابل تبادل نمی‌باشد. در نتیجه در چنین خاک‌هایی مقدار پتاسیم غیرتبادلی بیشتر است (۳۹). این امر دلیل تفاوت مقدار پتاسیم غیرتبادلی در این خاک‌ها است. همچنین تفاوت پتاسیم غیرتبادلی دلیلی بر تفاوت تعداد محل‌های جذب اختصاصی پتاسیم در این خاک‌ها می‌باشد.

بین مقدار پتاسیم تبادلی در خاک‌های گروه ۱ با دو گروه دیگر نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید. اولیایی و همکاران (۳۲)، در مطالعه وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان کهگیلویه، بیشترین مقدار پتاسیم ساختمانی، غیرتبادلی و تبادلی را در خاک‌های راسته آلفی‌سولز و همچنین بیشترین مقدار پتاسیم محلول را در راسته اینسپتی‌سولز مشاهده کردند. نجفی‌قیری و همکاران (۲۸) مشاهده کردند که مقادیر پتاسیم کل و ساختمانی در خاک‌های آلفی‌سولز و ورتی‌سولز استان فارس بسیار بیشتر از سایر خاک‌ها می‌باشد. همچنین پتاسیم قابل استخراج با اسیدنیتریک در خاک‌های آلفی‌سولز، ورتی‌سولز و مالی‌سولز بیشتر از اریدی‌سولز، اینسپتی‌سولز و انتی‌سولز بوده است.

نتایج تحقیقات زائرنوملی (۴۵) در بررسی تمام اشکال پتاسیم در برخی خاک‌های انتخابی استان گلستان نشان داد که خاک‌های مالی‌سولز و آلفی‌سولز بیشترین میزان پتاسیم تبادلی را دارند. مقادیر پتاسیم محلول در خاک‌های اریدی‌سولز بسیار بالا بوده و مهم‌ترین دلیل آن قرار گرفتن این خاک‌ها در محیط‌های خشک و بدون آبشویی است. نتایج به دست آمده در مورد شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه همچنین با نتایج نورسیامسی (۳۰) برای خاک‌های اردن، نبی‌الهی و همکاران (۲۶) برای خاک‌های غرب ایران همخوانی دارند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق به طور کلی نشان داد که خاک‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک جنوب ایران دارای منابع نسبتاً غنی از پتاسیم هستند و ارتباط تعادلی نیز بین همه شکل‌ها به جز شکل محلول پتاسیم وجود دارد. به نظر می‌رسد در این خاک‌ها مقدار کربنات کلسیم و ایلیت، از عوامل اصلی تعیین کننده مقدار شکل‌های پتاسیم هستند. خاک‌های دارای تکامل بیشتر (آلفی‌سول‌ها) به علت مقدار کربنات کلسیم کمتر در نتیجه آبشویی، محتوای پتاسیم بیشتری نسبت به سایر راسته‌ها داشته‌اند. از طرف دیگر تأثیر مواد مادری نیز در خاک‌های آهکی نباید نادیده گرفته شود. این تأثیر با توجه به میزان آهک، نوع کانی‌ها و میزان املاح محلول، بر میزان و تعادل بین شکل‌های پتاسیم با توجه به شرایط عوامل خاکساز اثرگذار می‌باشد. به طور کلی شاید بتوان گفت تکامل خاک‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده محتوای پتاسیم آن‌ها بوده و این امر پیش‌بینی وضعیت پتاسیم خاک‌ها را با توجه به میزان تکامل آن‌ها در مناطق مشابه محتمل می‌سازد. نتایج حاصل از این تحقیق و تحقیقات مشابه کمک قابل توجهی در مدیریت تغذیه‌ای خاک از نظر کاربرد و یا عدم کاربرد کودهای پتاسه و پیش‌بینی نیازسنجی این منابع با توجه به اطلاع از شرایطی چون رژیم رطوبتی، وضعیت تکاملی خاک، نوع کانی‌های رسی غالب در خاک و مقدار کربنات کلسیم می‌نماید. مطالعات گلخانه‌ای یا مزرعه‌ای به درک بیشتر ارتباط شکل‌های پتاسیم با پاسخ‌های گیاهی کمک می‌نماید.

سپاسگزاری

از همکاری سرکار خانم مهندس مولوی مسئول محترم آزمایشگاه علوم خاک که در انجام این تحقیق نویسندگان را یاری نمودند قدردانی می‌شود.

منابع

1- Al-Zubaidi A. 2003. Potassium status in Iraqi soils. Proceedings of the regional workshop: Potassium and water management in West Asia and North Africa. Edited by A.E. Johnston, International Potash Institute, pp. 129 – 142.

2- Barre P., Montagnier C., Chenu C., Abbadie L., and Velde B. 2008. Clay minerals as a soil potassium reservoir: observation and quantification through X-ray diffraction. Plant Soil, 302: 213–20.

3- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (ed.) Methods of Soil Analysis, part 2. American Society of Agronomy, Madison, Winscousin. pp. 891-901.

4- Cimrin K.M., Akca E., Senol M.B., and Kapur S. 2004. Potassium potential of the soils of the Gaves Region in Eastern Anatolia. Turk. Journal of Agriculture, 28: 259-266.

5- Conveys E.S., and Mclean E.O. 1969. Plant uptake and chemical extractions for evaluating potassium release characteristics of soils. Soil Science of American Journal, 33: 226-230.

6- Datta N.P., Khera M.S., and Ghosh A.B. 1966. Studies on the utilization of baric slag, blast furnace slag, and some indigenous phosphatic deposits in acid soils of Jorhat and Ranchi. Journal Indian Society of Soil Science, 20:263-269.

7- Darst B.C. 1992. Development of the potash fertilizer industry. Potash Review, subject 12, 12_{th} suite.

8- Davatgar N., Kavoosi M., Alinia M.H., and Peykan M. 2005. Evaluation of potassium statue and the effect of soil physicochemical properties in paddy soils of Guilan Province. Journal Water and Soil Science, 4:71-88. (in Persian with English abstract).

9- Esmailpour Fard N., and Givi J. 2007. Removal of nonexchangeable potassium from soil micaceous minerals as affected by organic acids. MSc. Thesis. Dept. of Soil Science, Shahrekord Univ. (in Persian with English abstract).

10- Fotyma M. 2007. Content of potassium in different forms in the soils of southeast Poland. Polish Journal of Soil. Science, 1: 19-39.

11- Ghosh B.N., and Singh R.D. 2001. Potassium release characteristics of some soils of Uttar Pradesh hills varying in altitude and their relationship with forms of soil K and clay mineralogy. Geoderma, 104: 135–140.

12- Guzel N., Buyuk G., and Übrikci H. 2001. Nonexchangeable and exchangeable potassium status of soils in relation to clay mineralogy and other soil properties in the Hilvan Area of Upper Mesopotamia in Southeastern Anatolia. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32 (17&18): 2877-2892.

13- 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.

14- Johns W.D., Grim R.E., and Bradley F. 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods.JournalSedimentary Petrol. 24: 242-251.

15- Jones U.S. 1978. Fertilizers and soil fertility. Printice-Hall of India.

16- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran. Clay Miner. 33: 561-575.

17- 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.

18- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X- ray diffraction analysis. Soil Science Society of American Journal, 37: 201-205.

19- Kolahchi Z., and Jalali M. 2005. Effect of soil structure, primary potassium and adsorption coefficient in potassium leaching from soil. Agricultural Research of Water, Soil and Plant, 5(1): 54-66. (in Persian)

20- 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.

21- Majumdar K.S., Sandy K., and Datta S.H. 2002. Potassium release and fixation behavior of mineralogically different soils of India. 11_{th} World Congress of Soil Science, pp. 14-21.

22- Malakouti M.J., and Homaie M. 2004. Fertility of arid soils (problems and solutions). Tarbiat Modares University Press, 2^{nd} Ed. 482 p. (in Persian)

23- Martin H.W., and Spark D.L. 1983. Kinetics of non- exchangeable potassium release from two coastal plain soils. Soil Science Society of American Journal, 47: 883- 887.

24- Mengel K., and Kirkby E.A. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5_{th} ed.: Kluwer. Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

25- Mesut Cimrin K., Akca E., Senol M., Buyuk G., and Kapur S. 2004. Potassium potential of the soils of the Gevas region in eastern Anatolia. TurkishJournal of Agriculture and Forestry, 28: 259-266.

26- Nabiollahy K., Khormali F., Bazargan K., and Ayoubi Sh. 2006. Forms of K as a function of clay mineralogy and soil development. Clay Minerals, 41: 739–749.

27- Najafi-Ghiri M. 2010. Study of morphological and mineralogical properties and potassium status of soils of Fars province. Ph.D. thesis, p. 222, Department of Soil Science, Shiraz University, Iran. (in Persian with English abstract).

28- Najafi-Ghiri M., Abtahi A., Owliaie H.R., and Jaberian F. 2010. Relationship between soil potassium forms and

mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. Australian Journal of Basic and Applied Science, 4(3): 434-441.
29- 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. 53: 9-579.
30- Nursyamsi D., Idris K. Sabiham S., Rachim D.A. and Sofyan A. 2008. Dominant soil characteristics influencing available potassium on smectitic soils. Indonesian Journal of Agriculture, 1(2): 121-131.
31- 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.
32- Owliaie H.R., Heydarmah S., Adhami E. and Najafi Ghiri M. 2014. Kinetics of nonexchangeable potassium release in calcareous soils of Kohgilouye Province. Journal Water and Soil Science, 68(2): 99-109. (in Persian with English abstract).
33- Pal Y., Wong M.T.F., and Gilkes R.J. 1999. The forms of potassium and potassium adsorption in some virgin soils from southwestern. Australian Journal of Soil Research, 37: 695-709.
34- 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. Applied Clay Science, 20:39–52.
35- Pashaie A. 1999. Quantitative and Qualitative evaluation of clay minerals of loess materials in Gorgan and Dasht region. Proceeding of 6th Iranian Soil Congress, Mashad Ferdowsi of University. 68-69.
36- Pratt P.F. 1965. Potassium. In: Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 1022–1030.
37- Rezapour S., Samadi A., Jafarzadeh A.A., and Oustan Sh. 2010. Impact of clay mineralogy and Landscape on potassium Forms in calcareous soils, Urmia Region. Journal of Agricultural Science and Technology, 129(4): 495-507.
38- Rich C.I. 1964. Effect of cation size and pH on potassium exchange in Nason soil. Soil Science, 98(2): 100-106.
39- Rich C.I. 1968. Mineralogy of potassium. PP. 79-108. *In*: V. J. Kimler, S. E. Younts and N. C. Brady (Eds.), Role of Potassium in Agriculture. American society of Agronomy. Madison, WI.
40- Rowell D.L. 1994. Soil Science: Methods and applications. Longman Scientific and Technical, UK.
41- Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook No. 60. Washington (DC): United States Department of Agriculture (USDA).
42- Sharpley A.N. 1990. Relationship between potassium forms and mineralogy. Soil ScienceSociety of America,52: 1023–1028.
43- Singh B., and Goulding K.W.T. 1997. Changes with time in the potassium content and phyllosilicates in the soil of the Broad balk continuous wheat experiment at Rothamsted. European Journal of Soil Science, 48: 651–659.
44- Sparks D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. Advances in Soil Science, 6: 1–63.
45- Zaernomeli S. 2007. Distribution of the different K pools and its relation with soil profile development and clay mineralogy in some selected soils of Golestan Province. M. Sc. Thesis in Soil Science. Soil Science Department. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 110p. (in Persian with English abstract).

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 172-185

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۵، ص. ۱۸۵-۱۷۲

Investigation of Different Forms of Potassium as a Function of Clay Mineralogy and Soil Evolution in Some Soils of Fars Province

N. Sadri[1] - H.R. Owliaie[2*] - E. Adhami[3] - M. Najafi Ghiri[4]

Received:05-08-2014
Accepted:09-03-2015

Introduction: The optimum and sustainable use of soil is only possible with a correct and complete understanding of its properties. Potassium (K^+) is an essential element for plant growth and is a dynamic ion in the soil system and its importance in agriculture is well recognized. According to increasing order of plant availability, soil K exists in four forms: mineral (5000-25000 ppm), nonexchangeable (50-750 ppm), exchangeable (40-600 ppm), and solution (1-10 ppm). K cycling or transformations among the K forms in soils are dynamic. The objectives of the present research were to study the relationship between different forms of potassium and clay mineralogy as well as soil evolution of 14 surface soil samples from some selected locations of Fars Province.

Materials and methods: Fars provinces, with an area of 122000 km^2 located in southern Iran. The elevation varies from 500 m to 4400 m above mean sea level. Mean annual precipitation ranges from about 350 mm to 850 mm. Mean annual temperature ranges from 10°C to 24°C. According to Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran, the soils comprise xeric, and ustic moisture regimes along with mesic, thermic and hyperthemic temperature regimes. Based on the previous soil survey maps of Fars province, 14 surface soil samples were collected. Routine physicochemical analyses and clay mineralogy were performed on soil samples. Soil reaction, texture, electrical conductivity, calcium carbonate, and gypsum were identified. Soluble potassium, exchangeable potassium, non exchangeable potassium, and mineral potassium were measured. The amounts of K forms in each sample were determined. Total K was determined following digestion (110°C) of soil with 48 % HF and 6 M HCl. Water soluble K was measured in the saturated extract. Exchangeable K was extracted with 20 ml 1.0 M NH_4OAc (pH 7.0) for 5 min. Nitric acid-extractable K was measured by extraction of a soil sample with boiling 1.0 M HNO3 for 1 h. Potassium was measured on all filtrated extracts by flame photometer. The content of clay minerals was determined semi-quantitatively, using peak areas on the diffractograms of ethylene glycol solvated specimens.

Results and discussion: The soils are all calcareous (average of 43% calcium carbonate equivalent) with relatively high clay contents (average of 34 %). The different forms of K including water soluble, exchangeable, HNO_3-extractable, and mineral K are also relatively high in the studied soils. Mineralogical analysis indicated that smectite, illite, palygorskite and chlorite, were the major minerals in the clay fractions. The results also showed that exchangeable, non-exchangeable and total potassium were in the range of 230 to 436, 282 to 1235, and 2312 to 9201 mg/kg^{-1}, respectively. The soils categorized into three groups based on the soil evolution, clay mineralogy, and total potassium. Well developed soils (Alfisols), slightly developed soils (Aridsols and Inceptisols), and non developed soils (Entisols), were categorized in groups of1, 2, and3. Except for soluble K, maximum of the other potassium forms were observed in group 1. Moreover, there was a high correlation between allpotassium forms andillite content, except for soluble potassium. Mineralogical results revealed that smectite and illite were the major clay minerals in Alfisols resulting high amount of available potassium. The differences among the soil groups in terms of clay percentages may be the results of differences in parent material. K concentration is greater in soils with higher content of calcium carbonate and this is resulted in the greater leaching of K in these soils. This is in consistent with the finding of the other authors, who concluded that calcite and gypsum have a positive effect on the concentration of K in soil solution and leaching of this element from soil.

Conclusion: The results of the present study indicated that the arid and semiarid soils of southern Iran have a relatively high content of K pools. Exchangeable and HNO_3-extractable K exist in equilibrium with each other, but the exchangeability of HNO_3-extractable K is greater in soils dominated with illite and montmorrilonite than

1, 2, 3-MSc. Student and Associate Professors, Soil Science Department, Yasouj University, Respectively
(*-Corresponding Author Email: owliaie@gmail.com)
4- Assistant Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Darab University

other soils dominated with chlorite and palygorskite. It found that calcium carbonate content had a negative effect on different soil K pools except for water soluble K. The relationship obtained in this study will be allowed determination of soil K pools from clay mineralogy and chemical and physical properties such as exchangeable K, clay content and calcium carbonate content.

Keywords: Illite, Soil evolution, Exchangeable potassium, Nonexchangeable potassium