

ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکی شیمیایی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های دشت قره باغ در استان فارس

غلامرضا زارعیان¹، محمد هادی فرپور، مجید حجازی و اعظم جعفری

دانشجوی دکتری بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ gh.zareian@areo.ir

استاد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ farpoor@uk.ac.ir

دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ mhejazi@uk.ac.ir

استادیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ a.jafari@uk.ac.ir

دریافت: 95/6/29 و پذیرش: 95/12/2

چکیده

ارتباط نزدیکی بین شکل‌های متفاوت پتاسیم در خاک و خصوصیات فیزیکی شیمیایی و کانی‌های رسی خاک وجود دارد. این تحقیق به منظور بررسی ارتباط بین شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکی شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های دشت قره باغ در استان فارس انجام گردید. برای این منظور 11 خاک‌رخ که دارای بیشترین تنوع بودند انتخاب و آزمایشات فیزیکی شیمیایی و شکل‌های مختلف پتاسیم برای همه افق‌ها و کانی‌شناسی رسی برای افق سطحی و زیر سطحی خاک‌رخ‌ها انجام گردید. شکل‌های پتاسیم شامل پتاسیم محلول، تبادل، غیرتبادلی، ساختمانی و کل تعیین شدند. مشاهدات صحرایی و بررسی نتایج آزمایشگاهی نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه در شش راسته انتی سولز، اینسپتی سولز، مالی سولز، آلفی سولز، هیستوسولز و اریدی سول قرار داشتند. کانی‌های عمده‌ی شناسایی شده شامل ایلیت، کائولینیت، ورمیکولیت، کلریت، اسمکتیت و پالیگورسکیت بودند. بطور کلی بجز پتاسیم محلول سایر شکل‌های پتاسیم با آهک و شن همبستگی منفی و با رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت داشتند. بیشترین مقدار پتاسیم محلول در منطقه مطالعه (4/4 میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های هیستوسول با درصد بالای کربن آلی (7/18 درصد) مشاهده گردید. کمترین مقدار تمام شکل‌های پتاسیم در منطقه مورد مطالعه مربوط به خاک‌های انتی سول با بافت سبک (لوم شنی) و آهک بالا (5/87 درصد) بود. در این مطالعه، بیشترین پتاسیم تبدلی (6/286 میلی گرم در کیلوگرم)، ساختمانی (1/6607 میلی گرم در کیلوگرم) و کل (4/7309 میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های آلفی سول ثبت شد. همچنین، بیشینه پتاسیم غیرتبادلی (70/505 میلی گرم در کیلوگرم) در خاک‌های اینسپتی سول دارای خاصیت ورتیک با درصد بالای رس (6/40 درصد) و آهک نسبتاً کم (37 درصد) مشاهده گردید. در خاک‌های مطالعه شده، کم بودن پتاسیم کل در هیستوسول‌ها باعث شد که درصد نسبت توزیع پتاسیم محلول، تبدلی و غیرتبادلی به پتاسیم کل بیشترین مقدار باشد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم محلول، پتاسیم تبدلی، پتاسیم غیرتبادلی، پتاسیم ساختمانی و کانی‌های رسی

¹نویسنده مسئول، آدرس: کرمان دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی، بخش علوم و مهندسی خاک

مقدمه

پتاسیم سومین عنصر پرمصرف برای رشد گیاهان بوده و میانگین آن در خاک‌های مختلف حدود یک درصد می‌باشد (اسپارکز و هوانگ، 1985). مقدار پتاسیم با بافت خاک ارتباط داشته و در خاک‌هایی با بافت یکسان میزان پتاسیم به جنس سنگ مادر و نوع کانی‌های آن وابسته است (نبی الهی و همکاران، 2006). میزان پتاسیم در خاک‌های رسی بیش از خاک‌های شنی است که ناشی از ظرفیت تبادل کاتیونی بالای خاک و تثبیت بیشتر پتاسیم در کانی‌های رسی است. این امر سبب نگهداری پتاسیم به شکل‌های قابل تبادل و غیر قابل تبادل (تثبیت شده) شده است (نجفی قیری و همکاران، 2010b).

پتاسیم در خاک در چهار شکل شامل شکل‌های محلول، تبدلی، غیر تبدلی و ساختمانی وجود دارد که تعادل موجود بین این شکل‌ها سبب تداوم تامین پتاسیم برای گیاه می‌شود (جلالی، 2006). این شکل‌ها قابلیت دسترسی متفاوتی در خاک داشته و به صورت زیر در حال تعادل با یکدیگر هستند: $K \leftrightarrow K \leftrightarrow K \leftrightarrow K$ (تبدلی) غیرتبدلی $\leftrightarrow K$ ساختمانی. شکل‌های محلول و تبدلی پتاسیم که قابلیت دسترسی بالایی در خاک دارند فقط بخش اندکی از پتاسیم کل خاک را تشکیل می‌دهند (اسپارکز و هوانگ، 1985). مقدار پتاسیم تبدلی در خاک‌های زراعی بین 40 تا 600 میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است. توزیع پتاسیم تبدلی در سطح رس‌ها بستگی به نوع و مقدار کاتیون‌های همراه، خصوصیات کاتیون‌های تبدلی و غلظت آنیون‌ها دارد (اسپارکز، 2000).

پتاسیم غیرتبدلی بخشی از پتاسیم کل خاک است که در بین لایه‌های کانی‌های میکایی قرار گرفته و قابلیت دسترسی کمی در خاک دارد. اگر چه پتاسیم غیر تبدلی قابلیت دسترسی کمی در خاک دارد ولی در کشاورزی فشرده برداشت محصول سبب خروج پتاسیم از بین لایه‌های کانی‌های میکایی شده و مقدار این شکل از پتاسیم در خاک کاهش می‌یابد. سیمونسون و همکاران (2009) گزارش کردند که با مصرف کودهای پتاسه مقدار میکا و ایلیت در خاک‌ها افزایش و در اثر کشت مداوم و عدم مصرف کودهای پتاسه، مقدار کانی‌های میکایی کاهش یافته و کانی‌های انبساط پذیر مانند اسمکتیت فراوانی بیشتری پیدا کردند. خاک‌هایی که دارای ایلیت و ریمیکولیت فراوان هستند مقدار بیشتری پتاسیم غیر تبدلی دارند (مارتین و اسپارکز، 1985).

پتاسیم ساختمانی بخش عمده پتاسیم خاک را شامل می‌شود به طوری که که مقدار آن در خاک‌های زراعی بین 5000 تا 25000 میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بوده و در

حدود 98 درصد پتاسیم کل خاک را شامل می‌شود. مقدار پتاسیم در خاک وابسته به ترکیب سنگ مادر و مرحله تکامل خاک است (اسپارکز و هوانگ، 1985). درانسونتایا و همکاران (2010) گزارش کردند که پتاسیم قابل استفاده می‌تواند از پتاسیم ساختمانی نیز فراهم گردد، بنابراین آزادسازی پتاسیم از کانی‌های خاک قادر است پتاسیم قابل استفاده را تحت تأثیر قرار دهد.

توزیع شکل‌های پتاسیم در خاک به ویژگی‌های مختلفی شامل بافت خاک، مقدار و نوع کانی‌های رسی، ظرفیت تبدلی کاتیونی خاک، مقدار ماده آلی خاک، نوع کاربری، رژیم رطوبتی و حرارتی خاک و تکامل خاک بستگی دارد (نبی الهی و همکاران، 2006، سرایان‌سارو و همکاران، 1999، سرایان‌سارو و همکاران، 2007). کیسر و ایزلتین (2005) گزارش کردند که راسته‌های مختلف خاک مقدار پتاسیم متفاوتی دارند که بعلاوه تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی آنها است. شارما و همکاران (2006) گزارش کردند تمام شکل‌های مختلف پتاسیم با درصد رس و سیلت نسبت مستقیم و با درصد شن نسبت عکس دارد. علت همبستگی منفی شکل‌های پتاسیم با آهک و شن به این دلیل است که رس جایگاه اصلی نگهداری پتاسیم بوده و با افزایش شن مقدار آن کاهش یافته است. وانگ و همکاران (2011) یک آستانه برای غلظت پتاسیم در محلول خاک پیشنهاد کردند که بیشتر از آن آستانه مانع آزادسازی پتاسیم غیر تبدلی از کانی‌های رسی خاک می‌گردد. این آستانه به نوع کانی رسی غالب در خاک و حضور یون‌های کلسیم و سدیم بستگی دارد. حضور کاتیون‌های مختلف در محلول خاک بر تبدیل شکل‌های مختلف پتاسیم به یکدیگر مؤثر است، یون کلسیم به علت اندازه و انرژی هیدراتوسین بالاتر نسبت به پتاسیم قادر به جایگزینی با پتاسیم بین لایه‌ای نبوده که این موضوع در خاک‌هایی با کانی ایلیت مشهود است (سرایان‌سارو و همکاران، 1999). گول‌دینگ (1987) گزارش کرد که نقاطی در روی کانی‌های رسی وجود دارد که پتاسیم روی آن‌ها تثبیت شده است. این نقاط شامل نواحی گوه‌ای شکل، شکاف‌ها، لبه‌ها و بین لایه‌های بعضی رس‌ها از قبیل ایلیت و ورمی کولیت است.

بررسی نوع کانی‌های خاک و شکل‌های مختلف پتاسیم برای درک بهتر ارتباط کانی‌ها با تثبیت و آزادسازی پتاسیم ضروری است. تبدیل شکل‌های مختلف پتاسیم به یکدیگر جزئی از دینامیک پتاسیم است و با گذشت زمان بخشی از پتاسیم ساختمانی و غیر تبدلی به پتاسیم محلول و تبدلی یا برعکس قابل تبدیل است. بررسی وضعیت شکل‌های مختلف پتاسیم و ارتباط بین آنها با برخی

تبادل کاتیونی به روش استات سدیم 1 نرمال (چاپمن 1965) است.

کانی‌شناسی رس

ابتدا عوامل سیمانی کننده شامل کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آهن حذف گردید (کیتریک و هوپ، 1963؛ و جکسون، 1975) پس از خالص‌سازی رس با استفاده از دستگاه پراش پرتوایکس (فیلیپس مدل 1130/00) منحنی تفرق بدست آمد که از آنها جهت شناسایی کانی‌ها استفاده شد. میزان نیمه کمی کانی‌ها با استفاده از مقایسه سطح زیر هر منحنی در تیمار منبزم-اتیلن گلیکول برای افق سطحی زیر سطحی هر خاکرخ محاسبه گردید.

شکل‌های مختلف پتاسیم

شکل‌های مختلف پتاسیم برای همه نمونه بررسی گردید که شامل پتاسیم محلول به روش عصاره‌گیری با آب (رهودوز، 1996)، پتاسیم تبدلی از طریق عصاره‌گیری با استات آمونیم 1 مولار در پ‌هاش 7 (مکلین و واتسون، 1985)، پتاسیم غیرتبدلی با اسید نیتریک جوشان 1 مولار (برات، 1965) و پتاسیم کل با هضم نمونه‌ها توسط اسید فلئوریدریک و تیزاب سلطانی (باکلی و کرنستون، 1971) بوده است. پتاسیم غیرتبدلی با کم کردن مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیم 1 مولار از پتاسیم عصاره‌گیری شده از طریق اسید نیتریک جوشان محاسبه گردید. پتاسیم ساختمانی نیز با کم کردن پتاسیم کل از پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک جوشان به دست آمد. پتاسیم موجود در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه شعله سنج (جنوی مدل پی.اف.پی 7) اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی خاک می‌تواند در مدیریت کودی مفید باشد. از آنجا که تاکنون پژوهش‌های اندکی پیرامون این موارد در خاک‌های مناطق جنوبی ایران انجام گرفته است، لذا دشت قره‌باغ به عنوان یکی از دشت‌های مهم استان فارس که به علت شرایط خاص هیدرولوژیکی دارای خاک‌های متنوعی است، جهت این تحقیق انتخاب گردید.

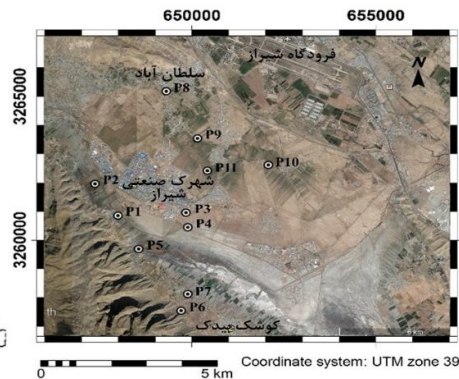
مواد و روش‌ها

مطالعات صحرائی

بر اساس گزارش و نقشه‌ی خاکشناسی دشت قره باغ (حسن شاهی، 1364) و با توجه به هدف مطالعه که بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، مورفولوژیکی و کانی‌شناسی خاک‌های دشت قره باغ و ارتباط آنها با پتاسیم خاک بود، 40 خاکرخ در مساحت حدود 24000 هکتار حفر و در نهایت 11 خاکرخ که دارای بیشترین تنوع در خصوصیات خاک بودند، به عنوان شاهد انتخاب گردید. خاکرخ‌های مورد بررسی از موقعیت‌های پستی و بلندی متفاوت انتخاب شد (شکل 1). از هر افق یک نمونه برداشت و پس از هوا خشک شدن و کوبیدن توسط چکش پلاستیکی، از الک 2 میلیمتری عبور داده شدند.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

این ویژگی‌های شامل: قابلیت هدایت الکتریکی خاک، پ‌هاش و درصد اشباع به روش عصاره اشباع (رهودوز 1996)، بافت خاک به روش هیدرومتر (جی و بادر، 1986)، درصد مواد خنثی شونده به روش تیتراسیون برگشتی (لوپرت و سوارز، 1996)، کربن آلی به روش اصلاح شده والکی بلک (نلسون و سامرز، 1982)، ظرفیت



شکل 1- منطقه مورد مطالعه و موقعیت خاکرخ‌های شاهد

جدول 1- طبقه‌بندی خاک‌ها و فراوانی نسبی کانی‌های رسی برخی خاک‌های مطالعه شده

خاک‌رخ	افق	عمق (cm)	اسمکتیت	ایلیت	کلریت	ورمی-کولیت	کائولینیت	پالی-گورسکیت	طبقه‌بندی خاک
1	Ap	0-30	+++	++	++	+	+	-	Typic Xerortents
	C	30-60	+	+++	++	+	++	-	
2	Ap	0-20	+++	+++	++	+	+	-	Vertic Haploxerepts
	Bw _{ss}	20-45	+++	+++	++	+	+	-	
3	A ₁	0-15	++	+++	++	+	+	+	Typic Haploxerepts
	Bw ₁	15-60	++	++	++	+	++	+	
4	A ₁	0-20	+++	++	++	+	+	+	Typic Haplosalids
	Bw ₁	20-40	+++	++	++	+	+	+	
5	Oi ₁	0-20	++	++	++	+	+	-	Hydric Haplofibrists
	Oi ₂	20-60	++	++	++	+	+	-	
6	A ₁	0-10	++	+++	++	+	+	-	Typic Xerortents
	C	10-45	++	++	+++	+	+	-	
7	Ap	0-20	+++	++	++	+	+	-	Typic Haploxerolls
	Bw _{g1}	20-45	++	+++	++	+	+	-	
8	Ap	0-20	++	+++	++	+	+	-	Calcic Haploxeralfs
	Bw	20-35	++	+++	++	+	+	-	
9	Ap	0-15	++	+++	++	+	+	-	Typic Calcixerepts
	Bw	15-50	++	+++	++	+	+	-	
10	Ap	0-20	++	+++	++	+	+	-	Typic Xerofluvents
	C ₁	20-50	++	+++	++	+	+	-	
11	Ap	0-20	++	+++	++	+	+	-	Typic Calcixerepts
	Bw	20-50	++	+++	++	+	+	-	

- : جزئی یا وجود ندارد، + : کمتر از 15 درصد، ++ : 15 درصد تا کمتر از 30 درصد، +++ : 30 درصد تا کمتر از 50 درصد، ++++ : 50 درصد و بیشتر

نتایج

سول‌ها و بیشترین آن 21/4 درصد در هیستوسول مشاهده گردید. بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (57/8 سانتی‌مول بر کیلوگرم) در هیستوسول‌ها و کمترین مقدار (7/2 سانتی‌مول بر کیلوگرم) در انتی-سول‌ها اندازه‌گیری شد (جدول 2).

کانی‌شناسی رسی

مقادیر نیمه کمی کانی‌های رسی غالب در خاک‌های مورد مطالعه در جدول 1 نشان داده شده است. بر این اساس کانی‌های عمده‌ی شناسایی شده شامل ایلیت، کائولینیت، ورمی‌کولیت، کلریت، اسمکتیت و پالیگورسکیت بود. فراوانی نسبی کانی‌های رسی در افق سطحی و زیر سطحی خاک‌های مناطق مورد مطالعه به صورت ایلیت < اسمکتیت < کلریت < ورمی‌کولیت < کائولینیت < پالیگورسکیت است (جدول 1). پراش نگاشت‌های مربوط به افق کمبیک یک خاک اریدی‌سول

خاک‌های دشت قره‌باغ در شش راسته انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول، هیستوسول، اریدی‌سول و آلفی‌سول قرار دارند (جدول 1). افق‌های مشخصه سطحی شامل هیستیک، مالیک و اکریک و افق‌های زیر سطحی شامل آرجلیک، کلسیک، کمبیک و سالیک در منطقه شناسایی گردید.

نتایج ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی نشان داد که پهاش خاک‌های مطالعه شده در محدوده خشتی و بازی ضعیف (7/1 تا 8/3) قرار دارد. بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی در مناطق پست و گود و در مناطقی که قبلاً بیشه و مرداب بوده‌اند، اندازه‌گیری شد ($0/29-32/1 \text{ dS m}^{-1}$). مقادیر آهک در نمونه‌های مورد مطالعه در دامنه 32 تا 87/5 درصد متغیر است. دامنه تغییرات رس، سیلت و شن به ترتیب 10-55، 16/58-2/8 و 10/8-61/2 درصد بود. کمترین کربن آلی 0/13 درصد مربوط به اریدی

بافت سنگین با رس‌های غالب ایلیت و اسمکتیت می‌باشد. کمترین پتاسیم تبدالی درافق زیر سطحی خاکرخ 1 (انتی‌سول) مشاهده گردید که دارای کربن آلی کم، بافت لومی شنی، ظرفیت تبادل کاتیونی کم و آهک خیلی زیاد است (جدول 2).

پتاسیم ساختمانی دارای میانگین 4284/6 میلی-گرم در کیلوگرم و دارای دامنه‌ی (6607/1 - 959/3) می‌باشد. پتاسیم کل دارای میانگین 4791/8 میلی‌گرم در کیلوگرم با دامنه‌ی (7309/4 - 1079/8) است بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم ساختمانی و کل مشابه پتاسیم تبدالی به ترتیب در افق تحتانی خاکرخ 8 (خاک آلفی‌سول) و افق زیر سطحی خاکرخ 1 (انتی‌سول) مشاهده گردید (جدول 3). پایین بودن پتاسیم کل در خاک‌های هیستوسول باعث شده نسبت پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی به پتاسیم کل بیشترین مقدار باشد (جدول 3).

جدول همبستگی بین تعدادی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شکل‌های مختلف پتاسیم نشان داد که پتاسیم محلول با هیچ‌یک از شکل‌های مختلف پتاسیم و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ارتباط معنی‌داری نداشت (جدول 4). اشکال مختلف پتاسیم شامل پتاسیم تبدالی، غیرتبدالی، ساختمانی و کل با یکدیگر ارتباط معنی‌داری داشتند. همچنین پتاسیم تبدالی، غیرتبدالی، ساختمانی و کل با آهک و شن همبستگی منفی و با ظرفیت تبادل کاتیونی و رس همبستگی مثبت نشان داد (جدول 4).

بحث و نتیجه‌گیری

پستی و بلندی در مناطق خشک و نیمه خشک که دارای مواد مادری مشابه هستند از مهمترین عوامل خاکساز می‌باشد که با اثر بر روی عوامل مختلف موجب به وجود آمدن خاک‌های متفاوت گردیده است. خاک‌های تکامل نیافته و جوان (انتی‌سول‌ها) بیشتر در مناطق شیب‌دار یا دشت‌های مسطح که تحت شرایط رسوبگذاری‌های متوالی قرار دارند، دیده می‌شود و دارای تحت رده‌های اورتننت و فلونت می‌باشد. خاک‌های با تکامل متوسط (اینسپتی سول و مالی سول) و زیاد (آلفی سول) در مناطق با شیب کمتر دیده شد. در مناطق پست و گود که تحت تأثیر آب زیر زمینی شور قرار داشته خاک‌های شور (اریدی‌سول) و در مناطقی که در زمان‌های گذشته بصورت بیشه و مرداب بوده و به تازگی با افت سفره آب زیرزمینی، خاک زهکشی شده، خاک‌های آلی (هیستوسول) بوجود آمده است و در حاشیه آن مناطق که در زمان‌های قبل‌تر از زیر آب خارج شده و رسوبات جدید روی آنها را پوشانده خاک‌های جوان انتی‌سول با مواد آلی مدفون شده فراوان تشکیل شده است. در مناطق

با شوری زیاد و افق آرجیلک یک خاک آلفی‌سول در شکل 2 آورده شده است. حضور پیک 1/05 و 0/64 نانومتر در تیمار اشباع با منیزیم و حذف آن با حرارت نشان دهنده کانی پالی‌گورسکیت است (شکل 2 الف). مشاهده پیک 1/01 نانومتر در تمام تیمارها نشان دهنده کانی ایلیت و مشاهده پیک 1/42 نانومتري در تیمار اشباع با منیزیم و افزایش آن در تیمار اتیلن کلیگول به حدود 1/6 نانومتر بیان‌گر کانی اسمکتیت است (شکل 2 الف و ب). مشاهده پیک 1/42 نانومتري در تیمار اشباع با منیزیم و کاهش شدت آن و افزایش شدت پیک 1/01 نانومتري در تیمار پتاسیم نشان دهنده وجود کانی ورمیکولیت است که با تثبیت پتاسیم بین لایه‌ها آن به کانی ایلیت تبدیل شده است، مشاهده پیک 1/42 نانومتر در تمام تیمارها نشان دهنده کانی کلریت و حضور پیک 0/72 نانومتر در تمام تیمارها بجز تیمار حرارتی، بیان‌گر کانی کائولینیت است (شکل 2 الف و ب) (دیکسون و وید 1992).

مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم

شکل‌های مختلف پتاسیم برای تمام نمونه‌های 11 خاکرخ انتخابی در جدول 3 نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در خاک‌های مورد مطالعه به طور میانگین 0/53 درصد پتاسیم به صورت محلول، 4/2 درصد به صورت تبدالی، 6/96 درصد به صورت غیرتبدالی، و 88/35 درصد به صورت ساختمانی می‌باشد.

میانگین پتاسیم محلول در خاک‌های منطقه 15/48 میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. بیشترین پتاسیم محلول (42/4 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در افق سطحی خاکرخ 5 (هیستوسول) با مقدار زیاد ماده آلی و کمترین مقدار پتاسیم محلول (3/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در افق زیر سطحی خاکرخ 6 (انتی‌سول) با بافت سبک و آهک خیلی زیاد مشاهده گردید (جدول 2 و 3).

پتاسیم تبدالی دارای میانگین 171/5 میلی‌گرم در کیلوگرم است. بیشترین پتاسیم تبدالی (286/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مربوط به افق زیر سطحی خاکرخ 8 (خاک آلفی‌سول) با مقدار بالای رس، سابقه کاربرد کودهای پتاسه و کانی‌های غالب اسمکتیت و ایلیت اندازه‌گیری شد. کمترین پتاسیم تبدالی (12/1 میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاکرخ 1 (انتی‌سول) مشاهده گردید که دارای کربن آلی کم، بافت لومی شنی، ظرفیت تبادل کاتیونی کم و آهک خیلی زیاد است (جدول 2 و 3).

میانگین پتاسیم غیرتبدالی 320/24 میلی‌گرم در کیلوگرم و دارای دامنه‌ی (94/9 - 505/7) است (جدول 3). بیشترین مقدار آن مربوط به افق سطحی خاکرخ 2 (خاک اینسپتی‌سول با خاصیت ورتیک) است، که دارای

پست با رس انبساط پذیر بالا، خاک‌هایی با درز و شکاف فراوان (اینسپتی‌سول با خاصیت ورتیک) مشاهده گردید.

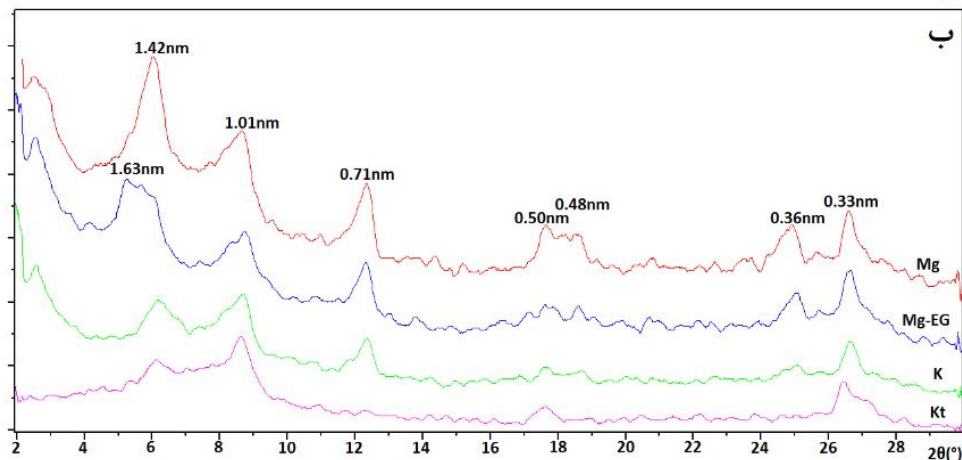
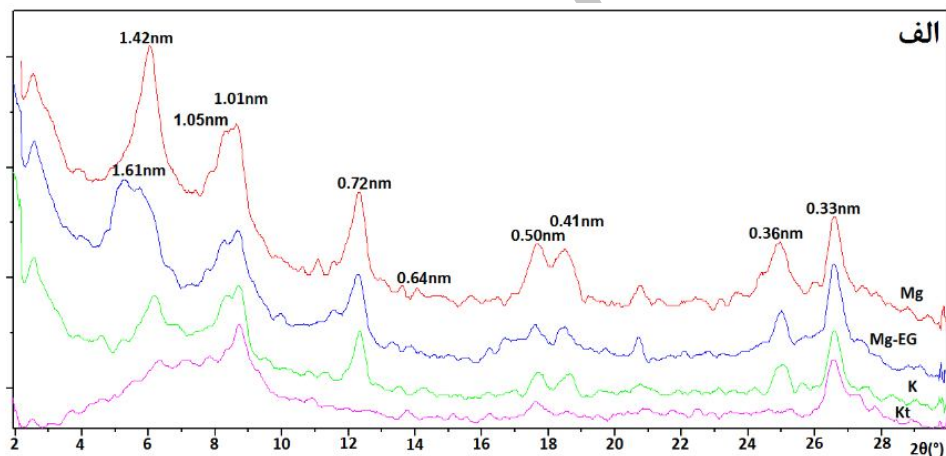
جدول 2- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک‌های منطقه

خاک- رخ	افق	عمق (cm)	pH	EC (dS m ⁻¹)	CCE (%)	OC (%)	CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	شن (%)	لای (%)	رس (%)
1	Ap	0-30	7/5	17/90	71/5	2/60	23/2	34/2	45/2	20/6
	C	30-60	7/7	8/80	87/5	0/22	7/2	61/2	28/8	10
	Oib ₁	60-85	7/3	21/10	46	11/90	36/8	46/6	36/2	17/2
	Ab ₁	85-110	7/1	23/80	65	6/30	28/8	34/2	48/6	17/2
	Ab ₂	110-150	7/3	20/0	70/5	5/20	24	41/4	43/2	15/4
2	Ap	0-20	7/2	5/36	37	0/58	23	18	41/4	40/6
	Bw _{ss}	20-45	7/5	9/10	32	1/12	27/1	27	34/2	38/8
	Bw ₁	45-80	7/8	6/26	72/5	0/76	17/3	59/4	16/2	24/4
	Bw ₂	80-120	7/8	6/25	70/5	0/13	8/4	43/2	41/4	15/4
	A ₁	0-15	7/8	4/45	49/5	0/92	11/5	37/8	46/8	15/4
3	Bw ₁	15-60	7/9	12/38	51/5	0/29	13/6	30/6	46/8	22/6
	Bw ₂	60-90	8/0	13/92	50/5	0/16	14/6	25/2	52/2	22/6
	C	90-130	8/0	18/72	45	0/18	15/4	23/4	52/2	24/4
	A ₁	0-20	7/9	3/65	45	0/80	26/8	16/2	43/2	40/6
	Bw ₁	20-40	8/3	17/76	38	0/22	28/4	21/6	41/4	37
4	Bw ₂	40-70	8/1	25/37	35	0/18	16/1	25/2	50/4	24/4
	Bz	70-120	7/7	32/20	39	0/13	20/4	19/8	46/8	33/4
	Oi ₁	0-20	7/5	3/58	61	14/43	45/8	44/2	36	19/8
	Oi ₂	20-60	7/5	14/73	63	15/50	48/4	37/8	46/8	15/4
	Oi ₃	60-100	7/4	29/10	45	18/70	53/8	41	41	18
5	Oi ₄	100-140	7/4	27/00	47	21/40	57/8	41/4	39/6	19
	A ₁	0-10	7/8	2/08	53/5	1/60	15/5	45	32/4	22/6
	C ₁	10-45	8/1	0/79	66	0/34	11/2	53/8	27/2	19
	C ₂	45-80	7/8	1/05	60/5	0/52	12/6	55/6	23/8	20/6
	Ap	0-20	7/8	1/9	61/5	2/6	15/8	37/2	45/2	17/6
6	Bwg ₁	20-45	7/9	1/07	58/5	0/9	23/2	16/5	44/1	39/6
	Bwg ₂	45-90	7/8	0/76	59	0/36	21/9	17	41/4	39/6
	Bwg ₃	90-140	7/8	1/1	60/5	0/18	23/2	15	42/2	42/8

ادامه جدول 2- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک‌های منطقه

خاک- رخ	افق	عمق (cm)	pH	EC (dS m ⁻¹)	CCE (%)	OC (%)	CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	شن (%)	لای (%)	رس (%)
8	Ap	0-20	7/4	3/55	46/5	1/07	21/5	18	43/2	38/8
	Bw	20-35	7/9	5/24	49/5	0/60	19/6	23/4	41/4	35/2
	Btk	35-80	8/2	8/50	43/5	0/36	30/8	14/4	30/6	55
	Bk	80-120	8/3	8/68	43/5	0/31	25/6	19/8	35/8	44/4
9	Ap	0-15	7/6	3/28	45/5	0/76	17/6	16/2	55/8	28
	Bw	15-50	7/7	3/54	44/5	0/47	19/8	19/8	45	35/2
	Bk ₁	50-90	7/7	2/81	47/5	0/26	16/6	27	43/2	29/8
	Bk ₂	90-140	7/7	4/22	49/5	0/16	15/2	27	46/8	26/2
10	Ap	0-20	7/7	3/3	47	0/38	15/4	22/8	51	26/2
	C ₁	20-50	7/9	6/58	50/7	0/43	13/4	19/2	58	22/8
	C ₂	50-80	7/9	6/6	48/2	0/15	16/6	10/8	58/8	30/4
	C ₃	80-120	7/8	7/8	48/7	0/28	18/8	10/8	56/5	32/5
	Ap	0-20	7/8	1/9	50/5	0/9	20/9	21/5	44	34/5
11	Bw	20-45	7/9	0/79	52/5	0/54	20/2	15/8	48	36/2
	Bk ₁	45-85	7/8	1/05	59/5	0/38	21/8	15/6	44/4	40
	Bk ₂	85-135	7/8	1/9	61/5	0/18	20/8	17/2	43	39/8

EC: هدایت الکتریکی، CCE: کربنات کلسیم معادل، OC: کربن آلی، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی



شکل 2- دیفراکتوگرام پراش پرتو ایکس خاک زیر سطحی خاکرغ 4 اریدی سول (الف) و خاکرغ 8 آلفی سول (ب)

جدول 3- مقادیر اشکال مختلف پتاسیم در خاک‌های منطقه

خاک‌رخ و افق	K محلول	K تبدلی	K غیرتبدلی	K ساختمانی	K کل	K محلول	K تبدلی	K غیرتبدلی	K ساختمانی
	درصد توزیع نسبت به پتاسیم کل				میلی‌گرم بر کیلوگرم				
90/10	23/59	109/03	299/91	3936/51	4369/04	0/54	2/50	6/86	90/10
88/84	13/49	12/06	94/90	959/32	1079/77	1/25	1/12	8/79	88/84
82/71	32/35	200/43	159/67	1877/40	2269/84	1/43	8/83	7/03	82/71
84/58	27/21	115/65	136/88	1534/79	1814/54	1/50	6/37	7/54	84/58
82/45	24/14	108/65	138/50	1274/87	1546/16	1/56	7/03	8/96	82/45
86/61	22/02	251/65	505/70	5042/38	5821/76	0/38	4/32	8/69	86/61
87/66	18/17	136/58	444/38	4255/75	4854/88	0/37	2/81	9/15	87/66
91/22	11/63	108/74	255/89	3909/0	4285/26	0/27	2/54	5/97	91/22
90/84	13/11	112/65	242/24	3651/34	4019/34	0/33	2/80	6/03	90/84
89/69	23/50	171/05	403/90	5205/39	5803/84	0/40	2/95	6/96	89/69
91/61	7/30	147/45	280/48	4753/01	5188/24	0/14	2/84	5/41	91/61
92/04	6/82	135/95	246/89	4505/84	4895/50	0/14	2/78	5/04	92/04
90/90	17/70	152/35	323/82	4933/63	5427/50	0/33	2/81	5/97	90/90
91/59	12/77	176/99	386/72	6282/07	6858/54	0/19	2/58	5/64	91/59
91/37	8/66	189/96	356/60	5878/77	6434/00	0/13	2/95	5/54	91/37
90/64	18/05	233/76	402/21	6330/14	6984/16	0/26	3/35	5/76	90/64
90/89	15/68	194/50	326/88	5355/41	5892/46	0/27	3/30	5/55	90/89
74/02	39/67	215/98	163/79	1195/10	1614/54	2/46	13/38	10/14	74/02
75/19	28/63	219/88	143/26	1187/10	1578/86	1/81	13/93	9/07	75/19
79/42	42/43	247/99	177/37	1804/85	2272/64	1/87	10/91	7/80	79/42
79/42	31/02	261/98	157/16	1736/94	2187/10	1/42	11/98	7/19	79/42
88/65	26/65	224/90	462/68	5581/27	6295/50	20/42	3/57	7/35	88/65
90/41	4/01	160/65	313/99	4513/49	4992/14	0/08	3/22	6/29	90/41
90/73	3/75	140/48	288/25	4235/19	4667/66	0/08	3/01	6/18	90/73
88/54	21/57	121/23	329/91	3651/20	4123/91	0/52	2/94	8/00	88/54
88/58	7/99	114/45	373/54	3848/0	4343/99	0/18	2/63	8/60	88/58
89/04	5/54	121/54	312/99	3576/88	4016/95	0/14	3/03	7/79	89/04
88/85	5/99	105/66	320/57	3444/69	3876/91	02/15	2/73	8/27	88/85
89/10	16/33	286/66	451/84	6172/67	6927/50	0/24	4/14	6/52	89/10
89/26	14/39	220/56	357/06	4921/24	5513/26	0/26	4/00	6/48	89/26
90/39	12/21	269/90	420/22	6607/10	7309/44	0/17	3/69	5/75	90/39
90/08	21/52	231/48	393/01	5867/25	6513/26	0/33	3/55	6/03	90/08
89/41	11/90	264/98	418/19	5866/66	6561/74	02/18	4/04	6/37	89/41
89/41	6/33	203/84	443/79	5521/02	6174/98	0/10	3/30	7/19	89/41

ایلیت و اسمکتیت دارای هردو منشأ پدوژنیک و توارثی است (خرمالی و ابطی، 2003). نتایج نشان داد که فراوانی ایلیت در نمونه‌های سطحی برداشت شده از مناطق زراعی با سابقه مصرف کود پتاسه نسب به نمونه‌های عمقی بیشتر است. به نظر می‌رسد که ایلیت به طور عمده به صورت موروثی به سطح خاک اضافه شده و مقدار کمی از تغییر کانی اسمکتیت تشکیل شده است. (تامسون و اکرانزیک، 2002).

مطالعات کانی‌شناسی نشان داد که به جز کانی پالی‌گورسکیت که فقط در خاک‌های شور دیده شد و نشان دهنده منشأ پدوژنیک آن است، پنج کانی دیگر در تمام خاک‌های مورد مطالعه مشاهده گردید. منشأ پدوژنیک یکی از روش‌های تشکیل کانی پالی‌گورسکیت در مناطق خشک و نیمه خشک است (ابطی، 1980؛ و فرپور و کرو، 2008). مقدار نسبی کانی‌های ورمیکولیت، کلریت و کائولینیت در همه خاک‌ها تقریباً ثابت است که نشان دهنده منشأ توارثی آنها است، در حالی که کانی

ادامه جدول 3- مقادیر اشکال مختلف پتاسیم در خاک‌های منطقه

خاک‌رخ و افق	K محلول	K تبدالی	K غیر تبدالی	K ساختمانی	K کل	K محلول	K تبدالی	K غیر تبدالی	K ساختمانی
3-9	4/91	172/95	316/67	4693/71	5188/24	0/09	3/33	6/10	90/47
4-9	5/15	142/12	295/64	4639/15	5082/06	0/10	2/80	5/82	91/28
1-10	9/99	151/10	405/44	4731/57	5298/10	0/19	2/85	7/65	89/31
2-10	8/99	109/54	354/10	3825/94	4298/56	0/21	2/55	8/24	89/01
3-10	7/54	130/43	370/88	4256/24	4765/09	0/16	2/74	7/78	89/32
4-10	6/65	119/76	359/65	4201/84	4687/91	0/14	2/55	7/67	89/63
1-11	18/34	242/65	426/40	6177/57	6864/98	0/27	3/53	6/21	89/99
2-11	11/79	188/99	415/77	5960/45	6576/99	0/18	2/87	6/32	90/63
3-11	6/43	142/54	295/88	5444/15	5889/0	0/11	2/42	5/02	92/45
4-11	5/14	175/98	316/98	5174/99	5673/09	0/09	3/10	5/59	91/22
حداکثر	42/43	286/66	505/70	6607/10	7309/44	2/46	13/93	10/14	92/45
متوسط	15/48	171/49	320/24	4284/59	4791/80	0/53	4/20	6/96	88/35
حداقل	3/75	12/06	94/90	959/32	1079/77	0/08	1/12	5/02	74/02

شکل‌های مختلف پتاسیم شامل تبدالی، تثبیت شده و ساختمانی در بخش رس بیشتر از پتاسیم موجود در بخش شن و سیلت است که این امر به علت قرار گرفتن کانی‌های غنی از پتاسیم در بخش ریز خاک است (نجفی و همکاران، 2012؛ نجفی و همکاران، 2010a؛ اجیبوی و اگونول، 2008). حسین پور و همکاران (2001) خاک‌هایی را که دارای بیشترین درصد رس و کانی اسمکتیت هستند به عنوان خاک‌هایی با بالاترین مقدار پتاسیم غیرتبدالی گزارش کردند. شارپلی (1989) گزارش کرد که در خاک‌های با کانی غالب اسمکتیت، پتاسیم ساختمانی بیشترین ارتباط را با مقدار رس نشان می‌دهد. افزایش مقدار ایلیت و اسمکتیت با بار لایه‌های بالا باعث افزایش شکل‌های مختلف پتاسیم (به جز پتاسیم محلول) گردیده است نتایج مشابهی توسط محققین مختلف گزارش شده است (آزادی و همکاران، 1395؛ امامی و همکاران، 1393؛ نجفی و همکاران، 2012؛ نجفی و همکاران، 2010a؛ خرمالی و همکاران، 1386).

سری‌انسارو و همکاران (2006)، در مطالعه انجام شده بر روی خاک رده های اینسپتی‌سول؛ الفی‌سول و ورتی-سول گزارش کردند بیشترین مقدار پتاسیم غیرقابل تبادل در خاک‌های با کانی غالب اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت آزاد گردید. افزایش نسبت پتاسیم ساختمانی به پتاسیم کل در این تحقیق نشان دهنده کمتر بودن هوادیدگی این خاک‌ها است که دلیل آن غالب بودن کانی ایلیت در خاک‌های منطقه است (آزادی و همکاران، 1395).

پژوهش‌های زیادی در ارتباط با جداسازی شکل‌های پتاسیم انجام شده است. اسپارکز و هوانگ (1985) نسبت شکل‌های مختلف پتاسیم به پتاسیم کل را این گونه بیان کردند: محلول (بسیار کم)، تبدالی (2-0/1) درصد، غیرتبدالی (2-10) درصد و ساختمانی (90-98) درصد. در این پژوهش نیز این موضوع در عمده خاک‌های زراعی منطقه بجز در خاک‌های آلی (خاک‌رخ 5) و افق‌هایی با کربن آلی خیلی زیاد (خاک‌رخ 1) مشاهده گردید. در خاک‌های با ماده آلی زیاد، درصد پتاسیم محلول و تبدالی افزایش و درصد پتاسیم ساختمانی کاهش یافت (خاک‌رخ 1 و 5). افزایش درصد پتاسیم تبدالی در افق‌های با کربن آلی زیاد می‌تواند ناشی از بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی آن خاک‌ها باشد (نجفی قیری و همکاران، 2010a). پتاسیم در ساختمان ماده آلی وجود ندارد و با افزایش ماده آلی پتاسیم کل کاهش می‌یابد. خاک‌های آلی در مقایسه با خاک‌های معدنی دارای پتاسیم ساختمانی و کل کمتری هستند و برخلاف فسفر و نیتروژن همبستگی معنی‌داری با پتاسیم در ترکیبات آلی وجود ندارد (اسپارکز و هوانگ، 1985).

نوع رس، مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی در مقدار شکل‌های پتاسیم مؤثر است. بیشترین مقدار پتاسیم تبدالی، غیر تبدالی، ساختمانی و کل در دو راسته آلفی‌سول و اینسپتی‌سول با خواص ورتیک که دارای کانی‌های غالب اسمکتیت و ایلیت هستند اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار شکل‌های پتاسیم در خاک‌های انتی‌سول مشاهده گردید.

جدول 4- همبستگی اشکال مختلف پتاسیم با یکدیگر و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

K کل	K ساختمانی	K غیر تبادلی	K تبادلی	K محلول	رس	شن	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربنات کلسیم معادل	
							1/000	1/000	کربنات کلسیم معادل
							-0/434**	0/624**	ظرفیت تبادل کاتیونی
						1/000	-0/594**	0/624**	شن
					1/000	-0/728**	0/864**	-0/484**	رس
				1/000	0/126	0/134	0/129	-0/161	K محلول
			1/000	0/317	0/486**	-0/394*	0/402*	-0/658**	K تبادلی
		1/000	0/761**	0/381*	0/512**	-0/521**	0/482**	-0/737**	K غیر تبادلی
	1/000	0/705**	0/884**	0/198	0/505**	-0/476**	0/466**	-0/697**	K ساختمانی
1/000	0/998**	0/744**	0/902**	0/225	0/515**	-0/484**	0/474**	-0/714**	K کل

* : معنی دار در سطح 5%، ** : معنی دار در سطح 1%

اریدی سول قرار دارند. کانی‌های عمدی شناسایی شده شامل ایلیت، کائولینیت، ورمیکولیت، کلریت، اسمکتیت و پالی‌گورسکیت می‌باشد. کمترین مقدار پتاسیم محلول، تبادلی، غیر تبادلی، ساختمانی و کل در منطقه مطالعه شده در خاک‌های انتی سول با بافت سبک و آهک زیاد مشاهده گردید. بیشترین پتاسیم تبادلی، ساختمانی و کل در خاک‌های آلفی سول و برای پتاسیم غیر تبادلی در خاک‌های اینسپتی سول با صفت ورتیک که دارای رس زیاد با کانی‌های غالب ایلیت و اسمکتیت، مشاهده گردید. بطور کلی به جز پتاسیم محلول سایر شکل‌های پتاسیم با آهک و شن همبستگی منفی و با رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی مثبت نشان داد. پتاسیم کل در خاک‌های هیستوسول اندک است که این امر باعث افزایش درصد نسبت توزیع پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی به پتاسیم کل گردیده است.

پتاسیم تبادلی، غیرتبادلی، ساختمانی و کل با آهک و شن همبستگی منفی و با ظرفیت تبادل کاتیونی و رس همبستگی مثبت نشان داد. این نتایج با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی دارد (امامی و همکاران، 1393؛ اجیبوی و اگونوال 2008؛ شارما و همکاران، 2006). در خاک‌های آهکی مقداری از ذرات خاک، آهک‌هایی در اندازه ذرات رس است که در نتیجه مقدار و رس‌های آلومینوسلیکات آنها بسیار کم می‌باشد. با افزایش شن مقدار رس به عنوان جایگاه اصلی پتاسیم کاهش یافته و این عوامل باعث شده با افزایش آهک و شن به علت اثر رقت، مقادیر شکل‌های مختلف پتاسیم کاهش یابد (نجفی و همکاران، 2012؛ نجفی و همکاران، 2010 a؛ شارما و همکاران، 2006).
بطور کلی خاک‌های مورد مطالعه در شش راسته انتی سول، اینسپتی سول، مالی سول، آلفی سول، هیستوسول و

فهرست منابع:

1. آزادی، ا.، م. باقرنژاد، ن. کریمیان، و ع. ابطحی، 1395. عصاره‌گیری پی در پی پتاسیم غیرتبادلی و رابطه آن با ویژگی‌های خاک، کانی شناسی و طبقه‌بندی خاک در برخی خاک‌های آهکی استان فارس. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) جلد 30، شماره 2، صفحه: 187-199
2. امامی، م.، ع. ابطحی، س. شاکری. 1393. بررسی رابطه شکل‌های مختلف پتاسیم و کانی‌های رس خاک در فیزیوگرافی‌های مختلف منطقه اسکان عشایر نورآباد ممسنی، استان فارس. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد چهارم، شماره دوم، صفحه: 205-222.
3. حسن‌شاهی، ح. (1368). مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی دقیق دشت قره‌باغ شیراز. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره 797. 108 صفحه.
4. خرمالی، ف. ک.، نبی‌الهی، ک.، بازرگان و ک. افتخاری 1386. بررسی وضعیت پتاسیم در راسته‌های مختلف خاک ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی خرکه کردستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد چهاردهم، شماره پنجم. صفحه 9-1.
5. Abtahi, A. 1980. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent materials under semiarid conditions in Iran. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44(2): 329-336.
6. Ajiboye, G.H. and J.A. Oqunwale. 2008. Potassium distribution in the sand, silt, and clay separation of soils developed over talc at Ejibia, Kogi state, Nigeria. *World J. Agric. Sci.* 4(6):709-716.
7. Buckley, D.E., and R.E. Cranston. 1971. Atomic absorption analysis of 18 elements from a single decomposition of alum inosilicate. *Chem. Geol.* 273-284.
8. Chapman, H. D., 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. In: Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, part 2. Second Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI.
9. Darunsontaya, T., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne and R. J. Gilkes. 2010. The kinetics of potassium release to sodium tetra phenyl boron solution from the clay fraction of highly weathered soils. *Applied Clay Science*, 50(3):376-385.
10. Dixon, J. B., and S.B. Weed. (1992). *Minerals in soil environments*. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, U.S.A. 1244p.

11. Farpoor, M. H., and H. R. Krouse. (2008). Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, central Iran. *Geoderma*, 146(1): 283-290.
12. Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. PP. 383 – 411. In A.L. Page (ed.). *Methods of soil analysis, Part1, Physical and mineralogical methods*. Second Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Madison, WI.
13. Goulding, K. W. T. 1987. Potassium fixation and release. In Proc., 20th Colloquium of the international Potash Institute, Berne, Switzerland, 20: 134- 156.
14. Hosseinpour A., M. Kalbasi and H. Khademi. 2001. Kinetics of non-exchangeable K release in soil and soil components of Gilan Province. *Iran Soil and Water Journal*, 14: 112-119.
15. Jackson, M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis Advanced Course*. Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison, WI.
16. Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma*, 135: 63-71.
17. Kayser, M., and j. Isselstein. 2005. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass and Forage Science*, 60(3): 213-224.
18. Kittrick, J.A., and E.W. Hope. 1963. A procedure for the particle-size separation of soils for x-ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96(5): 319-325.
19. Khormali, F., and A. Abtahi. 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals*, 38(4): 511-527.
20. Loeppert, R. H., and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum, PP: 437-474. In: Sparks, D. L. (ed) *Methods of soil analysis, part3*. Second Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI.
21. Martin, H. W. and D. L. Sparks. 1985. "On the behavior of non-exchangeable potassium in soils." *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 16:133-162
22. Mc Lean, E. O., and M. E. Watson. (1985). Soil measurements of plant-available potassium. *Potassium in agriculture, (potassiuminagri)*, 277-308.
23. Nabiollahy, K., F. Khormali, K. Bazargan and Sh. Ayoubi. 2006. Forms of K as a function of clay mineralogy and soil development. *Clay Minerals*, 41(3): 739-749
24. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, F. Jaberian and H.R. Owliaie. 2010a. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3): 434-441.
25. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi and F. Jaberian. 2010b. Factors affecting potassium release in calcareous soils of southern Iran. *Soil Research*, 49: 529–537.
26. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi and F. Jaberian. 2012. Potassium release from sand, silt and clay fractions in calcareous soils of southern Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.* 58(12): 1439-1425.
27. Nelson, D. W., and L. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 539- 579. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, Second Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI.
28. Pratt, P.F. 1965. Potassium. 1022–1030. In: C. A. Black. *Methods of Soil Analysis, part 2*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
29. Rhodes, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP: 417 – 435. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. SSSA Book Series No. 5. ASA, Madison, WI.
30. Sharply, A.N. 1989. Relationship between forms of potassium with mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1023-1027.

31. Sharma, R. R., S. S. Mukhopadhyay and J. S. Sawhney. 2006. Distribution of potassium fractions in relation to landform in a Himalayan catena. *Arch.Agron. Soil Sci.* 52(4): 469-476.
32. Simonsson, M., S. Hillier and I. Oborn. 2009. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. *Geoderma*, 151(3): 109-120.
33. Sparks, D.L. 2000. Bioavailability of soil potassium. *Handbook of Soil Science*, 38-52.
34. Sparks, D.L., and P.M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. *Potassium in Agriculture*, 16, 238-249.
35. Srinivasarao, C., A. Swarup, A. Subba Rao, V. Raja Gopal .1999. Kinetics of nonexchangeable potassium release from a Tropaquept as influenced by long-term cropping, fertilization, and manuring. *Australian journal of soil research*. 33: 317-328.
36. Srinivasarao, C., T. R. Rupa, A. Subba Rao, G. Ramesh and S. K. Bansal. 2006. Release kinetics of nonexchangeable potassium by different extractants from soils of varying mineralogy and depth. *Communications in soil science and plant analysis*, 37(3-4): 473-491.
37. Srinivasarao, C., R. N. Singh, A. N. Ganeshamurthy, G. Singh and A. Masood. 2007. Fixation and recovery of added phosphorus and potassium in different soil types of pulse-growing regions of India. *Commun. Soil Sci.Plant Anal.* 38: 449-460
38. Thompson, M. L., and L. Ukrainczyk. 2002. Micas. p. 431-466. In J.B. Dixon, and D. Schulze (ed.) *Soil Mineralogy with Environmental Applications*. Soil Science Society of America. Book Ser. 7. Madison, WI.
39. Wang, H. Y., Q. H. Shen, J. M. Zhou, J. Wang, C. W. Du, and X. Q. Chen. 2011. Plants use alternative strategies to utilize nonexchangeable potassium in minerals. *Plant and soil*, 343(1-2): 209-220.

Archive SID

Relationship of Potassium Forms with Soil Physicochemical Properties and Clay Mineralogy in Ghrehbagh Plain, Fars Province

G. R. Zareian¹, M. H. Farpoor, M. Hejazi and A. Jafari

PhD Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran; E-mail: gh.zareian@areo.ir

Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran; E-mail: farpoor@uk.ac.ir

Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran; E-mail: mhejazi@uk.ac.ir

Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran; E-mail: a.jafari@uk.ac.ir

Received: September, 2016 & Accepted: February, 2017

Abstract

Different forms of potassium (K) in soils are closely related to clay minerals and soil physicochemical properties. The present research was conducted to investigate the relation between soil physicochemical and mineralogical properties with different forms of K in soils of Ghrehbagh plain, Fars Province. Eleven soil pedons with the maximum soil variation were selected. Clay mineralogy was determined for surface and subsurface horizons of each pedon, where physicochemical characteristics and different forms of K were analyzed for all horizons. Soluble, exchangeable, non-exchangeable, and structural K were among different forms of potassium studied. Entisols, Inceptisols, Mollisols, Alfisols, Histosols, and Aridisols were identified. Illite, kaolinite, vermiculite, chlorite, smectite and palygorskite were the dominant clay minerals investigated. Different forms of K (with the exception of soluble form) showed negative correlation with sand and calcium carbonate contents, but a positive correlation with clay and cation exchange capacity (CEC). In the studied area, the highest amount of soluble K (42.4 mg.kg^{-1}) was observed in Histosols with a high percentage of organic carbon (18.7%). Results of the study showed that the lowest amounts of all different forms of K were found in Entisols with sandy loam texture and high CaCO_3 content (87.5%). On the other hand, the highest amount of exchangeable (286.6 mg.kg^{-1}), structural ($6607.1 \text{ mg.kg}^{-1}$), and total (7309.4) K were observed in Alfisols. In the studied area, maximum non-exchangeable K (505.7 mg.kg^{-1}) was measured in Inceptisols with Vertic properties, high clay (40.6 %) and moderately low CaCO_3 (37%) contents. Total K contents in Histosols were low, that is why the ratios of soluble, exchangeable, and non-exchangeable K contents to total K were the highest among other studied soils.

Keywords: Clay minerals, Exchangeable K, Non-exchangeable K, Structural K, Soluble K

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran