اثرات تر و خشک شدن و سیستم‌های کشت بر تثبیت پتاسیم در برخی از خاک‌ها و رس‌های خوزستان

سیروس جعفری [۱] و مجید باقرنژاد [۲]

چکیده

سیستم کشت تک محصولی نیشکر(*Saccharum officinarum* L.) و گیاهان زراعی دیگر بدون کاربرد کود پتاسیمی سالیان زیادی است که در جنوب غربی ایران ادامه دارد. با وجود تخلیه مقدار زیادی از پتاسیم خاک توسط گیاهان زراعی، تاکنون پاسخی به مصرف کودهای پتاسیمی در این اراضی گزارش نشده است. آزمایشی با هدف بررسی اثر تر و خشک شدن خاک بر پتاسیم قابل جذب گیاه و نیز افزایش پتاسیم قابل جذب خاک پس از افزودن پتاسیم به خاک و رس‌های آن طراحی شد. نتایج نشان داد که برخلاف خاک‌ها بایر، کانی‌های رسی قابل انبساط در خاک‌های کشت شده تشکیل شده است. عدم وجود این نوع کانی‌ها در اراضی کشت نشده بیانگر نوتشکیلی این رس‌ها در خاک‌های کشت شده در اثر کشت و آبیاری بود. ۳۰ بار تر و خشک کردن خاک نمونه‌های سطحی اراضی تحت کشت نیشکر، تناوبی و بایر در مجاورت پتاسیم، پتاسیم قابل جذب خاک را از ۱۳۳، ۲۲۶ و ۱۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب به ۲۶۶، ۴۴۷ و ۶۲۸ افزایش داد. این نتایج نشان داد که با وجود تثبیت زیاد پتاسیم در لایه سطحی خاک تحت کشت به‌ویژه نیشکر، مقدار پتاسیم قابل جذب این خاک‌ها زیاد شده است. تثبیت پتاسیم توسط لایه‌های عمقی خاک کمتر از لایه سطحی بود. هم‌چنین پس از افزودن پتاسیم به خاک، میزان تثبیت آن با افزایش دفعات تر و خشک کردن، روند نزولی داشت. تثبیت پتاسیم در خاک‌ها در راستای میزان تغییرات مینرالوژی خاک‌های مذکور و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی بود. برای رس‌های جداسازی شده از این خاک‌ها نیز تثبیت پتاسیم به بیشترین میزان در لایه سطحی رخ داد. اختلاف معنی‌داری از لحاظ مقدار تثبیت پتاسیم توسط رس‌های خاک‌های مذکور برای نوع کشت و عمق در سطح ۱٪ ملاحظه گردید. مقدار زیاد تثبیت پتاسیم به کانی‌های رسی ایلیت تخلیه شده از پتاسیم توسط کشت و کار نسبت داده شد به‌طوری که پس از قرار دادن این رس‌ها در مجاورت پتاسیم تثبیت آن، کانی‌های شبه میکایی در این رس‌ها تشکیل شده بود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تثبیت، نیشکر، رس، ظرفیت تبادل کاتیونی

مقدمه

تثبیت پتاسیم فرایند نسبتاً پیچیده‌ای است که محققین بسیاری به آن پرداخته‌اند. خشک شدن کانی میکا هم زمان که سبب آزاد شدن پتاسیم بین لایه‌ای کانی می‌شود، می‌تواند باعث

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کرمانشاه و در حال حاضر استادیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، خوزستان
۲. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

تثبیت پتاسیم در بین لایه‌های کانی نیز گردد. تثبیت و یا آزادسازی پتاسیم به غلظت پتاسیم در محلول خاک بستگی دارد (۳۵). تثبیت پتاسیم از طریق دو مکانیزم عمده صورت می‌گیرد: در مکانیسم اول پتاسیم در فضای شش ضلعی بین لایه‌های چهاروجهی (Tetrahedral) کانی‌های ۲:۱ قرار می‌گیرد. این نوع تثبیت پتاسیم سبب تشکیل کانی‌های شبه میکا (Mica-like) در رس‌های ایلیت تخلیه شده می‌شود (۹). دومین مکانیزم تثبیت از طریق تشکیل ترکیبات غیر محلول پتاسیم به‌خصوص آلومینوسیلیکات‌ها می‌باشد. در pH های بالا(قلیایی) تشکیل این ترکیبات تسریع می‌شود(۹). عوامل مؤثر بر تثبیت پتاسیم توسط کانی‌ها عبارت‌اند از نوع کاتیون‌های اشباعی و سیکل‌های تر و خشک شدن. رس‌های اشباع از Mg^{2+}، Ca^{2+} و Na^{+} ظرفیت بیشتری برای تثبیت یون‌های اشباع شده H^{+}، NH_4^{+} و K^{+} را دارند. افزایش برخی از کودهای معدنی و آلی سبب کاهش تثبیت پتاسیم در خاک‌های سطحی می‌شود(۱۴). اولک و کاسمن گزارش کردند که اضافه کردن اسیدهای هیومیک محلول در خاک‌های ورمی‌کولیتی، ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک را کاهش و میزان پتاسیم قابل تبادل خاک را افزایش می‌دهد(۳۱). چهار ساعت پس از افزایش اسید هیومیک محلول، پتاسیم تبادلی و قابل عصاره‌گیری افزایش یافت. این امر به واکنش تبادلی سریع ترکیبات آلی و پتاسیم نسبت داده شد نه به تخریب و تجزیه کانی‌ها. این محققین نتیجه‌گیری کردند که در خاک‌های جوان غنی از مواد آلی از جمله اسید هیومیک محلول، که ظرفیت تثبیت پتاسیم بالقوه بالایی نیز داشته باشند، مواد آلی نقش مهمی در قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه دارد(۳۱). در اراضی تحت کشت، کاربرد کودهای پتاسیمی علاوه بر تامین نیاز گیاه، سبب دوام و پایداری برخی از کانی‌های رسی نیز می‌شود(۱۴).

قریشی با افزودن ۴۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار (معادل ۵/۱۲ میلی اکی والان پتاسیم در کیلوگرم) به خاک رسی سیلتی حاوی کانی‌های ایلیت و ورمی کولیت اشباع از پتاسیم با سابقه کشت طولانی، تنها ۲۰ تا ۴۰ درصد تثبیت پتاسیم اضافه شده را مشاهده نمود (۱۴). در حالی که در خاک دیگری با همان کانی‌ها و درجه اشباع کمتر پتاسیم، ۸۰ –۷۰ درصد از پتاسیم اضافه شده توسط خاک تثبیت شد.

رفاهی در بررسی ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک‌های اسیدی و آهکی ایران با تر و خشک کردن، افزایشی را در ظرفیت تثبیت پتاسیم با افزایش غلظت پتاسیم تا حد معینی گزارش نمود(۷). حسین پور و کلباسی در بررسی تثبیت و آزادسازی پتاسیم در رس‌های فیلوسیلیکات خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران گزارش کردند که پتاسیم تثبیت شده خاک با افزایش غلظت پتاسیم به‌کار رفته افزایش یافت(۴). آنان میانگین تثبیت پتاسیم رس‌های مورد مطالعه را بین ۵/۴۲ تا ۱۴/۶۷ سانتی مول در کیلوگرم گزارش کردند. آنان هم‌چنین نشان دادند که تثبیت پتاسیم با گنجایش تبادل کاتیونی کل رس هم‌بستگی معنی‌داری دارد. بابید و همکاران در بررسی ظرفیت تثبیت برخی از خاک‌های مراکش گزارش کردند که تثبیت پتاسیم توسط رس‌ها هم‌بستگی معنی‌داری با گنجایش تبادل کاتیونی کل رس‌ها دارد یعنی این‌که خاک‌های با CEC بیشتر مقدار بیشتری K^{+} را تثبیت می‌کنند(۱۰).

کشت مداوم نیشکر در هفت‌تپه در طی بیش از ۴۰ سال (با متوسط عملکرد ۱۰۰ تن ساقه قابل آسیاب در هکتار) بدون کاربرد کود پتاسه، سبب تخلیه بخشی از پتاسیم این خاک‌ها شده است. در طول این مدت به علت عدم کاربرد کودهای پتاسیم‌دار و یا کودهای حیوانی به خاک(۳) و هم‌چنین مقدار کم پتاسیم محلول در آب آبیاری و یا مواد جامد معلق آن، جایگزینی کمی برای پتاسیم تخلیه شده خاک رخ داده است. بخشی از این پتاسیم جذب شده توسط گیاه از بخش ذخیره خاک (پتاسیم تثبیت شده) تأمین شده است (۵). برداشت ساقه‌های قابل آسیاب نیشکر سبب تخلیه بخش اعظم پتاسیم جذب شده توسط گیاه در طول دوره رشد سالیانه از خاک می‌شود. نیشکر حدود ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در سال به ازاء ۱۰۰ تن ساقه قابل آسیاب نیشکر را از خاک خارج می‌کند (۲۱ و ۲۲). از سوی دیگر علی رغم نیاز شدید نیشکر به

پتاسیم، در طی این دوره طولانی کشت نیشکر در این اراضی هنوز واکنشی به مصرف کودهای پتاسیمی در این اراضی گزارش نشده است (۲ و ۶). عدم واکنش نیشکر و سایر گیاهان زراعی به مصرف کودهای پتاسیم دار در اراضی خوزستان در سال‌های اخیر نکته مبهمی است که به نظر برخی از پژوهشگران به تثبیت کامل پتاسیم افزوده شده توسط خاک و عدم امکان استفاده گیاه از پتاسیم کودی مربوط می‌شود (۳ و ۸). بررسی مقدار پتاسیم تثبیت شده توسط خاک و کانی‌های رسی جدا شده از این خاک‌ها در ارتباط با نوع و مقدار کانی‌های موجود، می‌تواند در پیش بینی، توجیه و درک رفتارهای خاک در رابطه با پتاسیم و واکنش گیاه مفید واقع شود.

بنابراین هدف از این مطالعه بررسی آزادسازی و تثبیت پتاسیم توسط خاک و کانی‌های رسی موجود در آنها در اعماق مختلف خاک‌های تحت کشت‌های نیشکر، تناوبی و بایر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت خوزستان می‌باشد که از لحاظ فیزیوگرافی دشت آبرفتی قدیمی (Old flood plain) محسوب می‌شود. این منطقه بین رودخانه‌های شاوور و دز، در ۱۰۰ کیلومتری شمال شهر اهواز واقع شده است(´۲۱ °۴۸ طول شرقی و ´۵۴ °۳۲ عرض شمالی). ارتفاع آن از سطح دریا ۸۲-۴۲ متر می‌باشد. نمونه‌های مربوط به خاک بایر نیز از اراضی مجاور همین مزارع تحت کشت نیشکر که در طی این سال‌ها به‌صورت دست نخورده باقی‌مانده‌اند برداشته شد. برای سیستم کشت تناوبی نیز از اراضی مجاور این کشت و صنعت که در آن گیاهانی مثل گندم، جو، صیفی‌ها طی بیش از صد سال کشت شده نمونه‌برداری شد. در کشت و صنعت نیشکر هفت تپه از مزارع شماره ۱۰۱، ۱۰۳، ۱۰۴ که سابقه کشت طولانی تر نیشکر را دارند، نمونه خاک جمع آوری شد. نمونه‌ها از اعماق ۴۰-۰، ۸۰-۴۰ و ۸۰ < سانتی‌متری خاک به کمک مته دستی (Auger) برداشته شد. حداقل ۴۰ نمونه از نقاط مختلف مزرعه به‌صورت تصادفی و از اعماق ذکر شده برای کشت‌های مختلف برداشته شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از هوا خشک شدن، آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس نمونه‌های هر سیستم کشت و هر عمق به وزن مساوی به هم اضافه و نمونه مخلوط مورد نظر برای هر نوع کشت و هر عمق تهیه شد. سپس تجزیه‌های زیر انجام گرفت:

شناسایی کانی‌های رسی به روش پراش اشعه ایکس

برای شناسایی کانی‌های رسی از روش جکسون(۱۷) و کیتریک و هوپ(۱۸) استفاده شد. در ابتدا نمک‌های محلول، کربنات‌ها، ماده آلی، اکسیدهای آهن آزاد حذف شده(۲۳) و سپس ذرات رس جداسازی شد(۱۲). پس از جداسازی ذرات رس، پلاک‌های بدون تیمار، اشباع با منیزیم، پتاسیم، منیزیم و اتیلن گلیکول، پتاسیم حرارت داده شده در ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شدند. دیفرکتوگرام‌ها به کمک دستگاه اشعه ایکس مدل Philips PW 1840 با تابش Cukα با انرژی ۴۰ kV و ۳۰ mA تهیه شد. فواصل اسکن °2θ ۰/۰۴ و سرعت اسکن °۱°۲θ در ثانیه بود. نتایج حاصله به روش گریم(۱۵) و لی و همکاران (۱۹) تفسیر شد.

بررسی پتانسیل جذب و رها سازی پتاسیم توسط خاک با تر و خشک کردن

برای شبیه سازی آزاد شدن پتاسیم از خاک بر اثر فرایندتر و خشک شدن(شبیه سازی اثر آبیاری) نمونه‌های خاک از کشت‌های مختلف از سه عمق ذکر شده در نمونه‌برداری فوق، ۴۰ بار در کاسه‌های پلاستیکی تا حد اشباع تر و سپس با قرار دادن در دمای محیط خشک شدند (بدون حضور پتاسیم). از تفاضل میزان پتاسیم قابل جذب قبل از تر و خشک کردن و بعد از آن، پتاسیم قابل جذب تعیین شد (این دفعات تر و خشک شدن معادل حداقل دو سال تر و خشک شدن بر اثر آبیاری خاک فرض شده است). در این آزمایش به دلیل سنگینی بافت خاک تلفات آبشویی پتاسیم بسیار ناچیز فرض شد(۱ و ۲۹).

هم‌چنین در آزمایش دیگری به نمونه‌های ۴۰ گرمی خاک درون ظروف پلاستیکی، ۴۰ میلی‌گرم از محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلرور پتاسیم(۲۵/۷ مولار) افزوده شد. دلیل استفاده از این غلظت زیاد، بیش بینی امکان تثبیت پتاسیم به مقدار زیاد توسط نمونه‌های تحت کشت به‌ویژه نیشکر توسط پژوهشگران دیگر بود(۸). سپس نمونه‌های خاک در سه سری و برای هر سری ۱۰ بار، در دمای محیط تر و خشک شدند(جمعاً ۳۰ بار، که فقط آب مقطر به آنها اضافه شد). پس از هر ۱۰ بار تر و خشک کردن خاک، پتاسیم تبادلی و محلول در نمونه مورد آزمایش و شاهد اندازه‌گیری و تغییرات پتاسیم افزوده شده به‌صورت زیر محاسبه شد(۵):

$$K_f = (K_e+K_a) - K_t$$

K_f مقدار پتاسیم تثبیت شده

K_a مقدار پتاسیم افزوده شده

K_e مقدار پتاسیم قابل استخراج در نمونه اولیه خاک

K_t مقدار پتاسیم قابل استخراج نمونه همراه با پتاسیم اضافه شده

توضیح این‌که نمونه‌های شاهد تنها با آب مقطر تر و خشک شده و این امر به منظور حذف اثر تر و خشک کردن خاک به تنهایی بر روی تثبیت یا آزادسازی پتاسیم موجود در نمونه بود. هر آزمایش حداقل ۳ بار برای هر نمونه تکرار شد.

پتانسیل تثبیت پتاسیم به‌وسیله رس‌های خاک در حالت‌های تر و خشک

برای این کار در ابتدا ذرات رس مربوط به هر نمونه خاک از بخش‌های دیگر جدا شد. به این منظور در ابتدا کربنات‌ها، سپس مواد آلی و در نهایت اکسیدها آهن به روش جکسون حذف گردیدند(۱۷). سپس ذرات رس به کمک سیفون کردن از بخش‌های درشت تر جدا گردیدند(۱۲). سپس ظرفیت تثبیت پتاسیم رس‌ها در دو حالت تر و خشک با روش بابید و همکاران(۱۰) اندازه‌گیری شد.

در حالت تر ابتدا ۵۰۰ میلی‌گرم از رس خالص شده، با کلسیم اشباع شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی مولار پتاسیم به این رس‌ها به‌طور جداگانه اضافه و برای ۱۶ ساعت توسط تکان دهنده رفت و برگشتی تکان داده شد. سپس با افزایش ۱۰ میلی لیتر استات منیزیم ۰/۵ مولار طی سه مرحله عصاره گیری شد. در هر مرحله عصاره‌گیری، ابتدا نمونه‌ها توسط تکان دهنده کاملاً بهم زده شده و سپس با سانتریفوژ کردن بخش رویی جمع آوری شده و به روش شعله سنجی میزان پتاسیم موجود در محلول اندازه‌گیری شد. اختلاف پتاسیم افزوده شده و عصاره گیری شده به پتاسیم تثبیت شده توسط رس‌ها در حالت تر(K fixed wet) نسبت داده شد(۱۰). در حالت خشک نیز مطابق روش بالا عمل شد، با این تفاوت که پس از افزودن پتاسیم به رس‌ها، نمونه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و پس از ۲۴ ساعت، پتاسیم تبادلی با استات منیزیم عصاره‌گیری شد(۱۰). اختلاف پتاسیم اضافه شده و عصاره‌گیری شده معادل پتاسیم تثبیت شده در حالت خشک (K fixed dry) در نظر گرفته شد. هر آزمایش با سه تکرار برای نمونه‌های مختلف (اعماق و تیمارهای مختلف کشت شده و نشده) تکرار گردید. سپس نمونه‌هایی از رس‌های مذکور پس از تیمار اشباع سازی فوق برای بررسی احتمالی ساختار کانی‌ها با روش XRD تهیه شده و پیک‌های حاصله بررسی شدند.

نتایج حاصله به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به کمک نرم افزار آماری SAS آنالیز گردید(۳۴). در این طرح عامل اصلی نوع کشت(A) و عامل فرعی عمق نمونه برداری(B) در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

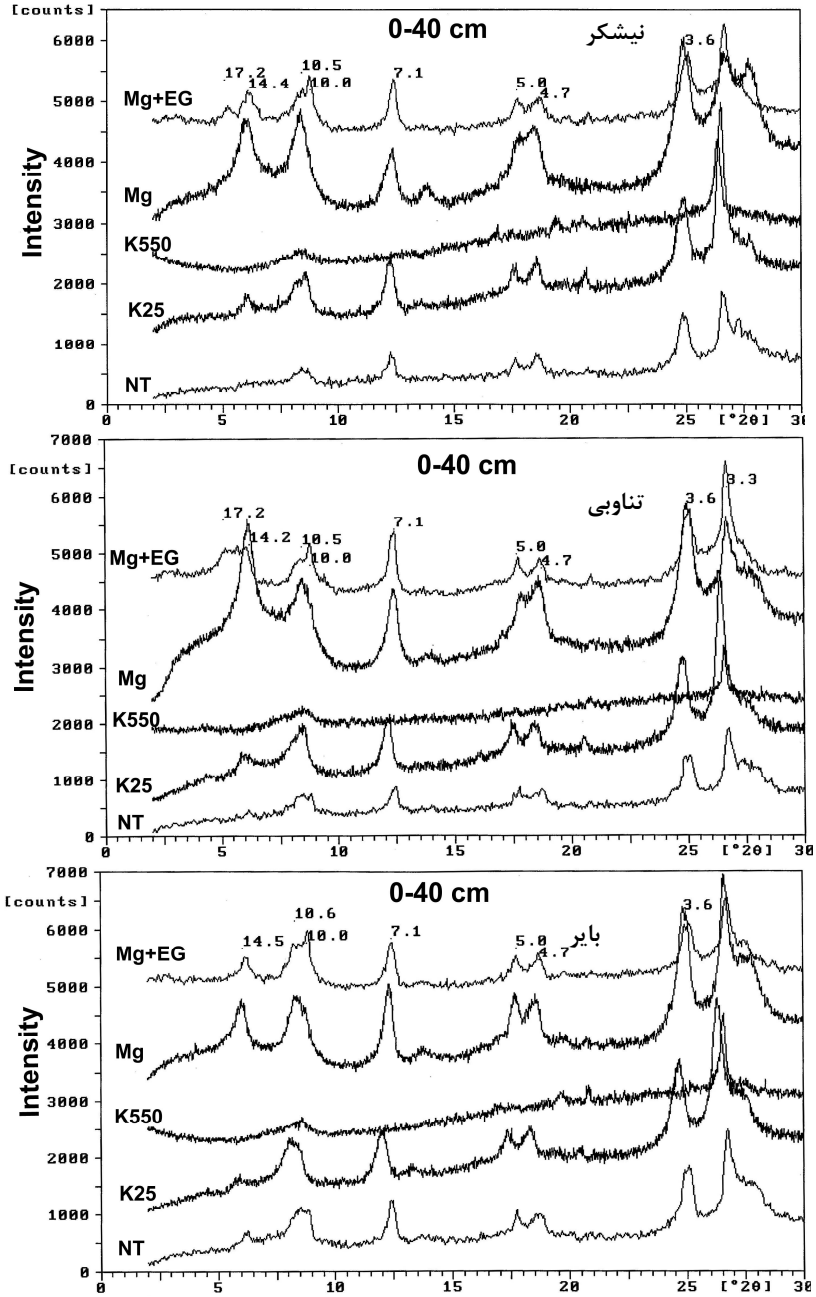
خاک‌های مورد مطالعه منطقه هفت تپه (Fine, carbonatic, hyperthermic, Calcic Haplustepts) جزء سری شوش بوده که بافت خاک سطح الارض آنها سنگین می‌باشد(۳۶). برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی این خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. اطلاعات بیشتر در مطالعات جعفری و همکاران(۵) آمده است.

جدول۱ . میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های تحت سیستم‌های مختلف کشت

نمونه خاک	عمق cm	pH ۱ : ۲/۵	شوری dS/m	ماده آلی	کربنات کلسیم	شن	سیلت	رس	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک	ظرفیت تبادل کاتیونی رس‌ها
				g kg^{-1}					cmol kg^{-1}	
کشت نشده	۰ –۴۰	۷/۸	۵/۹	۴/۷	۴۲۵	۲۴۳	۲۲۰	۵۳۷	۱۳/۶	۲۵/۳
	۴۰–۸۰	۸/۱	۱۱/۹	۴/۱	۴۵۲	۲۳۴	۲۲۶	۵۴۰	۱۳/۱	۲۴/۱
	>۸۰	۷/۹	۵/۹	۳/۸	۴۳۷	۲۴۴	۱۹۹	۵۵۷	۱۲/۶	۲۳/۲
کشت نیشکر	۰ –۴۰	۸/۱	۰/۸	۲۱/۲	۳۹۸	۱۲۲	۲۶۸	۶۱۰	۲۰/۹	۳۸/۴
	۴۰–۸۰	۸/۲	۰/۷	۱۴/۵	۳۸۹	۱۲۴	۲۴۷	۶۲۹	۱۶/۲	۲۷/۲
	>۸۰	۷/۹	۰/۶	۸/۳	۳۹۹	۱۵۳	۲۶۴	۵۸۳	۱۲/۸	۲۲/۴
کشت تناوبی	۰ –۴۰	۸/۱	۱/۵	۲۰/۹	۳۶۲	۹۸	۲۴۴	۶۵۸	۲۱/۵	۳۲/۱
	۴۰–۸۰	۷/۹	۰/۹	۱۱/۳	۳۸۱	۹۵	۲۲۴	۶۸۱	۱۷/۲	۲۵/۲
	>۸۰	۸/۱	۰/۷	۷/۴	۳۹۲	۸۴	۲۶۹	۶۴۷	۱۴/۶	۲۳/۷

بر اساس نتایج XRD، کانی‌های رسی کلریت، ایلیت، پالی گورسکایت، کائولینیت، کوارتز در نمونه‌های لایه سطحی اراضی بایر مشاهده شد (شکل ۱). شدت نسبتاً قوی پیک کانی رسی ایلیت نشاندهنده مقدار نسبی زیاد این کانی در این اراضی بود. پیک‌های XRD در اراضی تحت کشت تناوبی در لایه‌های سطحی علاوه بر کانی‌های موجود در اراضی بایر، وجود کانی‌های قابل انبساط را به میزان کم نشان داد. این کانی‌ها با وجود پیک ۱۷ آنگستروومی در تیمار اشباع با اتیلن گلیکول قابل شناسایی بود (شکل ۱). در لایه سطحی از شدت پیک ایلیت به میزان خیلی کمی نسبت به اراضی بایر کاسته شده است. شدت پیک مربوط به کانی‌های قابل انبساط در لایه سطحی اراضی تحت کشت نیشکر نسبت به اراضی زیر کشت تناوبی بیشتر بوده و از شدت پیک کانی ایلیت به میزان بیشتری کاسته شده بود.

تشکیل کانی‌های قابل انبساط در اراضی تحت کشت به‌ویژه در لایه سطحی اراضی تحت کشت نیشکر می‌تواند تا حدود زیادی به تخلیه پتاسیم توسط گیاه از خاک مربوط باشد. چنین نتایجی توسط قریشی(۱۴)، رحمت ا... و همکاران(۳۳)، منگل و رحمت ا...(۲۴)، موبرگ و دیسینگ نلسون(۷۹) برای گیاهان زراعی مختلف، موریتسوکا و همکاران(۲۶) برای ذرت و توسط‌هارتمینک(۱۶) برای نیشکر نیز گزارش شده است. هم‌چنین ممکن است برخی از این کانی‌های قابل انبساط از تحول رس‌های رشته‌ای خاک(پالی گورسکایت) حاصل شده باشد(۳۲). این رس‌های رشته‌ای در اراضی کشاورزی در اثر آبیاری به کانی‌های قابل انبساط تبدیل می‌شوند(۳۰ و ۳۷). علاوه بر لایه سطحی، وجود پیک کانی‌های قابل انبساط(پیک ۱۷/۰ آنگستروومی در تیمار اشباع با اتیلن گلیکول) در لایه عمقی تر(۸۰–۴۰ سانتی‌متری) اراضی تحت کشت نیشکر می‌تواند به عمق زیاد ریشه‌های این گیاه مربوط شود. از سوی دیگر در زراعت نیشکر استفاده از شخم عمیق(تا حدود ۸۰ سانتی‌متری) متداول می‌باشد. این نوع شخم می‌تواند سبب مخلوط شدن خاک لایه سطحی و عمقی شود. این در حالی است که در سیستم تناوبی، گیاهان کشت شده از یک سو دارای ریشه کم عمق بوده و از سوی دیگر عمق شخم در این اراضی عموماً از ۲۰ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند.



شکل ۱. الگوهای XRD نمونه‌های رس لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری اراضی تحت کشت نیشکر، تناوبی و بایر*

*: Mg+EG تیمار اشباع منیزیم و اتیلن گلیکول، Mg اشباع با منیزیم، K550 اشباع پتاسیمی و حرارت در°C ۵۵۰، K25 اشباع پتاسیمی و NT بدون تیمار.

آزادسازی و تثبیت پتاسیم توسط خاک‌های هفت تپه

میانگین پتاسیم قابل جذب اولیه و تغییرات آن پس از ۴۰ بار تر و خشک کردن خاک و هم‌چنین تثبیت پتاسیم پس از دوره‌های تر و خشک کردن نمونه‌های خاک هفت تپه در جدول ۲ آورده شده است. تحلیل آماری نتایج حاصل نیز در جدول ۳ آورده شده است. پتاسیم قابل جذب اولیه خاک هفت تپه در اراضی با کشت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ داشته اند. میانگین پتاسیم قابل جذب اولیه در اراضی بایر، تحت کشت تناوبی و کشت نیشکر به ترتیب ۱۷۲، ۲۲۶ و ۱۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. تأثیر سیستم کاشت بر مقدار پتاسیم قابل جذب

جدول ۲. میانگین ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک‌های تحت کشت‌های تناوبی و نیشکر و بایر هفت تپه طی دوره‌های ده مرتبه‌ای تر و خشک کردن خاک در مجاورت پتاسیم

محل نمونه‌برداری	عمق‌نمونه cm	پتاسیم قابل جذب اولیه خاک ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب خاک با ۴۰ بار تر و خشک($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب خاک با ۱۰ بار تر و خشک کردن خاک ($mg\ kg^{-1}$)			پتاسیم قابل جذب خاک با ۲۰ بار تر و خشک کردن خاک($mg\ kg^{-1}$)			پتاسیم قابل جذب خاک با ۳۰ بار تر و خشک کردن خاک($mg\ kg^{-1}$)		
				شاهد*	پتاسیم تبادلی پس از افزایش به خاک ($g\ K^{+}kg^{-1}$)	پتاسیم تثبیت شده	شاهد*	پتاسیم تبادلی پس از افزایش به خاک ($g\ K^{+}kg^{-1}$)	پتاسیم تثبیت شده	شاهد*	پتاسیم تبادلی پس از افزایش به خاک ($g\ K^{+}kg^{-1}$)	پتاسیم تثبیت شده
هفت تپه بایر	۰–۴۰	۱۷۲	۲۲۶	۲۱۸	۹۴۰	۲۷۸	۲۲۱	۷۸۴	۱۵۶	۲۲۷	۶۳۷	۱۴۷
	۴۰–۸۰	۱۶۰	۱۹۲	۱۸۳	۹۱۷	۲۶۵	۱۸۶	۷۴۰	۱۷۷	۱۸۹	۶۱۵	۱۲۵
	>۸۰	۱۶۴	۱۸۵	۱۷۲	۹۳۷	۲۳۵	۱۷۸	۷۹۱	۱۴۶	۱۸۶	۶۸۹	۱۰۲
کشت نیشکر	۰–۴۰	۱۳۳	۱۴۲	۱۳۸	۶۳۹	۴۹۹	۱۴۰	۴۲۰	۲۲۰	۱۴۲	۲۷۰	۱۵۰
	۴۰–۸۰	۱۶۴	۱۷۶	۱۶۹	۸۵۵	۲۸۵	۱۷۰	۶۷۳	۱۸۲	۱۴۵	۵۱۳	۱۶۱
	>۸۰	۱۲۵	۱۷۹	۱۶۷	۹۰۵	۲۳۶	۱۷۳	۷۰۱	۲۰۴	۱۵۲	۵۴۶	۱۵۵
کشت تناوبی	۰–۴۰	۲۲۶	۲۳۷	۲۲۱	۸۶۲	۳۵۹	۲۲۷	۶۱۸	۲۴۵	۲۳۰	۴۳۸	۱۷۹
	۴۰–۸۰	۱۹۹	۲۲۷	۲۱۹	۹۱۳	۳۰۷	۲۲۲	۶۹۶	۲۱۶	۲۲۸	۵۳۵	۱۶۲
	>۸۰	۱۹۹	۲۲۹	۲۱۳	۹۰۲	۳۱۸	۲۲۵	۷۱۱	۱۹۰	۲۳۱	۵۱۱	۲۰۵

* : منظور از شاهد، پتاسیم خاک پس از سری‌های ۱۰ بار تر و خشک کردن خاک بدون افزودن پتاسیم است.

جدول۳. تحلیل آماری مربوط به تثبیت پتاسیم توسط خاک در ارتباط با نوع کشت و عمق نمونه برداری و اثرات متقابل آنها در اراضی هفت تپه

فاکتور	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پتاسیم قابل جذب خاک	پتاسیم قابل جذب خاک با ۴۰ بار تر و خشک	مقدار پتاسیم تثبیت شده با ۱۰ بار تر و خشک	مقدار پتاسیم تثبیت شده با ۲۰ بار تر و خشک	مقدار پتاسیم تثبیت شده با ۳۰ بار تر و خشک	میانگین میزان تثبیت پتاسیم طی سه دوره
تکرار	۲	۱۰/۴	۱۰/۷	۶/۴	۶۱۵/۹	۱۳۰/۹	۲۷/۲
نوع کشت	۲	۱۰۳۹۶/۷**	۹۴۷۴/۶**	۱۱۸۰۶/۷*	۱۰۶۴۶/۳**	۷۸۵۰/۷**	۹۸۵۴/۵**
خطای نوع کشت	۴	۱۹/۶	۶۳/۸	۷۵۳/۴	۴۳۲/۷	۱۱۹/۷	۳۵۲/۵
عمق نمونه	۲	۵۰۰/۷*	۶۰/۷ns	۱۹۵۲۰/۹**	۵۲۱۲/۳**	۱۰۲۶/۶ns	۵۴۵۲/۹**
نوع کشت×عمق نمونه	۴	۸۲۰/۳**	۱۳۷۲/۱**	۶۳۳۹/۸**	۲۷۸۷/۳**	۱۳۲۸/۷*	۱۹۲۲/۸**
خطا	۱۲	۱۲۲	۱۹۸	۲۳۱/۷	۴۱۲/۹	۳۸۹/۶	۶۳/۸
C.V	--	۶/۵	۷/۱	۵/۱	۱۰/۲	۱۲/۵	۳/۶

علائم **، * و NS : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، معنی‌دار در سطح ۵٪ و معنی‌دار نیست.

اولیه در خاک سطحی بیش از سایر اعماق مورد مطالعه بود. پس از ۴۰ بار تر و خشک شدن خاک مشخص شد که اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ در پتاسیم قابل جذب گیاه بین اراضی با کشت‌های مختلف وجود دارد. بیشترین و کمترین پتاسیم قابل جذب گیاه به ترتیب مربوط به لایه سطحی خاک بایر و خاک زیر کشت نیشکر بود (جدول۲). دلیل این امر ممکن است عدم تخلیه پتاسیم بین لایه‌ای در خاک‌های بایر باشد. این نکته، پتانسیل بالای رها سازی پتاسیم را با پدیده تر و خشک شدن در خاک‌های بایر خوزستان نشان می‌دهد. در خاک تحت کشت تناوبی، افزایش پتاسیم قابل جذب خاک با تر و خشک شدن متوالی(۴۰ بار) نسبت به خاک بایر افزایش کمتر و نسبت به خاک با کشت نیشکر افزایش بیشتری را نشان می‌دهد (جدول۲ و ۳).

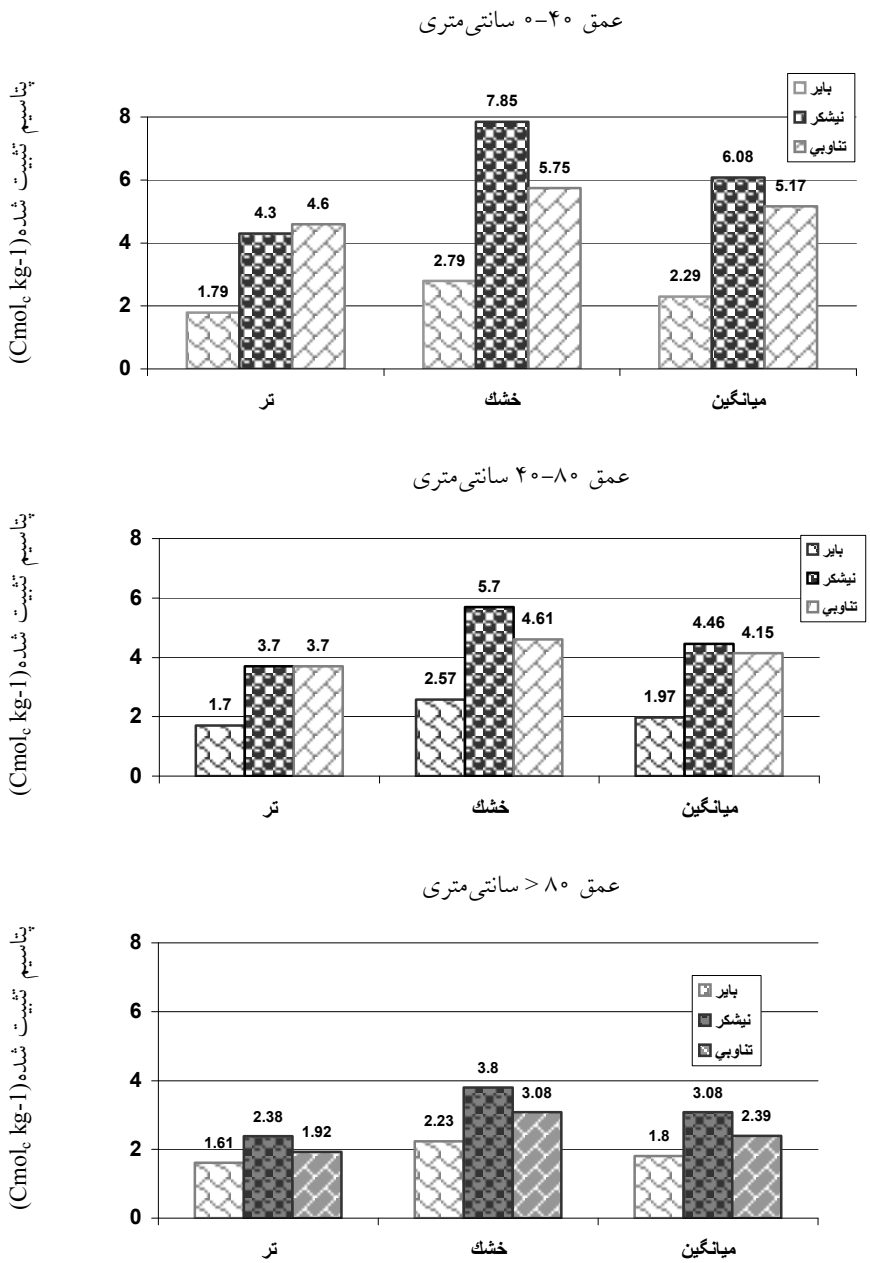
در مجموع تغییرات نسبتاً کمی در پتاسیم قابل جذب خاک در اثر تر و خشک کردن متوالی خاک رخ داد. این امر ممکن است به عدم خروج پتاسیم آزاد شده از خاک و در نتیجه عدم تغییر شرایط تعادلی در جهت آزادسازی پتاسیم مربوط گردد. این به بدین‌معنی است که عدم تخلیه پتاسیم آزاد شده سبب جلوگیری از آزاد شدن پتاسیم به میزان بیشتر خواهد شد. از آنجایی که تعادل بین اشکال پتاسیم غیر تبادلی، تبادلی و محلول قابل برگشت است بنابراین خاک‌های حاوی میکاهای تخلیه شده از پتاسیم می‌توانند پتاسیم اضافه شده را در مکان‌های خالی شده بین لایه‌های خود تثبیت نماید. چنین نتایجی توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است(۱۳ و ۲۲).

در لایه سطحی خاک‌های هفت تپه پتاسیم قابل جذب با ۴۰ بار تر و خشک کردن خاک بدون حضور پتاسیم برای اراضی بایر، کشت نیشکر و تناوبی به ترتیب ۵۴/۴، ۹/۹ و ۱۱/۰ میلی گرم در کیلوگرم نسبت به مقدار اولیه آن افزایش نشان داد. این میزان افزایش در لایه‌های عمقی تر برای هر خاک نسبتاً کمتر بود(جدول ۲).

نتایج تحلیل آماری مقدار تثبیت پتاسیم در حضور پتاسیم با غلظت یک گرم در کیلوگرم خاک همراه با ده بار تر و خشک کردن خاک هفت تپه از لحاظ نوع کشت در سطح ۱٪ و عمق خاک نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل این دو نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در اراضی هفت تپه بیشترین مقدار پتاسیم تثبیت شده مربوط به خاک‌های تحت کشت نیشکر در لایه سطحی بود. اختلاف قابل ملاحظه سطح و عمق خاک از لحاظ تثبیت پتاسیم نیز به جذب بیشتر پتاسیم از لایه سطحی در مقایسه با لایه‌های عمقی مربوط می‌شود (جدول۳).

این نتیجه نشان می‌دهد که بیشترین میزان پتاسیم از این نمونه از خاک خارج شده و در نتیجه سیستم‌های مختلف کشت، پتانسیل‌های مختلفی برای تثبیت پتاسیم در رس‌های خاک ایجاد می‌نماید. این اختلافات تا حدودی از این نکته نشات گرفته که عموماً پتاسیم مورد نیاز گیاه از بخش ذخیره رس‌های خاک تأمین شده است. تر(آبیاری) و خشک شدن خاک(دمای زیاد خاک) به دفعات زیاد در شرایط هفت تپه از یک سو و از جذب پتاسیم به میزان زیاد توسط نیشکر از سوی دیگر سبب شده که آزاد سازی پتاسیم از خاک در اثر این فرایندها تشدید شود. با توجه به نیاز فراوان گیاه نیشکر به پتاسیم، جذب این یون از محلول خاک در طول دوره رشد گیاه رخ داده و به‌دنبال این فرایند، پتاسیم به‌طور مداوم از محل ذخیره آن از بین لایه‌های کانی، وارد محلول خاک شده است. تخلیه پتاسیم از خاک در اثر جذب گیاهی سبب شده که پتاسیم تثبیت شده از فضای بین لایه‌ای کانی‌های رس جایگزین شود (۲۴ و ۲۵). در اثر این عمل، پتانسیل رس‌ها برای جایگزینی پتاسیم اضافه شده در مکان‌های تثبیت بین لایه‌ای و در نتیجه تثبیت آن توسط خاک افزایش یافته است. نتایج مشابهی توسط قریشی(۱۴) برای خاک‌های سوئد و موبرگ و دیسنگ نلسون(۲۷) برای خاک‌های دانمارک گزارش شده است.

در لایه‌های عمقی تر خاک، تثبیت پتاسیم در خاک‌های تحت کشت تناوبی و نیشکر نسبتاً یکسان بود. بیشترین تثبیت پتاسیم مربوط به لایه سطحی خاک تحت کشت نیشکر بود. تثبیت پتاسیم در خاک‌های بایر نیز صورت گرفته است که با توجه به نوع کانی‌های شناسایی شده در این نمونه‌ها ممکن



شکل ۲ . میانگین پتاسیم تثبیت شده توسط نمونه‌های رس خاک‌های با سیستم‌های مختلف کشت در اعماق مختلف (برای سه غلظت۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی مول پتاسیم)

است به وجود کانی‌های اولیه ایلیتی و فلدسپاتی موجود در این خاک مربوط شود(۳۵).

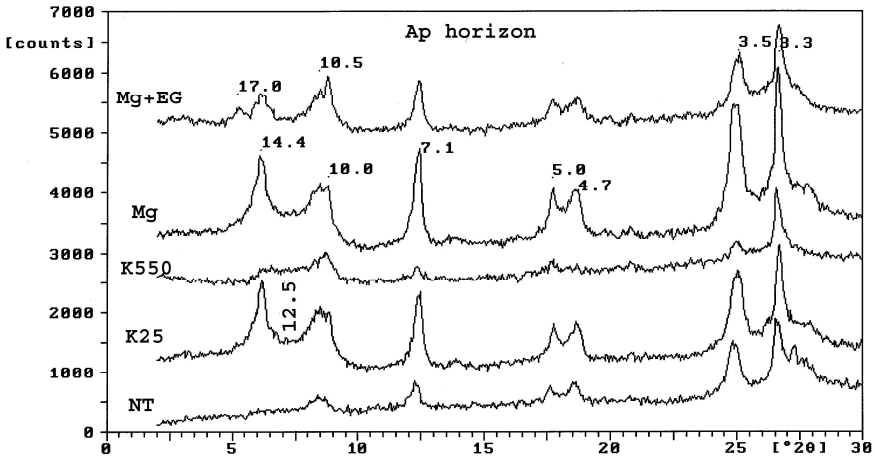
تثبیت پتاسیم توسط رس‌های جداسازی شده هفت تپه

نتایج حاصل از تثبیت پتاسیم توسط رس‌های جداسازی شده از نمونه‌های مختلف خاک هفت تپه در دو حالت تر و خشک بهمراه میانگین‌های مربوطه در شکل ۲ آورده شده است. تحلیل آماری مربوط به تثبیت پتاسیم توسط رس‌های خاک هفت تپه نیز در جدول ۴ آورده شده است. تثبیت پتاسیم توسط رس‌های خاک هفت تپه در سه غلظت مورد مطالعه در حالت تر و

جدول ۴ . تحلیل آماری مربوط به تثبیت پتاسیم توسط رس‌ها در ارتباط با نوع کشت و عمق نمونه برداری و اثرات متقابل آنها در اراضی هفت تپه

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		تثبیت پتاسیم در حالت تر			میانگین تر	تثبیت پتاسیم در حالت خشک			میانگین خشک	میانگین تثبیت پتاسیم در حالت تر و خشک			میانگین تثبیت پتاسیم
		۳۰ mmol K^+	۶۰ mmol K^+	۹۰ mmol K^+		۳۰ mmol K^+	۶۰ mmol K^+	۹۰ mmol K^+		۳۰ mmol K^+	۶۰ mmol K^+	۹۰ mmol K^+	
تکرار	۲	۰/۰۱ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۸ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۱۱ ns	/۰۲۵ ns	۰/۰۱۴ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۰۶۹ ns	۰/۰۰۴۳ ns
نوع کشت	۲	۷/۳۴ **	۶ **	۱۲/۴ **	۸/۰۹ **	۲۱/۱ **	۲۵/۳ **	۲۵/۸ **	۲۳/۹ **	۱۳/۱ **	۱۳/۲ **	۱۷/۱ **	۱۴/۲۳ **
خطای نوع کشت	۴	۰/۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۳۷	/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱	۰/۰۹۱	۰/۰۰۸۷
عمق نمونه	۲	۴/۰۶ **	۷/۰۱ **	۶/۵۵ **	۵/۷ **	۱۱/۷ **	۱۵/۷ **	۱۲/۹ **	۱۳/۳ **	۷/۴ **	۱۰/۸ **	۹/۴۶ **	۹/۱۱ **
کشت × عمق	۴	۰/۸۲ **	۲/۱۸ **	۱/۴ **	۱/۳ **	۲/۲ **	۲/۲ **	۲/۸ **	۲/۳ **	۱/۳ **	۱/۸ **	۱/۸۷ **	۱/۵۸ **
خطا	۱۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱۳	۰/۱۶	۰/۰۲۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۶۹۰	۰/۰۱۴۵
C.V	--	۸/۴	۷/۵	۴/۴	۴/۹۹	۴/۳	۲/۷	۷/۴	۳/۸	۴/۶	۳/۵	۵/۹	۳/۴

**، * و NS : به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪، معنی‌دار در سطح ۵٪ و معنی‌دار نیست.



شکل۳ . تشکیل کانی‌های شبه ایلیتی در اثر ورود پتاسیم به درون لایه‌های تخلیه شده از پتاسیم در رس‌های ایلیت

خشک در سطح ۱٪ درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. بیشترین میزان تثبیت برای غلظت ۹۰ میلی مول و در حالت خشک بود. در غلظت ۹۰ میلی مول پتاسیم اضافه شده، میزان پتاسیم تثبیت شده، در لایه سطحی خاک بایر، کشت نیشکر و کشت تناوبی هفت تپه به‌ترتیب ۳/۵۹، ۷/۵۶ و ۵/۹۸ سانتی مول در کیلوگرم بود. بیشترین میزان تثبیت پتاسیم برای رس‌ها مشابه با آنچه که برای نمونه‌های خاک ملاحظه شد در لایه ۴۰-۰ سانتی‌متری رس‌های جداسازی شده خاک تحت کشت نیشکر بود. با افزایش غلظت پتاسیم، میزان تثبیت توسط رس‌ها نیز افزایش یافت. میزان تثبیت پتاسیم توسط رس‌های خاک در حالت خشک نسبت به حالت تر افزایش چشمگیری نشان داد.

برای نوع کشت هم در حالت خشک و هم در حالت تر در سه غلظت مورد مطالعه، مقادیر پتاسیم تثبیت شده اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان داد(شکل ۲). این نکته نشان می‌دهد که کشت‌های مختلف سبب شده است که پتانسیل تثبیت پتاسیم در این رس‌ها به مقدار زیادی تغییر کند. روند مشابهی نیز برای اعماق مورد مطالعه ملاحظه شد. اختلاف بین اعماق خاک برای اراضی تحت کشت‌های مختلف نیز اختلاف معنی‌داری در حدود ۱٪ را نشان داد(شکل۲). این اختلاف در تثبیت پتاسیم توسط رس‌ها در اعماق مختلف نیز مشابه با روندی که برای نمونه‌های خاک ملاحظه شد، بود. این امر به دلیل اثرات ریشه گیاه و عمق نفوذ آن می‌باشد. ریشه‌های نیشکر عموماً تا گستره نفوذ خود که گاهاً بیشتر از ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد، روی تخلیه پتاسیم خاک و در نتیجه پتانسیل خاک برای تثبیت پتاسیم اثر می‌گذارند. بنابراین این اختلاف در اعماق عموماً به نفوذ ریشه گیاه و اثراتی که این فاکتور روی جذب پتاسیم دارد مربوط می‌شود. اثرات متقابل بین عمق نمونه و نوع کشت نیز اختلاف معنی‌داری را در سطح ۱٪ نشان می‌دهد. مقایسه پیک‌های XRD برای نمونه‌های رس جدا شده از خاک لایه سطحی اراضی بایر، تحت کشت تناوبی و نیشکر پس از افزایش پتاسیم و ۳۰ بار تر و خشک شدن در مقایسه با تیمارهای پتاسیمی رس خاک‌های بایر تغییرات اندکی را نشان داد. در حالی‌که در نمونه رس‌های مربوط به اراضی تحت کشت نیشکر به‌ویژه برای لایه سطحی که قابلیت تثبیت پتاسیم زیادی را نشان دادند، تشکیل کانی‌های شبهه میکایی(پیک ۱/۲۵ نانومتری) تاکیدی بود بر جایگزینی پتاسیم مکان‌های تخلیه شده بین لایه‌ای در این رس‌ها، که در اثر کشت و کار رخ داده بود(شکل ۳). روند مشابهی توسط آرفین و تن(۹) گزارش شده است.

بررسی تثبیت پتاسیم توسط رس‌ها نشان داد که رس‌های خاک‌های تحت کشت نیشکر نیز به‌خصوص برای لایه ۴۰-۰ و تا حدود کمتری ۸۰-۴۰ سانتی‌متری قابلیت تثبیت زیادی برای پتاسیم اضافه شده، دارند. این تثبیت برای خاک‌های تحت کشت تناوبی به مراتب کمتر از اراضی تحت کشت نیشکر بود. کمترین مقدار تثبیت پتاسیم در رس‌های اراضی بایر مشاهده

شد. برای همه نمونه‌ها تثبیت پتاسیم در حالت خشک نسبت به حالت تر بیشتر بود. چنین نتایجی توسط بابید و همکاران (۱۰) و حسین‌پور و کلباسی (۴) نیز گزارش شد. میزان تثبیت پتاسیم در خاک‌ها علاوه بر نوع کانی‌های رس و تراکم بار آنها، به مقدار رطوبت، غلظت یون پتاسیم و سایر یون‌های رقابت کننده و pH خاک نیز بستگی دارد (۱۹). در این آزمایش نیز با افزایش غلظت پتاسیم اضافه شده به رس‌ها، تثبیت آن نیز به میزان بیشتری صورت گرفت (جدول ۴). چنین نتایجی توسط مون و مک لین (۲۸)، حسین پور و کلباسی (۴) و بابید و همکاران (۱۰) نیز گزارش شده است. تثبیت پتاسیم توسط رس‌ها نسبت به خاک در کلیه تیمارها به مراتب بیشتر بود. اگرچه بخشی از این افزایش تثبیت مربوط به افزایش غلظت رس‌ها(به‌دلیل حذف سایر بخش‌های دیگر خاک مثل کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیم) در نمونه رسی خالص می‌باشد ولی با احتساب این نکته نیز، افزایش تثبیت در رس‌ها نسبت به خاک قابل ملاحظه است که می‌تواند به حذف برخی ترکیبات نظیر سزکویی اکسیدها و ماده آلی و اثرهای آنها در ممانعت از تثبیت پتاسیم بین لایه‌های رس مربوط شود(۱۳). بابید و همکاران (۱۰) نیز علت کاهش تثبیت پتاسیم توسط رس را به دلیل نبودن برخی از این ترکیبات گزارش نمودند. تر و خشک کردن خاک و رس‌ها در مجاورت پتاسیم پس از ۳۰ بار، نشان می‌دهد که ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های تحت کشت نیشکر و تناوبی تا حدودی به مقدار پتاسیم تثبیت شده در اراضی بایر نزدیک می‌شود (شکل ۲). این امر ممکن است تا حدود زیادی به بسته شدن فضای بین لایه‌ای کانی در اثر تثبیت پتاسیم و عدم امکان دسترسی مکان‌های داخلی کانی برای تثبیت پتاسیم مربوط شود. مکانیسم این فرایند به‌طور کامل توسط سایر پژوهشگران ارائه شده است (۱۳).

با وجودی که در پیک‌های XRD اراضی تحت کشت تناوبی و نیشکر، وجود کانی‌های قابل انبساط به میزان متفاوتی تأیید شد ولی میزان تثبیت پتاسیم برای دو خاک تفاوت زیادی نشان داد که این امر به تخلیه بیشتر پتاسیم قابل جذب و تثبیت شده در اراضی تحت کشت نیشکر مربوط می‌باشد. با افزایش میزان رس‌های قابل انبساط تشکیل شده در خاک و در نتیجه افزایش CEC این رس‌ها(جدول۱)، میزان تثبیت پتاسیم نیز افزایش یافته است. حسین پور و کلباسی(۴) نیز برای خاک‌های مناطق مرکزی ایران چنین نتایجی را گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

علی‌رغم تخلیه پتاسیم توسط نیشکر و سابقه طولانی کشت و عدم افزایش کود پتاسیمی به این اراضی طی این مدت، با ۳۰ بار تر و خشک کردن خاک در مجاورت پتاسیم، مقدار پتاسیم قابل جذب خاک حتی در لایه سطحی این اراضی در سطح نسبتاً بالایی(۲۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) باقی‌ماند. این نتیجه نشان داد که اگر به این خاک کود پتاسه داده شود اگرچه بخش عمده‌ای از این پتاسیم توسط خاک تثبیت می‌شود با این وجود بخشی از آن نیز به شکل قابل جذب برای گیاه باقی‌مانده و می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد. پس این فرضیه که عدم پاسخ گیاه نیشکر به کودهای پتاسیمی تنها به تثبیت کل پتاسیم اضافه شده توسط خاک نسبت داده می‌شود، درست نیست بلکه این امر ممکن است به تامین مقدار کافی پتاسیم از منبع ذخیره آن در خاک در اثر فرایندهای تر و خشک شدن، تخریب کانی‌ها، افزایش از طریق آب آبیاری و رسوبات بادی مربوط باشد. نتایج این آزمایش با قرار دادن پتاسیم در مجاورت کلیه سطوح خاک و به هم زدن نمونه‌ها در آزمایشگاه حاصل شده است، و این در حالی‌که در شرایط مزرعه‌ای، پتاسیم به‌صورت نواری به خاک افزوده شده و با کاهش سطح تماس، قطعاً میزان کمتری از آن نیز تثبیت می‌شود. تغییر کانی‌های رس غالب در خاک‌های کشت شده ناشی از تحول رس‌های ایلیت در اثر تخلیه توسط گیاه محرز گردید. قرار دادن این رس‌های تخلیه شده از پتاسیم در مجاورت پتاسیم سبب تشکیل رس‌های شبه میکایی در این نمونه‌ها گردید. میزان تثبیت پتاسیم در خاک‌ها با افزایش CEC خاک، افزایش یافت.

منابع مورد استفاده

۱. افتخار، ع. ر. ۱۳۷۰. میزان آبشویی پتاسیم در خاک‌های با بافت مختلف. گزارش طرح پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲. بهروان، ح. ۱۳۷۸. تأثیر استفاده از سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم بر روی کمّیت و کیفیت عملکرد محصول نیشکر. مجله نیشکر. کشت و صنعت کارون، خوزستان، ص ۳۱ تا ۳۶.

۳. بنی عباسی، ن. ۱۳۶۲. بررسی مسائل تولید نیشکر در خوزستان. سمینار سالیانه صنایع قند تهران، صفحه ۲۴ تا ۴۶.

۴. حسین پور، ع. و م. کلباسی ۱۳۸۰. تثبیت پتاسیم و ویژگی‌های بار الکتریکی رس خاک در شماری از خاک‌های مناطق مرکزی و شمال ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵(۳):۷۹-۹۳.

۵. جعفری، س. ، م. باقرنژاد و م. چرم. ۱۳۸۴. ارزیابی تغییرات برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی اراضی زراعی(تحت کشت نیشکر و تناوبی) و بکر منطقه هفت تپه، خوزستان. مجله علمی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز ۲۸(۱): ۱۶۵-۱۸۲.

۶. رادمهر، س. ۱۳۷۶. واکنش خاک و گیاه نیشکر به کاربرد کود سولفات پتاسیم در اراضی تحت کشت نیشکر هفت تپه. گزارش سالیانه اداره تحقیقات کشاورزی، کشت و صنعت هفت تپه، خوزستان، صفحه ۴ تا ۱۶.

۷. رفاهی، ح. ۱۳۵۹. مطالعه تثبیت پتاسیم در برخی از خاک‌های آهکی و اسیدی ایران. مجله علوم کشاورزی ۱۱(۱):۶۱-۷۵.

۸. نادیان، ح. و م. صلحی. ۱۳۷۰. مقایسه ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های کشت شده و بکر و مطالعه مینرالوژیکی آن توسط پراش اشعه ایکس در استان خوزستان. گزارش طرح پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز. مجتمع آموزشی و پژوهشی رامین و اهواز.

9. Arifin, H. F. and K. H. Tan. 1973. Potassium fixation and reconstitution of micaceous strctures in soils. Soil Sci. 116: 31-35.
10. Bouabid, R., M. Badraoui and P. R. Bloom. 1991. Potassium fixation and charge characteristics of soil clays. Soil Sci. Soc. of Am. J. 55: 1493-1498.
11. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. *In*: C.A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Amarican Socity of Agronomy, Madison, WI.
12. Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle –size analysis. PP. 545-567. *In*: C.A. Black(Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Amarican Socity of Agronomy, Madison, WI.
13. Fanning, D. S., V. Z. Keramidas and M. A. El-Desoky. 1995. Micas. PP. 551-634. *In*: Dixon, J.B. and S.B. Weed. (Eds.), Minerals in Soil Environments. Second edition, Soil Science Society of America, Madison, WI.
14. Ghorayshi, M. 1988. Potassium reactions in three Swedish soils under intensive cropping as related to clay mineralogy. Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
15. Grim, R. E. 1968. Clay Mineralogy. PP. 220-222. International Series in Earth and Planetary Sciences. McGraw-Hill, New York.
16. Hartemink, A. E. 1997. Soil fertility decline in some major soil groupings under permanent cropping in Tanga Region, Tanzania. Geoderma 15:215-229.
17. Jackson, M. L. 1975. Soil chemical analysis-advanced course. University of Wisconsin, College of Agriculture, Department Of Soils, Madison, WI.
18. Kittrick, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle- size separation of soils for x-ray diffraction analysis. Soil Sci. 96:312-325.
19. Lee, B.D., S.K. Sears, R.C. Graham, C. Amrhein and H. Vali.` 2003. Secondary Mineral Genesis from Chlorite and Serpentine in an Ultramafic Soil Toposequence. Soil Sci. Soc. of Am. J. 67: 1309-1317.
20. Malavolta, E. 1985. Potassium status of tropical and subtropical region soils. P. 284 *In*: Potassium in Agriculture. Madison, WI.
21. Malavolta, E. 1994. Nutrient and fertilizer management in sugarcane. International Potash Institute, Bulletin 14.
22. Martin, H. W. and D. L. Spark. 1996. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. *In*: J. M. Bartels. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Madison, WI.
23. Mehra, O. P. and M. L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a ditionite citrate system with sodium bicarbonate. Clays and Clay Min. 7: 317-327.
24. Mengel, K. and B. Rahmatullah. 1994. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in

soils rich in micas. Biol. and Fertil. of Soils 17:75-79.
25. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1980. Potassium in crop production. Adv. in Agron. 33:59-110.
26. Moritsuka, N., J. Yanai and T. Kosaki. 2002. Depletion of non-exchangable potassium in the maize rhizosphere and its possible releasing processes. 17th World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand, Paper No 2233:1-10.
27. Møberg, J. P. and J. Dissing Nilson. 1983. Mineralogical changes in soils used for potassium-depletion experiments for some years in pots and in field. Acta Agric. Scandinavica 33: 21-27.
28. Munn, D. A. and E. O. McLean. 1975. Soil potassium relationships as indicated by solution equilibrations and plant uptake. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39:1072-1076.
29. Munson, R. D. and W. L. Nelson. 1963. Movements of potassium in soils. J. Agric. and Food Chem. 11: 193-201.
30. Neaman, A. and A. Singer. 2004. The effects of palygorskite on chemical and physico-chimical properties of soils: review. Geoderma 123(3-4):297-303.
31. Olk, D. C. and K. G. Cassman. 1995. Reduction of potassium by two humic acid fractions in vermiclitic soils. Soil Sci. Soc. of Am. J. 59:1250-1258 .
32. Pletsch, T., L. Daoudi, H. Chamley, J. F. Deconinck and M. Charroud. 1996. Palaeogeographic controls on palygorskite occurrence in Mid-Cretaceous sedements of Morocco and adjacent basins. Clay Miner. 31: 403-416.
33. Rahmatullah, B., Z. Shaikh, M. A. Gill, and M. Salim. 1994. Bioavailable potassium in riverbed sediments and release of interlayer potassium in irrigated arid soils. Soil Use and Manag. 10: 43-46.
34. SAS Institute. 1993. SAS User'S Guide : Statistics SAS Institute, Cary, NC.
35. Scott, A. D. and S. J. Smith. 1966. Susceptibility of interlayer potassium in micas to exchange with sodium. Clays and Clay Min. 14: 69-81.
36. Soil survay staff. 1999. Soil Taxonomy. Second edition. No. 436. USDA.
37. Wilson, M. J. 1999. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future prespectives. Clay Min. 34: 7-25.