

## اثر انواع مختلف بقایای گیاهی و کودهای دامی بر توزیع شکل‌های پتاسیم دو نوع خاک رسی تحت شرایط رطوبتی متفاوت

مهدی نجفی قیری\*<sup>۱</sup>، سعید نوذری<sup>۲</sup>، سید حسام نیک‌سیرت<sup>۲</sup>، لیلا سلیمانپور<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۴

۱- دانشیار بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۲- دانش‌آموختگان کارشناسی ارشد بخش آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mnajafighiri@yahoo.com

### چکیده

افزودن بقایای آلی به اراضی در کشاورزی ارگانیک می‌تواند سبب تغییر در وضعیت پتاسیم خاک و در نتیجه تغییر قابلیت استفاده این عنصر و چرخه آن در خاک گردد. برای بررسی این امر، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با کاربرد ۱۱ نوع مواد آلی (بقایای یونجه، جو، نخود، باقلا و کودهای گوسفند، گاو، شتر، مرغ، کبوتر، بلرچین و ورمی‌کمپوست) در دو نوع خاک رسی مناطق داراب و سپیدان فارس تحت دو شرایط رطوبتی (ظرفیت مزرعه و اشباع) با سه تکرار صورت گرفت. ابتدا مقدار دو گرم از بقایای آلی به ۱۰۰ گرم از نمونه‌های خاک اضافه گردیده و در شرایط ظرفیت مزرعه و اشباع به مدت دو ماه در شرایط آزمایشگاه (دمای  $22 \pm 2$  درجه سلسیوس) نگهداری گردیدند و سپس مقدار پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی در آنها اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که همه بقایای آلی به جز ورمی‌کمپوست، بقایای یونجه و کود شتر مقدار پتاسیم محلول خاک را نسبت به شاهد افزایش دادند و بیشترین افزایش به مقدار ۲۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به کود گوسفند بود. مقدار پتاسیم تبدالی با کاربرد انواع بقایای آلی از ۷۰ تا ۷۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. مقدار پتاسیم غیرتبدالی نیز با کاربرد همه بقایای آلی افزایش یافت و بیشترین مقدار مربوط به کود مرغ و کمترین آن مربوط به کود شتر بود. به‌طورکلی افزودن ترکیبات آلی مقدار پتاسیم محلول و تبدالی را در خاک داراب و مقدار پتاسیم غیرتبدالی را در خاک سپیدان بیشتر تحت اثر قرار داد. حالت رطوبت اشباع سبب افزایش پتاسیم تبدالی و کاهش پتاسیم محلول و غیرتبدالی گردید. افزایش مقدار پتاسیم محلول و افزایش شوری خاک بایستی در کاربرد این ترکیبات آلی در خاکهای دارای پتانسیل آبشویی بالا و برای کشت گیاهان حساس به شوری در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم تبدالی، پتاسیم غیرتبدالی، پتاسیم محلول، خاک اسمکتیتی، خاک پالیگورسکیتی



## Effects of Different Plant Residues and Manures on Potassium Pools Distribution of Two Clayey Soils under Different Moisture Conditions

M Najafi-Ghiri\*<sup>1</sup>, S Nowzari<sup>2</sup>, SH Niksirat<sup>2</sup>, L Soleimanpur<sup>2</sup>

Received: 22 October 2015 Accepted: 14 March 2017

<sup>1</sup>- Assoc. Prof., Dept. of Range and Watershed Management, College of Agric. and Natural Res. of Darab, Shiraz Univ., Iran

<sup>2</sup>- M. Sc. Student, Dept. of Agroecology, College of Agric. and Natural Res. of Darab, Shiraz Univ., Iran

\* Corresponding Author, Email: mnajafighiri@yahoo.com

### Abstract

Addition of organic residues to soil in organic farming may change soil K status and subsequently its availability and cycling. For this purpose, an experiment was done as factorial in completely randomized design with application of 11 organic materials (alfalfa, barley, pea and broad bean residues and sheep, cow, camel, poultry, pigeon and quail manures and vermicompost) in two clayey soils of Darab and Sepidan (Fars province) under two moisture conditions (field capacity and saturation) with three replicates. First, 2 g of organic materials was added to 100 g of soil samples and incubated for two months under field capacity and saturation conditions and laboratory condition ( $22\pm 2^\circ\text{C}$ ) and then the contents of soluble, exchangeable and non-exchangeable K were determined. Results indicated that all organic materials, except for vermicompost, alfalfa residue and camel manure increased soluble K and the highest increase was related to sheep manure up to  $228\text{ mg kg}^{-1}$ . The content of exchangeable K was increased with all organic residues application from 70 to  $730\text{ mg kg}^{-1}$ . The content of non-exchangeable K was also increased with organic residues application and the highest and lowest increases were found for poultry manure and camel manure, respectively. Generally, the contents of soluble and exchangeable K of Darab soil and non-exchangeable K of Sepidan soil were more affected by organic materials application. The saturation condition increased exchangeable K and decreased soluble and non-exchangeable K. Increase in the content of soluble K and soil salinity should be considered for organic amendments application to soils with high leaching potential and for salt sensitive plants.

**Keywords:** Exchangeable K, Non-exchangeable K, Palygorskitic soils, Smectitic soils, Soluble K

### مقدمه

یکی از اهداف کشاورزی ارگانیک، ابقا و افزایش پایدار حاصلخیزی خاک و کاهش هدرروی عناصر غذایی می‌باشد. در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک اغلب فسفر و پتاسیم دچار توازن منفی شده و مقادیر آنها کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد سیستم‌های کشاورزی ارگانیک در افزایش پایدار قابلیت استفاده عناصری مانند پتاسیم غیرمؤثرتر از سیستم‌های کشاورزی معمول باشند. به‌رحال استفاده از انواع مختلف کودهای آلی و کمپوست در کشاورزی ارگانیک می‌تواند سبب توازن در عرضه و خروج پتاسیم از سیستم خاک، به‌خصوص در خاک‌هایی که دارای مقدار پتاسیم قابل

استفاده کمی هستند گردد (اسکگارد و اریکسن ۲۰۰۰،

گوسلینگ و شفرود ۲۰۰۵).

پتاسیم از جمله عناصری است که در گیاه در ساختمان ترکیبات آلی وارد نشده و بنابراین در بقایای گیاهی و کودهای دامی به‌شکل معدنی و قابل استفاده وجود دارد. افزودن این ترکیبات به خاک می‌تواند سبب افزایش شدید غلظت پتاسیم در خاک گردد. توزیع یون‌های پتاسیم افزوده شده به خاک در شکل‌های مختلف شامل محلول (موجود در محلول خاک و قابل استفاده گیاه)، تبدالی (جذب شده به‌وسیله بارهای منفی ذرات خاک و قابل استفاده گیاه) و غیرتبدالی (تثبیت‌شده بین لایه‌های برخی کانی‌ها و تا حدودی قابل استفاده)

کردند که سرعت آزادسازی پتاسیم در خاک‌های اسمکتیتی به‌ویژه ورتی‌سول‌ها بسیار بیشتر از دیگر خاک‌ها می‌باشد.

از جمله شرایط دیگری که می‌تواند سبب تغییر رفتار خاک در توزیع شکل‌های پتاسیم به‌ویژه در شرایط افزودن ماده آلی گردد شرایط رطوبتی خاک است. شرایط رطوبتی خاک می‌تواند بر سرعت تجزیه و فرآورده‌های نهایی تجزیه ماده آلی اثر بگذارد. از طرف دیگر شرایط رطوبتی و نوسانات رطوبت خاک سبب تغییر در شرایط اکسید و احیایی و در نتیجه تغییر در وضعیت بارهای منفی کانی‌ها و تبدیل پتاسیم از شکل محلول و تبدالی به شکل غیرتبدالی (ثبیت پتاسیم) گردد که این عمل قابلیت استفاده پتاسیم را تحت اثر قرار داده و کاهش می‌دهد (خالد و استوکی ۱۹۹۱، کومادل و همکاران ۲۰۰۶).

هدف از این مطالعه اثر افزودن ۱۱ نوع بقایای آلی گیاهی و دامی بر تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبدالی و غیرتبدالی در دو نوع خاک رسی جنوب ایران (استان فارس) با کانی‌شناسی متفاوت (اسمکتیتی و پالیگورسکیتی) در دو شرایط مختلف رطوبتی شامل حالت ظرفیت مزرعه و حالت اشباع می‌باشد. اهمیت این مطالعه از نظر چرخه پتاسیم در خاک‌های تحت اثر مواد آلی و وضعیت حاصلخیزی پتاسیم در این خاک‌ها در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

بر اساس گزارش نجفی قیری (۲۰۱۰) دو نوع خاک رسی از دو منطقه اقلیمی مختلف استان فارس که دارای ترکیب مینرالوژیکی متفاوتی بودند انتخاب گردیدند. این دو خاک از مناطق سپیدان با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی به‌ترتیب زیرک و مزیک و داراب با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی به‌ترتیب اریدیک و هایپرترمیک (بنائی ۱۹۹۸) بودند و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری گردیدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک و برای انجام

می‌تواند قابلیت استفاده این عنصر و هدرروی و چرخه آن را تحت تأثیر قرار دهد. نجفی قیری و اولیایی (۲۰۱۴) تأثیرات مثبت ورمی‌کمپوست را بر افزایش مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم در ۱۰ خاک آهکی نشان دادند و بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست اگر چه شکل محلول و تبدالی پتاسیم را افزایش داد اما این تأثیر بیشتر در جهت افزایش پتاسیم محلول (۱۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. جلالی (۲۰۱۱) نشان داد که افزودن بقایای گیاهی به خاک‌های آهکی ایران سبب تغییر در سرعت آزادسازی پتاسیم از فاز غیرتبدالی و تبدیل آن به شکل قابل استفاده می‌شود. عوامل متعددی بر توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم خاک مؤثرند که مهمترین آنها ترکیب کانی‌شناسی خاک می‌باشد (نجفی قیری و همکاران ۲۰۱۱b). توانایی خاک‌های مختلف در نگهداری پتاسیم به شکل غیرتبدالی یا تثبیت‌شده ارتباط مستقیم با نوع کانی‌های آنها دارد. اگر چه بخش عمده تثبیت پتاسیم خاک در کانی‌های ایلیت، میکا و ورمیکولیت اتفاق می‌افتد اما در خاک‌های آهکی جنوب ایران به‌نظر می‌رسد که اسمکتیت‌ها مسئول تثبیت پتاسیم خاک می‌باشند (نجفی قیری و ابطی ۲۰۱۲). بنابراین انتظار می‌رود که توزیع پتاسیم در خاک‌های اسمکتیتی در جهت افزایش پتاسیم غیرتبدالی باشد. از طرفی افزودن ترکیبات آلی به خاک‌ها می‌تواند این نظم را تحت اثر خود قرار دهد. در واقع ترکیبات آلی با افزودن پتاسیم به خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و تشکیل کمپلکس‌های رس-ماده آلی سبب تغییر در توزیع پتاسیم خاک می‌شوند (هاولین و همکاران ۱۹۹۹، اودز ۱۹۸۸). به‌هرحال، پتاسیم تثبیت‌شده به‌وسیله کانی‌های خاک می‌تواند به مرور زمان آزاد شده و پتاسیم مورد نیاز گیاه را تأمین کنند که مقدار این آزادسازی به عوامل مختلفی بستگی دارد. اسپارکز (۱۹۸۷) بیان کرد که قابلیت استفاده پتاسیم غیرتبدالی به مقدار پتاسیم تثبیت‌شده بین لایه‌های کانی‌ها بستگی ندارد بلکه به آهنگ آزادسازی این شکل پتاسیم و تبدیل آن به شکل قابل استفاده بستگی دارد. دیلون و دیلون (۱۹۹۱)، سریناواسارائو و همکاران (۲۰۰۶) و نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۱a) نتیجه‌گیری

میلی‌لیتر رقیق گردید (هلمک و اسپارکز، ۱۹۹۶). همه اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار صورت گرفت. آزمایش‌های مربوط به کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس، پس از حذف کربنات‌ها، ترکیبات آلی و اکسیدهای آهن (مهر و جکسون، ۱۹۶۰) انجام گردید.

آزمایش‌های مربوطه به تأثیر افزودن بقایای آلی و تیمارهای رطوبتی بر قابلیت استفاده پتاسیم خاک به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (۲×۲×۱۲) روی ۲ خاک تحت دو شرایط رطوبتی (ظرفیت مزرعه و اشباع) و ۱۱ نوع ماده آلی با سه تکرار انجام گرفت. نمونه‌های بدون تیمار مواد آلی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. بدین‌منظور، به ۱۰۰ گرم خاک ۲ گرم ترکیبات آلی عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری شامل بقایای گیاهی باقلا، جو، نخود، یونجه و کودهای گوسفند، گاو، شتر، مرغ، کبوتر، بلدرچین و ورمی‌کمپوست اضافه گردید. تیمار بدون بقایای آلی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی در رطوبت ظرفیت مزرعه (۵۰ درصد رطوبت اشباع) و رطوبت اشباع (درصد رطوبت گل اشباع) و در شرایط آزمایشگاه (دمای  $22 \pm 2$  درجه سلسیوس) به مدت دو ماه نگهداری شدند. حفظ رطوبت در نمونه‌ها با توزین روزانه آنها و افزودن آب مقطر انجام گرفت. در پایان نمونه‌ها هوا خشک شدند و پس از خرد کردن کاملاً مخلوط گردیده و شکل‌های مختلف پتاسیم آنها به روش‌های بیان‌شده اندازه‌گیری گردید. برای تجزیه آماری نمونه‌ها از نرم افزارهای SPSS و MSTATC و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. هر دو خاک دارای مقدار بالایی رس بوده و در واحد فیزیوگرافی اراضی پست تکامل یافته‌اند. بر اساس سیستم تاکسونومی خاک و کلید آن (بی‌نام ۱۹۹۹ و ۲۰۱۴) خاک سپیدان Fine, smectitic, mesic, Typic Haploxererts و خاک داراب

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی شامل توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (روول ۱۹۹۴)، رطوبت اشباع خاک با تهیه خمیر اشباع و اندازه‌گیری رطوبت آن با خشک کردن نمونه در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس (ریچاردز ۱۹۵۴)، pH خاک در گل اشباع (ریچاردز ۱۹۵۴)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (ریچاردز ۱۹۵۴)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک (ریچاردز ۱۹۵۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم ۱ نرمال (چاپمن ۱۹۶۵)، فعالیت بخش رس خاک‌ها با تقسیم ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به درصد رس (بی‌نام ۱۹۹۹) و مقدار کربن آلی به روش سوزاندن تر (نلسون و سومرز ۱۹۹۶) در نمونه‌ها صورت گرفت. اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم به روش هلمک و اسپارکز (۱۹۹۶) انجام شد. پتاسیم محلول در عصاره اشباع اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری پتاسیم تبدالی، ۵ گرم خاک چهار مرتبه به وسیله ۲۵ میلی‌لیتر استات آمونیوم ۱ نرمال pH ۷ به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شده، سانتریفوژ و سپس محلول زلال رویی جمع‌آوری گردید. محلول به دست آمده با استات آمونیوم به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک جوشان، ۲/۵ گرم خاک و ۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ نرمال به مدت ۱۰ دقیقه جوشانده شد و پس از آن عصاره صاف شده به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (هلمک و اسپارکز، ۱۹۹۶). غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه شعله سنج مدل Corning 405 اندازه‌گیری گردید. پتاسیم غیرتبدالی با کسر مقدار پتاسیم استخراج شده به وسیله اسید نیتریک از استات آمونیوم محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری پتاسیم کل خاک به ۰/۵ گرم خاک ۱ میلی‌لیتر از محلول تیزاب سلطانی (مخلوط یک قسمت اسید نیتریک غلیظ و سه قسمت اسید کلریدریک غلیظ) و ۱۰ میلی‌لیتر از اسید فلوریدریک افزوده شد و در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد. سپس مخلوط به بالون پلاستیکی حاوی ۲/۸ گرم اسید بوریک انتقال داده شده و تا حجم ۱۰۰

نامگذاری می‌شوند (نجفی قیری ۲۰۱۰).

Fine, carbonatic, hyperthermic, Typic Haplustepts

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های مورد مطالعه.

ویژگی‌های خاک	خاک سپیدان	خاک داراب
کلاس بافت	رسی	رسی
رس (%)	۵۱	۵۲
سیلت (%)	۳۶	۳۴
شن (%)	۱۳	۱۴
کربنات کلسیم معادل (%)	۳	۴۶
کربن آلی (%)	۲/۲	۰/۹
pH	۷/۳۰	۸/۰۷
ظرفیت تبادل کاتیونی ( $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ )	۳۴	۱۸
قابلیت هدایت الکتریکی ( $\text{dS m}^{-1}$ )	۰/۴۰	۱/۸۹
رطوبت اشباع (%)	۷۲	۶۵
فعالیت تبادل کاتیونی بخش رس	۰/۶۷	۰/۳۵
پتاسیم محلول ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	۱۶	۱۳۰
پتاسیم تبدالی ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	۳۶۴	۲۴۳
پتاسیم غیرتبدالی ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	۸۲۰	۸۱۳
پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	۱۲۰۰	۱۱۸۶
پتاسیم کل ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	۸۷۵۱	۴۲۴۹
اشباع پتاسیم (%)	۲/۷	۳/۵
کانی غالب بخش رس ( $<0/002$ میلی‌متر)	اسمکتیت	پالیکورسکیت، ایلیت و کلریت

۰/۴ واژه فعال، ۰/۲۴-۰/۴ واژه نیمه‌فعال و کمتر از ۰/۲۴ واژه غیرفعال استفاده می‌شود. مقدار این خصوصیت برای خاک‌های سپیدان و داراب به ترتیب ۰/۶۷ (بسیار فعال) و ۰/۳۵ (نیمه فعال) می‌باشد که این نشان از وجود کانی‌های با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در خاک‌های سپیدان می‌باشد. مقدار پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک که شامل هر سه شکل پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی می‌باشد در دو خاک مورد مطالعه تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند؛ اما در خاک سپیدان پتاسیم در فاز تبدالی و در خاک داراب در فاز محلول متمرکز شده است. با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر خاک سپیدان و وجود کانی اسمکتیت در این خاک که سطح ویژه و بار منفی بالاتر دارد قابل توجهی می‌باشد. سایر ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۲ برخی از ویژگی‌های مهم ترکیبات آلی مورد استفاده را نشان می‌دهد. قابلیت هدایت الکتریکی

خاک‌های مورد مطالعه رسی بوده و مقدار رس در آنها از ۵۰ درصد تجاوز می‌کند (جدول ۱)؛ اما تفاوت اصلی خاک‌های مورد مطالعه در نوع کانی‌ها می‌باشد. کانی‌های غالب بخش رس ( $<0/002$  میلی‌متر) خاک سپیدان اسمکتیت همراه با مقدار کمی ایلیت و کلریت و کانی‌های غالب بخش رس ( $<0/002$  میلی‌متر) خاک داراب پالیکورسکیت، ایلیت، کلریت و کمی اسمکتیت می‌باشد (نجفی قیری ۲۰۱۰). خاک داراب آهکی بوده در حالی که خاک سپیدان دارای مقدار کمی کربنات کلسیم می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر در مورد این خاک‌ها فعالیت تبادل کاتیونی بخش رس آنها می‌باشد که از تقسیم ظرفیت تبادل کاتیونی به درصد رس خاک بدست می‌آید (بی‌نام ۲۰۱۴)؛ البته در خاک‌های مورد مطالعه وجود آهک در بخش رس خاک و همچنین وجود بار منفی مواد آلی خاک می‌تواند سبب خطا در محاسبات مربوطه گردد. مقدار فعالیت تبادل کاتیونی رس‌ها اگر بیشتر از ۰/۶ باشد واژه بسیار فعال، ۰-۰/۶

به عنوان یکی از ویژگی‌های مهم بقایا برای مدیریت کاربرد آنها در دامنه ۲/۹ تا ۱۷/۶ دسی‌زیمنس بر متر تغییر کرده و کمترین و بیشترین آن به ترتیب مربوط به ورمی‌کمپوست و کود بلدرچین بود. مقادیر pH نیز نشان داد که بقایای گیاهی دارای pH به مراتب کمتر از کودهای دامی و ورمی‌کمپوست بودند. بالاترین مقدار

نیترژن مربوط به کود کبوتر و کمترین آن نیز مربوط به بقایای جو بود. مقدار فسفر کل نیز در ترکیبات مورد استفاده از ۰/۱۷ (برای کود گوسفند) تا ۰/۲۱۰ درصد (برای بقایای یونجه) متغیر بود. دامنه تغییرات پتاسیم نیز از ۰/۳۴ تا ۲/۴۶ درصد بود.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های ترکیبات آلی مورد استفاده.

ترکیبات آلی	خاکستر (%)	pH	قابلیت هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	نیترژن کل (%)	فسفر کل (%)	پتاسیم کل (%)
کود شتر	۱۴/۱	۸/۸۴	۸/۸	۱/۶۹	۰/۰۲۱	۰/۵۷
کود گاو	۳۵/۸	۸/۸۲	۱۴/۷	۱/۵۵	۰/۰۲۳	۱/۸۵
کود گوسفند	۲۹/۰	۸/۲۵	۱۷/۰	۱/۷۳	۰/۰۱۷	۱/۵۶
کود مرغ	۰/۴۵	۸/۶۰	۹/۷	۳/۹۸	۰/۰۱۸	۲/۴۶
کود کبوتر	۱۹/۳	۶/۱۷	۱۴/۴	۷/۳۲	۰/۰۳۰	۰/۹۷
کود بلدرچین	۳۴/۲	۶/۷۹	۱۷/۶	۳/۹۷	۰/۰۲۴	۱/۵۶
بقایای باقلا	۹/۳	۵/۴۱	۱۱/۸	۲/۸۳	۰/۱۷۵	۱/۳۰
بقایای جو	۹/۰	۵/۶۹	۱۵/۱	۰/۷۸	۰/۱۵۰	۱/۷۰
بقایای نخود	۹/۴	۵/۵۱	۱۲/۶	۲/۲۰	۰/۲۰۰	۱/۳۰
ورمی‌کمپوست	۷۶/۰	۷/۶۴	۲/۹	۱/۰۱	۰/۰۲۱	۰/۳۴
بقایای یونجه	۱۶/۶	۵/۷۹	۱۱/۸	۲/۳۲	۰/۲۱۰	۱/۰۸

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس فاکتورهای مختلف و اثرات متقابل آنها را بر مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم خاک شامل محلول، تبادلی و غیرتبادلی نشان می‌دهد. هر سه تیمار نوع کود آلی، شرایط

رطوبتی و نوع خاک و همچنین اثرات متقابل آنها بر شکل‌های مختلف پتاسیم اثر معنادار (در سطح ۱ درصد) داشتند. به‌هرحال می‌توان گفت که شرایط رطوبتی بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی اثر نداشته است.

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر کودهای آلی، نوع خاک و شرایط رطوبتی بر غلظت پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی خاک.

منابع تغییرات	درجه آزادی	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی
کود آلی	۱۱	۷۲۳۰۶ **	۷۸۰۷۱۰ **	۳۱۵۰۴۸ **
شرایط رطوبت	۱	۶۸۰۶ **	۱۰۸۵۰ **	۹۰۲۵ ns
کود آلی × شرایط رطوبت	۱۱	۳۸۰۲ **	۱۱۷۸۰ **	۱۰۳۸۲۸ **
خاک	۱	۱۳۲۱۳۵۰ **	۳۱۶۰۳۱ **	۱۹۵۵۳۳۶ **
کود آلی × خاک	۱۱	۳۳۵۶۰ **	۳۷۰۰۸ **	۶۵۵۳۶ **
شرایط رطوبت × خاک	۱	۸۰۱۰ **	۸ **	۱۲۸۴۴ **
کود آلی × شرایط رطوبت × خاک	۱	۷۰۷۱ **	۵۴۳۰ **	۱۱۸۴۸۶ **
خطای کل	۹۶	۱۱۱	۷۲۹	۵۳۴۳
ضریب تغییرات (%)		۷/۶۵	۴/۰۳	۷/۲۱

ns: غیرمعنادار؛ \* و \*\*: به ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد.

جدول ۴ مقدار پتاسیم محلول را در نمونه‌های خاک تحت اثر کودهای آلی، نوع خاک و شرایط رطوبتی و اثرات متقابل آنها نشان می‌دهد. به‌طور کلی مقدار پتاسیم محلول در نمونه‌های خاک از ۱۴ تا ۵۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. بیشترین مقدار پتاسیم محلول مربوط به خاک داراب با تیمار کود گوسفند و رطوبت ظرفیت مزرعه و کمترین آن نیز مربوط به خاک سپیدان تیمار شده با ورمی‌کمپوست و رطوبت اشباع و خاک سپیدان تیمار شده با کود شتر و رطوبت ظرفیت مزرعه بود.

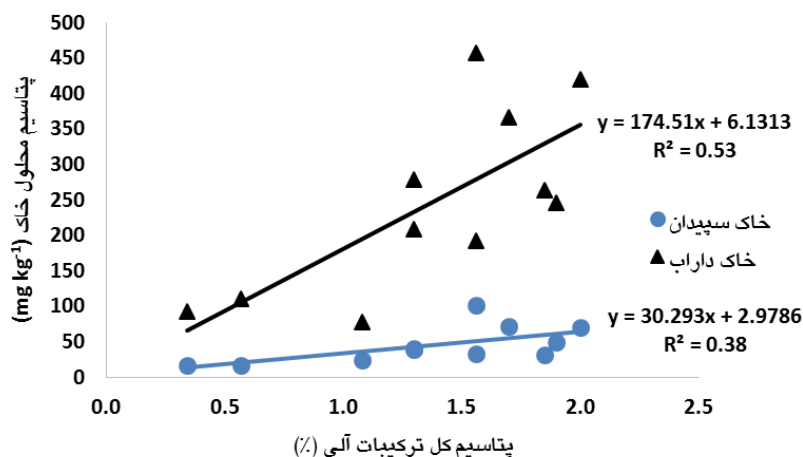
به‌طور متوسط، همه بقایای آلی به‌جز بقایای یونجه، ورمی‌کمپوست و کود شتر سبب افزایش معنادار مقدار پتاسیم محلول نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۴) که البته این اثر برای تیمارهای مختلف ترکیبات آلی متفاوت بود. بیشترین افزایش مربوط به کود گوسفند به میزان ۲۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (به‌طور متوسط) و کمترین آن نیز مربوط به بقایای یونجه به مقدار ۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که البته این افزایش در مقدار پتاسیم ارتباط معناداری با مقدار پتاسیم موجود در بقایای آلی نداشت. به‌هرحال با در نظر گرفتن نوع خاک، روابط مثبت و معناداری (در سطح ۵ درصد) بین مقدار پتاسیم محلول خاک در نتیجه کاربرد ترکیبات آلی و مقدار پتاسیم کل آن ترکیبات به‌دست آمد (شکل ۱). به‌هرحال عدم افزایش معنادار پتاسیم محلول نمونه‌های خاک با کاربرد ورمی‌کمپوست و کود شتر را می‌توان به مقدار کم پتاسیم کل این ترکیبات (جدول ۲) مرتبط دانست. مقدار پتاسیم محلول در نمونه‌های خاک داراب بیشتر از نمونه‌های خاک سپیدان بود (به‌طور متوسط ۲۳۴ در مقابل ۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم). یکی از دلایل این تفاوت، مقدار اولیه پتاسیم محلول در این دو خاک می‌باشد که در خاک داراب و سپیدان به‌ترتیب ۱۳۰ و ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱). دلیل دیگر تفاوت ظرفیت تبادل کاتیونی این دو خاک می‌باشد؛ با توجه به بالاتر بودن مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک سپیدان این انتظار می‌رود که پتاسیم خاک بیشتر در فاز تبدالی متمرکز شده باشد. از جدول ۱ می‌توان محاسبه کرد که درصد پتاسیم محلول نسبت به پتاسیم

کل در خاک‌های داراب و سپیدان به‌ترتیب ۳/۰۶ و ۰/۱۸ درصد است که این نشان از تمایل خاک‌های داراب در نگهداشتن پتاسیم به‌شکل محلول به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی کم بوده و این می‌تواند در مدیریت کاربرد ترکیبات آلی حاوی پتاسیم به این خاک‌ها مورد توجه قرار گیرد؛ چرا که با قرار گرفتن پتاسیم در فاز محلول، احتمال آبشویی آن و همچنین افزایش شوری خاک بالا می‌رود. نوع کانی‌ها نیز می‌تواند در میزان افزایش مقدار پتاسیم محلول در اثر کاربرد ترکیبات حاوی پتاسیم مهم باشد. کانی‌های دارای قابلیت تثبیت پتاسیم بالا مانند ایلیت، ورمیکولیت و اسمکتیت می‌توانند با تثبیت پتاسیم محلول مقدار آن را در محلول خاک کاهش دهند. اثر ظرفیت تبادل کاتیونی و نوع کانی‌های خاک بر تغییرات پتاسیم خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی توسط نجفی قیری و اولیایی (۲۰۱۴) گزارش شده است. با توجه به شکل ۱، مقایسه دو خاک سپیدان و داراب نشان داد که با افزایش مقدار پتاسیم کل در ترکیبات آلی، شیب افزایش پتاسیم محلول در خاک داراب به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از خاک سپیدان بود (۳۰/۲۹ در مقابل ۱۷۴/۵۱)؛ یعنی با افزایش هر واحد پتاسیم ترکیبات آلی، مقدار افزایش در پتاسیم محلول در خاک داراب بیش از پنج برابر خاک سپیدان بود. شرایط رطوبتی نیز اثر معناداری بر مقدار پتاسیم محلول داشت و نگهداری نمونه‌ها در شرایط اشباع سبب کاهش مقدار پتاسیم محلول گردید. به‌طور کلی میانگین پتاسیم محلول در نمونه‌های نگهداری شده تحت شرایط ظرفیت مزرعه ۱۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و به‌طور معناداری بیشتر از شرایط اشباع (۱۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. اثر متقابل نوع خاک و شرایط رطوبتی بر پتاسیم محلول معنادار بود. در واقع می‌توان بیان کرد که تغییر شرایط رطوبتی سبب کاهش مقدار پتاسیم محلول در خاک داراب گردید (از ۲۴۸ به ۲۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اما مقدار آن را در خاک سپیدان تغییر نداد (از ۴۱ به ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم). شرایط اشباع می‌تواند سبب کاهش فعالیت ریزجانداران و تجزیه ماده آلی و در نتیجه کاهش آزادسازی پتاسیم از شکل تبدالی در ترکیبات آلی به‌شکل محلول گردد. از طرفی، شرایط



کومادل و همکاران ۲۰۰۶، نجفی قیری و اولیایی ۲۰۱۴، نجفی قیری و همکاران ۲۰۱۱). نقش اشباع شدن بر تغییر pH خاک و در نتیجه اثر بر مقدار بارهای وابسته به pH را نیز نباید نادیده گرفت.

اشباع و احیاء ممکن است سبب تبدیل آهن سه ظرفیتی به آهن دو ظرفیتی در ساختمان کانی‌ها به‌ویژه اسمکتیت‌ها شده و بار منفی آنها را افزایش دهد و این افزایش بار می‌تواند بر جذب مقداری از پتاسیم محلول به‌وسیله این کانی‌ها اثر بگذارد (خالد و استوکی ۱۹۹۱،



شکل ۱- ارتباط بین مقدار پتاسیم کل ترکیبات آلی و پتاسیم محلول خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی.

جدول ۴- مقدار پتاسیم محلول خاک ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) تحت اثر تیمار کودهای آلی، نوع خاک و شرایط رطوبتی و اثرات متقابل آنها.

نوع ماده آلی	خاک سپیدان		خاک داراب	
	ظرفیت مزرعه	اشباع	ظرفیت مزرعه	اشباع
شاهد	۱۶ <sup>vw</sup>	۱۸ <sup>u-w</sup>	۱۳۰ <sup>kl</sup>	۶۰ <sup>pq</sup>
کود شتر	۱۴ <sup>w</sup>	۱۸ <sup>u-w</sup>	۱۱۴ <sup>lm</sup>	۱۰۸ <sup>m</sup>
کود گاو	۳۴ <sup>r-u</sup>	۲۸ <sup>s-w</sup>	۲۷۰ <sup>f</sup>	۲۵۶ <sup>f-h</sup>
کود گوسفند	۶۴ <sup>pq</sup>	۱۳۸ <sup>kj</sup>	۵۵۸ <sup>a</sup>	۳۵۶ <sup>d</sup>
کود مرغ	۷۴ <sup>op</sup>	۶۶ <sup>p</sup>	۴۵۰ <sup>b</sup>	۳۹۰ <sup>c</sup>
کود کبوتر	۶۲ <sup>pq</sup>	۳۶ <sup>r-t</sup>	۲۷۰ <sup>f</sup>	۲۲۲ <sup>i</sup>
کود بلرچین	۳۶ <sup>r-t</sup>	۳۰ <sup>s-w</sup>	۱۳۸ <sup>jk</sup>	۲۴۶ <sup>gh</sup>
بقایای باقلا	۳۲ <sup>r-v</sup>	۴۸ <sup>qr</sup>	۲۴۰ <sup>h</sup>	۳۱۸ <sup>e</sup>
بقایای جو	۸۴ <sup>no</sup>	۶۰ <sup>pq</sup>	۳۵۸ <sup>d</sup>	۳۷۶ <sup>c</sup>
بقایای نخود	۴۲ <sup>rs</sup>	۳۶ <sup>r-t</sup>	۲۶۲ <sup>fg</sup>	۱۵۴ <sup>j</sup>
ورمی کمپوست	۲۰ <sup>t-m</sup>	۱۴ <sup>w</sup>	۱۰۰ <sup>mn</sup>	۸۴ <sup>no</sup>
بقایای یونجه	۲۴ <sup>t-w</sup>	۲۴ <sup>t-w</sup>	۹۰ <sup>no</sup>	۶۶ <sup>p</sup>
میانگین	۴۱C	۴۳C	۲۴۸A	۲۱۹B

حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین‌ها با آزمون دانکن (سطح ۱ درصد) می‌باشد.

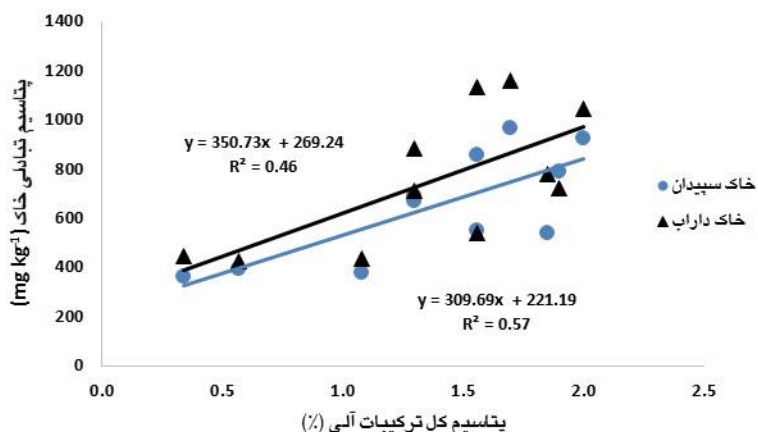
افزایش مربوط به کاربرد ورمی کمپوست، بقایای یونجه و کود شتر (کمتر از ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. مقدار افزایش پتاسیم تبدیلی با کاربرد ترکیبات آلی ارتباط مثبت و معناداری (در سطح ۵ درصد) با مقدار

پتاسیم تبدیلی تحت اثر نوع ترکیبات آلی قرار گرفت و افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان افزایش نسبت به تیمار شاهد با کاربرد بقایای جو (به‌طور متوسط ۷۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار

نیز اثر معناداری بر مقدار پتاسیم تبادلی داشت. در هر دو خاک مقدار پتاسیم تبادلی در حالت اشباع بیشتر از حالت رطوبت ظرفیت مزرعه بود. اثر متقابل نوع خاک، کود آلی و شرایط رطوبتی بر مقدار پتاسیم تبادلی معنادار بود و بیشترین مقدار آن در خاک داراب تیمار شده با بقایای جو و شرایط رطوبتی اشباع (۱۲۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن در خاک داراب بدون کود آلی و شرایط رطوبت ظرفیت مزرعه (۲۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. شرایط اشباع سبب افزایش مقدار پتاسیم تبادلی در نمونه‌های خاک سپیدان که تحت اثر بقایای جو، نخود و یونجه قرار گرفته بودند شد؛ هر چند مقدار آن در نمونه‌هایی که تحت اثر کود کبوتر قرار گرفته بودند کاهش نشان داد. این شرایط برای خاک‌های داراب کمی متفاوت بود و شرایط اشباع مقدار پتاسیم تبادلی را در نمونه‌های خاک تیمار شده با کود گاو و گوسفند و بقایای جو و نخود و بدون تیمار (شاهد) افزایش و در نمونه‌های تیمار شده با کود کبوتر و بلدرچین و بقایای یونجه کاهش داد.

پتاسیم کل ترکیبات آلی داشت (شکل ۲). اکبری و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد بقایای گیاهی مختلف به مزارع گندم نشان دادند که پتاسیم قابل استفاده خاک پس از ۱۶۵ روز از کاربرد بقایا، افزایش چشمگیری داشت و اثر بقایای یونجه، گندم و جو به طور معناداری بیشتر از بقایای پنبه بود. ویتبرد و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان دادند که برگرداندن بقایای گیاهی به خاک سبب افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک به مقدار ۸ کیلوگرم در هکتار می‌شود درحالی‌که خارج کردن آن از خاک مقدار پتاسیم را بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌دهد.

به‌طورکلی مقدار پتاسیم تبادلی در خاک داراب به طور معناداری بیشتر از خاک سپیدان بود (۷۱۸ در مقابل ۶۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم). همان‌طور که از شکل ۲ استنباط می‌شود با افزایش مقدار پتاسیم ترکیبات آلی، مقدار افزایش پتاسیم تبادلی در خاک داراب بیشتر از خاک سپیدان می‌باشد؛ یعنی با افزایش هر واحد در پتاسیم ترکیبات آلی، پتاسیم تبادلی در خاک داراب بیشتر از خاک سپیدان افزایش می‌یابد. شرایط رطوبتی



شکل ۲- ارتباط بین مقدار پتاسیم کل ترکیبات آلی و پتاسیم تبادلی خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی.

در خاک داراب در شرایط ظرفیت مزرعه گردید اما در خاک سپیدان، بقایای یونجه، ورمی‌کمپوست و کود شتر در شرایط ظرفیت مزرعه تغییر معناداری ایجاد نکرد.

افزودن همه بقایای گیاهی سبب افزایش مقدار پتاسیم تبادلی در هر دو خاک در شرایط اشباع گردید. اما در شرایط ظرفیت مزرعه نتایج کمی متفاوت بود. اگر چه همه تیمارهای کود آلی سبب افزایش پتاسیم تبادلی

جدول ۵- تغییرات مقدار پتاسیم تبدالی ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) خاک تحت اثر تیمار کودهای آلی، نوع خاک و شرایط رطوبتی و اثرات متقابل آنها.

نوع ماده آلی	خاک سپیدان		خاک داراب	
	ظرفیت مزرعه	اشباع	ظرفیت مزرعه	اشباع
شاهد	۳۶۴ <sup>x-z</sup>	۳۳۲ <sup>z</sup>	۲۴۳ <sup>l</sup>	۴۰۰ <sup>v-x</sup>
کود شتر	۳۷۹ <sup>w-y</sup>	۴۰۸ <sup>u-w</sup>	۴۲۶ <sup>t-v</sup>	۴۰۹ <sup>H</sup>
کود گاو	۵۴۶ <sup>pq</sup>	۵۳۸ <sup>pq</sup>	۷۵۶ <sup>jk</sup>	۶۶۲ <sup>F</sup>
کود گوسفند	۸۵۲ <sup>h</sup>	۸۵۸ <sup>h</sup>	۱۰۸۹ <sup>bc</sup>	۹۹۵ <sup>B</sup>
کود مرغ	۹۱۲ <sup>g</sup>	۹۳۴ <sup>fg</sup>	۱۰۴۷ <sup>cd</sup>	۹۸۳ <sup>B</sup>
کود کبوتر	۸۲۸ <sup>hi</sup>	۷۵۴ <sup>jk</sup>	۷۴۶ <sup>kl</sup>	۷۵۷ <sup>D</sup>
کود بلرچین	۵۶۴ <sup>pq</sup>	۵۳۶ <sup>qr</sup>	۵۸۲ <sup>op</sup>	۵۴۴ <sup>G</sup>
بقایای باقلا	۷۰۴ <sup>l-n</sup>	۶۸۲ <sup>mn</sup>	۹۷۳ <sup>ef</sup>	۷۸۰ <sup>C</sup>
بقایای جو	۹۱۲ <sup>g</sup>	۱۰۱۷ <sup>de</sup>	۱۱۰۹ <sup>b</sup>	۱۰۶۱ <sup>A</sup>
بقایای نخود	۶۲۱ <sup>o</sup>	۷۲۴ <sup>k-m</sup>	۶۷۱ <sup>n</sup>	۶۹۳ <sup>E</sup>
ورمی کمپوست	۳۴۳ <sup>yz</sup>	۳۸۶ <sup>v-y</sup>	۴۲۶ <sup>t-v</sup>	۴۰۶ <sup>H</sup>
بقایای یونجه	۳۴۶ <sup>yz</sup>	۴۰۶ <sup>u-x</sup>	۴۲۳ <sup>t-v</sup>	۴۰۵ <sup>H</sup>
<b>میانگین</b>	<b>۶۱۵<sup>D</sup></b>	<b>۶۳۱<sup>C</sup></b>	<b>۷۰۹<sup>B</sup></b>	<b>۷۲۶<sup>A</sup></b>

حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین‌ها با آزمون دانکن (سطح ۱ درصد) می‌باشد.

این واقعیت را می‌توان از شکل ۲ استنباط کرد که با افزایش مقدار پتاسیم ترکیبات آلی مقدار افزایش در پتاسیم غیرتبدالی در خاک‌های سپیدان به طور معناداری بیشتر از خاک‌های داراب می‌باشد و شیب معادله به‌دست آمده برای این دو خاک به ترتیب ۱۸۶ و ۱۱۹ بوده یعنی با افزایش هر واحد در پتاسیم ترکیبات آلی، مقدار افزایش در پتاسیم غیرتبدالی در خاک‌های سپیدان بیشتر از خاک‌های داراب می‌باشد. به‌طورکلی مقدار پتاسیم غیرتبدالی در خاک سپیدان به طور معناداری بیشتر از خاک داراب بود. شرایط رطوبتی اثری بر مقدار پتاسیم غیرتبدالی در خاک سپیدان نداشت؛ اما شرایط اشباع مقدار آن را در خاک داراب نسبت به شرایط ظرفیت مزرعه کاهش داد. به‌نظر می‌رسد که تمایل شدید که اسمکتیت‌ها جهت نگهداری پتاسیم به‌شکل تثبیت‌شده دارند تحت اثر مقدار رطوبت قرار نمی‌گیرد و در واقع شرایط اشباع نمی‌تواند سبب آزادسازی پتاسیم از شکل غیرتبدالی شود اما خاک‌های داراب توانایی کمتری در نگهداری پتاسیم غیرتبدالی داشته و با افزایش مقدار رطوبت، یونهای پتاسیم

پتاسیم غیرتبدالی نیز مانند دو شکل دیگر پتاسیم تحت اثر تیمارهای مختلف قرار گرفت. جدول ۶ تغییرات این شکل پتاسیم را با توجه به نوع خاک، کود آلی و شرایط رطوبتی نشان می‌دهد. مقدار پتاسیم غیرتبدالی با کاربرد کود آلی از ۱۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد بقایای یونجه تا ۵۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد بقایای جو افزایش یافت. در واقع همه انواع کودهای آلی مقدار این شکل پتاسیم را افزایش دادند. مقدار این افزایش ارتباط معناداری با مقدار پتاسیم موجود در ترکیبات آلی داشت (شکل ۳). با توجه به روابط تعادلی که بین شکل‌های مختلف پتاسیم وجود دارد با افزایش شکل‌های محلول و تبدالی، مقدار شکل غیرتبدالی نیز افزایش می‌یابد. مقدار افزایش پتاسیم غیرتبدالی با کاربرد ترکیبات آلی در خاک‌های سپیدان بیشتر از خاک‌های داراب بود که این با توجه به وضعیت مینرالوژی خاک‌های سپیدان و وجود اسمکتیت قابل توجیه می‌باشد. در واقع اسمکتیت‌ها در خاک‌های جنوب ایران تمایل به تثبیت پتاسیم و نگهداری آن به‌شکل غیرتبدالی دارند (نجفی قیری و ابطی ۲۰۱۲).

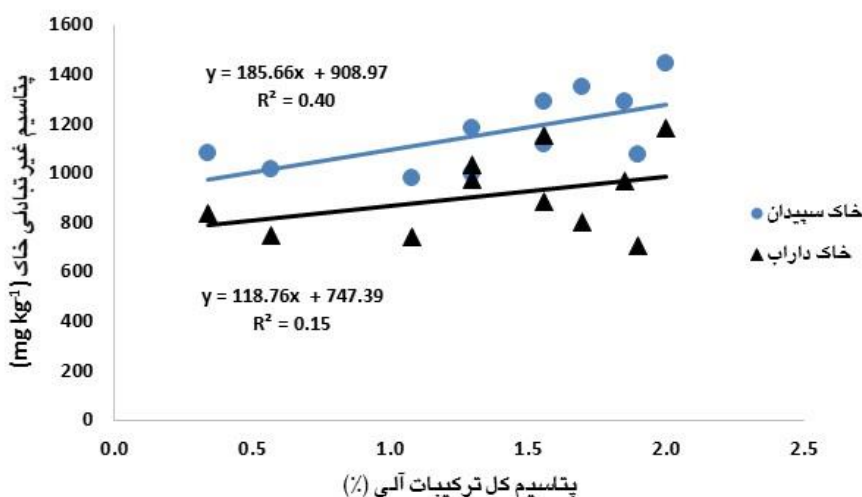
شاهد تغییری ایجاد نکرد. اثر متقابل نوع کود آلی، نوع خاک و شرایط رطوبتی نیز بر تغییرات پتاسیم غیرتبادلی معنادار بود. بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی به ترتیب در خاک سپیدان تیمار شده با کود مرغ و رطوبت ظرفیت مزرعه و خاک داراب تیمار شده با کود کبوتر و رطوبت ظرفیت مزرعه بود. نجفی قیری و اولیایی (۲۰۱۴) بیان کردند که افزودن ورمی‌کمپوست به ۱۰ سری مختلف از خاک‌های استان فارس در شرایط ظرفیت مزرعه سبب افزایش پتاسیم محلول از ۴۰ به ۱۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم تبادلی از ۲۲۷ به ۵۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پتاسیم غیرتبادلی از ۲۲۶ به ۳۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد که البته اثرات آن بیشتر در جهت افزایش پتاسیم محلول بود.

تثبیت شده می‌توانند آزاد شده و بنابراین پتاسیم غیرتبادلی کاهش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های نجفی قیری و ابطی (۲۰۱۲) مطابقت دارد که بیان کردند خاک‌های اسمکتیتی می‌توانند بیش از ۵۰ درصد پتاسیم اضافه شده به خاک را تثبیت نمایند درحالی‌که این مقدار برای برخی خاک‌ها به کمتر از ۱۰ درصد می‌رسد. اثر متقابل کود آلی و شرایط رطوبتی بر نمونه‌های خاک سپیدان معنادار بود؛ طوری که شرایط اشباع سبب افزایش پتاسیم غیرتبادلی در نمونه‌های تیمار شده با کود گاو و کبوتر گردید اما در نمونه‌های بدون تیمار کودی (شاهد) و تیمار شده با کود گوسفندی مقدار پتاسیم غیرتبادلی را کاهش داد. شرایط اشباع در نمونه‌های خاک داراب تیمار شده با کود مرغ و بقایای باقلا، مقدار پتاسیم غیرتبادلی را کاهش اما در تیمار

جدول ۶- تغییرات مقدار پتاسیم غیرتبادلی خاک ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) تحت اثر تیمار کودهای آلی، نوع خاک و شرایط رطوبتی و اثرات متقابل آنها.

نوع ماده آلی	خاک سپیدان		خاک داراب	
	ظرفیت مزرعه	اشباع	ظرفیت مزرعه	اشباع
شاهد	۸۲۰ <sup>o-f</sup>	۶۹۰ <sup>t-v</sup>	۸۱۳ <sup>o-s</sup>	۶۸۶ <sup>uv</sup>
کود شتر	۹۹۳ <sup>h-l</sup>	۱۰۴۰ <sup>g-j</sup>	۷۰۰ <sup>s-v</sup>	۷۹۰ <sup>p-u</sup>
کود گاو	۱۲۲۰ <sup>cd</sup>	۱۳۵۳ <sup>b</sup>	۹۴۶ <sup>j-n</sup>	۹۹۰ <sup>h-l</sup>
کود گوسفند	۱۴۱۷ <sup>ab</sup>	۱۱۶۳ <sup>d-f</sup>	۱۱۲۷ <sup>d-g</sup>	۱۱۸۳ <sup>de</sup>
کود مرغ	۱۴۹۳ <sup>a</sup>	۱۴۰۰ <sup>ab</sup>	۹۸۳ <sup>i-l</sup>	۱۳۸۳ <sup>ab</sup>
کود کبوتر	۹۷۶ <sup>i-m</sup>	۱۱۷۰ <sup>d-f</sup>	۶۶۳ <sup>v</sup>	۷۴۶ <sup>q-v</sup>
کود بلرچین	۱۰۶۷ <sup>e-i</sup>	۱۱۶۷ <sup>d-f</sup>	۹۲۰ <sup>k-o</sup>	۸۴۶ <sup>n-r</sup>
بقایای باقلا	۱۱۸۳ <sup>de</sup>	۱۱۷۷ <sup>de</sup>	۸۹۳ <sup>l-p</sup>	۱۱۷۰ <sup>d-f</sup>
بقایای جو	۱۳۳۷ <sup>bc</sup>	۱۳۶۳ <sup>b</sup>	۱۳۴۷ <sup>b</sup>	۱۳۵۶ <sup>b</sup>
بقایای نخود	۹۷۶ <sup>i-m</sup>	۱۰۱۳ <sup>g-k</sup>	۱۰۲۷ <sup>g-k</sup>	۹۱۶ <sup>k-o</sup>
ورمی‌کمپوست	۱۱۰۳ <sup>d-h</sup>	۱۰۵۳ <sup>f-j</sup>	۸۰۶ <sup>o-t</sup>	۸۶۳ <sup>m-q</sup>
بقایای یونجه	۹۶۳ <sup>i-n</sup>	۹۹۶ <sup>h-l</sup>	۷۵۳ <sup>q-v</sup>	۷۳۰ <sup>r-v</sup>
میانگین	۱۱۲۹A	۱۱۲۲A	۹۱۵B	۸۶۷C

حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ۳- ارتباط بین مقدار پتاسیم کل ترکیبات آلی و پتاسیم غیرتبادلی خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی.

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که ترکیبات آلی علاوه بر اثرات مثبتی که بر ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها دارند بر مقدار پتاسیم خاک و توزیع آن بین شکل‌های مختلف محلول، تبادلی و غیرتبادلی و در نتیجه چرخه پتاسیم نیز اثر مهمی دارند. نوع و منشأ ترکیبات آلی مختلف می‌تواند اثرات متفاوتی بر شکل‌های پتاسیم خاک داشته باشد. به‌طور کلی از بین بقایای گیاهی، بقایای جو و از بین کودهای دامی کود مرغی بیشترین افزایش در مقدار هر سه شکل پتاسیم را داشتند. نوع کانی‌های بخش رس خاک‌ها نیز می‌تواند در سرنوشت پتاسیم اضافه شده از طریق ترکیبات آلی مهم باشد. افزودن ترکیبات آلی در

خاک‌های سپیدان سبب افزایش همه شکل‌های پتاسیم شد اما این افزایش بیشتر در جهت شکل غیرتبادلی بود؛ درحالی‌که در خاک‌های داراب پتاسیم محلول و تبادلی بیشتر تحت اثر کاربرد ترکیبات آلی قرار گرفت و افزایش یافت. این نشان می‌دهد که قابلیت استفاده پتاسیم و همچنین احتمال آبشویی آن در خاک‌های دارای کانی اسمکتیت کمتر از دیگر خاک‌ها بوده درحالی‌که در خاک‌های دارای اسمکتیت کمتر، احتمال آبشویی پتاسیم، جذب گیاهی و همچنین شوری خاک بالاتر است. به‌رحال در کاربرد این ترکیبات به عنوان منابع سرشار از پتاسیم باید احتیاط بیشتری کرد و بعضی اثرات منفی کاربرد این کودها مانند افزایش شوری خاک را مد نظر قرار داد.

### منابع مورد استفاده

- Akbari F, Poori K, Kamkar B and Alimagham SM. 2011. Effect of wheat, soybean and cotton residues on soil potassium content and its uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agroecology Journal* 3(2): 163-171 [in Farsi].
- Anonymous. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. USDA. Hand book No. 436. U.S. Government printing office Washington, DC, USA. 754p.
- Anonymous. 2014. Keys to Soil Taxonomy. USDA. NRCS. 360 pp.
- Askegaard M and Eriksen J, 2000. Potassium retention and leaching in an organic crop rotation on loamy sand as affected by contrasting potassium budgets. *Soil Use and Management* 16: 200-205.
- Banaei MH. 1998. Soil moisture and temperature regime map of Iran. Soil and Water Research Institute. Ministry of Agriculture, Iran [in Farsi].

- Chapman HD. 1965. Cation exchange capacity. Pp. 891-901. In: Black CA (ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Am Soc Agron, Madison, WI.
- Dhillon SK and Dhillon KS, 1991. Kinetics of release of nonexchangeable potassium by cation saturated resins from red (Alfisols), Black (Vertisols) and Alluvial (Inceptisols) soils of India. *Geoderma* 47:283–300.
- Gosling P and Shepherd M, 2005. Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 425-432.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL and Nelson WL, 1999. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*, 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Helmeke PA, and Sparks DL, 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Pp. 551-574. In: Sparks DL (ed) *Method of Soil Analysis*. Part III. 3rd Ed. Am Soc Agron, Madison, WI.
- Jalali M, 2011. Comparison of potassium release of organic residues in five calcareous soils of western Iran in laboratory incubation test. *Arid Land Research and Management* 25: 101–115.
- Khaled EM, Stucki JW, 1991. Iron oxidation effects on cation fixation in smectites. *Soil Science Society of America Journal* 55: 550-554.
- Komadel P, Madejova J and Stucki JW, 2006. Structural Fe (III) reduction in smectites. *Applied Clay Science* 34:88–94.
- Mehra OP and Jackson ML. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionate citrate system with sodium bicarbonate. *Clay Minerals* 7:317–327.
- Najafi Ghiri, M. 2010. Study of morphological and mineralogical properties and potassium status of soils of Fars province. Ph.D. thesis. Department of Soil Science, Shiraz University, Iran. pp. 222 [in Farsi].
- Najafi-Ghiri M, Abtahi A, 2012. Factors affecting potassium fixation in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58:335-352.
- Najafi-Ghiri M and Owliaie HR. 2014. Effect of Vermicompost and Zeolite Applications on Potassium Transformation in Calcareous Soils of Fars Province. *Journal of Water and Soil Science* 69: 61-72 [in Farsi].
- Najafi-Ghiri M, Abtahi A, Karimian N, Owliaie H and Khormali F, 2011a. Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 57:343-363.
- Najafi-Ghiri M, Abtahi A, Owliaie HR, Hashemi SS and Koohkan H, 2011b. Factors affecting potassium pools distribution in highly calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Research and Management* 25: 313–327.
- Nelson DW and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961-1010. In: Sparks DL (ed) *Methods of Soil Analysis*, Part III, 3rd Ed., Am Soc Agron, Madison, WI.
- Oades JM, 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5: 35-70.
- Rowell DL, 1994. *Soil Science: Methods and applications*. Longman Scientific and Technical, UK.
- Richards LA. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook No. 60, United States Department of Agriculture, Washington, DC.
- Sparks DL, 1987. Potassium Dynamics in Soils. *Advances in Soil Science* 6: 1-63.
- Srinivasarao C, Rupa TR, Subba Rao A, Ramesh G and Bansal SK, 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):473–491.
- Whitbread AM, Blair GJ and Lefroy RDB, 2000. Managing legume leys, residues and fertilizers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in Australia. *Soil and Tillage Research* 54: 63–75.