

## تأثیر افزودن ورمی کمپوست و زئولیت بر تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های آهکی استان فارس

مهدی نجفی قیری<sup>۱\*</sup> و حمیدرضا اولیایی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۲۴)

### چکیده

اگر چه افزودن مواد به‌ساز به خاک جهت تغییر وضعیت پتاسیم خاک نیست، اما تأثیرات جانبی این مواد می‌تواند در توزیع پتاسیم بین شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی خاک مهم باشد. در پژوهش حاضر تأثیر افزودن مقدار ۲ درصد زئولیت، ۲ درصد ورمی کمپوست و ۱ درصد زئولیت+ ۱ درصد ورمی کمپوست روی ۱۰ خاک آهکی استان فارس در ۵ رسته، مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۹۰ روز در دمای  $22 \pm 2$  درجه سلسیوس و ۵۰ درصد رطوبت اشباع نگهداری شده و سپس شکل‌های مختلف پتاسیم در آنها اندازه‌گیری گردید. افزودن زئولیت سبب افزایش ۲۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پتاسیم تبادلی، کاهش ۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پتاسیم غیرتبادلی و عدم تغییر معنی‌دار پتاسیم محلول شد. کاربرد ورمی کمپوست اگر چه شکل محلول و تبادلی پتاسیم را افزایش داد اما این تأثیر بیشتر در جهت افزایش پتاسیم محلول بود (افزایش ۱۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم). ترکیب زئولیت+ورمی کمپوست سبب افزایش هر سه شکل پتاسیم گردید. افزایش پتاسیم محلول در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند احتمال آبشویی پتاسیم را افزایش دهد؛ اما کاربرد زئولیت می‌تواند با نگهداشتن پتاسیم در فاز تبادلی از آبشویی و تثبیت پتاسیم جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: اسمکتیت، تثبیت پتاسیم، توزیع شکل‌های پتاسیم، زئولیت، ورمی کمپوست

۱. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب دانشگاه شیراز

۲. گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج

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

## مقدمه

تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم به یکدیگر می‌تواند روی قابلیت استفاده این عنصر پرمصرف اثر گذارد؛ چرا که شکل‌های مختلف پتاسیم دارای قابلیت استفاده متفاوتی برای گیاه می‌باشند به طوری که پتاسیم محلول و تبادل‌ی به سهولت قابل استفاده، پتاسیم غیرتبادل‌ی به کندی قابل استفاده و پتاسیم ساختمانی تقریباً غیرقابل استفاده گیاه در طول یک فصل رشد می‌باشد (۱۰). بنابراین هر عاملی که روی توزیع پتاسیم بین شکل‌های مختلف اثر گذارد می‌تواند قابلیت استفاده این عنصر را تحت تأثیر قرار دهد. نجفی قیری و همکاران (۲۳ و ۲۴) با مطالعه فاکتورهای مؤثر بر توزیع شکل‌های مختلف پتاسیم در بیش از ۲۰۰ خاک مختلف استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد نشان دادند که عواملی مانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (توزیع اندازه‌ی ذرات، قابلیت هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی)، نوع کانی‌های رسی، تکامل خاک و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک می‌توانند روی مقدار، توزیع و چرخه پتاسیم مؤثر باشد. یکی از مهم‌ترین عواملی که ممکن است بر توزیع پتاسیم اثر گذارد فعالیت‌های انسان مانند افزودن کودهای آلی و شیمیایی و همچنین مواد اصلاح‌کننده خاک مانند ورمی‌کمپوست و ژئولیت می‌باشد.

ژئولیت‌ها کانی‌های آلومینوسیلیکاتی هستند و به صورت گسترده‌ای برای پالایش خاک‌ها، کنترل فرسایش خاک، بهبود خصوصیات خاک و افزایش راندمان مصرف نیتروژن استفاده می‌شوند (۴، ۷، ۱۲، ۱۸ و ۳۶). از طرف دیگر ورمی‌کمپوست‌ها ترکیبات آلی به‌ساز خاک بوده و به طور موفقیت‌آمیزی جهت بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و افزایش عملکرد گیاهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۶، ۱۷ و ۲۰). اگرچه این ترکیبات به منظور بهبود وضعیت پتاسیم خاک مورد استفاده قرار نمی‌گیرند اما تأثیرات ثانویه آنها ممکن است روی توزیع و چرخه پتاسیم خاک مؤثر باشد. فیلچوا و تسادیلاس (۷) نتیجه گرفتند که افزودن ژئولیت سبب افزایش pH و پتاسیم

تبادل‌ی خاک شد در حالی که افزودن کمپوست مقدار فسفر قابل استفاده خاک را افزایش داد. رضایی و موحدی نایینی (۲۹) نشان دادند که افزودن ژئولیت به خاک‌های ایران سبب کاهش سرعت آزادسازی پتاسیم از کانی‌های خاک گردید. با توجه به کاهش محسوس مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های ایران که در نتیجه کشاورزی فشرده و عدم استفاده از کودهای حاوی پتاسیم رخ داده است (۱) استفاده از ژئولیت و ورمی‌کمپوست ممکن است بتواند سبب بهبود وضعیت پتاسیم در این خاک‌ها گردد. ورمی‌کمپوست‌ها با توجه به منابع مورد استفاده در تهیه آنها ممکن است حاوی عناصر سنگین باشند که این می‌تواند سبب آلودگی خاک‌ها گردد. ضمناً در نتیجه تجزیه ترکیبات آلی موجود در ورمی‌کمپوست عناصر جذب شده توسط آنها می‌تواند به محیط خاک آزاد گردد. پژوهشگران جهت رفع این مشکل معمولاً از مخلوط ورمی‌کمپوست با موادی مانند ژئولیت که دارای خاصیت جذب بالا بوده و سبب غیرمتحرک شدن این عناصر برای مدت طولانی می‌گردند استفاده می‌کنند (۲۶ و ۲۸). در حال حاضر اطلاعات در مورد اثرات کاربرد ژئولیت و ورمی‌کمپوست بر تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های آهکی جنوب ایران وجود ندارد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی وضعیت تغییر شکل‌های مختلف پتاسیم پس از افزودن ژئولیت و ورمی‌کمپوست و مخلوط ژئولیت و ورمی‌کمپوست به ۱۰ سری از خاک‌های استان فارس که دارای خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی متفاوت هستند می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

بر اساس پژوهش‌های قبلی انجام شده روی خاک‌های استان فارس (۲) ۱۰ سری خاک انتخاب و نیم‌رخ‌های خاک در آنها حفر گردید. پس از تشریح افق‌ها و رده‌بندی خاک‌ها (۳۴) و (۳۵)، از افق‌های سطحی (عمق ۰-۲۰ سانتیمتر) نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند. آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی شامل توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر

این ترکیب دارای پهاش ۷/۲۷ و درصد کربن آلی ۳۷/۵ درصد بود. آزمایش های مربوط به تأثیر ژئولیت و ورمی کمپوست به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی ۱۰×۴×۳ روی ۱۰ خاک با چهار تیمار شاهد، ۲ درصد ورمی کمپوست، ۲ درصد ژئولیت و ۱ درصد ورمی کمپوست + ۱ درصد ژئولیت و سه تکرار انجام شد. به ۲۰۰ گرم خاک مقادیر مورد نیاز ژئولیت و ورمی کمپوست عبور داده شده از الک ۲ میلی متری افزوده شد تا تیمارهای مورد نظر به دست آید. سپس خاک با مواد افزوده شده کاملاً مخلوط گردید. نمونه ها در ظروف پلاستیکی به مدت ۹۰ روز در دمای ۲۲±۲ درجه سلسیوس نگهداری شدند. رطوبت نمونه ها روزانه از طریق توزین کنترل و در ۵۰ درصد رطوبت اشباع حفظ گردید. سپس نمونه ها هواخشک گردید و پس از خرد کردن، کلوخه های حاصل از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و کاملاً مخلوط گردید. شکل های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبدالی و غیرتبدالی برای همه نمونه ها اندازه گیری گردید. جهت آنالیز آماری نمونه ها از نرم افزارهای SPSS و Excel و جهت مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکی، شیمیایی، طبقه بندی و کانی شناسی بخش رس (> ۰/۰۰۲ میلی متر) خاک های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. این خاک ها به راسته های ورتی سولز، اریدی سولز، اینسپتی سولز، آلفی سولز و انتی سولز تعلق دارند. خاک های مورد مطالعه دارای رژیم های رطوبتی اریدیک، یوستیک و زیریک و رژیم های حرارتی مزیک، ترمیک و هایپرترمیک می باشند. پتاسیم کل در خاک های مورد مطالعه از ۰/۴۶ تا ۰/۹۹ درصد متغیر می باشد. این خاک ها از نظر نوع کانی های رسی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند اما درصد فراوانی این کانی ها بسیار متفاوت می باشد؛ طوری که خاک ۱ دارای کانی غالب اسمکتیت و خاک های ۴ و ۸ دارای کانی

(۳۱)، پهاش خاک در گل اشباع (۳۲)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۳۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک (۳۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیم ۱ نرمال (۶) و مقدار کربن آلی به روش سوزاندن تر (۲۵) روی نمونه ها صورت گرفت. خالص سازی رس نیز با روش های کیتریک و هوپ (۱۹) و جکسون (۱۳) با استفاده از دستگاه تفرق پرتوی ایکس زیمنس مدل D۵۵۰۰ صورت گرفت. اندازه گیری شکل های مختلف پتاسیم به روش هلمک و اسپارکز (۱۱) انجام شد. در این روش، جهت اندازه گیری پتاسیم تبدالی، ۵ گرم خاک چهار مرتبه به وسیله ۲۵ میلی لیتر استات آمونیم ۱ نرمال پهاش ۷ به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شده، سانتریفوژ و سپس محلول زلال رویی جمع آوری گردید. محلول به دست آمده با استات آمونیم به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. جهت اندازه گیری پتاسیم قابل عصاره گیری با اسید نیتریک جوشان، ۲/۵ گرم خاک و ۲۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۱ نرمال به مدت ۱۰ دقیقه جوشانده شد و پس از آن عصاره صاف شده به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. برای اندازه گیری پتاسیم کل خاک به ۰/۵ گرم خاک ۱ میلی لیتر از محلول تیزاب سلطانی (مخلوط یک قسمت اسید نیتریک غلیظ و سه قسمت اسید کلریدریک غلیظ) و ۱۰ میلی لیتر از اسید فلوریدریک افزوده شد و در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد. سپس مخلوط به والیومتریکی پلاستیکی حاوی ۲/۸ گرم اسید بوریکی انتقال داده شده و تا حجم ۱۰۰ میلی لیتر رقیق گردید. غلظت پتاسیم در عصاره ها با استفاده از دستگاه شعله سنج مدل Corning 405 اندازه گیری گردید. پتاسیم غیرتبدالی با کسر مقدار پتاسیم استخراج شده به وسیله اسید نیتریک از استات آمونیم محاسبه گردید. همه اندازه گیری ها در سه تکرار صورت گرفت.

ژئولیت مورد استفاده از معادن اطراف سمنان استخراج و سپس آسیاب و از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. درصد عنصری ژئولیت در جدول ۱ نشان داده شده است. ورمی کمپوست مورد استفاده از زباله های شهری تهیه گردید.

جدول ۱. ترکیب عنصری زئولیت مورد استفاده (%).

Cl	TiO <sub>۲</sub>	MgO	CaO	K <sub>۲</sub> O	Na <sub>۲</sub> O	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	SiO <sub>۲</sub>
۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۲۷	۲/۱۳	۳/۵۶	۰/۵۹	۸/۴۷	۷۰/۵۶

بر کیلوگرم بود. به هر حال با توجه به مقدار بالای پتاسیم محلول موجود در ورمی کمپوست (۱۳۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) این افزایش قابل انتظار می باشد. کمترین مقدار افزایش در خاک ۱ مشاهده شد که این می تواند در نتیجه تثبیت پتاسیم توسط کانی اسمکتیت در این خاک باشد. مهم ترین کانی تثبیت کننده پتاسیم در خاک های آهکی اسمکتیت ها بوده و مشاهده شده که خاک های رسی دارای اسمکتیت بالا می توانند حتی تا ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم پتاسیم اضافه شده به خاک را تثبیت کنند (۲۱). ارتباط منفی و معنی داری بین مقدار افزایش پتاسیم محلول با کاربرد ورمی کمپوست و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ضریب همبستگی ۰/۶۷-) به دست آمد که این می تواند بازتاب کننده نقش بار منفی خاک در جذب پتاسیم محلول باشد.

ورمی کمپوست منبع خوبی برای نگهداری فلزات سنگین در خاک می باشد و اهمیت آن در جذب سطحی فلزات توسط پژوهشگران زیادی به اثبات رسیده است (۸ و ۱۵)؛ اما کاربرد آن دارای اشکالاتی می باشد. یکی از مهم ترین معایب، تجزیه ترکیبات آلی موجود در ورمی کمپوست با گذشت زمان و آزادسازی مجدد عناصر نگهداری شده به وسیله آنها به سیستم خاک می باشد. در مواردی با اضافه نمودن مواد معدنی دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالا مانند زئولیت که با گذشت زمان تغییر و تحولات کمتری را طی می کنند این مشکل را رفع نموده اند. به هر حال در پژوهش حاضر از ترکیب ورمی کمپوست و زئولیت به نسبت ۱:۱ استفاده گردید که تأثیر آن روی میزان پتاسیم محلول خاک معنی دار بود و در واقع سبب افزایش مقدار پتاسیم محلول نسبت به نمونه های شاهد گردید. اگرچه کاربرد ورمی کمپوست می تواند سبب افزایش شدید پتاسیم محلول گردد اما افزودن زئولیت می تواند تا حدودی این افزایش را

غالب کلریت می باشند. مقدار پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل در زئولیت به ترتیب ۸۰، ۶۱۰۰، ۷۴۶۰ و ۱۷۶۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود. مقدار پتاسیم محلول، تبادلی و کل در ورمی کمپوست نیز به ترتیب ۱۳۳۰۰، ۱۴۱ و ۱۴۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد.

#### تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر پتاسیم محلول

مقدار پتاسیم محلول در خاک های مورد مطالعه و هم چنین تأثیر افزودن ۲ درصد زئولیت، ۲ درصد ورمی کمپوست و ۱ درصد زئولیت+۱ درصد ورمی کمپوست بر میزان تغییرات پتاسیم محلول در جدول ۳ نشان داده شده است. افزودن زئولیت تأثیر معنی داری (در سطح احتمال ۵ درصد) روی مقدار میانگین پتاسیم محلول در ۱۰ خاک مورد مطالعه ندارد. اما نتایج نشان می دهد که زئولیت سبب افزایش مقدار پتاسیم محلول در خاک هایی که دارای پتاسیم محلول کم می باشند می شود (خاک های ۱ و ۲). از طرف دیگر افزودن زئولیت به خاک های دارای مقدار پتاسیم محلول بالا (خاک های ۸ و ۹) سبب کاهش مقدار پتاسیم محلول شده است. کاهش پتاسیم محلول در خاک های ۸ و ۹ را می توان به تمایل زیاد زئولیت به جذب پتاسیم نسبت داد (۲۷ و ۵). رضایی و موحدی نایینی (۲۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان کردند که کاربرد زئولیت به خاک سبب کاهش پتاسیم محلول و افزایش پتاسیم قابل استفاده می گردد. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که کاربرد زئولیت سبب تعدیل مقدار پتاسیم محلول در خاک های مختلف می شود. کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش قابل ملاحظه پتاسیم محلول خاک گردید. این افزایش به طور میانگین ۱۳۹ میلی گرم

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی شیمیایی، طبقه بندی و کانی های رسی خاک های مورد مطالعه.

کانی شناسی (>۳ میکرون)	پتانسیم کل (%)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	CEC (cmolc kg <sup>-1</sup> )	ماده آلی (%)	CCE (%)	پ هاش	کلاس بافت	رس (%)	شن (%)	طبقه بندی خاک (USDA)	شماره نیمه
S >> M > V	۱/۰	۰/۴	۳۴/۷	۱/۷	۱۴/۱	۷/۳	رسی	۵۱/۰	۱۳/۳	Typic Haploxererts	۱
S = M = C > P > Q	۰/۵	۳/۷	۱۳/۲	۱/۴	۴۴/۶	۷/۳	لوم شنی	۱۱/۰	۵۵/۳	Typic Haplocalcids	۲
P = C > M = S	۰/۵	۲/۲	۱۰/۴	۰/۷	۵۳/۹	۷/۷	لوم سیلتی	۱۳/۰	۲۹/۳	Gypsic Calcitustepts	۳
C > S = P = M	۰/۹	۱/۲	۱۵/۰	۱/۴	۳۱/۲	۷/۵	رس سیلتی	۴۰/۰	۱۴/۳	Vertic Calcixererts	۴
S = C = M	۰/۵	۱/۲	۱۶/۹	۳/۹	۵۵/۶	۷/۶	لوم رسی	۲۹/۰	۲۰/۳	Typic Calcixererts	۵
S = C = M	۰/۵	۱/۶	۱۰/۰	۱/۵	۴۲/۰	۷/۶	لوم سیلتی	۳۴/۰	۲۱/۳	Calcic Haploxeralfs	۶
S > C > M	۰/۶	۷/۱	۵/۴	۰/۵	۵۴/۰	۷/۶	لوم شنی	۱۰/۰	۵۶/۳	Typic Torrtorthents	۷
C > S > P > M	۰/۶	۲/۲	۷/۲	۱/۱	۵۱/۲	۷/۵	رس سیلتی	۴۲/۰	۲/۳	Sodic Haplocambids	۸
S = C = M = P	۰/۶	۱/۴	۱۳/۷	۲/۸	۴۶/۵	۷/۴	لوم سیلتی	۳۶/۰	۲۰/۳	Aquic Natriferalfs	۹
M > S > C > P	۰/۵	۰/۷	۹/۹	۲/۲	۵۴/۷	۷/۵	لوم	۲۲/۰	۳۲/۳	Typic Calcixererts	۱۰

CCE: کربنات کلسیم معادل؛ CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی؛ EC: قابلیت هدایت الکتریکی؛ S: اسمکتیت؛ M: میکا؛ C: کلریت؛ P: پالگورسکیت؛ V: ورمیکولیت؛ Q: کوارتز.

جدول ۳. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی کمپوست بر مقدار پتاسیم محلول ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	شاهد	ورمی کمپوست (۲ درصد)	زئولیت (۲ درصد)	زئولیت + ورمی کمپوست (۱ درصد + ۱ درصد)
۱	۶/۷	۱۶/۷	۱۳/۳	۱۰/۰
۲	۱۶/۷	۷۶/۶	۳۰/۰	۴۰/۰
۳	۴۳/۳	۱۸۴/۰	۵۳/۳	۹۴/۱
۴	۳۳/۳	۲۳۵/۵	۴۰/۰	۸۰/۰
۵	۲۳/۳	۱۵۱/۷	۲۶/۷	۵۰/۰
۶	۲۳/۳	۱۳۵/۳	۳۰/۰	۵۰/۰
۷	۳۳/۳	۲۵۲/۱	۳۳/۳	۷۶/۶
۸	۱۳۹/۴	۴۳۹/۸	۱۰۴/۸	۱۷۶/۰
۹	۶۳/۳	۱۸۸/۰	۵۶/۶	۸۳/۵
۱۰	۲۳/۳	۱۲۳/۰	۵۶/۶	۵۰/۰
میانگین	۴۰/۶ <sup>c</sup>	۱۸۰/۳ <sup>a</sup>	۴۴/۵ <sup>c</sup>	۷۱/۰ <sup>b</sup>

a, b و c: حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

#### تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر پتاسیم تبدلی

همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است مقدار پتاسیم تبدلی در خاک‌های مورد مطالعه از ۱۰۰ تا ۴۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده که با افزودن زئولیت و ورمی کمپوست به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. مقدار افزایش پتاسیم تبدلی در تیمار زئولیت و زئولیت+ورمی کمپوست نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ورمی کمپوست می‌باشد. همان‌طور که قبلاً گفته شد درصد بالایی از پتاسیم در زئولیت مورد استفاده در بخش تبدلی قرار گرفته است. این در حالی است که بیشتر پتاسیم موجود در ورمی کمپوست را شکل محلول تشکیل می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پتاسیم تبدلی با کاربرد زئولیت به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است. به هر حال این افزایش در خاک ۱ کمتر از بقیه خاک‌ها می‌باشد که این می‌تواند در نتیجه تثبیت پتاسیم به وسیله کانی اسمکتیت باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که زئولیت تمایل زیادی برای جذب پتاسیم خاک دارد (۲۷ و ۵) و همان‌گونه که تجزیه زئولیت نشان می‌دهد مقدار پتاسیم تبدلی در آن نسبت به پتاسیم محلول

تعدیل کرده و سبب قرار گرفتن پتاسیم در مکان‌های تبدلی گردد. این توصیه مخصوصاً برای خاک‌های ۴، ۷ و ۸ که در مقابل تغییرات پتاسیم محلول مقاومت کمتری نشان می‌دهند مهم می‌باشد. کاربرد توام زئولیت و ورمی کمپوست سبب افزایش ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم محلول شد که در مقابل میزان افزایش ناشی از کاربرد ورمی کمپوست بسیار کمتر می‌باشد. غلظت افزایش یافته پتاسیم در محلول خاک در اثر کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها، تحت تأثیر قرار دادن جذب سایر کاتیون‌ها توسط گیاه، تثبیت پتاسیم و افزایش احتمال آبشویی پتاسیم مخصوصاً در خاک‌های درشت بافت شود. اما کاربرد زئولیت با توجه به تمایل زیاد این کانی در نگهداری پتاسیم به صورت تبدلی می‌تواند مانع از آبشویی این عنصر در خاک‌های درشت بافت و کاهش تثبیت آن در خاک‌های اسمکتیتی شود. البوسعیدی و همکاران (۳) بیان کردند که کاربرد زئولیت می‌تواند افزایش غلظت پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم ناشی از کاربرد آب‌های شور در خاک را تا حد زیادی بهبود بخشد.

جدول ۴. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی کمپوست بر مقدار پتاسیم تبدلی ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	شاهد	ورمی کمپوست (۲ درصد)	زئولیت (۲ درصد)	زئولیت + ورمی کمپوست (۱ درصد + ۱ درصد)
۱	۳۰۰/۲	۳۶۸/۷	۴۲۰/۸	۳۰۰/۲
۲	۳۱۰/۲	۵۴۹/۹	۵۸۸/۴	۳۱۰/۲
۳	۱۳۱/۴	۲۹۱/۱	۴۲۸/۷	۱۳۱/۴
۴	۱۱۱/۸	۲۶۶/۹	۴۰۶/۹	۱۱۱/۸
۵	۲۰۲/۳	۴۷۴/۸	۵۲۰/۳	۲۰۲/۳
۶	۲۰۹/۱	۴۴۲/۷	۵۱۵/۷	۲۰۹/۱
۷	۱۰۰/۰	۲۴۳/۵	۴۳۵/۰	۱۰۰/۰
۸	۲۸۸/۴	۴۱۵/۸	۵۱۸/۹	۲۸۸/۴
۹	۴۲۵/۶	۶۶۷/۶	۷۳۷/۹	۴۲۵/۶
۱۰	۱۹۵/۴	۴۳۸/۹	۴۸۹/۰	۱۹۵/۴
میانگین	۲۲۷/۴ <sup>c</sup>	۴۱۶/۰ <sup>b</sup>	۵۰۶/۲ <sup>a</sup>	۵۰۶/۰ <sup>a</sup>

a و b: حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست به خاک و کانی‌های خاک مشاهده نشد. اما آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که مقدار افزایش پتاسیم تبدلی ارتباط منفی با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ضریب هم‌بستگی  $-0/69$ ) و ارتباط مثبت با مقدار کربنات کلسیم خاک (ضریب هم‌بستگی  $0/75$ ) داشت.

#### تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر پتاسیم غیرتبدلی

پتاسیم غیرتبدلی در خاک‌ها شکلی از پتاسیم است که توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. از طرفی در خاک‌های دچار کمبود پتاسیم قابل استفاده، این شکل می‌تواند منبع مهمی برای تامین نیاز گیاه باشد و از طرف دیگر در خاک‌های اسمکتیتی، پتاسیم اضافه شده به خاک می‌تواند توسط کانی‌ها تثبیت و به شکل غیرتبدلی تبدیل شود (۲۱). جدول ۵ نشان می‌دهد که مقدار پتاسیم غیرتبدلی در خاک‌های مورد مطالعه از ۸۰ تا ۵۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد. کاربرد زئولیت سبب کاهش معنی دار پتاسیم غیرتبدلی در خاک‌ها شده است. این بدین معنی است که زئولیت سبب آزادسازی پتاسیم

بسیار بیشتر می‌باشد. بنابراین در خاک‌های اسمکتیتی که قدرت تثبیت بالای پتاسیم دارند (مانند خاک ۱) و هم‌چنین خاک‌های درشت بافت که افزایش پتاسیم محلول خطر آبشویی این عنصر را افزایش می‌دهد کاربرد زئولیت می‌تواند پتاسیم را در فاز تبدلی نگهداشته و از تثبیت و آبشویی آن جلوگیری کند. این نتایج موافق یافته‌های فیلیچوا و تسادیلاس (۷) و رودریگز و همکاران (۳۰) می‌باشد که بیان می‌کنند کاربرد زئولیت و کمپوست سبب افزایش معنی دار پتاسیم تبدلی خاک می‌گردد. این نکته را باید در نظر داشت که اگرچه کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش معنی دار پتاسیم تبدلی خاک شده است اما پتاسیم محلول نیز به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که این سبب افزایش احتمال آبشویی پتاسیم می‌گردد. ضرابی و جلالی (۳۷) در مطالعه تأثیر کاربرد کمپوست به خاک‌های آهکی ایران نتیجه گرفتند که کاربرد این مواد سبب افزایش آبشویی یون‌های پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم شد.

هیچ ارتباطی بین مقدار افزایش پتاسیم تبدلی در نتیجه

جدول ۵. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی کمپوست بر مقدار پتاسیم غیر تبادل (mg kg<sup>-1</sup>) در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	شاهد	ورمی کمپوست (۲ درصد)	زئولیت (۲ درصد)	زئولیت+ورمی کمپوست (۱ درصد + ۱ درصد)
۱	۴۸۰/۴	۵۶۳/۷	۵۱۴/۹	۵۵۲/۲
۲	۵۵۴/۱	۶۲۲/۲	۴۸۰/۴	۵۴۸/۰
۳	۱۶۲/۶	۲۹۳/۳	۱۱۷/۸	۲۰۴/۴
۴	۷۹/۸	۱۹۱/۰	۹۳/۱	۱۱۰/۱
۵	۱۳۹/۹	۲۳۵/۶	۱۱۹/۱	۱۶۲/۱
۶	۱۸۵/۹	۳۲۱/۶	۱۸۵/۳	۲۹۲/۲
۷	۱۲۹/۰	۲۰۷/۲	۱۱۲/۲	۱۳۴/۵
۸	۱۵۳/۲	۱۸۳/۳	۱۱۱/۱	۱۳۷/۸
۹	۲۲۳/۳	۳۶۳/۱	۱۹۵/۵	۲۸۳/۲
۱۰	۱۵۶/۱	۲۹۴/۷	۹۱/۶	۱۳۴/۲
میانگین	۲۲۶/۴ <sup>c</sup>	۳۲۷/۶ <sup>a</sup>	۲۰۲/۱ <sup>d</sup>	۲۵۵/۹ <sup>b</sup>

a, b, c و d: حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

اما وجود مقادیر بالای پتاسیم محلول در ورمی کمپوست می‌تواند سبب پخشیدگی آن به بین لایه‌های کانی‌ها و افزایش مقدار پتاسیم غیرتبادل شود. افزودن مخلوط زئولیت و ورمی کمپوست سبب کاهش پتاسیم غیرتبادل در خاک‌های ۲، ۸ و ۱۰ و افزایش آن در سایر خاک‌ها گردید ولی به طور کلی این تیمار سبب افزایش معنی دار پتاسیم غیرتبادل شده است.

#### تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر مجموع شکل‌های پتاسیم

تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک (مجموع پتاسیم محلول، تبادل و غیرتبادل) در جدول ۶ نشان داده شده است. میانگین مقدار پتاسیم قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک با کاربرد ورمی کمپوست و زئولیت بیشتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد که این به دلیل مقادیر بالای پتاسیم محلول در ورمی کمپوست و

غیرتبادل از کانی‌ها می‌شود. با توجه به اینکه زئولیت سبب کاهش پتاسیم محلول و غیرتبادل و افزایش پتاسیم تبادل شده است این امر نشان دهنده تمایل بالای زئولیت در جذب پتاسیم از خاک و نگهداری آن به صورت تبادل می‌باشد. کاربرد زئولیت در خاک ۱ تأثیر متفاوتی داشته و سبب افزایش پتاسیم غیرتبادل شده است. این امر نشان دهنده تثبیت پتاسیم در این خاک‌ها به دلیل مقدار بالای کانی‌های تثبیت کننده پتاسیم می‌باشد.

کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش معنی دار پتاسیم غیرتبادل در خاک‌ها شد. با توجه به غلظت بالای پتاسیم محلول در ورمی کمپوست، یون‌های پتاسیم بر اثر پخشیدگی به فضای بین لایه‌ای کانی‌های تثبیت کننده پتاسیم (اسمکتیت و میکاهای هوادیده) وارد شده و به شکل غیرتبادل در می‌آیند (۲۱). اگر چه محققان (۲۲) بیان می‌کنند که افزودن اسیدهای آلی به خاک سبب افزایش آزادسازی پتاسیم از شکل غیرتبادل و در نتیجه کاهش این شکل پتاسیم می‌گردد



جدول ۶. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی کمپوست بر مجموع شکل های پتاسیم ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) در خاک های مورد مطالعه

شماره خاک	شاهد	ورمی کمپوست (۲ درصد)	زئولیت (۲ درصد)	زئولیت+ورمی کمپوست (۱ درصد + ۱ درصد)
	۷۸۷/۲	۹۴۹/۰	۹۴۹/۰	۹۵۹/۰
	۸۸۰/۹	۱۲۴۸/۷	۱۰۹۸/۹	۱۱۷۴/۵
	۳۳۷/۴	۷۶۸/۴	۵۹۹/۸	۶۷۹/۵
	۲۲۴/۹	۶۹۳/۵	۵۴۰/۰	۵۹۰/۴
	۳۶۵/۵	۸۶۲/۲	۶۶۶/۰	۷۲۹/۰
	۴۱۸/۳	۸۹۹/۶	۷۳۱/۰	۸۶۲/۲
	۲۶۲/۴	۷۰۲/۸	۵۸۰/۵	۶۱۶/۵
	۵۸۱/۰	۱۰۳۸/۹	۷۳۴/۷	۸۷۱/۵
	۷۱۲/۲	۱۲۱۸/۷	۹۹۰/۰	۱۱۳۸/۸
	۳۷۴/۹	۸۵۶/۵	۶۳۷/۲	۷۱۲/۲
میانگین	۴۹۴/۵ <sup>d</sup>	۹۲۳/۸ <sup>a</sup>	۷۵۲/۷ <sup>c</sup>	۸۳۳/۴ <sup>b</sup>

a, b, c و d: حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می باشد.

جدول ۷. تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر توزیع شکل های محلول، تبادلی و غیر تبادلی پتاسیم (%) در خاک های مورد مطالعه

شماره خاک	شاهد			ورمی کمپوست			زئولیت			زئولیت+ورمی کمپوست		
	محلول	تبادلی	غیر تبادلی	محلول	تبادلی	غیر تبادلی	محلول	تبادلی	غیر تبادلی	محلول	تبادلی	غیر تبادلی
۱	۱	۳۸	۶۱	۲	۳۹	۵۹	۱	۴۴	۵۵	۱	۴۱	۵۸
۲	۲	۳۵	۶۳	۶	۴۴	۵۰	۳	۵۳	۴۴	۳	۵۰	۴۷
۳	۱۳	۳۹	۴۸	۲۴	۳۸	۳۸	۹	۷۱	۲۰	۱۴	۵۶	۳۰
۴	۱۵	۵۰	۳۵	۳۴	۳۸	۲۸	۷	۷۶	۱۷	۱۴	۶۷	۱۹
۵	۶	۵۶	۳۸	۱۸	۵۵	۲۷	۴	۷۸	۱۸	۷	۷۱	۲۲
۶	۶	۵۰	۴۴	۱۵	۴۹	۳۶	۴	۷۱	۲۵	۶	۶۰	۳۴
۷	۱۳	۳۸	۴۹	۳۶	۳۵	۲۹	۶	۷۵	۱۹	۱۲	۶۶	۲۲
۸	۲۴	۵۰	۲۶	۴۲	۴۰	۱۸	۱۴	۷۱	۱۵	۲۰	۶۴	۱۶
۹	۹	۶۰	۳۱	۱۵	۵۵	۳۰	۶	۷۴	۲۰	۷	۶۸	۲۵
۱۰	۶	۵۲	۴۲	۱۴	۵۲	۳۴	۹	۷۷	۱۴	۷	۷۴	۱۹
میانگین	۹ <sup>b</sup>	۴۷ <sup>c</sup>	۴۴ <sup>a</sup>	۲۱ <sup>a</sup>	۴۴ <sup>c</sup>	۳۵ <sup>c</sup>	۶ <sup>c</sup>	۶۹ <sup>a</sup>	۲۵ <sup>d</sup>	۹ <sup>b</sup>	۶۲ <sup>b</sup>	۲۹ <sup>c</sup>

a, b, c و d: حروف متفاوت در هر ردیف برای هر شکل پتاسیم نشان دهنده تفاوت معنی دار میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می باشد.

۴۴ درصد در فاز غیرتبادلی می‌باشد. با کاربرد ورمی‌کمپوست مقدار پتاسیم محلول از ۹ به ۲۱ درصد افزایش یافته است. کاربرد زئولیت سبب کاهش معنی‌دار درصد پتاسیم محلول شده است. کاربرد توام زئولیت و ورمی‌کمپوست تغییر قابل ملاحظه‌ای در درصد پتاسیم محلول نداده است. کاربرد ورمی‌کمپوست با وجود این که مقدار پتاسیم تبادلی را افزایش داده است اما تغییر معنی‌داری روی درصد این شکل نداشته است. در حالی که کاربرد زئولیت سبب افزایش درصد پتاسیم تبادلی شده است. بیشترین درصد پتاسیم غیرتبادلی در نمونه‌های شاهد مشاهده شد و در واقع کاربرد تیمارهای مختلف سبب کاهش درصد این شکل پتاسیم گردید. بیشترین کاهش پتاسیم غیرتبادلی در تیمار زئولیت مشاهده شد. پانویچ و همکاران (۲۷) بیان کردند که زئولیت توانست حتی در حضور فلزات سنگینی چون کادمیم تمام یون‌های پتاسیم و آمونیم افزوده شده از طریق محلول‌های غذایی را به‌خود جذب کند. تمایل زیاد زئولیت برای جذب یون‌های پتاسیم و آمونیم توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (۵). نگهداری شدید پتاسیم به‌وسیله زئولیت سبب کاهش واجذب این یون در خاک نیز می‌شود (۲۹).

ارتباط معنی‌داری بین کانی‌شناسی خاک و تغییر و تحولات پتاسیم به‌دست نیامد. به هر حال کانی‌شناسی بخش سیلت و شن نیز در تغییر شکل پتاسیم در خاک مخصوصاً تثبیت آن به‌وسیله کانی‌های میکایی که بیشتر در بخش شن و سیلت خاک وجود دارند مهم می‌باشد و این نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ورمی‌کمپوست پتاسیم خاک را به‌سمت شکل محلول متمایل کرده در حالی که کاربرد زئولیت و زئولیت+ورمی‌کمپوست سبب تمرکز بیشتر پتاسیم خاک در فاز تبادلی می‌شود که این نتایج می‌تواند در مدیریت کاربرد این مواد از نظر جلوگیری از هدرروی پتاسیم از خاک (آبشویی و تثبیت) بسیار مهم باشد.

پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در زئولیت می‌باشد. کمترین مقدار افزایش در خاک ۱ مشاهده شد. این خاک به‌راسته ورتی‌سولز تعلق داشته و دارای بیش از ۵۰ درصد رس، کانی غالب اسمکتیت و مقدار بسیار کمتر کربنات کلسیم نسبت به دیگر خاک‌ها می‌باشد. همان‌طور که گفته شد رس‌های اسمکتیت تمایل زیادی به جذب پتاسیم و تثبیت آن دارند. افزایش کم مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک می‌تواند مربوط به قدرت این عصاره‌گیر در استخراج پتاسیم تثبیت شده از این خاک باشد.

تأثیر ورمی‌کمپوست در افزایش مجموع شکل‌های پتاسیم به‌طور معنی‌داری بیشتر از زئولیت می‌باشد که این می‌تواند به‌علت تأثیری باشد که اسیدهای آلی موجود در ورمی‌کمپوست در آزادسازی پتاسیم از خاک دارند. به‌نظر می‌رسد مهمترین کانی که می‌تواند بر وضعیت پتاسیم در خاک تأثیر بگذارد اسمکتیت باشد. از آنجا که خاک‌های مورد مطالعه دارای مخلوطی از کانی‌های رسی هستند تفاوت قابل ملاحظه‌ای نیز در تغییرات پتاسیم از خود نشان نمی‌دهند. تفاوت قابل انتظار در خاک ۱ می‌باشد که شدیداً رسی و اسمکتیتی بوده و تغییرات متفاوتی را در مقدار پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در نتیجه کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست از خود نشان می‌دهد.

### تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست بر توزیع شکل‌های پتاسیم

جدول ۷ تأثیر تیمارهای مختلف بر توزیع پتاسیم بین شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی پس از ۹۰ روز خوابانیدن نمونه‌ها را نشان می‌دهد. اعداد این جدول بیانگر این است که پس از اعمال تیمارها و در پایان مراحل آزمایش، چند درصد از کل پتاسیم استخراج شده به‌وسیله اسید نیتریک در بخش‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی وجود دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تیمار شاهد از مقدار پتاسیم استخراج شده به‌وسیله محلول اسید نیتریک جوشان (مجموع پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی) ۹ درصد در فاز محلول، ۴۷ درصد در فاز تبادلی و

## منابع مورد استفاده

۱. بلالی، م. ر. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات پتاسیم تبادلی در خاک‌های کشاورزی ایران. علوم خاک و آب ۱۲(۳): ۷۰-۵۹.
۲. نجفی قیری، م. ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کانی‌شناسی و وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان فارس. پایان نامه دکتری بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
3. Al-Busaidi, A., T. Yamamoto, M. Inoue, E. Eneji, Y. Mori and M. Irshad. 2008. Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *J. Plant Nutr.* 31:1159-1173.
4. Andry, H., T. Yamamoto and M. Inoue. 2009. Influence of artificial zeolite and hydrated lime amendments on the erodibility of an acidic soil. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis* 40:1053-1072.
5. Barros, M. A. S. D. and P. A. Arroyo. 2004. Thermodynamics of the exchange processes between  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Cr^{3+}$  in zeolite NaA. *Adsorption* 10: 227-235.
6. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. *In*: Black, C. A., (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2.* Madison (WI): Am. Society of Agronomy.
7. Filcheva, E. G. and C. D. Tsadilas. 2002. Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. *Communications in Soil Sci. and Plant Anal.* 33(3&4): 595-607.
8. Gadepalle, V. P., S. K. Ouki, R. V. Herwijnen and T. Hutchings. 2008. Effects of amended compost on mobility and uptake of arsenic by rye grass in contaminated soil. *Chemosphere* 72: 1056-1061.
9. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis, *In* *Methods of Soil Analysis: part 1-Physical and Mineralogical Methods.* Soil Science Society of America Book Series, 5, American Society of Agronomy, Inc, Madison, Wisconsin, USA. PP. 383-411.
10. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers.* Prentice-Hall International (UK) Limited, London.
11. Helmeke, P. A. and D. L. Sparks. 1996. *Methods of Soil Analysis, part 3: Chemical Methods.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
12. Herwijnen, R. V., T. R. Hutchings, A. Al-Tabbaa, A. J. Moffat, M. L. Johns and S. K. Ouki. 2007. Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environ. Pollution* 150: 347-354.
13. Jackson, M. L. 1975. *Soil Chemical Analysis: Advanced Course.* Department of Soils, College of Agriculture, University of Wisconsin, Madison, WI.
14. Jalali, M. and M. Zarabi. 2006. Kinetics of non-exchangeable-potassium release and plant response in some calcareous soils. *J. plant nutrition and soil sci.* 169: 194-204.
15. Jordao, C. P., W. L. Pereira, D. M. Carari, R. B. A. Fernandes, R. M. De Almeida and M. P. F. Fontes. 2011. Adsorption from Brazilian soils of Cu(II) and Cd(II) using cattle manure vermicompost. *International J. Environ. Studies* 68(5): 719-736.
16. Kalantari, S., M. M. Ardalani, H. A. Alikhani and M. Shorafa. 2011. Comparison of compost and vermicompost of yard leaf manure and inorganic fertilizer on yield of corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42:123-131.
17. Kamali, S., A. Ronaghi and N. Karimian. 2010. Zinc transformation in a calcareous soil as affected by applied zinc sulfate, vermicompost, and incubation time. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis* 41: 2318-2329.
18. Kithome, M., J. W. Paul, L. M. Lavkulich and A. A. Bomke. 1998. Kinetics of ammonium adsorption and desorption by the natural zeolite clinoptilolite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 622-629.
19. 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.
20. Nada, W., L. V. Rensburg, S. Claassens and O. Blumenstein. 2011. Effect of vermicompost on soil and plant properties of coal spoil in the Lusatian region (eastern Germany). *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis* 42: 945-957.
21. Najafi-Ghiri, M. and A. Abtahi. 2012. Factors affecting potassium fixation in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Sci.* 58(3): 335-352.
22. Najafi-Ghiri, M. and H. R. Jaber. 2013. Soil minerals effect on potassium release from soil fractions by different extractants. *Arid Land Res. and Management* 27(2): 111-127.
23. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, F. Jaberian and H. R. Owliaie. 2010. Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. *Australian J. Basic and Applied Sci.* 4(3): 434-441.
24. Najafi-Ghiri, M., A. Abtahi, H. R. Owliaie, S. S. Hashemi and H. Koohkan. 2011. Factors affecting potassium pools distribution in highly calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Res. and Management* 25: 313-327.

25. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In D. L. Sparks et al. (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part III*, 3<sup>rd</sup> ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI. PP. 961-1010.
26. Nissen, L. R., N. W. Lepp and R. Edwards. 2000. Synthetic zeolites as amendments for sewage sludge-based compost. *Chemosphere* 41: 265-269.
27. Panuccio, M. R., F. Crea, A. Sorgona and G. Caccoa. 2007. Adsorption of nutrients and cadmium by different minerals: Experimental studies and modeling. *J. Environ. Management* 88: 890-898.
28. Rebedea, I., R. Edwards, N. W. Lepp and A. J. Lovell. 1998. Potential application of synthetic zeolites for in situ land reclamation. *In: Prost, R. (Ed.), Contaminated Soils: Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. colloque 85, INRA, Paris.*
29. Rezaei, M. and S. A. R. Movahedi Naeini. 2009. Kinetics of potassium desorption from the loess soil, soil mixed with zeolite and the clinoptilolite zeolite as influenced by calcium and ammonium. *J. Applied Sci.* 9(18): 3335-3342.
30. Rodriguez, F., C. Guerrero, R. Moral, H. Ayguade and J. Mataix-Beneyto. 2005. Effects of composted and non-composted solid phase of pig slurry on N, P, and K contents in two Mediterranean soils. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis* 36: 635-647.
31. Rowell, D. L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Scientific and Technical, UK.
32. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Handbook No. 60. Washington (DC): United States Department of Agriculture (USDA).
33. Sharpley, A. N. 1989. Relationship between potassium forms and mineralogy. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 52: 1023-1028.
34. Soil Survey Staff. 1993. *Soil survey manual*. USDA. Hand book No. 18. Washington, D C, USA.
35. Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA. NRCS. 939 p.
36. Tarkalson, D. D. and J. A. Ippolito. 2011. Clinoptilolite zeolite influence on nitrogen in a manure-amended sandy agricultural soil. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis* 42: 2370-2378.
37. Zarabi, M. and M. Jalali. 2012. Leaching of nitrogen and base cations from calcareous soil amended with organic residues. *Environ. Technology* 33(14): 1577-1588.