

تأثیر افزودن ورمی کمپوست و زئولیت بر تغییر شکل های مختلف پتاسیم در خاک های آهکی استان فارس

مهدی نجفی قیری^{۱*} و حمیدرضا اولیایی^۲

(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 می تواند در توزیع پتاسیم بین شکل های محلول، تبادلی و غیر تبادلی 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. آزمایش ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نمونه ها به مدت ۹۰ روز در دمای 22 ± 2 درجه سلسیوس و ۵۰ درصد رطوبت اشباع نگهداری شده و سپس شکل های مختلف پتاسیم در آنها اندازه گیری گردید. افزودن زئولیت سبب افزایش ۲۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم در پتاسیم تبادلی، کاهش ۲۴ میلی گرم بر کیلوگرم در پتاسیم غیر تبادلی و عدم تغییر معنی دار 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 میلی گرم بر کیلوگرم). ترکیب زئولیت+ورمی کمپوست سبب افزایش هر سه شکل پتاسیم گردید. افزایش پتاسیم محلول در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست می تواند احتمال آبشویی پتاسیم را افزایش دهد؛ اما کاربرد زئولیت می تواند با نگهداشتن پتاسیم در فاز تبادلی از آبشویی و تثبیت پتاسیم جلوگیری کند.

واژه های کلیدی: اسمکتیت، تثبیت پتاسیم، توزیع شکل های 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 تبادل‌پذیر به سهولت قابل استفاده، پتاسیم غیرتبادل‌پذیر 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 اندازه‌های 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 زئولیت می‌باشد.

زئولیت‌ها 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. فیلیچوا و تسادیلاس (۷) نتیجه گرفتند که افزودن زئولیت سبب افزایش pH و پتاسیم

تبادل‌پذیر خاک شد در حالی که افزودن کمپوست مقدار فسفر قابل استفاده خاک را افزایش داد. رضایی و موحدی نایینی (۲۹) نشان دادند که افزودن زئولیت 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 زئولیت 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 زئولیت 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 زئولیت 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 زئولیت و ورمی‌کمپوست و مخلوط زئولیت 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 $3 \times 4 \times 10$ 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 22 ± 2 درجه سلسیوس نگهداری شدند. رطوبت نمونه ها روزانه از طریق توزین کنترل و در ۵۰ درصد رطوبت اشباع حفظ گردید. سپس نمونه ها هوا خشک 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 غیر تبدالی 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 (> 0.002 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 زریک و رژیم های حرارتی مزیک، ترمیک و هایپر ترمیک 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 D5500 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 آمونیوم 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 بوریک 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 غیر تبدالی 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 ₂	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۲۷	۲/۱۳	۳/۵۶	۰/۵۹	۸/۴۷	۷۰/۵۶

غالب کلریت می‌باشند.

مقدار پتاسیم محلول، تبدلی، غیرتبدلی و کل در زئولیت به ترتیب ۸۰، ۶۱۰۰، ۷۴۶۰ و ۱۷۶۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود. مقدار پتاسیم محلول، تبدلی 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 خاک‌های 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 می‌دهد که زئولیت سبب افزایش مقدار پتاسیم محلول در خاک‌هایی که دارای پتاسیم محلول کم می‌باشند می‌شود (خاک‌های ۱ و ۲). از طرف دیگر افزودن زئولیت به خاک‌های دارای مقدار پتاسیم محلول بالا (خاک‌های ۸ و ۹) سبب کاهش مقدار پتاسیم محلول شده است. کاهش پتاسیم محلول در خاک‌های ۸ و ۹ را می‌توان 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 می‌گردد. به طور کلی می‌توان نتیجه گیری کرد که کاربرد زئولیت سبب تعدیل مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های مختلف می‌شود. کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش قابل ملاحظه پتاسیم محلول خاک گردید. این افزایش به طور میانگین ۱۳۹ میلی گرم

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 می‌باشد. کمترین مقدار افزایش در خاک ۱ مشاهده شد که این می‌تواند در نتیجه تثبیت پتاسیم توسط کانی اسمکتیت در این خاک باشد. مهم ترین کانی تثبیت کننده پتاسیم در خاک‌های آهکی اسمکتیت‌ها بوده و مشاهده شده که خاک‌های رسی دارای اسمکتیت بالا می‌توانند 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 می‌تواند بازتاب کننده نقش بار منفی خاک در جذب پتاسیم محلول باشد.

ورمی کمپوست منبع خوبی برای نگهداری فلزات سنگین در خاک می‌باشد و اهمیت آن در جذب سطحی فلزات توسط پژوهشگران زیادی به اثبات رسیده است (۸ و ۱۵)؛ اما کاربرد آن دارای اشکالاتی می‌باشد. 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 می‌باشد. در مواردی با اضافه نمودن مواد معدنی دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالا مانند زئولیت که با گذشت زمان تغییر و تحولات کمتری را طی می‌کنند این مشکل را رفع نموده‌اند. 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 نمونه‌های شاهد گردید. اگرچه کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند سبب افزایش شدید پتاسیم محلول گردد اما افزودن زئولیت می‌تواند تا حدودی این افزایش را

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

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

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

جدول ۳. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی کمپوست بر مقدار پتاسیم محلول (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 ^c	۱۸۰/۳ ^a	۴۴/۵ ^c	۷۱/۰ ^b

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 تبادلی

همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است مقدار پتاسیم تبادلی 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 تبادلی 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 تبادلی قرار گرفته است. این در حالی است که بیشتر پتاسیم موجود در ورمی کمپوست را شکل محلول تشکیل می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پتاسیم تبادلی 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 تبادلی در آن نسبت به پتاسیم محلول

تعدیل کرده و سبب قرار گرفتن پتاسیم در مکان‌های تبادلی 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 تبادلی 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 (mg kg^{-1}) در خاک های مورد مطالعه

شماره خاک	ورمی کمپوست شاهد	زئولیت (۲ درصد)	زئولیت + ورمی کمپوست (۱ درصد + ۱ درصد)
۱	۳۰۰/۲	۴۲۰/۸	۳۰۰/۲
۲	۳۱۰/۲	۵۸۸/۴	۳۱۰/۲
۳	۱۳۱/۴	۴۲۸/۷	۱۳۱/۴
۴	۱۱۱/۸	۴۰۶/۹	۱۱۱/۸
۵	۲۰۲/۳	۵۲۰/۳	۲۰۲/۳
۶	۲۰۹/۱	۵۱۵/۷	۲۰۹/۱
۷	۱۰۰/۰	۴۳۵/۰	۱۰۰/۰
۸	۲۸۸/۴	۵۱۸/۹	۲۸۸/۴
۹	۴۲۵/۶	۷۳۷/۹	۴۲۵/۶
۱۰	۱۹۵/۴	۴۸۹/۰	۱۹۵/۴
میانگین	۲۲۷/۴ ^c	۵۰۶/۲ ^a	۵۰۶/۰ ^a

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

کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست به خاک و کانی های خاک مشاهده نشد. اما آنالیز آماری داده ها نشان داد که مقدار افزایش پتاسیم تبدلی ارتباط منفی با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ضریب هم بستگی -0.69) و ارتباط مثبت با مقدار کربنات کلسیم خاک (ضریب هم بستگی 0.75) داشت.

تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر پتاسیم غیر تبدلی

پتاسیم غیر تبدلی در خاک ها شکلی از پتاسیم است که توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. از طرفی در خاک های دچار کمبود پتاسیم قابل استفاده، این شکل می تواند منبع مهمی برای تامین نیاز گیاه باشد و از طرف دیگر در خاک های اسمکتیتی، پتاسیم اضافه شده به خاک می تواند توسط کانی ها تثبیت و به شکل غیر تبدلی تبدیل شود (۲۱). جدول ۵ نشان می دهد که مقدار پتاسیم غیر تبدلی در خاک های مورد مطالعه از ۸۰ تا ۵۵۴ میلی گرم بر کیلو گرم متغیر می باشد. کاربرد زئولیت سبب کاهش معنی دار پتاسیم غیر تبدلی در خاک ها شده است. این بدین معنی است که زئولیت سبب آزاد سازی پتاسیم

بسیار بیشتر می باشد. بنابراین در خاک های اسمکتیتی که قدرت تثبیت بالای پتاسیم دارند (مانند خاک ۱) و هم چنین خاک های درشت بافت که افزایش پتاسیم محلول خطر آبشویی این عنصر را افزایش می دهد کاربرد زئولیت می تواند پتاسیم را در فاز تبدلی نگهداشته و از تثبیت و آبشویی آن جلوگیری کند. این نتایج موافق یافته های فیلچوا و تسادیلاس (۷) و رودریگز و همکاران (۳۰) می باشد که بیان می کنند کاربرد زئولیت و کمپوست سبب افزایش معنی دار پتاسیم تبدلی خاک می گردد. 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 به طور قابل توجهی افزایش می یابد که این سبب افزایش احتمال آبشویی پتاسیم می گردد. ضرابی و جلالی (۳۷) در مطالعه تأثیر کاربرد کمپوست به خاک های آهکی ایران نتیجه گرفتند که کاربرد این مواد سبب افزایش آبشویی یون های 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 تبادلی (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	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 ^c	۳۲۷/۶ ^a	۲۰۲/۱ ^d	۲۵۵/۹ ^b

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

غیرتبادلی از کانی‌ها می‌شود. با توجه به اینکه زئولیت سبب کاهش پتاسیم محلول و غیرتبادلی و افزایش پتاسیم تبادلی شده است این امر نشان دهنده تمایل بالای زئولیت در جذب پتاسیم از خاک و نگهداری آن به صورت تبادلی می‌باشد. کاربرد زئولیت در خاک ۱ تأثیر متفاوتی داشته و سبب افزایش پتاسیم غیرتبادلی 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 معنی‌دار پتاسیم غیرتبادلی 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 هواده) وارد شده و به شکل غیرتبادلی در می‌آیند (۲۱). اگر چه محققان (۲۲) بیان می‌کنند که افزودن اسیدهای آلی به خاک سبب افزایش آزادسازی پتاسیم از شکل غیرتبادلی و در نتیجه کاهش این شکل پتاسیم می‌گردد

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

جدول ۶. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی کمپوست بر مجموع شکل های پتاسیم (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 ^d	۹۲۳/۸ ^a	۷۵۲/۷ ^c	۸۳۳/۴ ^b

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، تبادل و غیرتبادلی پتاسیم (%) در خاک های مورد مطالعه

شماره خاک	شاهد			ورمی کمپوست			زئولیت			زئولیت+ورمی کمپوست		
	محلول	تبادلی	غیرتبادلی	محلول	تبادلی	غیرتبادلی	محلول	تبادلی	غیرتبادلی	محلول	تبادلی	غیرتبادلی
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 ^b	۴۷ ^c	۴۴ ^a	۲۱ ^a	۴۴ ^c	۳۵ ^c	۶ ^c	۶۹ ^a	۲۵ ^d	۹ ^b	۶۲ ^b	۲۹ ^c

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.

پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی در زئولیت می باشد. کمترین مقدار افزایش در خاک ۱ مشاهده شد. این خاک به راسته ورتی سولز تعلق داشته و دارای بیش از ۵۰ درصد رس، کانی غالب اسمکتیت و مقدار بسیار کمتر کرنات کلسیم نسبت به دیگر خاک ها می باشد. همان طور که گفته شد رس های اسمکتیت تمایل زیادی به جذب پتاسیم و تثبیت آن دارند. افزایش کم مقدار پتاسیم عصاره گیری شده با اسید نیتریک می تواند مربوط به قدرت این عصاره گیر در استخراج پتاسیم تثبیت شده از این خاک باشد.

تأثیر ورمی کمپوست در افزایش مجموع شکل های پتاسیم به طور معنی داری بیشتر از زئولیت می باشد که این می تواند به علت تأثیری باشد که اسیدهای آلی موجود در ورمی کمپوست در آزادسازی پتاسیم از خاک دارند. به نظر می رسد مهمترین کانی که می تواند بر وضعیت پتاسیم در خاک تأثیر بگذارد اسمکتیت باشد. از آنجا که خاک های مورد مطالعه دارای مخلوطی از کانی های رسی هستند تفاوت قابل ملاحظه ای نیز در تغییرات پتاسیم از خود نشان نمی دهند. تفاوت قابل انتظار در خاک ۱ می باشد که شدیداً رسی و اسمکتیتی بوده و تغییرات متفاوتی را در مقدار پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی در نتیجه کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست از خود نشان می دهد.

تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی کمپوست بر توزیع شکل های پتاسیم

جدول ۷ تأثیر تیمارهای مختلف بر توزیع پتاسیم بین شکل های محلول، تبدالی و غیرتبدالی پس از ۹۰ روز خوابانیدن نمونه ها را نشان می دهد. اعداد این جدول بیانگر این است که پس از اعمال تیمارها و در پایان مراحل آزمایش، چند درصد از کل پتاسیم استخراج شده به وسیله اسید نیتریک در بخش های محلول، تبدالی و غیرتبدالی وجود دارد. همان گونه که مشاهده می شود در تیمار شاهد از مقدار پتاسیم استخراج شده به وسیله محلول اسید نیتریک جوشان (مجموع پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی) ۹ درصد در فاز محلول، ۴۷ درصد در فاز تبدالی و

۴۴ درصد در فاز غیرتبدالی می باشد. با کاربرد ورمی کمپوست مقدار پتاسیم محلول از ۹ به ۲۱ درصد افزایش یافته است. کاربرد زئولیت سبب کاهش معنی دار درصد پتاسیم محلول شده است. کاربرد توام زئولیت و ورمی کمپوست تغییر قابل ملاحظه ای در درصد پتاسیم محلول نداده است. کاربرد ورمی کمپوست با وجود این که مقدار پتاسیم تبدالی را افزایش داده است اما تغییر معنی داری روی درصد این شکل نداشته است. در حالی که کاربرد زئولیت سبب افزایش درصد پتاسیم تبدالی شده است. بیشترین درصد پتاسیم غیرتبدالی در نمونه های شاهد مشاهده شد و در واقع کاربرد تیمارهای مختلف سبب کاهش درصد این شکل پتاسیم گردید. بیشترین کاهش پتاسیم غیرتبدالی در تیمار زئولیت مشاهده شد. پانوجیو و همکاران (۲۷) بیان کردند که زئولیت توانست حتی در حضور فلزات سنگینی چون کادمیم تمام یون های پتاسیم و آمونیم افزوده شده از طریق محلول های غذایی را به خود جذب کند. تمایل زیاد زئولیت برای جذب یون های پتاسیم و آمونیم توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (۵). نگهداری شدید پتاسیم به وسیله زئولیت سبب کاهش واجذب این یون در خاک نیز می شود (۲۹).

ارتباط معنی داری بین کانی شناسی خاک و تغییر و تحولات پتاسیم به دست نیامد. به هر حال کانی شناسی بخش سیلت و شن نیز در تغییر شکل پتاسیم در خاک مخصوصاً تثبیت آن به وسیله کانی های میکایی که بیشتر در بخش شن و سیلت خاک وجود دارند مهم می باشد و این نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

به طور کلی می توان نتیجه گرفت که کاربرد ورمی کمپوست پتاسیم خاک را به سمت شکل محلول متمایل کرده در حالی که کاربرد زئولیت و زئولیت+ورمی کمپوست سبب تمرکز بیشتر پتاسیم خاک در فاز تبدالی می شود که این نتایج می تواند در مدیریت کاربرد این مواد از نظر جلوگیری از هدرروی پتاسیم از خاک (آبشویی و تثبیت) بسیار مهم باشد.

منابع مورد استفاده

۱. بلالی، م. ر. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۷. مطالعه تغییرات پتاسیم تبادلی در خاک های کشاورزی ایران. علوم خاک و آب ۱۲(۳): ۵۹-۷۰.
۲. نجفی قیری، م. ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کانی شناسی و وضعیت پتاسیم در خاک های 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*. America 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. Ardalan, 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: 945-1957.
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*, 3rd 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.