# تأثیر افزودن ورمی کمپوست و زئولیت بر تغییرشکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های 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 می‌تواند در توزیع پتاسیم بین شکل‌های** محلول، تبادلی و غیرتبادلی خاک مهم باشد. در پژوهش حاضر تأثیر افزودن مقدار ۲ درصد زئولیت، ۲ درصد ورمی‌کمپوست و ۱ درصد زئولیت+ **۱ درصد ورمی‌کمپوست روی ۱۰ خاک آهکی استان فارس در ۵ راسته ، مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۹۰ روز در دمای ۲±۲۲ 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 ورمی‌کمپوست 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+ورمی‌کمپوست سبب افزایش هر** سه شکل پتاسیم گردید. افزایش پتاسیم محلول درنتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست 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، ورمی‌کمپوست**

۱. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب دانشگاه شیراز
۲. گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mnajafighiri@yahoo.com



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

## 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 به‌طوری 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 اندازه‌ای ذرات، قابلیت هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی)، نوع کانی‌های رسی، تکامل خاک و رژیم های 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 اصلاح کننده خاک مانند ورمی‌کمپوست و زئولیت می‌باشد.

زئولیت‌ها کانی‌های آلومینوسیلیکاتی هستند و به‌صورت گسترده‌ای برای پالایش خاک‌ها، کنترل فرسایش خاک، بهبود خصوصیات خاک و افزایش راندمان مصرف نیتروژن استفاده می‌شوند (۴، ۷، ۱۲، ۱۸ و۳۶). 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 زئولیت سبب افزایش pH و پتاسیم تبادلی خاک شد در حالی‌که 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 نیمرخ های خاک در آنها حفر گردید. پس از تشریح افق‌ها و رده‌بندی خاک‌ها (۳۴ و ۳۵)، از افق‌های سطحی (عمق ۲۰-۰ 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



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

(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 به‌روش استات آمونیم ۱ نرمال (۶) و مقدار کربن آلی به‌روش سوزاندن تر (۲۵) روی نمونه‌ها صورت گرفت. خالص‌سازی رس نیز با روش‌های کیتریک و هوپ (۱۹) و جکسون (۱۳) با استفاده از دستگاه تفرق پرتوی ایکس زیمنس مدل D۵۵۰۰ صورت گرفت. اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم به‌روش هلمک و اسپارکز (۱۱) انجام شد. در این روش، جهت اندازه‌گیری پتاسیم تبادلی، ۵ گرم خاک چهار مرتبه به‌وسیله ۲۵ میلی لیتر استات آمونیوم ۱ نرمال پ‌هاش ۷ به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شده، سانتریفوژ و سپس محلول زلال رویی جمع‌آوری گردید. محلول به دست آمده با استات آمونیم به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. جهت اندازه‌گیری پتاسیم قابل عصاره‌گیری 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 میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری 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 میلی‌لیتر از اسید فلوریدریک افزوده شد و در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد. سپس مخلوط به والیومتریک پلاستیکی حاوی ۲/۸ گرم اسید بوریک انتقال داده شده و تا حجم ۱۰۰ میلی لیتر رقیق گردید. غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه شعله سنج مدل Corning 405 اندازه‌گیری گردید. پتاسیم غیرتبادلی با کسر مقدار پتاسیم استخراج شده به‌وسیله اسید نیتریک از استات آمونیم محاسبه گردید. همه اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار صورت گرفت.

زئولیت مورد استفاده از معادن اطراف سمنان استخراج و سپس آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. درصد عنصری زئولیت در جدول ۱ نشان داده شده است. ورمی‌کمپوست مورد استفاده از زباله‌های شهری تهیه گردید. این ترکیب دارای پ‌هاش ۷/۲۷ و درصد کربن آلی ۳۷/۵ درصد بود. آزمایش‌های مربوط به تأثیر زئولیت و ورمی‌کمپوست به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی ۳×۴×۱۰ روی ۱۰ خاک با چهار تیمار شاهد، ۲ درصد ورمی‌کمپوست، ۲ درصد زئولیت و ۱ درصد ورمی‌کمپوست + ۱ درصد زئولیت و سه تکرار انجام شد. به ۲۰۰ گرم خاک مقادیر مورد نیاز زئولیت و ورمی‌کمپوست عبور داده شده از الک ۲ میلی‌متری افزوده شد تا تیمارهای مورد نظر به دست آید. سپس خاک با مواد افزوده شده کاملاً مخلوط گردید. نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی به مدت ۹۰ روز در دمای ۲±۲۲ درجه سلسیوس نگهداری شدند. رطوبت نمونه‌ها روزانه از طریق توزین کنترل و در ۵۰ درصد رطوبت اشباع حفظ گردید. سپس نمونه‌ها هواخشک گردید و پس از خرد کردن، کلوخه‌های حاصل از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و کاملاً مخلوط گردید. شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبادلی و غیرتبادلی برای همه نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. جهت آنالیز آماری نمونه‌ها از نرم افزارهای SPSS و Excel و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکی، شیمیایی، طبقه‌بندی و کانی‌شناسی بخش رس (< ۰/۰۰۲ میلی‌متر) خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. این خاک‌ها به راسته‌های ورتی‌سولز، اریدی سولز ، اینسپتی‌سولز ، آلفی‌سولز و انتی‌سولز تعلق دارند. خاک‌های مورد مطالعه دارای رژیم‌های رطوبتی اریدیک، یوستیک و زریک و رژیم‌های حرارتی مزیک، ترمیک و هایپرترمیک می‌باشند. پتاسیم کل در خاک‌های مورد مطالعه از ۰/۴۶ تا ۰/۹۹ درصد متغیر می‌باشد. این خاک‌ها از نظر نوع کانی‌های رسی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند اما درصد فراوانی این کانی‌ها بسیار متفاوت می‌باشد؛ طوری که خاک ۱ دارای کانی غالب اسمکتیت و خاک‌های ۴ و ۸ دارای کانی



[ Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

**جدول ۱. ترکیب عنصری زئولیت مورد استفاده (٪).**

| $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | CaO | MgO | $TiO_2$ | Cl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۷۰/۵۶ | ۸/۴۷ | ۰/۵۹ | ۳/۵۶ | ۲/۱۳ | ۰/۲۷ | ۰/۴۱ | ۰/۱۳ | ۰/۷۷ |

غالب کلریت می‌باشند.

مقدار پتاسیم محلول، تبادلی، غیرتبادلی و کل در زئولیت به ترتیب ۸۰، ۶۱۰۰، ۷۴۶۰ و ۱۷۶۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار پتاسیم محلول، تبادلی و کل در ورمی‌کمپوست نیز به‌ترتیب ۱۳۳۰۰، ۱۴۱ و ۱۴۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد.

## تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست بر پتاسیم محلول

مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های مورد مطالعه و هم‌چنین تأثیر افزودن ۲ درصد زئولیت، ۲ درصد ورمی‌کمپوست و ۱ درصد زئولیت+۱ درصد ورمی‌کمپوست بر میزان تغییرات پتاسیم محلول در جدول ۳ نشان داده شده است. افزودن زئولیت تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) روی مقدار میانگین پتاسیم محلول در ۱۰ خاک مورد مطالعه ندارد. اما نتایج نشان می‌دهدکه 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 نتیجه‌گیری کرد که کاربرد زئولیت سبب تعدیل مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های مختلف می‌شود.

کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش قابل ملاحظه پتاسیم محلول خاک گردید. این افزایش به طور میانگین ۱۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. به هر حال با توجه به‌مقدار بالای پتاسیم محلول موجود در ورمی‌کمپوست (۱۳۳۰۰ میلی‌گرم 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. مهم‌ترین کانی تثبیت کننده پتاسیم در خاک‌های آهکی اسمکتیت‌ها بوده و مشاهده شده که خاک‌های رسی دارای اسمکتیت بالا می‌توانند حتی تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم اضافه شده به خاک را تثبیت کنند (۲۱). ارتباط منفی و معنی‌داری بین مقدار افزایش پتاسیم محلول با کاربرد ورمی‌کمپوست 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.

ورمی‌کمپوست منبع خوبی برای نگهداری فلزات سنگین در خاک می‌باشد و اهمیت آن در جذب سطحی فلزات توسط پزوهشگران زیادی به اثبات رسیده است (۸ و ۱۵)؛ اما کاربرد آن دارای اشکالاتی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین معایب، تجزیه ترکیبات آلی موجود در ورمی‌کمپوست با گذشت زمان و آزادسازی مجدد عناصر نگهداری شده به‌وسیله 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 ورمی‌کمپوست و زئولیت به نسبت ۱:۱ استفاده گردید که تأثیر آن روی میزان پتاسیم محلول خاک معنی‌دار بود و در واقع سبب افزایش مقدار پتاسیم محلول نسبت به نمونه‌های شاهد گردید. اگرچه کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند سبب افزایش شدید پتاسیم محلول گردد اما افزودن زئولیت می‌تواند تا حدودی این افزایش را



[ Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ] [ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]





**جدول ۲. خصوصیات فیزیکوشیمیایی، طبقه‌بندی و کانی‌های رسی خاک‌های مورد مطالعه.**

| شماره نیمرخ | طبقه‌بندی خاک (USDA) | شن (٪) | رس (٪) | کلاس بافت | پ هاش | CCE (٪) | ماده آلی (٪) | CEC ($cmolc\ kg^{-1}$) | EC ($dS\ m^{-1}$) | پتاسیم کل (٪) | کانی شناسی (<۲میکرون) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 Calciustepts | 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 | رس 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 | ۳/۳ | ۴۲/۰ | رس سیلتی | ۷/۵ | ۵۱/۲ | ۱/۱ | ۷/۲ | ۲۱/۲ | ۰/۶ | C>S>P>M |
| ۹ | Aquic Natrixeralfs | 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: پالیگورسکیت؛ V: ورمیکولیت؛ Q: کوارتز.

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

| شماره خاک | شاهد | ورمی‌کمپوست (۲ درصد) | زئولیت (۲ درصد) | زئولیت + ورمی‌کمپوست (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 میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

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 ورمی‌کمپوست سبب افزایش ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم محلول شد که در مقابل میزان افزایش ناشی از کاربرد ورمی‌کمپوست بسیار کمتر می‌باشد. غلظت افزایش یافته پتاسیم در محلول خاک در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست 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 منیزیوم ناشی از کاربرد آب‌های شور در خاک را تا حد زیادی بهبود بخشد.

**تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست 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 ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. مقدار افزایش پتاسیم تبادلی در تیمار زئولیت و زئولیت+ورمی‌کمپوست نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ورمی‌کمپوست 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 ورمی‌کمپوست 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



[ Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

**جدول ۴. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی‌کمپوست بر مقدار پتاسیم تبادلی ($mg\ kg^{-1}$) در خاک‌های مورد مطالعه**

| شماره خاک | شاهد | ورمی‌کمپوست (۲ درصد) | زئولیت (۲ درصد) | زئولیت+ورمی‌کمپوست (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 [c] | ۴۱۶/۰ [b] | ۵۰۶/۲ [a] | ۵۰۶/۰ [a] |

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

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 تبادلی نگهداشته و از تثبیت و آبشویی آن جلوگیری کند. این نتایج موافق یافته‌های فیلچوا و تسادیلاس (۷) و رودریگز و همکاران (۳۰) می‌باشد که بیان می‌کنند کاربرد زئولیت و کمپوست سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم تبادلی خاک می‌گردد. این نکته را باید درنظر داشت که اگرچه کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم تبادلی 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 تبادلی درنتیجه کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست به خاک و کانی‌های خاک مشاهده نشد. اما آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که مقدار افزایش پتاسیم تبادلی ارتباط منفی با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ضریب هم‌بستگی ۰/۶۹-) و ارتباط مثبت با مقدار کربنات کلسیم خاک (ضریب همبستگی ۰/۷۵) داشت.

**تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست بر پتاسیم غیرتبادلی**

پتاسیم غیرتبادلی 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 غیرتبادلی تبدیل شود (۲۱). جدول ۵ نشان می‌دهد که مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مورد مطالعه از ۸۰ تا ۵۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد. کاربرد زئولیت سبب کاهش معنی‌دار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها شده است. این بدین معنی است که زئولیت سبب آزادسازی پتاسیم



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

جدول ۵ . تأثیر افزودن زئولیت و ورمی‌کمپوست بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی($mg\ kg^{-1}$) در خاک‌های مورد مطالعه

| شماره خاک | شاهد | ورمی‌کمپوست (۲ درصد) | زئولیت (۲ درصد) | زئولیت+ورمی‌کمپوست (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 میانگین ها 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 به‌صورت 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 ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها شد. با توجه به غلظت بالای پتاسیم محلول در ورمی‌کمپوست، یون‌های پتاسیم بر اثر پخشیدگی به فضای بین لایه‌ای کانی‌های تثبیت کننده پتاسیم (اسمکتیت و میکاهای هوادیده) 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 درنتیجه کاهش این شکل پتاسیم می‌گردد اما وجود مقادیر بالای پتاسیم محلول در ورمی‌کمپوست می‌تواند سبب پخشیدگی آن به بین لایه‌های کانی‌ها و افزایش مقدار پتاسیم غیرتبادلی شود. افزودن مخلوط زئولیت و ورمی‌کمپوست 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 ورمی‌کمپوست بر مجموع شکل‌های پتاسیم

تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست 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 ورمی‌کمپوست و زئولیت بیشتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد که این به دلیل مقادیر بالای پتاسیم محلول در ورمی‌کمپوست و



[ Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

**جدول ۶. تأثیر افزودن زئولیت و ورمی‌کمپوست بر مجموع شکل‌های پتاسیم($mg\ kg^{-1}$) در خاک‌های مورد مطالعه**

| شماره خاک | شاهد | ورمی‌کمپوست (۲ درصد) | زئولیت (۲ درصد) | زئولیت+ورمی‌کمپوست (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 معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن می‌باشد.

**جدول ۷. تأثیر کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست بر توزیع شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی پتاسیم (٪) در خاک‌های مورد مطالعه**

| شماره خاک | شاهد | | | ورمی‌کمپوست | | | زئولیت | | | زئولیت+ورمی‌کمپوست | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 می‌باشد.



[ Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در زئولیت می‌باشد. کمترین مقدار افزایش در خاک ۱ مشاهده شد. این خاک به راسته 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 به وسیله محلول اسید نیتریک جوشان (مجموع پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی) ۹ درصد در فاز محلول، ۴۷ درصد در فاز تبادلی و 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. پانوچیو 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.



[ Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

## 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 Mineralogicla Methods. Soil Science Society of America Book Series, 5, American Society of Agronomy, Inc, Mdison, 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. Jaberi. 2013. Soil minerals effect on potassium release from soil fractions by different extractan*t*s. 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.




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]

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.

[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.6.3 ]