



دانشگاه گواران شیراز

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره ششم، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## تأثیر کاربرد کودهای دامی، بیوجار آن‌ها و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر شکل‌های شیمیایی پتاسیم در یک خاک آهکی

\*حمیدرضا بوستانی<sup>۱</sup> و مهدی نجفی‌قیری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز،

<sup>۲</sup>دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** امروزه به دلیل مزایای بی‌شمار کودهای آلی و شیمیایی، استفاده از آن‌ها در کشاورزی ارگانیک در حال افزایش می‌باشد. اخیراً، تبدیل کودهای آلی به بیوجار نیز به‌عنوان یک کود آلی جایگزین و پایدار، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. پتاسیم یک عنصر ضروری برای تولید محصول است. کاربرد مواد آلی مختلف در خاک ممکن است بر مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک مؤثر باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، کودهای حیوانی (گوسفندی و مرغی) و بیوجار حاصل از آن‌ها بر غلظت شکل‌های شیمیایی پتاسیم و ارتباط این شکل‌ها با غلظت پتاسیم گیاه ذرت در یک خاک آهکی بود.

**مواد و روش‌ها:** آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام گرفت. تیمارها شامل پنج سطح کود آلی (بدون کاربرد کود آلی، کود گوسفندی، کود مرغی، بیوجار کود گوسفندی و بیوجار کود مرغی هر کدام ۲ درصد وزنی) و تلقیح قارچی در سه سطح (بدون تلقیح، تلقیح با قارچ گلووموسورسیفرم و تلقیح با قارچ فونلیفورمیس‌موسه) بود. بیوجارها در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و به مدت ۴ ساعت در شرایط اکسیژن محدود تهیه شدند. مقداری مناسب از لایه سطحی (عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر) یک خاک آهکی برداشته و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، طبق طرح آزمایشی توسط کودهای آلی و قارچ‌های میکوریز تیمار شدند. پس از آن کشت گیاه به تعداد ۵ بذر ذرت (سینگل‌گراس ۷۰۴) در عمق حدود ۲ سانتی‌متری در گلدان‌های پلاستیکی انجام شد. در طول دوره رشد گیاه، رطوبت خاک با استفاده از آب‌مقطر در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. پس از ۱۰ هفته، اندام هوایی گیاهان برداشت شده و ریشه‌ها از خاک جدا شدند. پس از هواخشک شدن خاک گلدان‌ها و عبور از الک دو میلی‌متری، غلظت شکل‌های شیمیایی پتاسیم (محلول، تبدلی و غیرتبدلی) اندازه‌گیری شد. همچنین جذب پتاسیم اندام هوایی نیز از حاصل‌ضرب غلظت پتاسیم اندام هوایی در وزن خشک اندام هوایی محاسبه شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که کودهای حیوانی و بیوجار آن‌ها سبب افزایش مقدار پتاسیم محلول، تبدلی و غیرتبدلی در خاک گردیدند (به ترتیب از ۸ تا ۶۵، ۴۳ تا ۱۲۸ و ۲۹ تا ۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش نسبت به شاهد). به‌طور کلی

\* مسئول مکاتبه: [hr.boostani@shirazu.ac.ir](mailto:hr.boostani@shirazu.ac.ir)

افزایش مقدار شکل‌های پتاسیم با کاربرد کود گوسفندی و بیوچار آن بیش‌تر از کود مرغی و بیوچار آن بود. تبدیل کودهای آلی به بیوچار، سبب کاهش مقدار پتاسیم محلول و افزایش مقدار پتاسیم تبادل و غیرتبادلی گردید. قارچ فونلیفورمیس‌موسه سبب کاهش پتاسیم محلول و افزایش پتاسیم غیرتبادلی و قارچ گلوموس‌ورسیفرم سبب کاهش پتاسیم محلول و افزایش پتاسیم تبادل گردید. مقدار پتاسیم عصاره‌گیری شده توسط اسید نیتریک (مجموع شکل‌های پتاسیم) در خاک تیمار شده با کودهای آلی نسبت به بیوچار آن‌ها کم‌تر بود. کاربرد بیوچار کود مرغی سبب افزایش تأثیر هر دو نوع قارچ بر مقدار پتاسیم خاک گردید؛ در حالی‌که کاربرد بیوچار کود گوسفندی سبب کاهش تأثیر قارچ‌ها بر هر سه شکل پتاسیم شد. مواد آلی و کودهای زیستی سبب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم جذب‌شده گردیدند (به‌ترتیب ۱۶ تا ۲۱۷ و ۱۴ تا ۳۶ میلی‌گرم در گلدان افزایش نسبت به شاهد). غلظت پتاسیم در بخش‌های هوایی گیاه ارتباط مثبت و معنی‌داری با همه شکل‌های پتاسیم خاک داشت.

**نتیجه‌گیری:** کودهای آلی کاربردی (گوسفندی و مرغی) در افزایش شکل محلول پتاسیم نسبت به بیوچار آن‌ها تأثیر بیش‌تری داشتند در حالی‌که بیوچار آن‌ها مقدار شکل‌های تبادل و غیرتبادلی پتاسیم را نسبت به ماده اولیه بیش‌تر افزایش دادند. همچنین کاربرد هر دو قارچ مایکوریز سبب کاهش شکل محلول پتاسیم شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد مواد آلی و قارچ‌های مایکوریز با تأثیری که بر مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک دارند، می‌توانند بر مقدار جذب این عنصر و پتانسیل آبشویی آن اثر بگذارند.

**واژه‌های کلیدی:** فونلیفورمیس‌موسه، گلوموس‌ورسیفرم، بیوچار کود مرغی، پتاسیم محلول، پتاسیم تبادل

#### مقدمه

وضعیت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شامل قابلیت استفاده، توزیع در فازهای مختلف خاک و هدرروی آن‌ها در کشاورزی ارگانیک متفاوت از کشاورزی مرسوم می‌باشد. در کشاورزی ارگانیک غلظت برخی از عناصر افزایش و برخی از آن‌ها کاهش می‌یابد. وضعیت پتاسیم خاک در کشاورزی ارگانیک متفاوت از سایر عناصر می‌باشد؛ چرا که این عنصر به مقدار زیاد در ترکیبات آلی افزوده شده به خاک وجود داشته و درصد بالایی از آن به شکل محلول و قابل استفاده می‌باشد (۲۴). بنابراین با افزوده شدن ترکیبات آلی به خاک، مقدار بالای یون‌های پتاسیم وارد محلول خاک شده و ترکیب محلول خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از طرف دیگر با توجه به ارتباط تعادلی که بین شکل‌های مختلف پتاسیم خاک وجود دارد با افزایش غلظت پتاسیم محلول، مقدار

پتاسیم در فاز تبادل و غیرتبادلی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۱).

ترکیبات آلی از نظر مقدار پتاسیم بسیار متنوع می‌باشند. نجفی‌قیری و همکاران (۲۰۱۷) با کاربرد ترکیبات آلی مختلف شامل کودهای دامی، بقایای گیاهی و ورمی‌کمپوست به دو نوع خاک آهکی نشان دادند که بیش‌تر بقایای آلی، مقدار پتاسیم محلول و تبادل خاک را افزایش دادند و بیش‌ترین افزایش مربوط به کود گوسفندی و مرغی بود. همچنین مقدار پتاسیم غیرتبادلی نیز با کاربرد همه بقایای آلی افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار مربوط به کود مرغی و کم‌ترین آن مربوط به کود شتری بود (۲۴). افزایش مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک با افزودن ورمی‌کمپوست و بقایای گیاهی در خاک‌های آهکی توسط نجفی‌قیری و اولیایی (۲۰۱۴) و جلالی (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است (۱۳ و ۲۲). امروزه استفاده از بیوچارها به دلیل

در آوردند. در واقع یون‌های اگزالات و هیدروژن ترشح شده از هیف قارچ‌ها می‌توانند سبب هوادیدگی کانی‌های خاک و آزاد شدن پتاسیم بین‌لایه‌ای در انواع کانی‌های ۲:۱ شوند (۱۶). بنابراین افزودن گونه‌های مختلف قارچ‌های همزیست به خاک به خصوص خاک‌های دارای کمبود پتاسیم و یا در شرایطی که عوامل مختلف اجازه جذب پتاسیم از خاک را نمی‌دهند می‌توانند سبب افزایش انحلال و همچنین افزایش جذب پتاسیم از طریق افزایش سطح تماس خاک و ریشه گردند.

کاربرد ترکیبات آلی مختلف می‌تواند سبب افزایش فعالیت ریزجانداران خاک، از جمله ریزجانداران موجود در کودهای زیستی گردد (۱۳). برخی پژوهشگران نشان دادند که کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی و ترکیبات آلی مانند ورمی‌کمپوست‌ها می‌تواند سبب افزایش شدت تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های مختلف خاک گردد (۱۴ و ۳۷).

فرض بر این است که کودهای زیستی و آلی می‌توانند سبب افزایش مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های آهکی و افزایش جذب آن به وسیله گیاهان گردند. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، مطالعه تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم خاک و تعادل موجود بین آن‌ها بر اثر کاربرد کودهای زیستی (قارچ‌های میکوریز آریوسکولار)، کودهای گوسفندی و مرغی و بیوچار حاصل از آن‌ها، تأثیر متقابل مواد آلی و کود زیستی بر هم و همچنین تأثیر آن‌ها بر مقدار جذب پتاسیم به وسیله ذرت در یک خاک آهکی در شرایط گلخانه می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در مدیریت حاصلخیزی پتاسیم خاک‌ها و همچنین توصیه کودی در کشاورزی ارگانیک و پیش‌بینی پتانسیل آبشویی پتاسیم در مناطق مساعد آبشویی مورد استفاده قرار گیرد.

مقاومت زیاد به تجزیه میکروبی و ماندگاری طولانی مدت در خاک جهت کاهش آلودگی هوا مورد توجه قرار گرفته است. جهت تولید بیوچار معمولاً از مواد آلی ارزان قیمت استفاده می‌شود اما جهت افزایش تأثیر بیوچار بر حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد محصولات می‌توان از کودهای آلی گران‌تر مانند کودهای مرغی و گوسفندی نیز استفاده کرد تا علاوه بر بهبود وضعیت فیزیکی خاک، حاصلخیزی آن نیز افزایش یابد (۲۷). تولید این ترکیبات و کاربرد آن‌ها به خاک می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار دهد. تان و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که تبدیل بقایای گیاهی به بیوچار سبب تبدیل ترکیبات پیچیده پتاسیم به شکل‌های ساده‌تر مانند سولفات، نترات، نیتريت و کلرید پتاسیم می‌شود که به سادگی قابل جذب گیاه می‌باشند (۳۳). به هر حال دماهای مختلفی جهت تولید بیوچار استفاده می‌شود که معمول‌ترین آن‌ها در دامنه ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس می‌باشد. تغییر در شکل‌های مختلف پتاسیم خاک‌های آهکی با کاربرد بیوچارهای مختلف حاصل از بقایای گیاهی در یک آزمایش انکوباسیون توسط نجفی قیری (۲۰۱۵) گزارش شده است (۲۱).

استفاده از کودهای زیستی شامل انواع قارچ‌ها، باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و کرم‌های خاکی با توجه به تأثیراتی که بر مقدار مواد آلی خاک، تجزیه کانی‌ها و ترکیب یونی محلول خاک می‌گذارند می‌توانند سبب تغییر و تحول عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله پتاسیم گردند (۵ و ۳۸). در حقیقت تمام عناصر مورد نیاز گیاه به‌جز نیتروژن از طریق هوادیدگی کانی‌های خاک می‌توانند آزاد شده و در دسترس ریشه گیاه قرار گیرند (۱۵). قارچ‌های همزیست با ریشه گیاهان می‌توانند سبب آزادسازی پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار خاک شده و آن‌ها را به شکل قابل استفاده گیاه

## مواد و روش‌ها

**تهیه کودهای آلی و بیوچار آن‌ها:** کودهای مرغی و گوسفندی که به‌طور گسترده در باغات مرکبات منطقه داراب استفاده می‌شوند، از دامپروری‌ها و مرغداری‌های فعال منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند و سپس آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. جهت تهیه بیوچار، مقدار ۸۰ گرم از نمونه‌های کود مرغی و گوسفندی در بشر ۲۵۰ میلی‌لیتر قرار داده شده و به‌وسیله ورقه‌های آلومینیمی پوشانده شدند و با مفتول محکم گردیدند تا شرایط دسترسی اکسیژن محدود ایجاد گردد. گرمکافت نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت صورت گرفت (۲۷). آهنگ افزایش دمای کوره حدود ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه بود و یک شبانه‌روز به نمونه‌ها اجازه داده شد تا به دمای محیط برسند. مقدار pH کود و بیوچار در سوسپانسیون ۱ به ۵ ترکیب به آب و قابلیت هدایت الکتریکی آن‌ها در عصاره ۱ به ۵ ترکیب به آب (۸) و پتاسیم کل پس از خاکستر کردن نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و حل در اسید کلریدریک ۲ نرمال به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (Corning 510, UK) اندازه‌گیری شد.

**تهیه نمونه خاک و آنالیز آن:** نمونه خاک مورد مطالعه از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، جنوب‌شرقی استان فارس و از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر برداشت گردید. نمونه پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت (۲۶)، pH گل اشباع خاک (۲۸)، کربنات‌کلسیم معادل (۲۸)، قابلیت هدایت الکتریکی

عصاره اشباع خاک (۲۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۲) و مقدار کربن آلی (۲۵) اندازه‌گیری گردیدند.

**تیمارها و آزمایش گلخانه‌ای:** آزمایش‌های مربوط به تأثیر افزودن کودهای دامی و بیوچار آن‌ها و کودهای زیستی بر تغییرات شکل‌های مختلف پتاسیم خاک پس از برداشت ذرت به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (۳×۵×۳) شامل ۵ تیمار مواد آلی (کود مرغی، کود گوسفندی، بیوچار کود مرغی، بیوچار کود گوسفندی و شاهد) و سه تیمار کود زیستی (تلقیح با قارچ فونلیفورمیس‌موسه<sup>۱</sup>، تلقیح با قارچ گلوموس‌ورسیفرم<sup>۲</sup> و شاهد) روی خاک مورد مطالعه با سه تکرار انجام گرفت. جهت انجام این کار، به دو کیلوگرم خاک، ۴۰ گرم ترکیبات آلی (معادل دو درصد وزنی) اضافه و مخلوط شد. برای اعمال تیمارهای زیستی، در گلدان‌های مربوطه، قبل از کشت، مقدار ۵۰ گرم از مایه تلقیحی قارچی (۱۱-۱۰ اسپور در هر گرم بستر، هیف و قطعات کلنیزه شده (۸۵-۸۰٪) و کلنیزه نشده ریشه‌ای) به خاک سطحی (۱ الی ۵ سانتی‌متری) اضافه و خوب مخلوط گردید. در گلدان‌های فاقد قارچ نیز مقدار ۵۰ گرم مایه تلقیح استریل افزوده شد. پس از اعمال تیمارهای زیستی، کشت گیاه به تعداد ۵ بذر ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل گراس ۷۰۴ در عمق حدود ۲ سانتی‌متری انجام شد. در هفته دوم رشد گیاه در هر گلدان فقط دو بوته نگهداری شد و بقیه حذف گردیدند. در طول دوره رشد، رطوبت گلدان‌ها روزانه به‌صورت وزنی با استفاده از آب مقطر در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداشته شدند. پس از ۱۰ هفته از رشد گیاه، اندام‌های هوایی از محل طوقه برداشته شد. نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در

1- *Funneliformis mosseae*

2- *Glomus versiforme*

تجزیه آماری: جهت تجزیه آماری نمونه‌ها از نرم‌افزار MSTATC و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

**برخی ویژگی‌های خاک و ترکیبات آلی مورد استفاده:** خاک مورد استفاده دارای بافت لوم، pH ۷/۸۰، کربنات کلسیم معادل ۴۲ درصد، قابلیت هدایت الکتریکی ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر، ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۶ سانتی‌مول بر کیلوگرم و مقدار کربن آلی یک درصد بود. رده‌بندی خاک بر اساس سیستم رده‌بندی خاک Coarse-loamy، carbonatic، hyperthermic Typic Haplustepts می‌باشد (۳۰). برخی ویژگی‌های ترکیبات آلی مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در کود گوسفندی و بیوچار آن بیش‌تر از کود مرغی و بیوچار آن بود. از نظر pH، تفاوت چندانی بین کود گوسفندی و مرغی مشاهده نشد اما تبدیل کود به بیوچار سبب افزایش قابل‌ملاحظه pH آن تا دو واحد گردید. قلیائیت بالای بیوچار به‌دلیل آزاد شدن یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات و بی‌کربنات‌های موجود در مواد آلی در نتیجه حرارت است و همچنین می‌تواند به‌دلیل از بین رفتن گروه‌های عاملی اسیدی در نتیجه حرارت باشد (۱۷) و (۳۱). مقدار پتاسیم در کود گوسفندی بیش‌تر از کود مرغی بوده و با تبدیل آن به بیوچار این مقدار افزایش یافت.

آون تا زمان خشک شدن نگهداری شدند و سپس وزن گردیدند. غلظت پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاه، پس از خاکستر کردن نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و حل در اسید کلریدریک دو نرمال با استفاده از روش شعله‌سنجی اندازه‌گیری شد. پس از برداشت گیاه و جدا نمودن ریشه از خاک گلدان‌ها، نمونه‌های خاک هوا خشک شده و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم شامل پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی به‌روش باشور و سابق (۲۰۰۷) انجام گرفت (۴). مقدار پتاسیم محلول در عصاره اشباع نمونه‌های خاک اندازه‌گیری گردید. پتاسیم تبدالی با چهار بار عصاره‌گیری نمونه‌های خاک با استات آمونیم یک مولار با پ‌هاش ۷ (نسبت خاک به عصاره‌گیر ۱ به ۱۰) و پتاسیم غیرتبدالی خاک از طریق تفریق پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک خاک از مجموع شکل‌های محلول و تبدالی پتاسیم محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مجموع شکل‌های محلول، تبدالی و غیرتبدالی پتاسیم در خاک از اسید نیتریک یک مولار جوشان استفاده شد. پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک شامل مجموع شکل‌های پتاسیم (پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی) می‌باشد. با توجه به این‌که بیش از ۸۵ درصد پتاسیم خاک‌ها در شکل ساختمانی و برای گیاه غیرقابل استفاده بوده و در طول فصل رشد گیاه هوادیده و آزاد نمی‌شود از اندازه‌گیری آن صرف‌نظر شد. این شکل پتاسیم بیش‌تر در مطالعات کانی‌شناسی دارای اهمیت می‌باشد. مقدار پتاسیم در عصاره‌های حاصل به‌روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های کودهای آلی مورد استفاده و بیوجار آنها.

Table 1. Some properties of the used organic manures and their biochar.

پ‌هاش pH	قابلیت هدایت الکتریکی (EC) (dS m <sup>-1</sup> )	پتاسیم کل (Total K) (%)	مواد آلی (organic materials)
8.08	10.9	0.85	کود گوسفندی (sheep manure)
10.21	12.6	1.50	بیوجار کود گوسفندی (sheep manure biochar)
8.42	6.8	0.50	کود مرغی (poultry manure)
10.26	8.8	0.80	بیوجار کود مرغی (poultry manure biochar)

مختلف پتاسیم داشتند (جدول ۲). کاربرد هم‌زمان کودهای آلی و زیستی نیز سبب تغییر معنی‌دار در مقدار شکل‌های پتاسیم خاک شد.

تأثیر کاربرد ترکیبات آلی و کودهای زیستی بر مقدار شکل‌های پتاسیم خاک پس از برداشت ذرت: کودهای آلی، بیوجار حاصل از آنها و همچنین کودهای زیستی تأثیرات معنی‌داری بر مقدار شکل‌های

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر مواد آلی، کودهای زیستی و اثر متقابل آنها بر مقدار شکل‌های پتاسیم خاک و غلظت و جذب پتاسیم گیاه.

Table 2. Variance analysis of the effect of organic materials, biofertilizers and their interactions on soil soluble, exchangeable and non-exchangeable K.

میانگین مربعات (Mean square)						درجه آزادی (Degree of freedom)	منابع تغییرات (source of variation)
جذب پتاسیم گیاه (Plant K uptake)	غلظت پتاسیم گیاه (Plant K concentration)	پتاسیم اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> -K)	پتاسیم غیرتبادلی (Non-exchangeable K)	پتاسیم تبادلی (Exchangeable K)	پتاسیم محلول (Soluble K)		
68552**	0.205**	97573**	7638**	22009**	7918**	4	مواد آلی (Organic materials)
4830**	0.145**	1282*	914**	110**	391*	2	کود زیستی (Biofertilizers)
2724**	0.357**	6411**	959**	1230**	546**	8	مواد آلی × کود زیستی (Organic materials × biofertilizers)
172	0.021	325	324	21.3	3.26	30	خطای کل (Error)
5.32	4.43	3.41	8.39	1.98	2.21		ضریب تغییرات (Coefficient of variation)

\*\* و \* به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد.

\*\* and \* are significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

کاربرد هر دو نوع قارچ سبب کاهش معنی‌دار پتاسیم محلول گردید و مقدار آن را تا ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش داد (جدول ۳). تأثیر قارچ گلوبوموسورسیفرم در کاهش پتاسیم محلول بیش‌تر از قارچ فونلیفورمیس‌موسه بود. اگرچه فعالیت قارچ‌ها و در نتیجه انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار می‌تواند سبب افزایش مقدار پتاسیم محلول گردد اما افزایش جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه تلقیح‌شده با قارچ‌های مایکوریزی می‌تواند غلظت این یون را در محلول خاک کاهش دهد. باساک و بیسواس (۲۰۰۹) بیان کردند که کاربرد کودهای زیستی (*Bacillus mucilaginosus*) به خاک تحت کشت سودان گراس سبب افزایش پتاسیم محلول در ۶۰ روز پس از کشت گردید در حالی‌که پس از آن کاهش قابل‌ملاحظه در مقدار پتاسیم محلول مشاهده گردید (۳). اثرات متقابل کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی بر تغییر پتاسیم محلول خاک نیز معنی‌دار بود؛ طوری‌که کم‌ترین مقدار پتاسیم محلول در نمونه‌های خاک تیمارشده با قارچ فونلیفورمیس‌موسه بدون افزودن مواد آلی و بیش‌ترین آن در نمونه‌های خاک تیمارشده با بیوچار کود گوسفندی و بدون تلقیح کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۳). در واقع کودهای زیستی در خاک‌های تیمارشده با بیوچار کود گوسفندی تأثیر بیش‌تری در کاهش غلظت پتاسیم محلول داشتند؛ در حالی‌که این تأثیر در خاک‌های تیمارشده با بیوچار کود مرغی متفاوت بود و قارچ‌ها سبب افزایش مقدار پتاسیم محلول گردیدند. تأثیر قارچ‌ها بر تغییرات پتاسیم محلول در خاک‌های تیمارشده با کود مرغی و گوسفندی کم‌تر از بیوچار آن‌ها بود.

کاربرد کودهای آلی و بیوچار حاصل از آن‌ها سبب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم محلول خاک گردید (جدول ۳)؛ طوری‌که مقدار آن از ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد بیوچار کود مرغی تا ۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد کود گوسفندی نسبت به خاک شاهد افزایش یافت. به‌رحال تبدیل کودهای دامی به بیوچار سبب افزایش کم‌تر پتاسیم محلول گردید که این می‌تواند به‌دلیل توزیع پتاسیم در خاک به شکل‌های دیگر و همچنین جذب بیش‌تر پتاسیم به‌وسیله گیاه ذرت باشد. تأثیر کود گوسفندی و بیوچار آن در افزایش پتاسیم محلول بیش‌تر از کود مرغی و بیوچار آن بود. تأثیر کودهای آلی در افزایش مقدار پتاسیم محلول به‌وسیله نجفی‌قیری و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش شده است (۲۴). آن‌ها نشان دادند که کود مرغی و گوسفندی می‌تواند مقدار پتاسیم محلول را در خاک‌های آهکی تا ۴ برابر افزایش دهد. از طرف دیگر افزایش مقدار پتاسیم محلول تا ۷ برابر در خاک‌های آهکی با کاربرد بیوچار توسط نجفی‌قیری (۲۰۱۵) بیان شده است (۲۱). مقدار بالای پتاسیم موجود در بقایای گیاهی و کودهای دامی که در ساختمان ترکیبات آلی وارد نشده و به شکل محلول و یا تبدالی وجود دارند در زمان کاربرد این ترکیبات وارد محلول خاک می‌شوند و ضمن بالا بردن قابلیت هدایت الکتریکی خاک، غلظت پتاسیم محلول را نیز افزایش می‌دهند (۱۱). به‌طورکلی تفاوت در مقدار پتاسیم محلول خاک پس از برداشت ذرت می‌تواند در نتیجه تفاوت در ترکیب مواد آلی مورد استفاده و تفاوت جذب پتاسیم در نتیجه رشد گیاه باشد.

جدول ۳- مقدار پتاسیم محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک تیمار شده با مواد آلی و کودهای زیستی مختلف.

**Table 3. The content of soluble K (mg kg<sup>-1</sup>) in soil samples treated with different organic materials and biofertilizers.**

میانگین (Mean)	قارچ گلوبوس ورسیفرم ( <i>Glomus versiforme</i> )	قارچ فونلیفورمیس موسه ( <i>Funneliformis mosseae</i> )	شاهد (Control)	تیمار (Treatment)
50 <sup>E</sup>	50 <sup>k</sup>	46 <sup>l</sup>	53 <sup>j</sup>	شاهد (Control)
76 <sup>C</sup>	74 <sup>h</sup>	77 <sup>g</sup>	77 <sup>g</sup>	کود مرغی (Poultry manure)
115 <sup>A</sup>	104 <sup>d</sup>	123 <sup>b</sup>	116 <sup>c</sup>	کود گوسفندی (Sheep manure)
58 <sup>D</sup>	64 <sup>i</sup>	63 <sup>i</sup>	48 <sup>kl</sup>	بیوپچار کود مرغی (Poultry manure biochar)
111 <sup>B</sup>	91 <sup>f</sup>	101 <sup>e</sup>	140 <sup>a</sup>	بیوپچار کود گوسفندی (Sheep manure biochar)
	77 <sup>C</sup>	82 <sup>B</sup>	87 <sup>A</sup>	میانگین (Mean)

اعداد با حروف مشترک در هر ستون و ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter in each row and column are not significantly different ( $P < 0.05$ ).

آهکی رسی را با کاربرد کودهای گوسفندی و مرغی تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده و بیان کردند که مقدار این افزایش علاوه بر نوع کود دامی به نوع خاک و شرایط رطوبتی نیز بستگی دارد (۲۴). به‌رحال مقدار افزایش پتاسیم تبادلی در پژوهش حاضر کم‌تر از نتایج نجفی‌قیری و همکاران (۲۰۱۷) بود که می‌تواند به‌دلیل ماهیت خاک‌های مورد استفاده (ویژگی‌ها و رفتار خاک) باشد؛ خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر شنی‌تر و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی کم‌تر و در نتیجه توانایی کم‌تری در نگهداری پتاسیم به‌شکل تبادلی دارد (۲۴). افزایش مقدار پتاسیم تبادلی خاک با کاربرد ترکیبات آلی توسط ویترود و همکاران نیز گزارش شده است (۳۶).

کودهای زیستی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مقدار پتاسیم تبادلی نمونه‌های خاک داشتند (جدول‌های ۲ و ۴). کاربرد قارچ گلوبوس ورسیفرم سبب افزایش مقدار پتاسیم تبادلی خاک گردید. اثرات متقابل کاربرد

مقدار پتاسیم تبادلی نیز تحت تأثیر کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی قرار گرفت (جدول ۲). افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در مقدار پتاسیم تبادلی نمونه‌های خاک با کاربرد کودهای آلی مشاهده شد و این افزایش از ۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد کود مرغی تا ۱۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد بیوپچار کود گوسفندی نسبت به خاک شاهد متغیر بود (جدول ۴). به‌طورکلی کود گوسفندی و بیوپچار آن افزایش بیشتری را در مقدار پتاسیم تبادلی خاک نسبت به کود مرغی و بیوپچار آن نشان دادند. از طرف دیگر تبدیل کودهای آلی به بیوپچار سبب افزایش بیش‌تر پتاسیم تبادلی خاک‌ها گردید. افزایش قابلیت استفاده پتاسیم و مقدار پتاسیم تبادلی در خاک بر اثر کاربرد بیوپچار بقایای گیاهی توسط هی و همکاران (۲۰۱۷) و هانسن و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است (۱۲ و ۱۰). نجفی‌قیری و همکاران (۲۰۱۷) نیز افزایش سه برابری مقدار پتاسیم تبادلی در دو خاک



را در مقدار پتاسیم تبدالی در ۹۰ روز پس از کاربرد کودهای زیستی (*Bacillus mucilaginosus*) به خاک تحت کشت سودان گراس مشاهده کردند که البته پس از ۱۵۰ روز، شدت این تأثیر کاهش یافت (۳).

مواد آلی و کودهای زیستی بر مقدار پتاسیم تبدالی خاک معنی دار بود و کمترین و بیشترین مقدار پتاسیم تبدالی به ترتیب در نمونه شاهد (بدون افزودن مواد آلی و کودهای زیستی) و نمونه تیمار شده با بیوچار کود گوسفندی بدون افزودن کودهای زیستی مشاهده گردید. باساک و بیسواس (۲۰۰۹) افزایش قابل ملاحظه‌ای

جدول ۴- مقدار پتاسیم تبدالی (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک تیمار شده با مواد آلی و کودهای زیستی مختلف.

**Table 4. The content of exchangeable K (mg kg<sup>-1</sup>) in soil samples treated with different organic materials and biofertilizers.**

میانگین (Mean)	قارچ گلوموسورسیفرم ( <i>Glomus versiforme</i> )	قارچ فونلیفورمیس موسه ( <i>Funneliformis mosseae</i> )	شاهد (Control)	تیمار (Treatment)
169 <sup>E</sup>	162 <sup>j</sup>	185 <sup>i</sup>	159 <sup>j</sup>	شاهد (Control)
212 <sup>D</sup>	224 <sup>g</sup>	205 <sup>h</sup>	206 <sup>h</sup>	کود مرغی (Poultry manure)
264 <sup>B</sup>	275 <sup>e</sup>	253 <sup>e</sup>	262 <sup>d</sup>	کود گوسفندی (Sheep manure)
222 <sup>C</sup>	244 <sup>f</sup>	223 <sup>g</sup>	198 <sup>h</sup>	بیوچار کود مرغی (Poultry manure biochar)
297 <sup>A</sup>	271 <sup>c</sup>	296 <sup>b</sup>	324 <sup>a</sup>	بیوچار کود گوسفندی (Sheep manure biochar)
	235 <sup>A</sup>	232 <sup>AB</sup>	230 <sup>B</sup>	میانگین (Mean)

اعداد با حروف مشترک در هر ستون و ردیف دارای اختلاف معنی دار ( $P < 0.05$ ) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter in each row and column are not significantly different ( $P < 0.05$ ).

کود گوسفندی بیش‌تر از کود مرغی بود. از طرف دیگر تبدیل کودهای آلی به بیوچار، پتاسیم غیرتبدالی را به مقدار بیش‌تری افزایش داد که این به دلیل افزایش غلظت پتاسیم در بیوچار نسبت به ماده اولیه می‌باشد و در جدول ۱ ارائه شده است. افزایش قابل ملاحظه مقدار پتاسیم غیرتبدالی تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد کود گوسفندی و مرغی به خاک‌های آهکی رسی توسط نجفی قیری و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است (۲۴) که البته برای کود مرغی بیش‌تر از کود گوسفندی بوده است. کاربرد کودهای زیستی تأثیر

پتاسیم غیرتبدالی خاک نیز همانند دو شکل دیگر پتاسیم (محلول و تبدالی) با کاربرد مواد آلی افزایش یافت (جدول ۵). مقدار افزایش پتاسیم غیرتبدالی با کاربرد مواد آلی از ۲۹ تا ۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به خاک شاهد متغیر بود. کود گوسفندی و بیوچار آن افزایش بیش‌تری را در پتاسیم غیرتبدالی خاک نسبت به کود مرغی و بیوچار آن نشان دادند. تفاوت ترکیب کودهای آلی بستگی به شرایط تغذیه‌ای، ناخالصی‌ها و شرایط نگهداری کود دارد. همان‌گونه که در جدول ۱ بیان شده مقدار پتاسیم در

قارچ گلوموسورسیفرم در نمونه‌های تیمار شده با بیوچار کود گوسفندی سبب کاهش مقدار پتاسیم غیرتبادلی شد. این به دلیل تفاوت شدت فعالیت قارچ‌های مختلف در شرایط متفاوت می‌باشد و ممکن است کودهای استفاده شده شرایط متفاوتی را برای دو گونه قارچ به وجود آورند. به‌رحال کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار پتاسیم غیرتبادلی به ترتیب در نمونه شاهد (بدون افزودن مواد آلی و کودهای زیستی) و نمونه‌های تیمار شده با بیوچار کود گوسفندی بدون افزودن کودهای زیستی مشاهده گردید.

معنی‌داری بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی نداشت؛ اما مقدار پتاسیم غیرتبادلی در نمونه‌های خاک تیمار شده با قارچ فونلیفورمیس موسه بیش‌تر از قارچ گلوموسورسیفرم بود (جدول ۵). کاهش قابل‌ملاحظه در مقدار پتاسیم غیرتبادلی پس از کاربرد کود زیستی (*Bacillus mucilaginosus*) به خاک تحت کشت سودان گراس به‌وسیله باساک و بیسواس (۲۰۰۹) گزارش شده است (۳). مواد آلی و کودهای زیستی دارای تأثیرات متقابل بر مقدار پتاسیم غیرتبادلی خاک بودند؛ طوری‌که قارچ فونلیفورمیس موسه فقط در نمونه‌های خاک تیمار شده با بیوچار کود مرغی سبب افزایش و

جدول ۵- مقدار پتاسیم غیرتبادلی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک تیمار شده با مواد آلی و کودهای زیستی مختلف.

**Table 5. The content of non-exchangeable K (mg kg<sup>-1</sup>) in soil samples treated with different organic materials and biofertilizers.**

میانگین (Mean)	قارچ گلوموسورسیفرم ( <i>Glomus versiforme</i> )	قارچ فونلیفورمیس موسه ( <i>Funneliformis mosseae</i> )	شاهد (Control)	تیمار (Treatment)
171 <sup>D</sup>	173 <sup>gh</sup>	180 <sup>f-h</sup>	160 <sup>h</sup>	شاهد (Control)
200 <sup>C</sup>	202 <sup>d-g</sup>	193 <sup>e-g</sup>	205 <sup>d-f</sup>	کود مرغی (Poultry manure)
234 <sup>AB</sup>	224 <sup>b-d</sup>	239 <sup>a-c</sup>	239 <sup>a-c</sup>	کود گوسفندی (Sheep manure)
225 <sup>B</sup>	218 <sup>c-e</sup>	254 <sup>ab</sup>	203 <sup>d-g</sup>	بیوچار کود مرغی (Poultry manure biochar)
243 <sup>A</sup>	216 <sup>c-e</sup>	245 <sup>a-c</sup>	268 <sup>a</sup>	بیوچار کود گوسفندی (Sheep manure biochar)
	207 <sup>B</sup>	222 <sup>A</sup>	215 <sup>AB</sup>	میانگین (Mean)

اعداد با حروف مشترک در هر ستون و ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter in each row and column are not significantly different ( $P < 0.05$ ).

آلی مورد استفاده بر افزایش مقدار این شکل پتاسیم معنی‌دار بود (افزایش از ۹۹ تا ۲۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به خاک شاهد). کود گوسفندی و بیوچار آن تأثیر بیش‌تری نسبت به کود مرغی و بیوچار آن داشتند. از طرف دیگر بیوچار کود

مقدار پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک که مجموع پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی را شامل می‌شود نیز با کاربرد مواد آلی تغییر کرد؛ در حالی‌که کاربرد کودهای زیستی تأثیری بر مقدار آن نداشت (جدول‌های ۲ و ۶). به‌طورکلی کاربرد همه انواع مواد

کانی‌های پتاسیم‌دار می‌شود بر قابلیت استفاده پتاسیم خاک اثر بگذارند. در واقع یون‌های اگزالات، آلومینیم و آهن موجود در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار را کلات کرده و از این طریق سبب تجزیه کانی‌ها و آزادسازی پتاسیم می‌گردند؛ از طرف دیگر یون‌های هیدروژن به دلیل اندازه کوچک‌تر نسبت به یون‌های پتاسیم (۰/۰۳۲ نسبت به ۰/۲۰۳ نانومتر) وارد فضای بین‌لایه‌ای کانی‌ها و تبادل پتاسیم می‌شوند (۳۸). بررسی اثرات متقابل کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی بر مقدار پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک نشان داد که قارچ *فونلیفورمیس موسه* در نمونه‌های خاک شاهد و نمونه‌های تیمار شده با بیوجارها و قارچ *گلوبوسورسیفرم* در نمونه خاک‌های تیمار شده با بیوجارها سبب تغییر در مقدار آن نسبت به نمونه‌های بدون تیمار قارچی شدند.

گوسفندی تأثیر بیشتری در افزایش مقدار پتاسیم قابل‌استخراج با اسید نیتریک نسبت به کودهای گوسفندی نشان داد و این نتیجه برای کود مرغی مشاهده نشد. هی و همکاران (۲۰۱۷) افزایش کمی را در مقدار پتاسیم کل خاک پس از کاربرد بیوجار گزارش کردند (۱۲). کودهای زیستی اثری بر مقدار پتاسیم قابل‌استخراج با اسید نیتریک نداشتند ولی مقدار آن در نمونه‌های خاک تیمار شده با قارچ *فونلیفورمیس موسه* بیشتر از قارچ *گلوبوسورسیفرم* بود. تأثیرات متفاوت قارچ‌های مایکوریزی بر انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار و افزایش قابلیت استفاده پتاسیم خاک‌ها به وسیله پژوهشگران زیادی بیان شده است (۱ و ۳۸). یوان و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که قارچ‌های مایکوریز می‌توانند از طریق ترشح یون هیدروژن که سبب آزادسازی پتاسیم بین‌لایه‌ای می‌شود و یون‌های اگزالات که سبب هوادیدگی

جدول ۶- مقدار پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک تیمار شده با ترکیبات آلی و کودهای زیستی مختلف.

**Table 6. The content of HNO<sub>3</sub>-extractable K (mg kg<sup>-1</sup>) in soil samples treated with different organic materials and biofertilizers.**

میانگین (Mean)	قارچ <i>گلوبوسورسیفرم</i> ( <i>Glomus versiforme</i> )	قارچ <i>فونلیفورمیس موسه</i> ( <i>Funneliformis mosseae</i> )	شاهد (Control)	تیمار (Treatment)
389 <sup>D</sup>	385 <sup>ij</sup>	411 <sup>i</sup>	372 <sup>j</sup>	شاهد (Control)
488 <sup>C</sup>	501 <sup>fg</sup>	475 <sup>gh</sup>	488 <sup>g</sup>	کود مرغی (Poultry manure)
612 <sup>B</sup>	603 <sup>cd</sup>	616 <sup>bc</sup>	616 <sup>bc</sup>	کود گوسفندی (Sheep manure)
505 <sup>C</sup>	526 <sup>ef</sup>	539 <sup>e</sup>	449 <sup>h</sup>	بیوجار کود مرغی (Poultry manure biochar)
651 <sup>A</sup>	578 <sup>d</sup>	642 <sup>b</sup>	732 <sup>a</sup>	بیوجار کود گوسفندی (Sheep manure biochar)
	519 <sup>B</sup>	537 <sup>A</sup>	532 <sup>AB</sup>	میانگین (Mean)

اعداد با حروف مشترک در هر ستون و ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter in each row and column are not significantly different ( $P < 0.05$ ).

آلی و کودهای زیستی بر غلظت پتاسیم گیاه نیز معنی‌دار بود و بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت پتاسیم به‌ترتیب در تیمارهای بیوجار کود گوسفندی بدون تلقیح کودهای زیستی و تیمار بیوجار کود گوسفندی و تلقیح قارچ گلووموسورسیفرم به‌دست آمد. ارتباط مثبت و معنی‌داری (در سطح یک درصد) بین غلظت پتاسیم گیاه و شکل‌های مختلف پتاسیم شامل محلول، تبدلی، غیرتبدلی و قابل استخراج با اسید نیتریک به‌دست آمد (ضرایب همبستگی به‌ترتیب ۰/۴۶، ۰/۳۶، ۰/۴۱ و ۰/۴۳). نجفی‌قیری (۲۰۱۷) ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مقدار پتاسیم بذر گندم و شکل تبدلی پتاسیم خاک به‌دست آورد (۲۰).

مقدار پتاسیم در بخش‌های هوایی گیاه ذرت و ارتباط آن با شکل‌های پتاسیم خاک: کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم گیاه داشت (جدول ۲). غلظت پتاسیم گیاه بر اثر کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی در جدول ۷ نشان داده شده است. به‌طورکلی با کاربرد بیوجار کود گوسفندی، غلظت پتاسیم گیاه به مقدار ۳/۴۴ درصد رسید که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شاهد بود؛ در حالی‌که با کاربرد کود مرغی، غلظت پتاسیم اندام‌های هوایی گیاه به مقدار ۳/۰۶ درصد رسید. اگرچه تلقیح خاک با قارچ فونلیفورمیس‌موسه تأثیری بر غلظت پتاسیم گیاه نداشت اما قارچ گلووموسورسیفرم مقدار آن را به ۳/۱۳ درصد رساند. اثر متقابل کاربرد مواد

جدول ۷- غلظت پتاسیم اندام هوایی ذرت (%) با کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی مختلف به خاک.

**Table 7. Potassium concentration in maize shoot (%) with application of different organic materials and biofertilizers to soil.**

میانگین (Mean)	قارچ گلووموسورسیفرم ( <i>Glomus versiforme</i> )	قارچ فونلیفورمیس‌موسه ( <i>Funneliformis mosseae</i> )	شاهد (Control)	تیمار (Treatment)
3.28 <sup>BC</sup>	3.63 <sup>b</sup>	3.20 <sup>c-e</sup>	3.00 <sup>d-f</sup>	شاهد (Control)
3.06 <sup>D</sup>	3.07 <sup>d-f</sup>	3.17 <sup>c-f</sup>	2.93 <sup>ef</sup>	کود مرغ (Poultry manure)
3.31 <sup>AB</sup>	2.97 <sup>ef</sup>	3.43 <sup>bc</sup>	3.53 <sup>b</sup>	کود گوسفند (Sheep manure)
3.14 <sup>CD</sup>	3.10 <sup>d-f</sup>	3.27 <sup>cd</sup>	3.07 <sup>d-f</sup>	بیوجار کود مرغ (Poultry manure biochar)
3.44 <sup>A</sup>	2.90 <sup>f</sup>	3.43 <sup>bc</sup>	4.00 <sup>a</sup>	بیوجار کود گوسفند (Sheep manure biochar)
	3.13 <sup>B</sup>	3.30 <sup>A</sup>	3.31 <sup>A</sup>	میانگین (Mean)

اعداد با حروف مشترک در هر ستون و ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter in each row and column are not significantly different ( $P < 0.05$ ).

کودهای آلی و زیستی قرار گرفت (جدول‌های ۲ و ۸). به‌طورکلی تمام مواد آلی مورد استفاده مقدار پتاسیم جذب‌شده را افزایش دادند و مقدار این افزایش از ۱۶

مقدار پتاسیم جذب‌شده به‌وسیله گیاه که از حاصل‌ضرب عملکرد اندام هوایی در غلظت پتاسیم در اندام‌های گیاه به‌دست می‌آید تحت‌تأثیر نوع

کاربرد ترکیبات آلی به وسیله پژوهشگران زیادی (۲، ۱۸ و ۱۹) گزارش شده است. به هر حال با افزایش غلظت پتاسیم محلول در خاک در نتیجه کاربرد ترکیبات آلی، مقدار جذب و تجمع پتاسیم در گیاه علی‌رغم کفایت آن در اندام‌های گیاهی افزایش می‌یابد (۱۱).

میلی‌گرم در گلدان با کاربرد کود گوسفندی تا ۲۱۷ میلی‌گرم در گلدان با کاربرد بیوچار کود مرغی نسبت به تیمار شاهد متغیر بود. به‌طور کلی بیوچارها تأثیر بیشتری در افزایش پتاسیم جذب‌شده نسبت به کودهای دامی داشتند. تأثیر کود مرغی و بیوچار آن در افزایش پتاسیم جذب‌شده بیش‌تر از کود گوسفندی و بیوچار آن بود. افزایش جذب پتاسیم به‌وسیله گیاه با

جدول ۸- مقدار پتاسیم جذب‌شده گیاه (میلی‌گرم در گلدان) با کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی مختلف به خاک.

**Table 8. Content of K uptake by plant (mg pot<sup>-1</sup>) with application of different organic materials and biofertilizers to soil.**

میانگین (Mean)	قارچ گلوموس ورسیفورم ( <i>Glomus versiforme</i> )	قارچ فونلیفورمیس موسه ( <i>Funneliformis mosseae</i> )	شاهد (Control)	تیمار (Treatment)
158 <sup>E</sup>	204 <sup>f</sup>	147 <sup>i</sup>	123 <sup>j</sup>	شاهد (Control)
272 <sup>B</sup>	287 <sup>c</sup>	258 <sup>de</sup>	270 <sup>cd</sup>	کود مرغی (Poultry manure)
174 <sup>D</sup>	155 <sup>hi</sup>	193 <sup>fg</sup>	173 <sup>gh</sup>	کود گوسفندی (Sheep manure)
375 <sup>A</sup>	370 <sup>a</sup>	379 <sup>a</sup>	377 <sup>a</sup>	بیوچار کود مرغی (Poultry manure biochar)
254 <sup>C</sup>	313 <sup>b</sup>	241 <sup>e</sup>	207 <sup>f</sup>	بیوچار کود گوسفندی (Sheep manure biochar)
	266 <sup>A</sup>	244 <sup>B</sup>	230 <sup>C</sup>	میانگین (Mean)

اعداد با حروف مشترک در هر ستون و ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter in each row and column are not significantly different ( $P < 0.05$ ).

می‌گردند (۶). از طرف دیگر با توجه به تحرک کم پتاسیم نسبت به یون‌هایی مانند نیترات، کلرید، کلسیم و منیزیم که تحرک بیشتری در خاک دارند و در نتیجه کم‌رنگ‌بودن نقش جریان توده‌ای در عرضه یون‌های پتاسیم به ریشه، اهمیت قارچ‌ها می‌تواند مهم باشد (۱۱). اسمیت و رید (۱۹۹۷) و یوان و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که پلی‌فسفات‌های جذب‌شده به‌وسیله مایکوریزها در شرایط کمبود فسفر خاک

کاربرد کودهای زیستی سبب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم جذب‌شده به‌وسیله ذرت گردید و این تأثیر به‌وسیله قارچ گلوموس ورسیفورم بیش‌تر از قارچ فونلیفورمیس موسه بود. قارچ‌های مایکوریز از طریق افزایش سطح تماس ریشه با خاک، کاوش حجم بیش‌تر خاک و ترشح اسیدهای آلی که سبب انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار می‌شوند سبب افزایش جذب عناصر مختلف از جمله پتاسیم به‌وسیله ریشه گیاه

خاک‌های شاهد بوده و مقدار پتاسیم در بخش هوایی گندم در خاک‌های دارای تیمار کود دامی بیش‌تر از خاک‌های شاهد بوده است (۳۴).

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کودهای مرغی و گوسفندی و بیوچار حاصل از آن‌ها می‌توانند سبب افزایش شکل‌های مختلف پتاسیم خاک و مقدار پتاسیم جذب‌شده توسط گیاه گردند. نوع کود مورد استفاده نیز تأثیر مهمی بر مقدار این تغییرات داشت، طوری‌که کود گوسفندی بیش‌ترین تأثیر را بر مقدار پتاسیم خاک داشت. تبدیل کود به بیوچار سبب کاهش پتاسیم محلول و افزایش پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی گردید که این می‌تواند در خاک‌هایی که پتانسیل آبشویی بالایی دارند مهم باشد. باید توجه داشت که تأثیر کم‌تر بیوچار کود مرغی در افزایش مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک پس از برداشت ذرت در نتیجه افزایش جذب این عنصر به‌وسیله گیاه می‌باشد طوری‌که مقدار پتاسیم جذب‌شده به‌وسیله ذرت از خاک‌های تیمار شده با بیوچار کود مرغی بسیار بیش‌تر از سایر تیمارها بود. کاربرد هم‌زمان مواد آلی و کودهای زیستی می‌تواند اثرات متقابل مثبت و یا منفی بر مقدار پتاسیم خاک داشته باشد که در مطالعه حاضر مشخص گردید که کاربرد بیوچار کود مرغی سبب افزایش تأثیر هر دو نوع قارچ بر مقدار پتاسیم خاک گردید؛ در حالی‌که کاربرد بیوچار کود گوسفندی سبب کاهش تأثیر قارچ‌ها بر هر سه شکل پتاسیم گردید و به‌نظر می‌رسد این موضوع باید در کاربرد هم‌زمان مواد آلی و کودهای زیستی مدنظر قرار گیرد. به‌رحال نقش مواد آلی و قارچ‌های میکوریزی در خاک‌های آهکی استان فارس که دارای کانی‌های پتاسیم‌دار بوده و از طرفی به‌دلیل عدم کاربرد کودهای پتاسیم در محدوده کمبود این عنصر قرار گرفته‌اند می‌تواند دارای اهمیت باشد.

به‌وسیله یون‌های پتاسیم افزایش یافته و قارچ‌ها جهت تعادل در بار الکتریکی، همراه آنیون‌های فسفات، کاتیون‌های پتاسیم را نیز جذب می‌کنند و در نتیجه سبب افزایش مقدار پتاسیم در گیاه می‌شوند (۲۹ و ۳۸). تفاوت در تأثیر قارچ‌های مختلف میکوریزی در افزایش جذب پتاسیم و فسفر به‌وسیله دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۷ و ۳۸). به‌رحال تفاوت در مقدار کلونی‌شدن سطوح ریشه با قارچ‌های مختلف و تفاوت در مقدار رشد گیاه به‌وسیله میکوریزهای مختلف می‌تواند دلیل این امر باشد. با توجه به وجود میکا و ایلیت در بخش رس و فلدسپات پتاسیم‌دار و میکا در بخش‌های شن و سیلت خاک مورد مطالعه (۲۳) به‌نظر می‌رسد نقش میکوریزها در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه مهم می‌باشد.

اثر متقابل مواد آلی و کودهای زیستی بر جذب پتاسیم به‌وسیله گیاه معنی‌دار بود. کودهای زیستی در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی، کود گوسفندی و بیوچار کود مرغی تأثیر معنی‌داری بر جذب پتاسیم نسبت به نمونه‌های بدون تیمار کود زیستی نداشتند؛ در حالی‌که در نمونه شاهد و خاک‌های تیمار شده با بیوچار کود گوسفندی، تیمار کود زیستی سبب افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم نسبت به خاک‌های بدون تیمار زیستی شدند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار جذب پتاسیم به‌ترتیب با کاربرد بیوچار کود مرغی و قارچ فونلیفورمیس‌موسه و تیمار شاهد (بدون کاربرد مواد آلی و کودهای زیستی) به‌دست آمد. تولجاندر و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر معنی‌داری بر افزایش فعالیت میکوریزها با کاربرد انواع کودهای آلی به‌دست نیاوردند (۳۵) در حالی‌که گریندلرو همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کاربرد کودهای آلی می‌تواند سبب تحریک فعالیت قارچ‌های میکوریزی گردد (۹). تارکالسون و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند که آلودگی ریشه گندم و ذرت به قارچ‌های میکوریز در اراضی که به آن‌ها کودهای دامی افزوده شده کم‌تر از

## منابع

1. Arocena, J., and Glowa, K. 2000. Mineral weathering in ectomycorrhizosphere of subalpine fir (*Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.) as revealed by soil solution composition. *For. Ecol. Manag.* 133: 1. 61-70.
2. Bar-Tal, A., Yermiyahu, U., Beraud, J., Keinan, M., Rosenberg, R., Zohar, D., Rosen, V., and Fine, P. 2004. Nitrogen, phosphorus and potassium uptake by wheat and their distribution in soil following successive, annual compost applications. *J. Environ. Qual.* 33: 5. 1855-1865.
3. Basak, B., and Biswas, D. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. *Plant and Soil.* 317: 1-2. 235-255.
4. Bashour, I.I., and Sayegh, A.H. 2007. Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions. FAO.
5. Blum, J.D., Klaue, A., Nezat, C.A., Driscoll, C.T., Johnson, C.E., Siccama, T.G., Eagar, C., Fahey, T.J., and Likens, G.E. 2002. Mycorrhizal weathering of apatite as an important calcium source in base-poor forest ecosystems. *Nature.* 417: 6890. 729-731.
6. Bolan, N. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and soil.* 134: 2. 189-207.
7. Burgess, T., Malajczuk, N., and Grove, T. 1993. The ability of 16 ectomycorrhizal fungi to increase growth and phosphorus uptake of *Eucalyptus globulus* Labill. and *E. diversicolor* F. Muell. *Plant and Soil.* 153: 2. 155-164.
8. Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., and Bibens, B. 2008. Effect of lowtemperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*, 51: 2061-2069.
9. Gryndler, M., Larsen, J., Hršelová, H., Řezáčová, V., Gryndlerová, H., and Kubát, J. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. *Mycorrhiza.* 16: 3. 159-166.
10. Hansen, V., Müller-Stöver, D., Imparato, V., Krogh, P.H., Jensen, L.S., Dolmer, A., and Hauggaard-Nielsen, H. 2017. The effects of straw or straw-derived gasification biochar applications on soil quality and crop productivity: A farm case study. *J. Environ. Manage.* 186: 88-95.
11. Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., and Nelson, W. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*. Prentice Hall, New Jersey.
12. He, L.L., ZhongH, Z.K., and Yang, H.M. 2017. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. *J. Integ. Agric.* 16: 3. 704-712.
13. Jalali, M. 2011. Comparison of potassium release of organic residues in five calcareous soils of western Iran in laboratory incubation test. *Arid Land Res. Manage.* 25: 2. 101-115.
14. Kumar, S., Baudh, K., Barman, S.C., and Singh, R.P. 2014. Amendments of microbial biofertilizers and organic substances reduces requirement of urea and DAP with enhanced nutrient availability and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecol. Eng.* 71: 432-437.
15. Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R.D., Kuyper, T.W., and van Breemen, N. 2001. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends Ecol. Evol.* 16: 5. 248-254.
16. Lapeyrie, F., Chilvers, G., and Bhem, C. 1987. Oxalic acid synthesis by the mycorrhizal fungus *Paxillus involutus* (Batsch. ex Fr.) Fr. *New Phytol.* 106: 1. 139-146.
17. Li, L., Quinlivan, P.A., and Knappe, D.R. 2002. Effects of activated carbon surface chemistry and pore structure on the adsorption of organic contaminants from aqueous solution. *Carbon*, 40: 12. 2085-2100.
18. Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil.* 333: 1-2. 117-128.

19. Meek, B., Graham, L., and Donovan, T. 1982. Long-term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 5. 1014-1019.
20. Najafi-Ghiri, M. 2017. Potassium status in wheat-cultivated soils and its relationship with grain K in Darab region, southeastern Fars province. *Soil Res.* 77: 163-171. (In Persian)
21. Najafi-Ghiri, M. 2015. Effect of different biochars application on some soil properties and potassium pools distribution in a calcareous soil. *Soil Res.* 29: 3. 351-358. (In Persian)
22. Najafi-Ghiri, M., and Owliaie, H.R. 2014. Effect of vermicompost and zeolite applications on potassium transformation in calcareous soils of Fars province. *Water Soil Sci.* 69: 61-72. (In Persian)
23. Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S.S., and Koohkan, H. 2011. Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Res. Manag.* 25: 4. 313-327.
24. Najafi-Ghiri, M., Nowzari, S., Niksirat, S.H., and Soleimanpoor, L. 2017. Effects of different plant residues and manures on potassium pools distribution of two clayey soils under different moisture conditions. *Water Soil Sci.* (Accepted) (In Persian)
25. Nelson, D., and Sommers, L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A. Page (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 2.* Madison (WI), American Society of Agronomy, Pp: 539-579.
26. Rowell, D. 1994. *Soil science: methods and applications.* Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex (UK).
27. Sadaf, J., Shah, G.A., Shahzad, K., Ali, N., Shahid, M., Ali, S., Hussain, R.A., Ahmed, Z.I., Traore, B., Ismail, I.M.I., and Rashid, M.I. 2017. Improvements in wheat productivity and soil quality can accomplish by co-application of biochars and chemical fertilizers. *Sci. Total Environ.* 607: 715.
28. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* Handbook No. 60. United States Department of Agriculture (USDA), Washington (DC).
29. Smith, S., and Read, S. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis, 2<sup>nd</sup> edn* Academic Press, San Diego. P. Grogan, J. Baar & TD Bruns.
30. Soil Survey Staff. 1994. *Keys to soil taxonomy.* Soil Conservation Service.
31. Song, W., and Guo, M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 94: 138-145.
32. Sumner, M., Miller, W., Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., and Johnston, C. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods,* Pp: 1201-1229.
33. Tan, Z., Liu, L., Zhang, L. and Huang, Q., 2017. Mechanistic study of the influence of pyrolysis conditions on potassium speciation in biochar "preparation-application" process. *Sci. Total Environ.* 599: 207-216.
34. Tarkalson, D.D., Jolley, V.D., Robbins, C.W., and Terry, R.E. 1998. Mycorrhizal colonization and nutrition of wheat and sweet corn grown in manure-treated and untreated topsoil and subsoil. *J. Plant Nutr.* 21: 9. 1985-1999.
35. Toljander, J.F., Santos-González, J.C., Tehler, A., and Finlay, R.D. 2008. Community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria in the maize mycorrhizosphere in a long-term fertilization trial. *FEMS Microbiol. Ecol.* 65: 2. 323-338.
36. Whitbread, A.M., Blair, G.J., and Lefroy, R.D. 2000. Managing legume leys, residues and fertilisers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in Australia: 2. Soil physical fertility and carbon. *Soil Till. Res.* 54: 1. 77-89.
37. Yilmaz, E., and Sönmez, M. 2017. The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil Till. Res.* 168: 118-124.
38. Yuan, L., Huang, J., Li, X., and Christie, P. 2004. Biological mobilization of potassium from clay minerals by ectomycorrhizal fungi and eucalypt seedling roots. *Plant and Soil.* 262: 1-2. 351-361.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 24(6), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## Effect of organic manures, theirs biochar and mycorrhizae fungi application on the chemical forms of potassium in a calcareous soil

\*H.R. Boostani<sup>1</sup> and M. Najafi-Ghiri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, University of Shiraz, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, University of Shiraz

Received: 08/27/2017; Accepted: 12/30/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** Nowadays, application of organic and biological fertilizers in organic agriculture has become widespread due to their considerable benefits. Recently, the conversion of organic manures into biochar, as an alternative and stable organic fertilizer, has been paid attention by many researchers. Potassium is an essential nutrient for crop production. Application of various organic materials to the soil may effect on the content of potassium chemical fractions. The purpose of the present study was to investigate the effect of mycorrhizae fungi, animal fertilizers (sheep and chicken) and their biochar on the concentration of potassium chemical forms and the relationship between these forms with potassium content of maize plant in a calcareous soil.

**Materials and Methods:** A factorial experiment as completely randomized design with three replication was done under greenhouse conditions. Treatments included five levels of organic fertilizer (without addition, sheep manure, poultry manure, sheep manure biochar, poultry manure biochar, each at 2% w/w) and fungal inoculation in three levels (without inoculation, inoculation with *Funneliformis mosseae* and *Glomus versiforme*). Biochars were prepared under limited oxygen conditions at 500 °C for 4 hours. Appropriate amount of surface layer of a calcareous soil was collected and after passing through 2 mm sieve, were treated by organic fertilizers and arbuscular mycorrhizae fungous according to the experimental design. Then, 5 corn seeds (*Zea mays* L. 704) were planted at 2 cm depth in plastic pots. During plant growth, the soil moisture was maintained about 80% field capacity level by distilled water. After 10 weeks, shoots were harvested and roots were separated from soils. After air drying and passing soil samples through 2 mm sieve, the concentration of potassium chemical forms (soluble, exchangeable and non-exchangeable) were measured. Also, the potassium uptake by shoots was also calculated by multiplying the potassium shoot concentration in dry matter yields.

**Results:** Results indicated that organic manures and their biochars increased the contents of soluble, exchangeable and non-exchangeable K (8-65, 43-128 and 29-72 mg kg<sup>-1</sup>, respectively as compared to control). Generally, sheep manure and its biochar increased all K forms more than poultry manure and its biochar. Conversion of manures to biochar decreased soluble K and increased exchangeable and non-exchangeable K. Application of *Funneliformis mosseae* decreased soluble K and increased non-exchangeable K; while application of *glomus versiforme* decreased soluble K and increased exchangeable K. The amount of K extracted by HNO<sub>3</sub> (sum of K forms) in treated soils with organic manures was lower than treated soil with biochars. Application of poultry manure biochar led to an increase in the effect of mycorrhiza species on the K content in soil while, application of sheep manure biochar caused a decrease in the effect of these fungous on three chemical forms of K. Organic materials and biofertilizers application

---

\* Corresponding Author; Email: hr.boostani@shirazu.ac.ir

significantly increased K uptake (16-217 and 14-36 mg pot<sup>-1</sup>, respectively as compared to control). Potassium concentration in shoot of maize plant had significant and positive relationships with all forms of K in soil.

**Conclusion:** Applied organic manures (sheep and poultry) in increasing the soluble form of K were more effective than their biochars while, biochars increased the content of exchangeable and non-exchangeable forms of K more than raw materials. Also, application of each mycorrhizae species caused a decrease in soluble form of K. Generally, it can be concluded that organic materials and mycorrhizae fungi application may affect the K uptake or its leaching potential due to their effects on different forms of soil K.

**Keywords:** *Funneliformis mosseae*, *Glomus versiforme*, Sheep manure biochar, Soluble K, Exchangeable K