

تأثیر بقایای سه گونه گیاهی و بیوجار آنها بر برخی ویژگی‌ها و وضعیت پتاسیم یک خاک آهکی

مهدی نجفی قیری¹، حمیدرضا بوستانی و علیرضا محمودی

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز؛ mnajafighiri@yahoo.com

استادیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز؛ hamidboostani@gmail.com

مربی بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، mahmoodi_150@yahoo.com

دریافت: 96/4/14 و پذیرش: 96/10/11

چکیده

افزودن بقایای گیاهان به خاک علاوه بر ترسیب کربن می‌تواند مقدار زیادی پتاسیم به خاک اضافه کند. در پژوهش حاضر، سه گونه گیاهی شامل کنار (*Ziziphus spina Christi* L.)، نی (*Phragmites australis*) و آتریپلکس (*Atriplex halimus* L.) از اراضی دشت داراب انتخاب و بقایای آنها جمع‌آوری شد. تبدیل بقایا به بیوجار در دمای 500 درجه سلسیوس و مدت زمان 3 ساعت در شرایط اکسیژن محدود صورت گرفت. خاک مورد استفاده در آزمایش از مزارع شهرستان داراب و از عمق 0-30 سانتی‌متری جمع‌آوری شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با 7 تیمار (بقایای گیاهی، بیوجار آنها و شاهد) و سه تکرار انجام گرفت. مقدار سه درصد از بقایای گیاهی و یا بیوجار آنها به خاک اضافه گردید و نمونه‌ها به مدت دو ماه در شرایط رطوبت ظرفیت مزرعه و دمای 22 درجه سلسیوس نگهداری شدند. سپس پهاش، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزودن بیوجار برگ کنار، برگ آتریپلکس و بیوجار برگ آتریپلکس سبب افزایش معنی‌دار پهاش خاک شدند. همه بقایای گیاهی و بیوجار آنها قابلیت هدایت الکتریکی خاک را از 0/43 (بیوجار برگ کنار) تا 3/57 دسی‌زیمنس بر متر (بیوجار برگ آتریپلکس) افزایش دادند. تبدیل بقایای گیاهی به بیوجار سبب افزایش بیشتر شوری خاک شد. بیوجارها تأثیری بر ظرفیت تبادل کاتیونی نداشتند اما برگ کنار و بقایای نی سبب افزایش آن شدند. افزودن بقایای گیاهی و بیوجار آنها مقدار پتاسیم محلول (937-144 میلی‌گرم بر کیلوگرم)، تبدالی (1430-354 میلی‌گرم بر کیلوگرم)، غیرتبدالی (607-379 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و قابل استخراج با اسید نیتریک (2918-1030 میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به طور معنی‌داری افزایش داد و تأثیر بیوجارها بیشتر از بقایای گیاهی بود. به‌طور کلی، تأثیر برگ آتریپلکس در تغییر ویژگی‌های خاک و مقدار شکل‌های پتاسیم بیشتر از برگ کنار و بقایای نی بود. افزودن بقایای گیاهی و بیوجار آنها سبب تمرکز بیشتر پتاسیم در بخش تبدالی (49-34 درصد) خاک شد. با توجه به تأثیرات منفی کاربرد بقایای گیاهی و بیوجار آنها به‌ویژه برگ آتریپلکس بر افزایش شوری و پهاش خاک، در صورت استفاده از آنها باید جانب احتیاط را نگه داشت.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم محلول، پتاسیم تبدالی، پتاسیم غیرتبدالی، تثبیت پتاسیم، پهاش، شوری خاک

¹ نویسنده مسئول، آدرس: داراب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، بخش علوم خاک

مقدمه

کمبود عناصر غذایی در خاک‌های آهکی یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد. خاک‌های آهکی معمولاً از نظر نیتروژن، فسفر و عناصر غذایی کم مصرف دچار کمبود می‌باشند (هاولین و همکاران، 1999). اگرچه پتاسیم در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به مقدار کافی وجود دارد اما جذب آن توسط گیاه به دلیل رقابت بین این عنصر با کلسیم و منیزیم دچار مشکل شده و معمولاً در گیاهان رشد یافته در این خاک‌ها به‌ویژه مرکبات، کمبود این عنصر مشاهده می‌شود (اوبرزا و همکاران، 1993). پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم سلول‌های گیاهی می‌باشد. این عنصر دارای نقش‌های متعددی در گیاه بوده که مهم‌ترین آنها عبارتند از پایداری پهاش، تنظیم اسمز، فرآیندهای جابجایی در غشا و فعال کردن آنزیم‌ها. بیش از 50 گونه آنزیم در گیاه وجود دارد که یا به طور کامل به پتاسیم وابسته هستند و یا به‌وسیله آن تحریک می‌شوند (خلدبرین و اسلام زاده، 1380). گیاهان پتاسیم مورد نیاز خود را از طریق ریشه و به وسیله جذب فعال از محلول خاک به دست می‌آورند (هاولین و همکاران، 1999). علاوه بر کودهای شیمیایی حاوی پتاسیم، ترکیبات متعددی وجود دارند که می‌توانند سبب افزایش مقدار پتاسیم خاک شوند. این ترکیبات شامل زئولیت، کودهای دامی مختلف، بقایای گیاهی، ورمیکمپوست و بیوجارها می‌باشند (جلالی، 2011؛ نجفی‌قیری و همکاران، 1396؛ نجفی‌قیری، 1394؛ نجفی‌قیری، 2014). افزودن این ترکیبات با توجه به مقدار زیاد پتاسیم موجود در آنها که اغلب به شکل‌های قابل استفاده گیاه (شکل‌های محلول و تبادل) می‌باشند می‌توانند سبب تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه شوند. بیوجارها موادی هستند که از گرماکافت¹ ترکیبات مختلف آلی در دمای بالا و در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن محدود تولید می‌شوند (نواک و همکاران، 2009). تحقیقات گسترده‌ای در مورد تأثیر بیوجارهای مختلف بر ترسیب کربن، بهبود ویژگی‌های خاک، سمیت‌زدایی آب و خاک، آبخوبی عناصر و حاصلخیزی خاک انجام شده است (لایرد و همکاران، 2010؛ نواک و همکاران، 2009؛ لیمن و جوزف، 2009). بیوجارهای حاصل از بقایای گیاهی مختلف مانند بقایای گندم، ذرت، کنجد و پنبه می‌توانند سبب افزایش قابلیت استفاده عناصر مختلف در خاک به‌ویژه پتاسیم شوند و تفاوت‌های فوق‌العاده‌ای بین

بیوجارهای مختلف از این نظر می‌باشد (نجفی‌قیری، 1394). شیرابه خروجی از خاک لومی تیمار شده با بیوجار ضایعات گردو دارای مقادیر بیشتر پتاسیم و سدیم و مقدار کمتر فسفر، کلسیم، منیزیم و روی نسبت به خاک شاهد می‌باشد (نواک و همکاران، 2009).

انواع گونه‌های مرتعی و جنگلی، سالانه سبب ترسیب مقدار زیادی کربن می‌شوند. *Atriplex halimus* از گونه‌های غیربومی جنس آتریپلکس می‌باشد. این گونه از تیره اسفنجیان و گیاهی شورپسند بوده و هر ساله مقدار زیادی املاح از جمله پتاسیم در اندام‌های خود ذخیره کرده و می‌تواند مجدداً به خاک اضافه نماید. اگرچه این گونه بومی ایران نیست اما جهت جلوگیری از گسترش کویر، تثبیت ماسه‌زارها و تولید علوفه فراوان در برخی مناطق کشت شده‌اند (وزیریان و همکاران، 1394؛ جعفری و همکاران، 1384). نی (*Phragmites australis*) از علف‌های هرز چندساله است که وسیع‌ترین پراکنش را در بین گیاهان گلدار دنیا دارد (دیانت و همکاران، 2007). کنار (*Ziziphus spina christi* L.) از گونه‌های درختی بومی نواحی نیمه‌گرمسیری جنوب ایران بوده و درختی چند منظوره و مقاوم به شرایط خشکی می‌باشد. این گیاه، گونه مناسبی برای احیای پوشش گیاهی خاک‌های نسبتاً شور می‌باشد (سعید و همکاران، 2008؛ غدیری‌پور و همکاران، 1394). افزوده شدن بقایای این گیاهان می‌تواند سبب تغییر در وضعیت پتاسیم خاک شود. از طرفی تجزیه این ترکیبات در خاک می‌تواند سبب چرخه کربن و بازگشت مجدد آن به اتمسفر شود. تبدیل این بقایای گیاهی به بیوجار می‌تواند سرعت تجزیه این ترکیبات را کند و یا متوقف کرده و از برگشت این عنصر به شکل دی اکسید کربن به اتمسفر جلوگیری کند.

با توجه به اینکه پتاسیم یکی از عناصر پرمصرف گیاهی بوده و در بقایای گیاهی به مقدار زیاد وجود دارد فرض بر این است که بقایای انواع گونه‌های مرتعی و جنگلی و بیوجار آنها سبب افزایش مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم خاک می‌شوند و این ترکیبات تأثیرات متفاوتی بر برخی ویژگی‌های خاک می‌گذارند. بنابراین هدف از این تحقیق، مقایسه بقایای چند گونه گیاهی مرتعی و جنگلی شامل کنار (*Ziziphus spina christi* L.)، نی (*Phragmites australis*) و آتریپلکس (*Atriplex halimus* L.) و بیوجار آنها بر برخی ویژگی‌های خاک و شکل‌های مختلف پتاسیم یک خاک آهکی بود.

¹. Pyrolysis

مواد و روش‌ها**نمونه‌های گیاهی و تهیه بیوچار**

نمونه‌های گیاهی شامل برگ کنار (*Ziziphus spina*)، بقایای نی (*Phragmites australis*) و برگ آتریپلکس (*Atriplex halimus* L.) از اراضی شهرستان داراب برداشت شد. با توجه به اینکه گونه‌های انتخاب شده چندساله بوده از بخش‌های ریزشی گیاه شامل برگ‌ها که هر ساله به خاک اضافه می‌شوند استفاده شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه با آب مقطر شسته شده و در دمای 70 درجه سلسیوس به مدت 24 ساعت خشک و سپس آسیاب شدند. جهت تهیه بیوچار، 100 گرم از بقایای آسیاب شده را درون بشر ریخته و درب آن با ورقه‌های آلومینیومی پوشانده و با مفتول فلزی محکم شد تا شرایط اکسیژن محدود فراهم شود. نمونه‌ها در کوره در دمای 500 درجه سلسیوس به مدت 3 ساعت قرار داده شدند و آهنگ افزایش دمای کوره 10 درجه سلسیوس بر دقیقه بود. سپس نمونه‌های بیوچار از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. اندازه‌گیری‌های مختلف شامل پهاش (در سوسپانسیون 1 به 5)، قابلیت هدایت الکتریکی (در عصاره 1 به 5) و پتاسیم (به روش شعله سنجی پس از هضم به وسیله اسید کلریدریک) روی نمونه‌های گیاهی و بیوچار آنها انجام شد (یوان و همکاران، 2004). جهت اندازه‌گیری درصد کربن در ترکیبات آلی و بیوچارها از دستگاه آنالیز عنصری (ThermoFinnigan Flash EA 1112 Series) استفاده شد.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های خاک

خاک مورد استفاده در این پژوهش از مزارع تحت کشت گندم در شهرستان داراب جمع‌آوری شد. برای این منظور، از مته نمونه‌برداری استفاده شد و از عمق 0-30 سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. نمونه برداشته شده به آزمایشگاه منتقل و پس از هواخشک شدن و عبور از الک 2 میلی‌متری مورد تجزیه قرار گرفت. آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک (روول، 1994)، پهاش (گروه آزمایشگاه شوری، 1954)، کربنات کلسیم معادل با خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (گروه آزمایشگاه شوری، 1954)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (گروه آزمایشگاه شوری، 1954)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استات سدیم پهاش 8/2 (چاپمن، 1965) و مقدار کربن آلی با اکسیداسیون مرطوب با اسید کرومیک و تیتراسیون برگشتی با فروس آمونیم سولفات (نلسون و همکاران، 1996) روی نمونه خاک انجام شد. اندازه‌گیری شکل‌های مختلف پتاسیم نیز انجام شد (هلمک و اسپارکز، 1996).

پتاسیم محلول در عصاره اشباع خاک، پتاسیم تبادل‌ی خاک با استات آمونیم یک نرمال پهاش 7 و پتاسیم غیرتبادل‌ی با اسید نیتریک یک نرمال جوشان عصاره‌گیری شد و غلظت پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه شعله‌سنج مدل (Corning 405, ELE,UK) اندازه‌گیری شد. پتاسیم غیرتبادل‌ی با کسر مقدار پتاسیم استخراج شده به‌وسیله اسید نیتریک از استات آمونیم محاسبه شد.

تیمارها و انکوباسیون

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل هفت تیمار (برگ کنار، بقایای نی، برگ آتریپلکس، بیوچار آنها و شاهد) روی خاک مورد مطالعه با سه تکرار انجام شد. به این ترتیب که 100 گرم خاک در ظروف پلاستیکی ریخته و سه گرم از بقایای گیاهی و یا بیوچار (معادل سه درصد) به آنها اضافه شد. تیمار بدون بقایای گیاهی و بیوچار به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی در رطوبت 50 درصد ظرفیت اشباع و دمای 22 ± 2 درجه سلسیوس به مدت 90 روز نگهداری شدند. برای خاک‌های دارای تیمارهای مختلف درصد رطوبت اشباع اندازه‌گیری شد. حفظ رطوبت نمونه‌ها با توزین روزانه آنها و افزودن آب مقطر معمولی انجام شد. در پایان نمونه‌ها هواخشک شدند و پس از خرد شدن کاملاً مخلوط شده و پهاش، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شکل‌های مختلف پتاسیم در آنها به روش‌های بیان شده برای خاک اولیه اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری

برای تحلیل آماری نمونه‌ها از نرم‌افزارهای SPSS و MSTATC، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث**ویژگی‌های خاک، بقایای گیاهی و بیوچار آنها**

خاک مورد مطالعه، آهکی دارای پهاش قلیایی (7/83)، بافت لومرسی و مقدار ماده آلی کم بود (جدول 1). خاک غیرشور، اما مقدار پتاسیم محلول آن زیاد بود. پتاسیم حدود 0/5 درصد وزنی خاک را تشکیل داده و حدود 5 درصد آن به شکل‌های قابل استفاده گیاه (شکل‌های محلول و تبادل‌ی) و 7 درصد آن به شکل غیرتبادل‌ی بود. به‌طورکلی مقدار ویژگی‌های خاک مورد استفاده در محدوده بیان شده به‌وسیله سایر پژوهشگران برای خاک‌های استان فارس می‌باشد (نجفی‌قیری، 1389).

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

| مقدار | ویژگی | مقدار | ویژگی |
|-------|---|-------|------------------------|
| 0/34 | قابلیت هدایت الکتریکی (dS m^{-1}) | 23 | شن (%) |
| 14/6 | ظرفیت تبادل کاتیونی ($\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$) | 40 | سیلت (%) |
| 45 | پتاسیم محلول (mg kg^{-1}) | 37 | رس (%) |
| 246 | پتاسیم تبادلی (mg kg^{-1}) | 40 | کربنات کلسیم معادل (%) |
| 351 | پتاسیم غیرتبادلی (mg kg^{-1}) | 7/83 | پهاس |
| 0/54 | پتاسیم کل (%) | 1/2 | ماده آلی (%) |
| | | 63 | رطوبت اشباع (%) |

آلی نیز بیشتر می‌شود (چاون و همکاران، 2004؛ یانگ و همکاران، 2015). با توجه به مقادیر نشان داده شده در جدول 2 می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بیوجارها دارای شاخص‌های پایداری بیشتری نسبت به مواد اولیه خود می‌باشند.

بقایای گیاهی و بیوجار آنها تأثیر معنی‌داری بر مقدار پهاس و قابلیت هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه داشتند (جدول 3). تأثیر افزودن بقایای گیاهی و بیوجار آنها بر مقدار پهاس خاک مورد مطالعه در شکل 1 نشان داده شده است. افزودن برگ آتریپلکس سبب افزایش پهاس خاک شد در حالی که بقایای نی و برگ کنار تأثیر معنی‌داری بر مقدار آن نداشتند. بیوجار برگ کنار و برگ آتریپلکس سبب افزایش معنادار پهاس خاک شدند. بیشترین افزایش پهاس (9/30) با کاربرد بیوجار برگ آتریپلکس مشاهده شد. به‌طور کلی تبدیل بقایای گیاهی به بیوجار سبب افزایش بیشتر پهاس خاک شد. افزایش پهاس خاک در نتیجه کاربرد بیوجار می‌تواند به دلیل وجود مقدار زیاد ترکیبات قلیایی شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها در بیوجار باشد که به خاک رها می‌شوند (سانگ و گو، 2012). تفاوت بقایای مختلف در افزایش پهاس خاک می‌تواند در نتیجه تفاوت آنها در مقدار عناصر قلیایی باشد (یوان و ژو، 2011). افزودن بقایای آلی از طرفی سبب آزادسازی ترکیبات قلیایی شده و از طرفی تولید دی‌اکسید کربن حاصل از تجزیه ترکیبات سبب کاهش پهاس خاک می‌شود؛ در حالی که بیوجارها از طرفی مقدار بیشتری ترکیبات قلیایی به خاک اضافه و از طرفی به دلیل مقاومت به تجزیه میکروبی مقدار کمتری دی‌اکسید کربن تولید می‌کنند و بنابراین افزودن آنها به خاک افزایش شدید پهاس خاک را به دنبال خواهند داشت (وانگ و همکاران، 2016).

بقایای گیاهی مورد استفاده و بیوجار آنها دارای قابلیت هدایت الکتریکی متنوع و مقدار آن به‌ترتیب برای برگ کنار > بقایای نی > برگ آتریپلکس بود (جدول 2). به‌طور کلی تبدیل بقایای گیاهی به بیوجار سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی آنها شد. مقدار زیادتر قابلیت هدایت الکتریکی بیوجارها به دلیل خروج مقداری از کربن، اکسیژن، هیدروژن و غیره به‌صورت مواد فرار از بقایا در اثر گرماکافت و در نتیجه افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آنها می‌باشد (کانترل و همکاران، 2012). مقدار قابلیت هدایت الکتریکی بیوجارهای حاصل از بقایای گیاهی زراعی کمتر از نتایج به‌دست آمده در این تحقیق بوده که این می‌تواند در نتیجه تفاوت در ترکیب بقایای گیاهی مورد استفاده باشد (نجفی‌قیری، 1394). پهاس همه بقایای گیاهی مورد استفاده اسیدی اما بیوجارهای آنها دارای پهاس شدیداً قلیایی بودند. افزایش پهاس بیوجار در نتیجه مقدار بالای کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های آنها در نتیجه گرماکافت می‌باشد (سانگ و گو، 2012). این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت دارد (نجفی‌قیری، 1394؛ نجفی‌قیری و همکاران، 1396). مقدار پتاسیم از 1/0 درصد در برگ کنار تا 3/9 درصد در برگ آتریپلکس متغیر بود و تبدیل بقایا به بیوجار مقدار پتاسیم آنها را افزایش و به 2/8، 3/6 و 8/1 درصد به‌ترتیب برای بیوجارهای برگ کنار، بقایای نی و برگ آتریپلکس رساند. مقادیر بیان شده برای برگ آتریپلکس و بقایای نی بسیار بیشتر از بقایای گیاهان زراعی می‌باشد (نجفی‌قیری و همکاران، 1396). تبدیل بقایای گیاهی به بیوجار سبب افزایش مقدار کربن و کاهش مقدار هیدروژن و نسبت مولی هیدروژن به کربن شد. نسبت هیدروژن به کربن به عنوان شاخصی از پایداری ترکیب آلی و در واقع نشان دهنده مقدار ساختار آروماتیک آنها می‌باشد. هر چه این مقدار کمتر باشد ترکیبات آروماتیک بیشتر و پایداری ماده

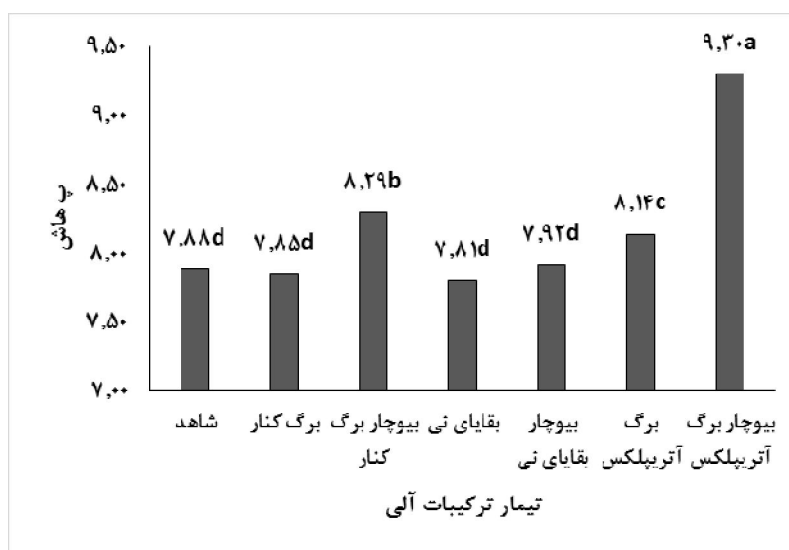
جدول 2- برخی ویژگی‌های بقایای گیاهی مورد استفاده و بیوجار آنها

| بقایای گیاهی و بیوجار | قابلیت هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) | پهانش | کربن (%) | هیدروژن (%) | نسبت مولی هیدروژن به کربن | پتاسیم (%) |
|-----------------------|---|-------|----------|-------------|---------------------------|------------|
| برگ کنار | 0/43 | 5/66 | 47 | 3/85 | 1/0 | 1/0 |
| بیوجار برگ کنار | 3/27 | 9/45 | 53 | 2/21 | 0/5 | 2/8 |
| بقایای نی | 6/30 | 5/66 | 38 | 4/05 | 1/3 | 1/4 |
| بیوجار بقایای نی | 9/24 | 10/01 | 49 | 2/35 | 0/6 | 3/6 |
| برگ آتریپلکس | 13/44 | 5/57 | 31 | 3/57 | 1/4 | 3/9 |
| بیوجار برگ آتریپلکس | 21/84 | 10/78 | 48 | 1/95 | 0/5 | 8/1 |

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس تأثیر بقایای گیاهی و بیوجار آنها بر پهانش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک.

| منابع تغییرات | درجه آزادی | پهانش | قابلیت هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) | ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol(+) kg ⁻¹) | میانگین مربعات |
|-----------------------|------------|---------|---|---|----------------|
| بقایای گیاهی و بیوجار | 6 | 0/834** | 4/640** | 4/62** | |
| خطای کل | 12 | 0/002 | 0/004 | 0/025 | |
| ضریب تغییرات (%) | | 0/49 | 4/82 | 0/06 | |

*: معنی‌دار در سطح 1 درصد



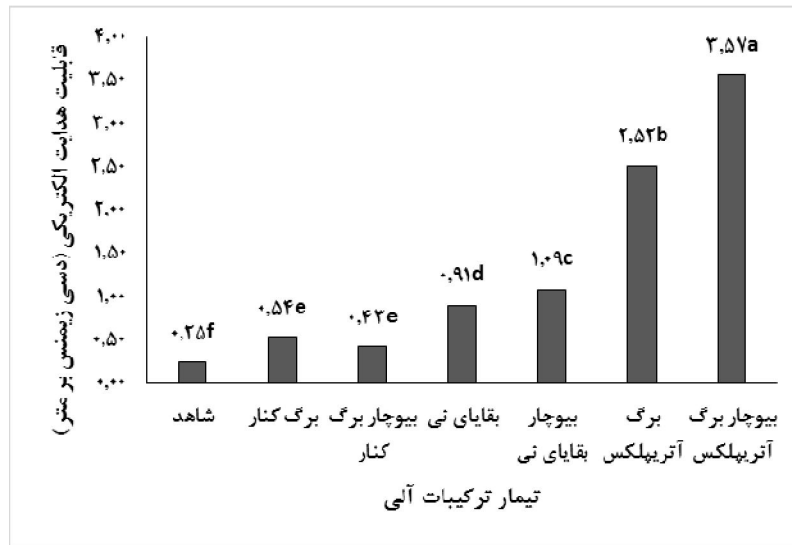
شکل 1- تأثیر بقایای گیاهی و بیوجار آنها بر مقدار پهانش خاک مورد مطالعه

الکتریکی زیاد بقایای گیاهی مورد استفاده و بیوجار آنها در نتیجه وجود کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول موجود در آن، این افزایش شوری خاک قابل انتظار می‌باشد. ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی بقایای گیاهی و بیوجار آنها با قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌های تیمار شده با آنها به‌دست آمد (ضریب همبستگی ^{**}0/97). افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک با کاربرد بیوجار به‌وسیله برخی پژوهشگران گزارش

تغییر مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک با کاربرد بقایای گیاهی و بیوجار آنها در شکل 2 نشان داده شده است. همه بقایای گیاهی و بیوجار آنها سبب افزایش مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک شدند و این برای برگ آتریپلکس و بیوجار آن بیشتر از سایر بقایا بود. تبدیل برگ آتریپلکس و بقایای نی به بیوجار افزایش شوری خاک را به دنبال داشت در حالی که برای برگ نی این افزایش مشاهده نشد. با توجه به قابلیت هدایت

بیوجار آن باید دقت کافی را به کار برد تا از صدمه شوری به بذر و نهال‌های جوان به‌ویژه ارقام حساس به شوری جلوگیری شود.

شده‌است (سونگ و گوا، 2012؛ زلفی باوریانی، 2016). به هر حال در کاربرد این ترکیبات به خاک به دلیل صدمات شوری زیاد به‌ویژه در مورد برگ آتریپلکس و



شکل 2- تأثیر بقایای گیاهی و بیوجار آنها بر مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک مورد مطالعه

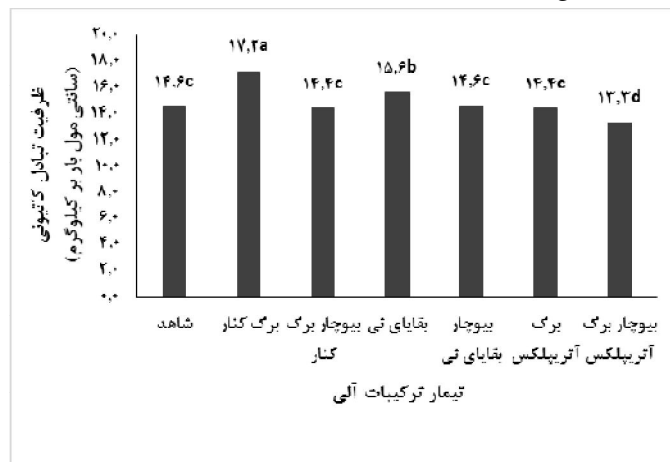
(موخرجی و همکاران، 2011). نجفی قیری (1394) نیز تأثیر افزودن بیوجارهای تولید شده از بقایای گندم، ذرت، برنج و کنجد را بر ظرفیت تبادل کاتیونی یک خاک آهکی ناچیز گزارش کردند. این نتایج مخالف نتایج لیانگ و همکاران (2006) است که بیان کردند بیوجارها سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها می‌گردند.

کاربرد بقایای گیاهی و بیوجار آنها سبب افزایش مقدار همه شکل‌های پتاسیم شامل محلول، تبادل، غیرتبادلی و قابل استخراج با اسید نیتریک شد (جدول 4). مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های تیمار شده از 144 میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد برگ کنار تا 937 میلی‌گرم بر کیلوگرم با کاربرد بیوجار برگ آتریپلکس متغیر بود (جدول 5). تفاوت معنی‌داری بین بقایای گیاهی و بیوجار آنها در افزایش مقدار پتاسیم محلول خاک مورد مطالعه مشاهده شد و ترتیب افزایش مقدار آن به‌صورت برگ آتریپلکس < بقایای نی < برگ کنار بود. تبدیل بقایا به بیوجار سبب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم محلول در خاک‌های تیمار شده شد. افزایش مقدار پتاسیم محلول خاک با کاربرد بقایای گیاهی و بیوجار آنها در نتیجه مقادیر زیاد پتاسیم موجود در آنها می‌باشد. پتاسیم از جمله عناصری است که در ساختمان ترکیبات آلی وارد نشده و به شکل K^+ در ترکیبات آلی وجود دارد (هاولین و همکاران، 1999) و بنابراین می‌تواند به راحتی به خاک

ظرفیت تبادل کاتیونی به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم خاک مطرح بوده و توانایی خاک را در جذب کاتیون‌ها بویژه کاتیون‌های مورد نیاز گیاه و جلوگیری از آبشویی آنها نشان می‌دهد. تأثیر بقایای گیاهی و بیوجار آنها بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مورد مطالعه در شکل 3 نشان داده شده است. برگ کنار و بقایای نی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش دادند درحالی‌که بیوجارها و برگ آتریپلکس تأثیری بر آن نداشتند. اگرچه بقایای کنار دارای کربن بیشتری بوده اما ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را بیشتر از سایر ترکیبات افزایش داده که این می‌تواند مربوط به تفاوت گروه‌های عاملی در ترکیبات مورد مطالعه باشد. در واقع مقدار کربن به تنهایی تعیین‌کننده مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی نبوده و نوع گروه‌های عاملی نیز باید در نظر گرفته شود (سینگ و همکاران، 2010). نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. بیوجار برگ آتریپلکس مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی را کاهش داد. به‌طورکلی خاک‌های تیمار شده با بقایای گیاهی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را بیشتر از بیوجار آنها افزایش دادند. در واقع تبدیل بقایای گیاهی به بیوجار سبب افزایش نسبت کربن به اکسیژن و کاهش گروه‌های عاملی می‌گردد و در نتیجه ظرفیت تبادل کاتیونی کاهش می‌یابد. با افزایش دمای تولید بیوجار، کاهش ظرفیت تبدلی کاتیونی بیوجار بیشتر می‌شود

1396). همچنین نشان داده شده است که کاربرد بیوجار حاصل از بقایای گندم، بقایای ذرت، چوب ذرت، بقایای پنبه و بقایای کنجد به یک خاک آهکی، افزایش 4/4 تا 7 برابری مقدار پتاسیم محلول را به دنبال داشته است (نجفی قیری، 1394).

آزاد شده و بر مقدار پتاسیم خاک به‌ویژه شکل محلول تأثیر بگذارد. ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مقدار پتاسیم بقایای گیاهی و بیوجار آنها با مقدار پتاسیم محلول خاک‌های تیمار شده با آنها به‌دست آمد (شکل 3). افزایش مقدار پتاسیم محلول خاک با کاربرد بقایای گیاهی مختلف شامل بقایای نخود، جو، یونجه و باقلا تا 600 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (نجفی قیری و همکاران،

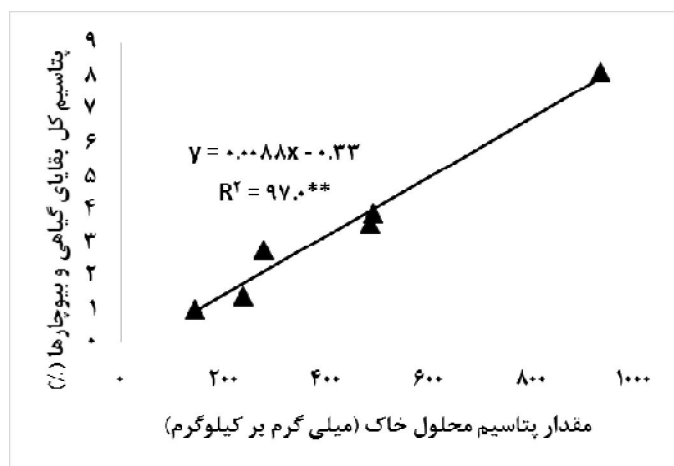


شکل 3- تأثیر بقایای گیاهی و بیوجار آنها بر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مورد مطالعه

جدول 4- جدول تجزیه واریانس تأثیر بقایای گیاهی و بیوجار آنها بر پتاسیم خاک.

| نسبت پتاسیم تبادلی به محلول | درصد پتاسیم | | | شکل‌های پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | | | درجه آزادی | منابع تغییرات |
|--------------------------------|----------------|--------|-------|--------------------------------------|-----------|--------|---------------|--------------------------|
| | میانگین مربعات | | | محلول | | | | |
| | غیرتبادلی | تبادلی | محلول | کل | غیرتبادلی | تبادلی | | |
| 6/54 | 533 | 69 | 243 | 1644992 | 26048 | 468748 | 6 | بقایای گیاهی و بیوجار |
| 0/02 | 1/20 | 1/68 | 0/72 | 397 | 382 | 500 | 12 | خطای کل |
| 5/52 | 3/03 | 3/05 | 4/00 | 1/30 | 4/08 | 3/32 | 3/22 | ضریب تغییرات (%) |

** معنی‌دار در سطح 1 درصد



شکل 3- ارتباط بین مقدار پتاسیم محلول خاک‌های تیمار شده با بقایای گیاهی و بیوجارها با مقدار پتاسیم کل بقایای گیاهی و بیوجارها

طرفی برگ آتریپلکس ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را کمتر تغییر داد و نسبت پتاسیم تبدالی به محلول در خاک‌های تیمار شده با این بقایا کمتر از بقیه بود. به هر حال جهت مقایسه تغییرات این نسبت با کاربرد بقایا باید ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار پتاسیم افزوده شده به وسیله بقایا با هم در نظر گرفته شود. در مورد بیوچارهای استفاده شده، اگرچه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ظرفیت تبادل کاتیونی ایجاد نکردند اما نسبت پتاسیم تبدالی به محلول در آنها بسیار متفاوت بود و این می‌تواند در نتیجه تفاوت بیوچارها در مقدار پتاسیم افزوده به خاک باشد. بیوچار برگ آتریپلکس دارای مقدار زیادی پتاسیم نسبت به دو بیوچار دیگر بوده و بنابراین مقدار پتاسیم محلول را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است در حالی که تأثیر آن بر پتاسیم تبدالی به اندازه پتاسیم محلول نبوده است و بنابراین این نسبت کاهش می‌یابد. کاهش نسبت پتاسیم تبدالی به محلول با کاربرد بقایای گیاهی و بیوچار آنها نشان از کاهش ظرفیت بافری پتاسیم خاک و همچنین پتانسیل زیاد آبشویی پتاسیم دارد. مقدار این نسبت با کاربرد بقایا و بیوچار آنها به صورت برگ آتریپلکس > بقایای نی > برگ کنار بود.

مقدار پتاسیم غیرتبدالی در نمونه خاک شاهد 351 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و به 379، 532 و 495 میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب با کاربرد برگ کنار، بقایای نی و برگ آتریپلکس افزایش یافت (جدول 5). تبدیل بقایا به بیوچار، مقدار پتاسیم غیرتبدالی خاک را به طور معنی‌داری افزایش داد. پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک که مجموع پتاسیم محلول، تبدالی و غیرتبدالی را شامل می‌شود با کاربرد بقایای گیاهی و بیوچار آنها افزایش یافت و تأثیر بیوچار به طور معنی‌داری بیشتر از بقایا بود (جدول 5). ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مقدار پتاسیم بقایای گیاهی و بیوچار آنها با مقدار پتاسیم قابل استخراج با اسید نیتریک در خاک‌های تیمار شده با آنها مشاهده شد (ضریب همبستگی 0/99). با افزایش مقدار پتاسیم محلول و تبدالی، تعادل بین شکل‌های پتاسیم خاک به هم می‌خورد و جهت رسیدن به تعادل مقداری از پتاسیم در بین لایه‌های کانی‌های تثبیت کننده پتاسیم قرار می‌گیرد. مهمترین کانی‌های تثبیت کننده پتاسیم در خاک‌های آهکی جنوب ایران اسمکتیت‌ها می‌باشند (نجفی‌قیری و ابطحی، 2013) که می‌توانند تا 500 میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم اضافه شده به خاک را تثبیت کنند و دچار تغییر و تحول شوند (اسپارکز و هوانگ، 1985؛ نجفی‌قیری و ابطحی، 2012). از طرف دیگر کلسیم محلول اضافه شده به خاک از طریق بقایای گیاهی و بیوچار آنها می‌تواند سبب

مقدار پتاسیم تبدالی در خاک شاهد 246 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و با کاربرد بقایای گیاهی و بیوچار آنها به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول 4 و 5). این افزایش با کاربرد بقایای گیاهی به صورت برگ آتریپلکس < بقایای نی < برگ کنار بود. تبدیل بقایای گیاهی به بیوچار تأثیر بیشتری بر مقدار افزایش پتاسیم تبدالی خاک داشت و مقدار آن را به طور معنی‌داری افزایش داد. با افزودن بقایای گیاهی و بیوچار آنها، مقدار زیادی پتاسیم وارد محلول خاک می‌شود و به دلیل روابط تعادلی بین شکل‌های پتاسیم (هاولین و همکاران، 1999) مقداری از پتاسیم محلول روی نقاط تبدالی رس‌ها و مواد آلی جذب شده و افزایش پتاسیم تبدالی را به همراه خواهد داشت. از طرفی با توجه به بار منفی بقایای گیاهی و بیوچار آنها، مقداری از پتاسیم در ترکیبات آلی به شکل تبدالی وجود دارد. خاک مورد مطالعه دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی بوده (14/2 میلی‌اکی‌والان بار بر کیلوگرم) و می‌تواند مقدار زیادی از پتاسیم محلول را جذب کند. افزایش قابل توجه در مقدار کاتیون‌های بازی به‌ویژه پتاسیم با افزودن انواع مختلف بیوچار حاصل از انواع مختلف چوب، کودهای دامی، بقایای گندم، ذرت، نخود، برنج و سویا توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است (لایرد و همکاران، 2010؛ جین‌هوا و همکاران، 2011؛ هافله و همکاران، 2011).

مقدار بیشتر پتاسیم و سایر کاتیون‌ها در بافت‌های گیاهی آتریپلکس به‌عنوان گونه‌ای شورپسند، مکانیسمی جهت مقابله با شوری بالای خاک‌ها می‌باشد (هامو و همکاران، 2014؛ متین‌زاده و همکاران، 2013). به‌طورکلی مقدار پتاسیم تبدالی در خاک‌های تیمار شده، ارتباط مثبت و معنی‌داری با مقدار پتاسیم در بقایای گیاهی و بیوچارهای افزوده شده به آنها داشت (ضریب همبستگی 0/99). نسبت پتاسیم تبدالی به محلول می‌تواند به عنوان معیاری از ظرفیت خاک در بافر کردن پتاسیم محلول و همچنین پتانسیل آبشویی پتاسیم باشد. هر چه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بیشتر باشد یون‌های پتاسیم تمایل بیشتری به قرار گرفتن روی نقاط تبدالی دارند و بنابراین پتانسیل آبشویی پتاسیم کاهش می‌یابد. این نسبت در خاک مورد مطالعه 5/7 بود و با کاربرد بقایای گیاهی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. تفاوت معنی‌داری بین بقایای گیاهی (به‌جز بقایای نی) و بیوچار آنها در کاهش این نسبت مشاهده نشد. نسبت پتاسیم تبدالی به محلول در خاک‌های تیمار شده با برگ کنار بیشتر از سایر بقایا بود که این با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر خاک‌های تیمار شده با برگ کنار قابل توجیه می‌باشد. از

با کاربرد ترکیبات مورد استفاده مشاهده شد. افزایش پتاسیم غیرتبادلی خاک با کاربرد بقایای گیاهی و بیوچار به وسیله برخی پژوهشگران گزارش شده است (نجفی‌قیری، 1394؛ نجفی‌قیری و همکاران، 1396).

افزایش سرعت آزادسازی پتاسیم خاک از بین لایه‌های کانی‌های پتاسیم‌دار خاک شامل میکا و ایلیت شود (اسپارکز و هوانگ، 1985؛ جلالی، 2011) که به نظر می‌رسد نقش این فرآیند کمتر از تثبیت پتاسیم باشد؛ چرا که افزایش معنی‌دار در مقدار پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌ها

جدول 5- مقدار شکل‌های پتاسیم در نمونه‌های خاک تیمار شده با بقایای گیاهی و بیوچار آنها.

| تیمار | شکل‌های پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | | | نسبت تبادلی به محلول |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------|
| | محلول | تبادلی | غیرتبادلی | |
| شاهد | 43 ^f | 246 ^g | 351 ^f | 5/7 ^a |
| برگ کنار | 144 ^e | 354 ^f | 532 ^b | 2/5 ^b |
| بیوچار برگ کنار | 278 ^c | 685 ^d | 607 ^a | 2/5 ^b |
| بقایای نی | 238 ^d | 440 ^e | 379 ^e | 1/9 ^c |
| بیوچار بقایای نی | 486 ^b | 755 ^c | 443 ^d | 1/6 ^d |
| برگ آتریپلکس | 493 ^b | 812 ^b | 495 ^c | 1/6 ^d |
| بیوچار برگ آتریپلکس | 937 ^a | 1430 ^a | 551 ^b | 1/5 ^d |

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها با آزمون دانکن (سطح 5 درصد) می‌باشد.

به بیوچار سبب افزایش شدیدتر درصد پتاسیم محلول و تبادلی و کاهش شدیدتر پتاسیم غیرتبادلی شد. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که در خاک شاهد، مقدار بیشتری از پتاسیم خاک در بخش غیرتبادلی (55 درصد) متمرکز شده و افزودن بقایای گیاهی و بیوچار آنها سبب تمرکز بیشتر آن در بخش تبادلی گردید (34-49 درصد). با کاربرد بیوچار بقایای نی و بیوچار برگ آتریپلکس درصد پتاسیم محلول بیشتر از غیرتبادلی گردید. درصد پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در خاک‌های آهکی استان فارس به‌طور میانگین 2، 24 و 74 درصد گزارش شده است (نجفی‌قیری، 1389) که درصد پتاسیم تبادلی و محلول خاک مورد مطالعه بسیار کمتر از این مقادیر می‌باشد.

توزیع پتاسیم بین شکل‌های مختلف در خاک شاهد به‌صورت 7، 38 و 55 درصد به‌ترتیب برای پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی بود (جدول 6). درصد پتاسیم محلول با کاربرد همه بقایا و بیوچار آنها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و کمترین و بیشترین افزایش به‌ترتیب برای برگ کنار و بیوچار برگ آتریپلکس بود. درصد پتاسیم تبادلی با کاربرد بقایای گیاهی (به‌جز بقایای آتریپلکس) افزایش معنی‌داری نشان نداد؛ در حالی که افزودن بقایای گیاهی و بیوچار آنها درصد پتاسیم غیرتبادلی را کاهش داد. به هر حال بقایای آتریپلکس دارای مقدار بالایی پتاسیم بوده و به دلیل ظرفیت محدود خاک در تثبیت پتاسیم، معمولاً بخش‌های محلول و تبادلی بیشتر از بخش غیرتبادلی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. تبدیل بقایای گیاهی

جدول 6- توزیع پتاسیم بین شکل‌های مختلف (درصد) در نمونه‌های خاک تیمار شده با بقایای گیاهی و بیوچار آنها

| تیمار | شکل‌های پتاسیم | |
|---------------------|------------------|-----------------|
| | تبادلی | غیرتبادلی |
| شاهد | 7 ^e | 55 ^a |
| برگ کنار | 14 ^d | 52 ^a |
| بیوچار برگ کنار | 18 ^c | 39 ^b |
| بقایای نی | 22 ^c | 36 ^b |
| بیوچار بقایای نی | 29 ^{ab} | 26 ^c |
| برگ آتریپلکس | 27 ^b | 27 ^c |
| بیوچار برگ آتریپلکس | 32 ^a | 19 ^d |

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها با آزمون دانکن (سطح 5 درصد) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

آن افزایش بیشتری را در مقدار شکل‌های پتاسیم سبب شد که این به دلیل انباشته شدن نمک‌های محلول خاک از جمله یون‌های پتاسیم در برگ‌های آن می‌باشد. اگرچه هر دو شکل محلول و تبدلی پتاسیم، قابل استفاده گیاه می‌باشند اما شکل محلول پتانسیل بالایی جهت افزایش شوری خاک دارد که باید در صورت کاربرد این ترکیبات به خاک برای گیاهان حساس به شوری در نظر گرفته شود. در صورت کاربرد بقایای گیاهی و بیوجار آنها به‌ویژه برگ آتریپلکس باید تأثیرات آنها بر افزایش شوری و پ‌هاش خاک در نظر گرفته شود.

با توجه به کمبود پتاسیم در برخی خاک‌های استان فارس و به‌ویژه در باغات مرکبات، کاربرد بقایای گیاهی و بیوجار آنها می‌تواند علاوه بر افزایش مقدار ماده آلی خاک، وضعیت پتاسیم خاک را بهبود بخشد. کاربرد برگ آتریپلکس، برگ کنار و بقایای نی و بیوجار آنها تأثیر فوق‌العاده‌ای بر وضعیت پتاسیم خاک داشت و مقدار همه شکل‌های پتاسیم را افزایش داد. به هر حال این افزایش بیشتر در مقدار پتاسیم محلول و تبدلی مشاهده شد. از بین بقایای گیاهی مورد استفاده، برگ آتریپلکس و بیوجار

فهرست منابع:

1. جعفری، م.، ب. رسولی، و ر. عرفان‌زاده. 1384. بررسی تأثیر کشت گونه‌های تاغ، آتریپلکس و گز بر خصوصیات خاک در مسیر بزرگراه تهران-قم. مجله منابع طبیعی ایران، 58(4): 921-931.
2. خلدبرین، ب.، و ط. اسلام‌زاده. 1380. تغذیه معدنی گیاهان عالی. انتشارات دانشگاه شیراز. 902 صفحه.
3. غدیری‌پور، پ.، خ. ثاقب طالبی، م.ح. صالحه‌شوشتری و ا. اسماعیل‌زاده. 1394. بررسی برخی خصوصیات خاک و مشخصات کمی کنار (*Ziziphus spina-christi* L. Desf) در رویشگاه‌های طبیعی جنوب غربی ایران، مطالعه موردی: استان‌های خوزستان و بوشهر. جنگل و فرآورده های چوب، مجله منابع طبیعی ایران، 68(1): 61-75.
4. نجفی‌قیری، م. 1389. بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کانی‌شناسی و وضعیت پتاسیم در خاک‌های استان فارس. پایان‌نامه دکتری بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
5. نجفی‌قیری، م. 1394. تأثیر کاربرد بیوجارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت جذب بعضی از عناصر غذایی در یک خاک آهکی. مجله پژوهش‌های خاک، 29: 351-358.
6. نجفی‌قیری، م.، س. نوزدی، س.ح. نیک‌سیرت و ل. سلیمانپور. 1396. اثر انواع مختلف بقایای گیاهی و کودهای دامی بر توزیع شکل‌های پتاسیم دو نوع خاک رسی تحت شرایط رطوبتی متفاوت. مجله دانش آب و خاک، 1: 1-11.
7. وزیریان، ر. ح.، عسگری، م.، اونق، چ.ب.، کمکی و ب. چوقی. 1394. ارزیابی رابطه بین تراکم کشت آتریپلکس (*Atriplex halimus*) با میزان کربن ترسیب‌شده در خاک (مطالعه موردی: مراتع نیمه‌خشک اینچه‌برون، استان گلستان). مرتع و آبخیزداری، 68(1): 173-180.
8. Cantrell, K.B., P.G. Hunt, M. Uchimiya, J.M. Novak and K.S. Ro. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology*, 107: 419-428.
9. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black CA, editor. *Methods of soil analysis*. Part 2. Madison (WI): American Society of Agronomy. pp. 891-901.
10. Chun, Y., G., Sheng, C. T., Chiou and B., Xing. 2004. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. *Environ. Sci. Tech.*, 38: 4649-4655.
11. Dianat, M., A.S. Booshehri, H.M. Alizadeh, M.R. Naghavi and H.R. Mashhadi. 2007. Analysis of genetic diversity among populations of common reed (*Phragmites australis*) in Iran. *Iranian Journal of Weed Science*, 3(1&2): 90-104.
12. Haeefe, S.M., Y. Konboon, W. Wongboon, S. Amarante, A.A. Maarifat, E.M. Pfeiffer, et al. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research*, 121(3): 430-440.

13. Hammou, K.A., L. Rubio, J.A. Fernández and M.J. García-Sánchez. 2014. Potassium uptake in the halophyte *Halimione portulacoides* L. Aellen. *Environmental and Experimental Botany*, 107: 15-24.
14. Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*. Ed. Prentice Hall, New Jersey.
15. Helmke, P., Sparks, D., Page, A., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., Johnston, C. and Sumner, M. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of soil analysis. Part 3-Chemical Methods*. pp. 551-574.
16. Helmeke, P. A., and D. L. Sparks. 1996. *Methods of soil analysis, Part III: Chemical methods*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
17. Jalali, M. 2011. Comparison of potassium release of organic residues in five calcareous soils of western Iran in laboratory incubation test. *Arid Land Research and Management*, 25(2): 101-115.
18. Jin-Hua, Y.U.A.N., X.U. Ren-Kou, W. Ning, and L.I. Jiu-Yu. 2011. Amendment of acid soils with crop residues and biochars. *Pedosphere*, 21(3): 302-308.
19. Laird, D.A., P. Fleming, D.D. Davis, R. Horton, B. Wang and D.L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3): 443-449.
20. Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, Routledge. Abingdon, UK. p. 976
21. Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J.O. Skjemstad, J. Thies, F.J. Luizao, J. Petersen, and E.G. Neves. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*. 70(5): 1719-1730.
22. Matinzadeh, Z., S. Breckle, M. Mirmassoumi and H. Akhiani. 2013. Ionic relationships in some halophytic Iranian *Chenopodiaceae* and their rhizospheres. *Plant and soil*, 372(1-2): 523-539.
23. Mukherjee, A., A. R. Zimmerman, and W. Harris. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163(3): 247-255.
24. Najafi-Ghiri, M. 2014. Effects of zeolite and vermicompost applications on potassium release from calcareous soils. *Soil and Water Research*, 9: 31-37.
25. Najafi-Ghiri, M. and A. Abtahi. 2012. Factors affecting potassium fixation in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(3): 335-352.
26. Najafi-Ghiri, M., and A. Abtahi. 2013. Potassium Fixation in Soil Size Fractions of Arid Soils. *Soil and Water Research*, 8(2): 49-55.
27. Nelson, D.W., L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, editor. *Methods of soil analysis, Part 2*. Madison (WI): American Society of Agronomy. pp. 961-1010.
28. Novak, J.M., I. Lima, B. Xing, J.W. Gaskin, C. Steiner, K. Das, et al. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3(1): 195-206.
29. Obreza, T.A., A.K. Alva and D.V. Calvert. 1993. *Citrus fertilizer management on calcareous soils*. Cooperative Extension Service, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences.
30. Rowell, D.L. 1994. *Soil science: methods and applications*: Longman Group Limited, Longman Scientific & Technical.
31. Saied, A.S., J. Gebauer, K. Hammer and A. Buerkert. 2008. *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd.: a multipurpose fruit tree. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(7): 929-937.
32. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Dept Agr Handbook 6.
33. Singh, B., B. P. Singh, and A. L. Cowie. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research*, 48(7): 516-525.

34. Song, W. and M. Guo. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94: 138-145.
35. Sparks, D.L. P.M. Huang. 1985. Physical chemistry of soil potassium. In: Munson R.D., editor. *Potassium in agriculture*. Soil Science Society of America: Madison, WI. pp. 201-276.
36. Wang, J., Z. Xiong and Y. Kuzyakov. 2016. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Gcb Bioenergy*, 8(3): 512-523.
37. Yang, G., Z. Wang, Q., Xian, F., Shen, C., Sun, Y., Zhang and J. Wu. 2015. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of biochar derived from vermicompost and its potential use as an environmental amendment. *RSC Advances*, 5(50): 40117-40125.
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*. 262:1.351-361
39. Yuan, J.H. and R.K. Xu. 2011. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil Use and Management*, 27(1): 110-115.
40. Zolfi-Bavariani, M., A. Ronaghi, R. Ghasemi-Fasaei and J. Yasrebi. 2016. Influence of poultry manure-derived biochars on nutrients bioavailability and chemical properties of a calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(11): 1578-1591.

Effect of Three Plant Species Residues and Their Biochars on some Properties and Potassium Status of a Calcareous Soil

M. Najafi-Ghiri¹, H. R. Boostani, and A. R. Mahmoodi

Associate Professor., Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University; E-mail: mnajafighiri@yahoo.com

Assistant Professor., Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University; E-mail: hamidboostani@gmail.com

Instructor of Range and Watershed Management Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University; E-mail: mahmoodi_150@yahoo.com

Received: July, 2017 and Accepted: January, 2018

Abstract

Addition of plant species residues to soils can add high amounts of potassium (K) as well as carbon sequestration. In the current investigation, residues of three plant species including *Ziziphus spina Christi* L., *Phragmites australis* and *Atriplex halimus* L. were collected from Darab plain and converted to biochars at 500 °C for 3 h under oxygen-limited condition. The soil used in the study was collected from a field in Darab at depth of 0-30 cm. Experiment was done using a completely randomized design with 7 treatments (plant residues, their biochars and control) and 3 replicates. Three percent of plant residues or biochars was added to the soil. Soil samples were incubated for 2 months at FC moisture and 22 °C temperature condition. Then, pH, EC, CEC and the contents of soluble, exchangeable, and non-exchangeable K of soil samples were determined. Results indicated that application of *Ziziphus spina Christi* biochar, *Atriplex halimus* leaves and *Atriplex halimus* biochar significantly increased soil pH. All residues and biochars increased EC from 0.43 (*Ziziphus spina Christi* biochar) to 3.57 dS m⁻¹ (*Atriplex halimus* biochar). Biochars had more effect on soil EC than residues. Biochars had no effect on CEC, but *Ziziphus spina Christi* L. and *Phragmites australis* increased it significantly. Application of residues and biochars significantly increased soluble (144-937 mg kg⁻¹), exchangeable (354-1430 mg kg⁻¹), non-exchangeable (379-607 mg kg⁻¹) and HNO₃-extractable K (1030-2918 mg kg⁻¹) and biochars had more effect than residues. Generally, *Atriplex halimus* leaves were more effective than *Ziziphus spina Christi* and *Phragmites australis* residues on soil properties and K forms contents. Residues and biochars application concentrated K in the exchangeable form (34-49 %). For application of these compounds, especially in the case of *Atriplex halimus* L., their effects on soil salinity and pH should be considered.

Keywords: Soluble K, Exchangeable K, Non-exchangeable K, K fixation, pH, Soil salinity

¹ Corresponding author: Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab.